



HAL
open science

Analyses piscicoles de la Durance dans les secteurs de Cheval Blanc et du Pont de Cadenet. Campagne 2012

Yann Le Coarer, Georges Carrel, Jérémy Beguin, Thomas Martineau

► To cite this version:

Yann Le Coarer, Georges Carrel, Jérémy Beguin, Thomas Martineau. Analyses piscicoles de la Durance dans les secteurs de Cheval Blanc et du Pont de Cadenet. Campagne 2012. IRSTEA, UR Hydrobiologie, Aix-en-Provence. 2012, pp.37. hal-04625963

HAL Id: hal-04625963

<https://hal.inrae.fr/hal-04625963>

Submitted on 26 Jun 2024

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

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



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



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

CAMPAGNE 2012

DECEMBRE 2012

**LE COARER YANN, CARREL GEORGES,
BEGUIN JEREMY & MARTINEAU THOMAS**

Centre d' Aix en Provence
Unité de recherche hydrobiologie
3275 Route de Cézanne - CS 40061
13182 Aix en Provence



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

Campagne 2012

Commande EDF-GEH : N° 5500-4300817019

LE COARER Yann, CARREL Georges, BEGUIN Jeremy & MARTINEAU Thomas

Personnel Irstea ayant participé aux campagnes de terrain :

**Adrien Morel
Valentin Freyd**

Résumé

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 2012.

Les données ont été obtenues sur deux stations du Réseau Hydrobiologique et Piscicole : "Pont de Cadenet" et "Cheval Blanc", échantillonnées respectivement les 11 juillet et 12 juillet 2012. Les débits étaient de 9.7 m³/s au Pont de Cadenet et de 14.0 m³/s à Cheval Blanc. Les poissons ont été capturés par pêche électrique dans 18 ambiances sur la station Pont de Cadenet et 19 ambiances sur la station Cheval Blanc, supposées représentatives des faciès existants. Les ambiances ont fait l'objet de relevés topographiques, de mesures de vitesses et de profondeurs, d'une description quantitative de la hauteur de rugosité du substrat et qualitative des habitats. Les hydrosignatures des ambiances ont été calculées. 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 2003-2012 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 2008 s'estompent progressivement, le régime hydrologique de ces dernières années a maintenu des perturbations majeures et affecté les peuplements piscicoles des deux sites. Si la situation observée en 2012 est sensiblement meilleure qu'en 2010 et 2011, les densités d'adultes restent faibles en regard de la chronique existante. Le secteur de Cheval Blanc reste particulièrement pauvre.

La comparaison des modèles [habitats hydrauliques]/[poissons] par tronçons est devenue possible avec l'obtention de nouvelles données. Celle-ci montre des modèles différents selon les tronçons de Durance étudiés et remet en cause un modèle unique pour la moyenne et la basse Durance.

Sommaire

Introduction.....	2
Partie I – Description et analyse morphodynamique	2
I - 1. Compte-rendu des actions menées sur le terrain	2
I - 2. Les relevés topographiques.....	2
I - 3. Les mesures de vitesses	3
I - 4. Les jaugeages	3
I - 5. Cartographie du lit mouillé	3
I - 6. Analyse morpho-hydraulique des ambiances	3
I - 7. Hauteur de rugosité du substrat.....	11
Partie II - Peuplements piscicoles estivaux en Basse Durance	17
II - 1. Caractéristiques générales des peuplements.....	17
II - 2. Suivi inter-annuel	18
II - 3. Comparaisons inter-stationnelles	21
II - 4. Effets des conditions abiotiques sur la croissance des poissons	23
Partie III - Utilisation du modèle habitats/poissons 5M7	25
Sites Webs.....	27
Références citées	27
Rapports 2003 à 2010.....	29
ANNEXES.....	30

Figures et tableaux dans le texte

Figure 1 - Vue en plan de la station "Pont de Cadenet". Localisation des ambiances de pêche et des quatre sections de jaugeage.	4
Figure 2 - Vue en plan de la station "Cheval Blanc". Localisation des ambiances de pêche et des deux sections de jaugeage.....	5
Figure 3 - Hydrosignatures en surface et volume des pêches de Pont de Cadenet et Cheval Blanc de 2012.....	7
Figure 4 - Comparaison des stations, pour les campagnes 2004-2012 à partir de la moyenne des hydrosignatures moyennes - hydrosignatures en surfaces et en volumes.	9
Figure 5 - Comparaison des stations à partir de la moyenne des hydrosignatures totales (pondérations des ambiances par leur surface pour chaque campagne) - hydrosignatures en surfaces et en volumes.....	10
Figure 6 - Représentation schématique des diverses mesures réalisées pour l'évaluation de la hauteur de rugosité (k) et des mesures caractéristiques du substrat. 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).	12
Figure 7 - Débits moyens journaliers de la Durance à Meyrargues. Données Banque HYDRO.	14
Figure 8 - Répartition par année des hauteurs de rugosité (k, en cm) du substrat dans les stations de Pont de Cadenet et de Cheval Blanc. 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.	15
Figure 9 - Évolution temporelle des effectifs totaux moyens (n/50 m ²) dans les stations de Pont de Cadenet (bleu) et de Cheval Blanc (vert).	18
Figure 10 - Évolution interannuelle de la richesse taxonomique à Pont de Cadenet (en bleu) et Cheval Blanc (en vert) et des effectifs corrigés. La richesse taxonomique maximale (ensemble des deux stations) est de 92 taxons.	19
Figure 11 - Analyse en Composantes Principales Normée inter-années/stations. Coordonnées factorielles des stations/années sur les axes 1 à 3. En parallèle, les coordonnées des taxons sur les axes 1 à 3. Cheval Blanc (tracé vert)et Pont de Cadenet (tracé bleu).	20
Figure 12 - 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.	22

Figure 13 - Débits maximaux journaliers restitués à Mallemort et teneurs en matières en suspension. Chroniques thermiques de la Durance en amont et aval de la restitution de Mallemort. Données SMAVD.	23
Figure 14 - Distributions des tailles de quatre cyprinidés : barbeau (A), chevaine (D), spirin (C) et viron (E), et de la loche franche (B) dans les deux station en 2012.	24
Tableau 1 - Jaugeages des stations de pêche	3
Tableau 2 - Caractéristiques morpho-hydrauliques des ambiances de pêches.....	6
Tableau 3 - Comparaison des Hydrosignatures en surface et en volume des ambiances de Pont de Cadenet (CA) et de Cheval Blanc (CB) obtenues de 2004 à 2012.....	8
Tableau 4 - Répartition des principales catégories sédimentaires dans les deux stations pour les périodes 2004-2007 et 2008-2012.	13
Tableau 5 - Statistiques des hauteurs de rugosité mesurées dans les ambiances des deux stations. Dans la deuxième partie du tableau, les variables sont calculées après exclusion des valeurs de k supérieures à 25.6 cm correspondant majoritairement à des enrochements de berges.....	16
Tableau 6 - Effectifs et nombre d'ambiances par années et par stations. 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.	21

En annexe

Annexe 1 - Plan de situation des stations de Bonpas, Cheval Blanc et Pont de Cadenet.	31
Annexe 2 - Plans de situation des stations de Pont de Cadenet et de Cheval Blanc	32
Annexe 3 - Résultats des pêches électriques effectuées sur la station du pont de Cadenet.	33
Annexe 4 - Résultats des pêches électriques effectuées sur la station de Cheval Blanc. 34	
Annexe 5 - Effectifs corrigés (N/50 m ²) moyens par année des espèces capturées sur les stations de Cadenet et Cheval Blanc.	35
Annexe 6 - Abondances relatives moyennes par année des espèces capturées sur les stations de Cadenet et Cheval Blanc.	36
Annexe 7 - Comparaison des stations pour les campagnes 2004-2012 de la moyenne des hydrosignatures moyennes (A & C) et de la moyenne des hydrosignatures totales (pondérations des ambiances par leur surface pour chaque campagne) par 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).	37

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

Campagne 2012

Introduction

Cette étude est effectuée dans le cadre du suivi des impacts sur les populations piscicoles des opérations de délimonage et de délestage 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.

Partie I – Description et analyse morphodynamique

I - 1. Compte-rendu des actions menées sur le terrain

Les opérations de terrain ont été menées conjointement avec l'ONEMA. Suite aux contraintes hydrologiques en juin, les opérations de terrain ont été décalées en juillet comme en 2011. Le repérage des ambiances de pêche a été effectué le 10 juillet 2012. Les échantillonnages par pêche électrique et les mesures physiques associées ont eu lieu le 11 juillet 2012 pour la station de Pont de Cadenet (Figure 1) et le 12 juillet 2012 pour celle de Cheval Blanc (Figure 2). Les mesures physiques et biologiques ont été conduites simultanément pour pallier aux incertitudes associées aux variations possibles de débit.

Les ambiances de pêches sont aussi appelées "placettes" ou "Compartiments d'Attractivité Différentielle (CAD)" par l'ONEMA.

I - 2. Les relevés topographiques

Des relevés topographiques ont permis de repérer pour chaque station :

- les bordures de lit mouillé des stations d'études,
- 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 effectués à l'aide du logiciel LEICA Geo Office 8.0 et des données RINEX cadencées à 30 secondes, récupérées sur le site Web du LAREG.

I - 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 vitesse est une fonction logarithmique de l'abscisse décrivant la hauteur d'eau par l'équation :

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

I - 4. Les jaugeages

Des jaugeages ont été réalisés pendant les campagnes de pêches (Tableau 1). Leurs localisations sont indiquées dans les cartes (Figure 1, Figure 2).

À Cheval Blanc, nous avons mesuré un débit total de 13.99 m³/s dont 2.32 m³/s dans un chenal annexe. A Pont de Cadenet, nous avons jaugé un débit total de 9.69 m³/s dont 1.0 m³/s dans le chenal annexe.

Tableau 1 - Jaugeages des stations de pêche

Station	Pont de Cadenet*	Cheval Blanc**
Date	11 juillet 2012	12 juillet 2012
Débit (m3/s)	9.69	13.99
Largeur au miroir (m)	54.07	37.60
Surface en travers (m2)	27.37	16.08
Profondeur moyenne (m)	0.51	0.43
Vitesse moyenne (m/s)	0.35	0.87

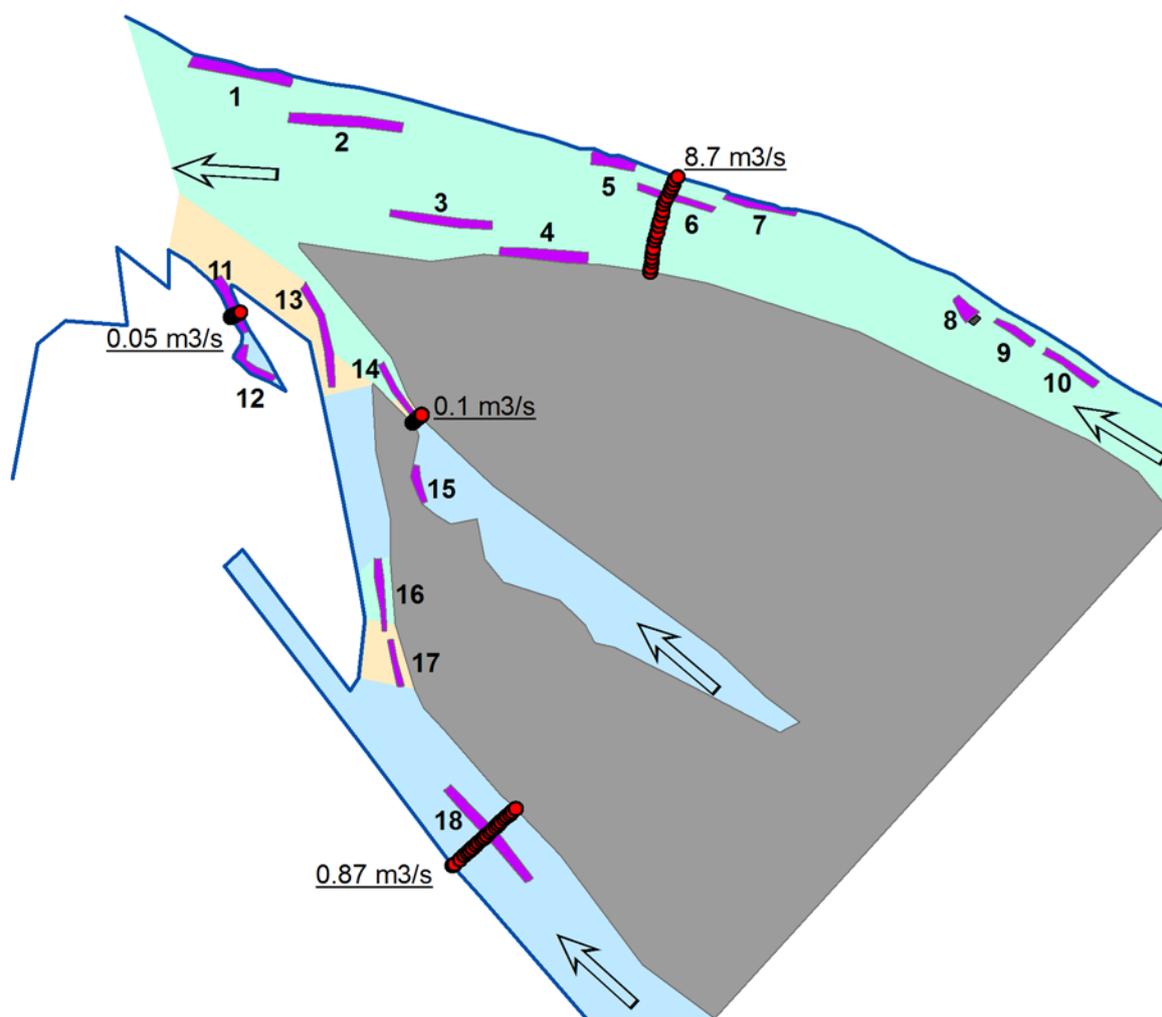
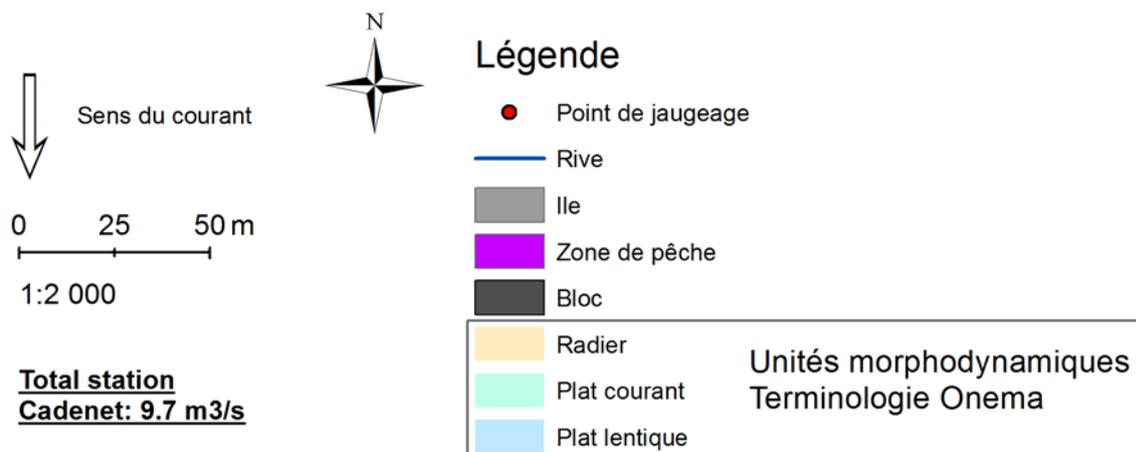
* : composition des quatre jaugeages, ** : composition des deux jaugeages

I - 5. Cartographie du lit mouillé

En 2012, les longueurs étudiées des chenaux principaux sont de 280 m à Pont de Cadenet et de 430 m à Cheval Blanc.

I - 6. Analyse morpho-hydraulique des ambiances

Les ambiances ont été maillées en TIN dans le plan xy (Triangular Irregular Network : réseau de triangles irréguliers), à partir des verticales situées à l'intérieur des ambiances et de celles définissant leur contour. Chaque ambiance est donc 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).



irstea HYAX
2012.vr.

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

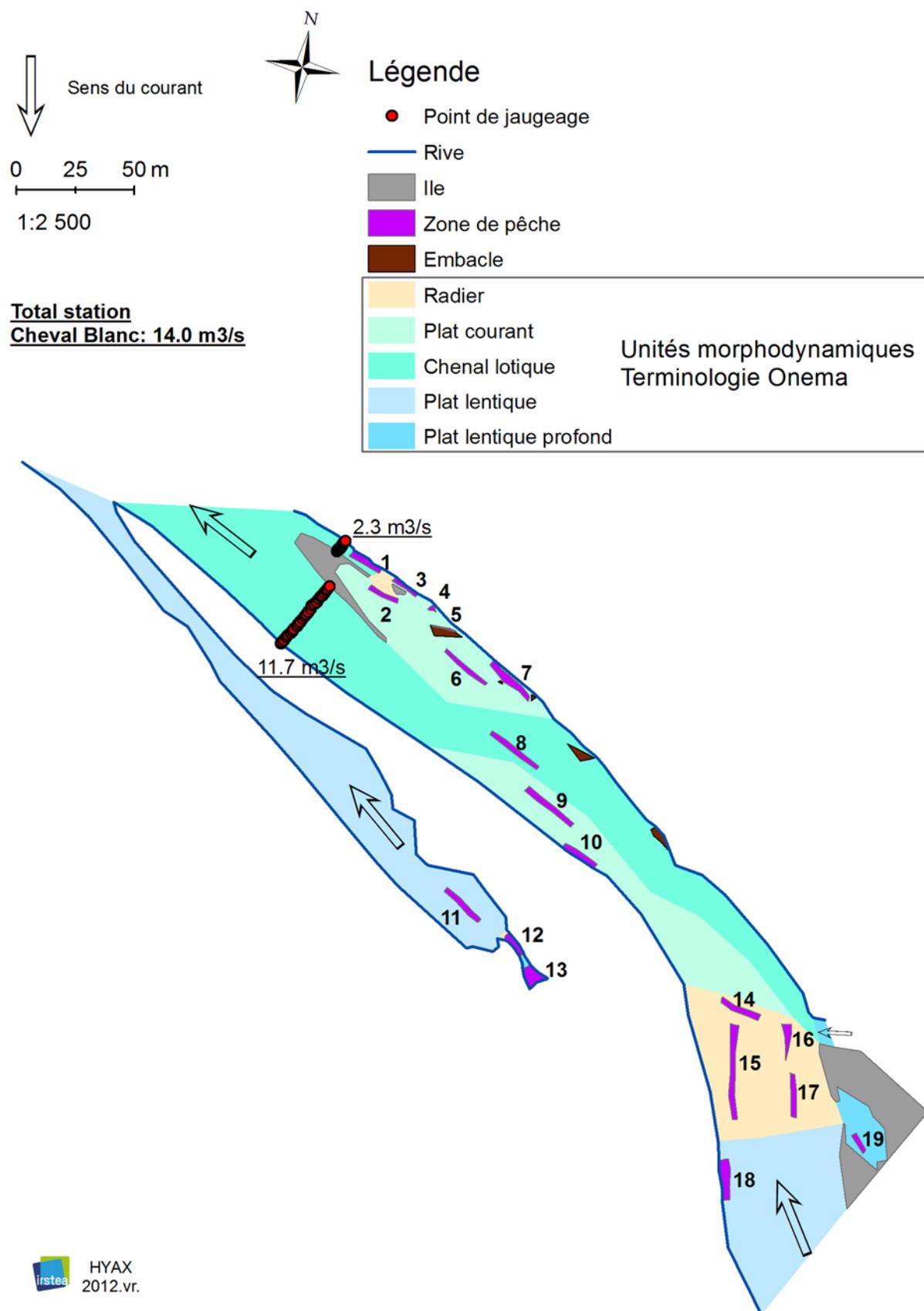


Figure 2 - Vue en plan de la station "Cheval Blanc". Localisation des ambiances de pêche et des deux sections de jaugeage.

Cette quantification de la richesse morpho-hydraulique par le calcul des pourcentages en volume 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 et pour l'ensemble des ambiances réalisées dans chaque station (Figure 3). Ces calculs sont effectués à l'aide de la version 2.8.17 du logiciel «HydroSignature» téléchargeable sur le site Web Cemagref/Irstea.

Le Tableau 2 précise les caractéristiques morpho-hydrauliques générales des ambiances de pêches des campagnes 2004 à 2012.

Tableau 2 - Caractéristiques morpho-hydrauliques des ambiances de pêches.

	Pont de Cadenet								
Année	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Débit (m ³ /s)	9.1	9.2	8.8	8.6	10	9.6	9.6	12.0	9.7
Nombre d'ambiances	14	18	19	19	16	16	17	17	18
Surface totale [m ²]	668	487	502	450	553	624	704	715	820
Volume total [m ³]	276	209	194	193	238	261	333	322	348
Hauteur moyenne [m]	0.41	0.43	0.39	0.43	0.43	0.42	0.47	0.45	0.42
Vitesse moyenne [m/s]	0.69	0.67	0.66	0.65	0.5	0.51	0.51	0.57	0.38
Froude moyen []	0.33	0.31	0.32	0.3	0.24	0.25	0.23	0.26	0.17
Hauteur maximale [m]	1.35	1.06	1	0.91	1.3	1.33	1.8	1.1	1.76
Vitesse maximale [m/s]	1.26	1.27	1.49	1.36	1.98	1.55	1.88	1.94	1.43
	Cheval Blanc								
Année	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Débit (m ³ /s)	11.1	14.1	12.6	15.4	13	10.1	9.82	14.0	14.0
Nombre d'ambiances	16	15	16	15	16	14	17	14	19
Surface totale [m ²]	1183	646	655	572	517	542	814	736	772
Volume total [m ³]	415	255	282	243	191	200	362	352	270
Hauteur moyenne [m]	0.35	0.39	0.43	0.43	0.37	0.37	0.44	0.48	0.35
Vitesse moyenne [m/s]	0.41	0.48	0.46	0.57	0.61	0.48	0.42	0.58	0.54
Froude moyen []	0.21	0.24	0.22	0.26	0.31	0.23	0.3	0.24	0.27
Hauteur maximale [m]	1.75	1.35	1.5	1.17	1.48	1.36	1.55	1.15	0.97
Vitesse maximale [m/s]	1.28	1.23	1.18	1.55	2.07	1.89	1.44	1.70	1.77

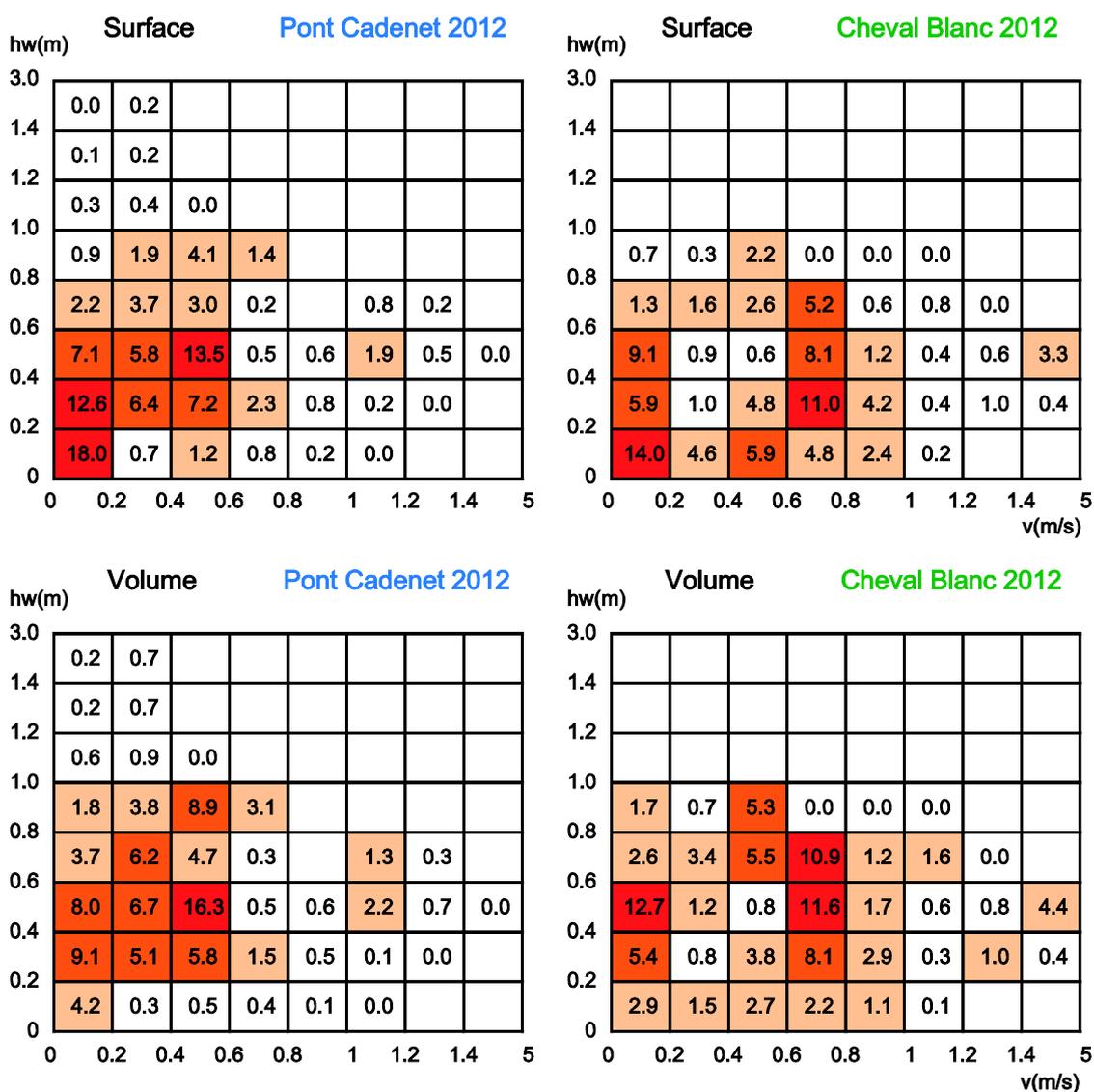


Figure 3 - Hydrosignatures en surface et volume des pêches de Pont de Cadenet et Cheval Blanc de 2012.

Le Tableau 3 est le résultat d'une comparaison matricielle des hydrosignatures générales des ambiances de pêches des années 2004 à 2012. 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 utilisées et des coefficients de comparaison utilisés, nous estimons que 2 hydrosignatures sont proches hydrauliquement pour des valeurs inférieures à 20.

Tableau 3 - Comparaison des Hydrosignatures en surface et en volume des ambiances de Pont de Cadenet (CA) et de Cheval Blanc (CB) obtenues de 2004 à 2012.

*****Surface*****																		
	CA04	CA05	CA06	CA07	CA08	CA09	CA10	CA11	CA12	CB04	CB05	CB06	CB07	CB08	CB09	CB10	CB11	CB12
CA04	0	15	21	25	41	40	42	33	42	42	23	24	30	30	36	40	34	31
CA05	15	0	17	17	39	42	44	30	42	42	25	24	31	28	30	32	35	27
CA06	21	17	0	14	36	41	45	31	40	35	26	21	30	22	28	27	35	24
CA07	25	17	14	0	34	39	43	27	39	36	27	22	30	22	27	24	32	24
CA08	41	39	36	34	0	18	19	23	25	21	29	27	18	27	19	27	23	23
CA09	40	42	41	39	18	0	22	21	35	28	30	32	25	28	28	35	31	32
CA10	42	44	45	43	19	22	0	27	26	31	33	32	21	35	26	31	19	30
CA11	33	30	31	27	23	21	27	0	35	32	26	24	22	21	24	30	27	24
CA12	42	42	40	39	25	35	26	35	0	29	32	29	23	39	23	24	21	27
CB04	42	42	35	36	21	28	31	32	29	0	28	32	26	26	23	32	31	28
CB05	23	25	26	27	29	30	33	26	32	28	0	17	20	25	26	34	26	21
CB06	24	24	21	22	27	32	32	24	29	32	17	0	19	23	23	25	25	18
CB07	30	31	30	30	18	25	21	22	23	26	20	19	0	26	17	28	14	17
CB08	30	28	22	22	27	28	35	21	39	26	25	23	26	0	23	26	31	19
CB09	36	30	28	27	19	28	26	24	23	23	26	23	17	23	0	19	19	12
CB10	40	32	27	24	27	35	31	30	24	32	34	25	28	26	19	0	29	23
CB11	34	35	35	32	23	31	19	27	21	31	26	25	14	31	19	29	0	21
CB12	31	27	24	24	23	32	30	24	27	28	21	18	17	19	12	23	21	0
*****Volume*****																		
	CA04	CA05	CA06	CA07	CA08	CA09	CA10	CA11	CA12	CB04	CB05	CB06	CB07	CB08	CB09	CB10	CB11	CB12
CA04	0	17	21	28	50	50	51	40	47	48	28	33	34	33	43	45	39	35
CA05	17	0	18	20	48	53	50	36	43	50	30	30	30	35	32	39	36	26
CA06	21	18	0	15	46	52	54	36	44	43	31	29	33	30	34	37	39	27
CA07	28	20	15	0	40	47	51	29	39	39	30	27	29	25	28	31	34	21
CA08	50	48	46	40	0	24	23	26	28	23	34	30	24	29	28	29	28	29
CA09	50	53	52	47	24	0	29	27	39	25	34	40	30	31	37	39	39	39
CA10	51	50	54	51	23	29	0	33	31	38	42	38	27	39	32	32	26	36
CA11	40	36	36	29	26	27	33	0	36	30	30	30	21	23	28	34	29	28
CA12	47	43	44	39	28	39	31	36	0	35	40	32	27	36	22	19	28	25
CB04	48	50	43	39	23	25	38	30	35	0	30	33	30	25	35	36	38	37
CB05	28	30	31	30	34	34	42	30	40	30	0	20	27	25	35	36	35	30
CB06	33	30	29	27	30	40	38	30	32	33	20	0	20	26	27	25	29	23
CB07	34	30	33	29	24	30	27	21	27	30	27	20	0	24	22	26	17	19
CB08	33	35	30	25	29	31	39	23	36	25	25	26	24	0	29	30	31	24
CB09	43	32	34	28	28	37	32	28	22	35	35	27	22	29	0	18	23	15
CB10	45	39	37	31	29	39	32	34	19	36	36	25	26	30	18	0	30	23
CB11	39	36	39	34	28	39	26	29	28	38	35	29	17	31	23	30	0	22
CB12	35	26	27	21	29	39	36	28	25	37	30	23	19	24	15	23	22	0

Suite à cette nouvelle campagne et selon les critères donnés ci-dessus, nous constatons pour la chronique en hydrosignatures surfaces :

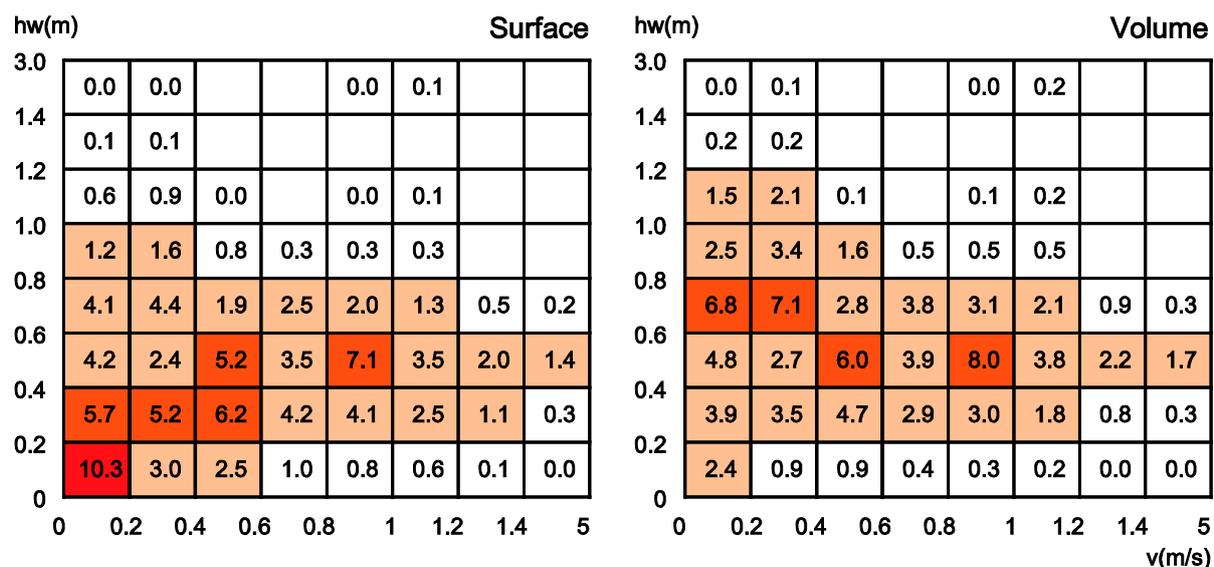
- que la station de Pont de Cadenet en 2012 n'a pas de proximité hydraulique avec d'autres stations déjà référencées,
- que la station de Cheval Blanc en 2012 présente une proximité hydraulique avec les campagnes de Cheval Blanc 2006, 2007, 2008 et 2009.

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 de la station elle-même. Compte-tenu du petit nombre d'ambiances échantillonnées et de notre expertise, les campagnes ne sont jamais représentatives hydrauliquement des stations. Les hydrosignatures des stations ressemblent vraisemblablement plus à celles des moyennes de la chronique (Figure 3), avec des gradients de valeurs plus lissés dans l'espace vitesse/profondeur.

Présentons maintenant les résultats globaux de la chronique. Pour une station donnée, deux hydrosignatures "moyennes" décrivant l'échantillonnage hydraulique sont calculables.

La première, nommée [moyenne des hydrosignatures moyennes], consiste, pour une station, à calculer pour chaque année une hydrosignature moyenne des ambiances, puis à faire la moyenne des résultats obtenus (Figure 4).

Cadenet - Moyenne des HS Moyennes 2004-2012



Cheval Blanc - Moyenne des HS Moyennes 2004-2012

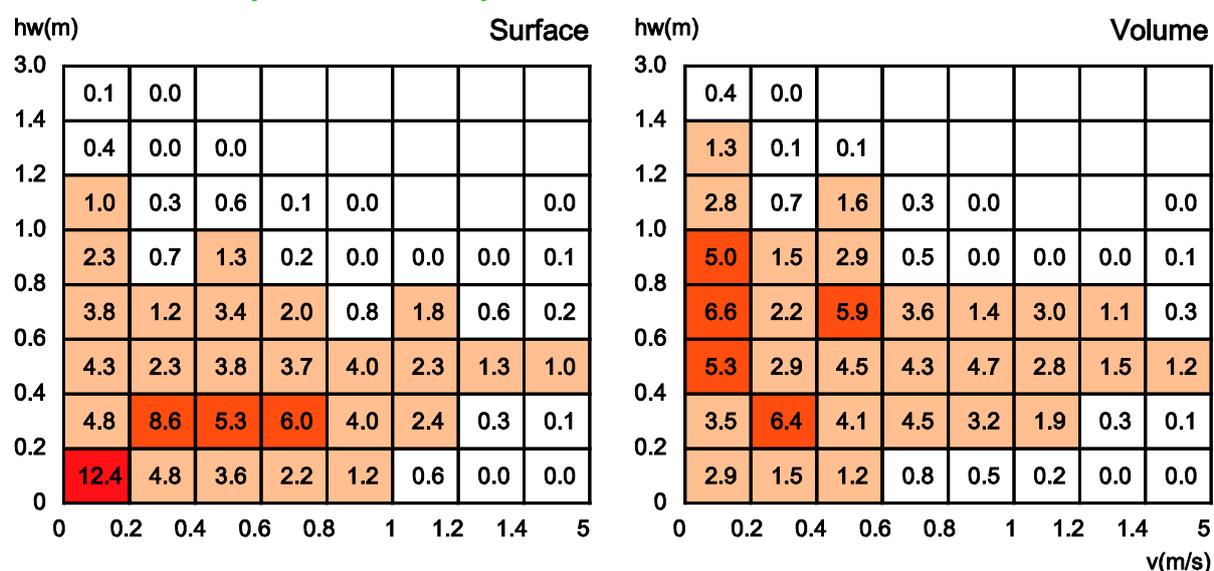
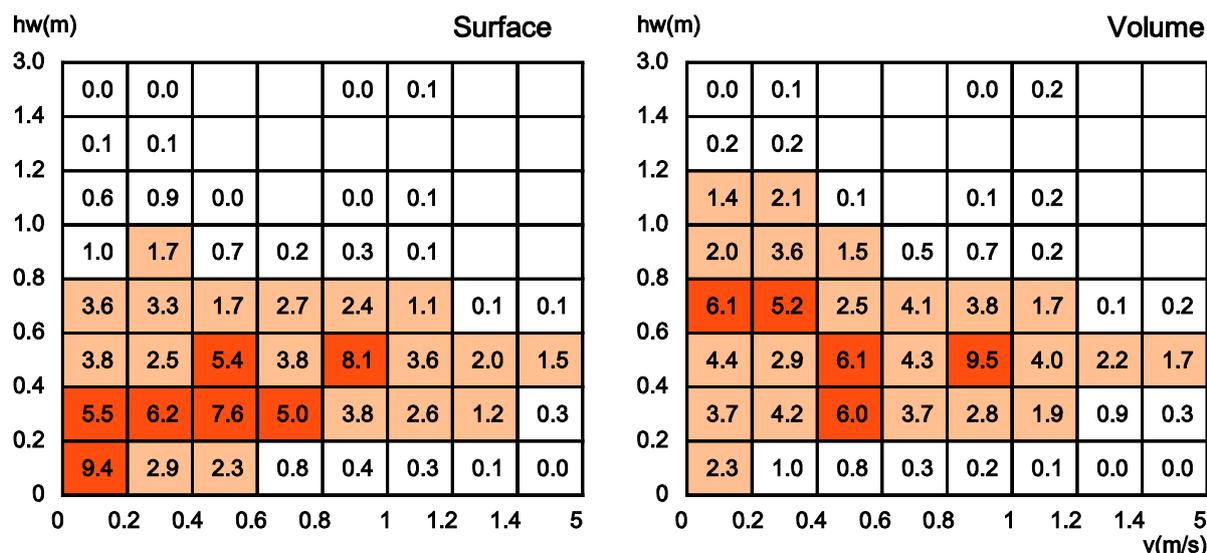


Figure 4 - Comparaison des stations, pour les campagnes 2004-2012 à partir de la moyenne des hydrosignatures moyennes - hydrosignatures en surfaces et en volumes.

La seconde, nommée [moyenne des hydrosignatures totales], consiste, pour une station, à calculer pour chaque année une hydrosignature totale en pondérant les ambiances par leur surface puis à faire la moyenne des résultats obtenus (Figure 5).

Cadenet - Moyenne des HS Totales 2004-2012



Cheval Blanc - Moyenne des HS Totale 2004-2012

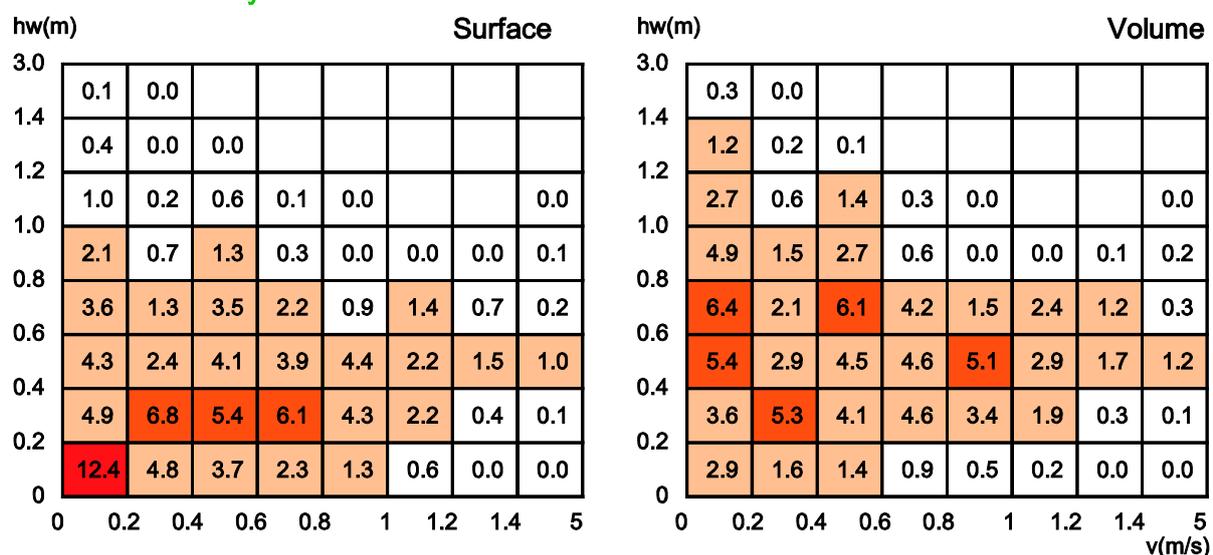


Figure 5 - Comparaison des stations à partir de la moyenne des hydrosignatures totales (pondérations des ambiances par leur surface pour chaque campagne) - hydrosignatures en surfaces et en volumes.

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

- 9.2 en surface et 8.5 en volume pour la [moyenne des hydrosignatures moyennes],
- 8.7 en surface et 8.2 en volume pour la [moyenne des hydrosignatures totales].

L'hydraulique moyenne des ambiances de pêches par station étant très variable, les comparaisons directes des campagnes d'échantillonnages piscicoles s'avèrent difficiles.

Cependant à l'échelle de la chronique, l'échantillonnage hydraulique global des stations devient comparable. Les comparaisons piscicoles à cette échelle deviennent alors plus pertinentes en regard des habitats hydrauliques inventoriés.

I - 7. 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 cet "espace" conditionne celle de l'occupant éventuel. Leur nombre accroît le "volume total habitable". Cette notion est appréhendée par les courbes de préférendum (substrat) établies pour l'évaluation des potentialités piscicoles d'un cours d'eau à truites.

Il est également important que le substrat ait des interstices. Leur colmatage entraîne une diminution des effectifs et de la survie des individus. Le substrat est le support des autres ressources biologiques du milieu aquatique (végétales et animales), indispensables pour l'alimentation du poisson. Il est également utilisé pour la fraie des espèces lithophiles, comprenant les Salmonidés et de nombreux Cyprinidés rhéophiles.

Il importe donc de trouver des descripteurs pertinents de cette composante complexe du milieu aquatique, souvent sous-évaluée en regard de variables plus facilement quantifiables (hauteur d'eau, vitesse). Parmi les descripteurs du substrat, une mesure de la hauteur des éléments rugueux au dessus du fond, la hauteur de rugosité (roughness heigth dans la terminologie anglo-saxonne), constitue une variable d'acquisition simple et rapide, 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, elle constitue une variable d'acquisition simple et très instructive quant aux abris hydrauliques offerts par les éléments granulométriques, en particulier lorsque les autres types d'abris (ligneux, sous-berge, etc, ...) manquent, voire en tant que variable analytique complémentaire dans les études hydro-géomorphologiques et granulométriques d'un cours d'eau.

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 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.

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 Figure 6 permet de visualiser les éléments de base pour la quantification de cette variable et la mesure de variables granulométriques complémentaires.

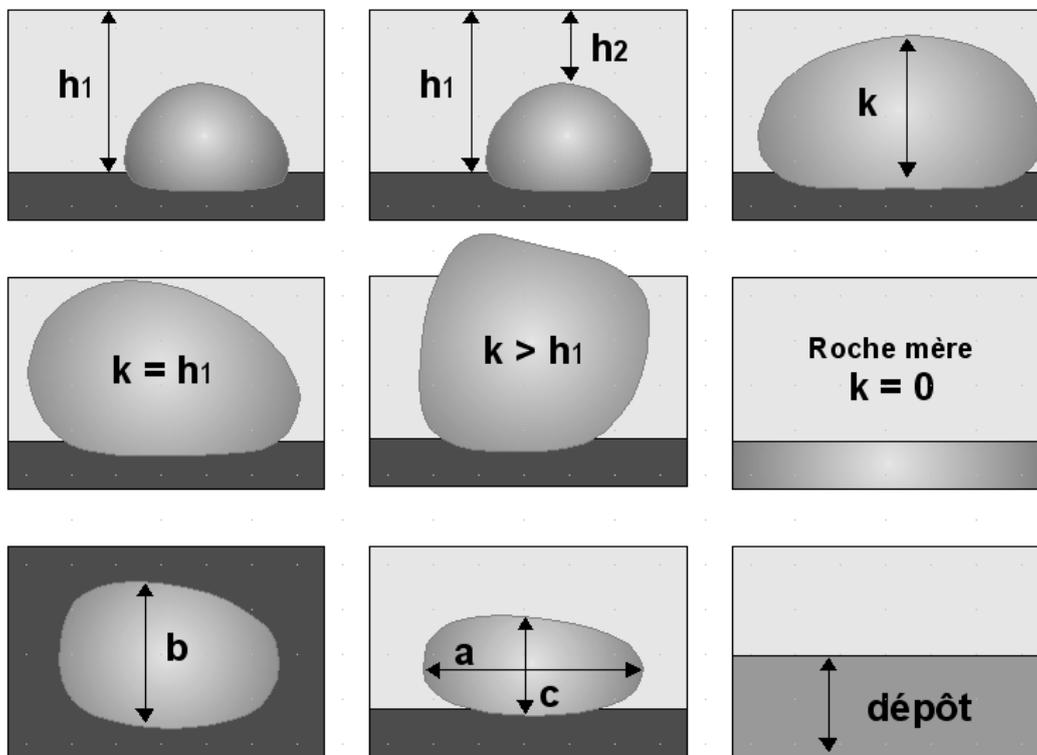


Figure 6 - Représentation schématique des diverses mesures réalisées pour l'évaluation de la hauteur de rugosité (k) et des mesures caractéristiques du substrat. La profondeur maximale autour de l'élément granulométrique choisi permet par différence avec la hauteur d'eau relevée au-dessus de l'élément d'obtenir la valeur de k . La deuxième ligne représente les situations particulières dans lesquelles, soit la hauteur de rugosité égale la profondeur, soit la hauteur de l'élément dépasse la surface de l'eau et entraîne une valeur de k supérieure à la profondeur maximale, soit la taille du substrat nécessite l'adoption de valeurs arbitraires. C'est le cas de la roche mère ou d'une dalle dont les dimensions dépassent celles de l'ambiance ($k = 0$), de substrats fins comme les limons ($k = 0.001$ cm), les sables ($k = 0.1$ cm), et de tous les éléments granulométriques susceptibles de générer des valeurs comprises entre 0.1 et 1 cm comme les graviers ($k = 0.5$ cm).

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

D'une manière générale, les plus fortes hauteurs de rugosité (k) sont relevées à Cheval Blanc car des ambiances sont réalisées dans des protections de berges par des enrochements. La présence des blocs explique des valeurs anormalement élevées, comprises entre 100 et 195 cm sur cette station, alors qu'elles sont très rares au Pont de Cadenet. Par conséquent, 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 d'origine "naturelle" (Tableau 5).

Une composante sédimentaire importante sur le bassin versant de la Durance est constituée par les limons. A Cheval Blanc, entre 4 et 7% des hauteurs de rugosité échantillonnées correspondent à des limons contre 1 à 2% à Cadenet (Tableau 4). Les recouvrements en surface par le limon sont en fait beaucoup plus importants, mais non pris en compte par la simple mesure de rugosité lorsque l'élément granulométrique n'est pas enfoui. Des descriptions du substrat 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 4 - Répartition des principales catégories sédimentaires dans les deux stations pour les périodes 2004-2007 et 2008-2012.

de 2004 à 2007	Limons	Sables	Graviers	Galets	Nbre
Cadenet	8	5	32	865	910
	0.9%	0.6%	3.5%	95.1	%
Cheval Blanc	54	42	3	677	776
	7.0%	5.4%	0.4%	87.2	%
Total	62	47	35	1542	1686
	3.7%	2.8%	2.1%	91.5	%

de 2008 à 2012	Limons	Sables	Graviers	Galets	Nbre
Cadenet	14	29	102	818	963
	1.5%	3.0%	10.6%	84.9%	%
Cheval Blanc	46	18	74	800	938
	4.9%	1.9%	7.9%	85.3%	%
Total	60	47	176	1618	1901
	3.2%	2.5%	9.3%	85.1%	%

A la suite des crues de 2008, et du maintien d'événements hydrologiques importants au cours des années suivantes, la part des « graviers » a augmenté dans les deux stations aux dépens des galets (Tableau 4).

L'analyse sommaire de ces résultats montre des changements dans l'agencement du substrat des stations consécutifs aux épisodes de crues susceptibles de remodeler le lit de la Durance (Figure 7, Tableau 4, Tableau 5).

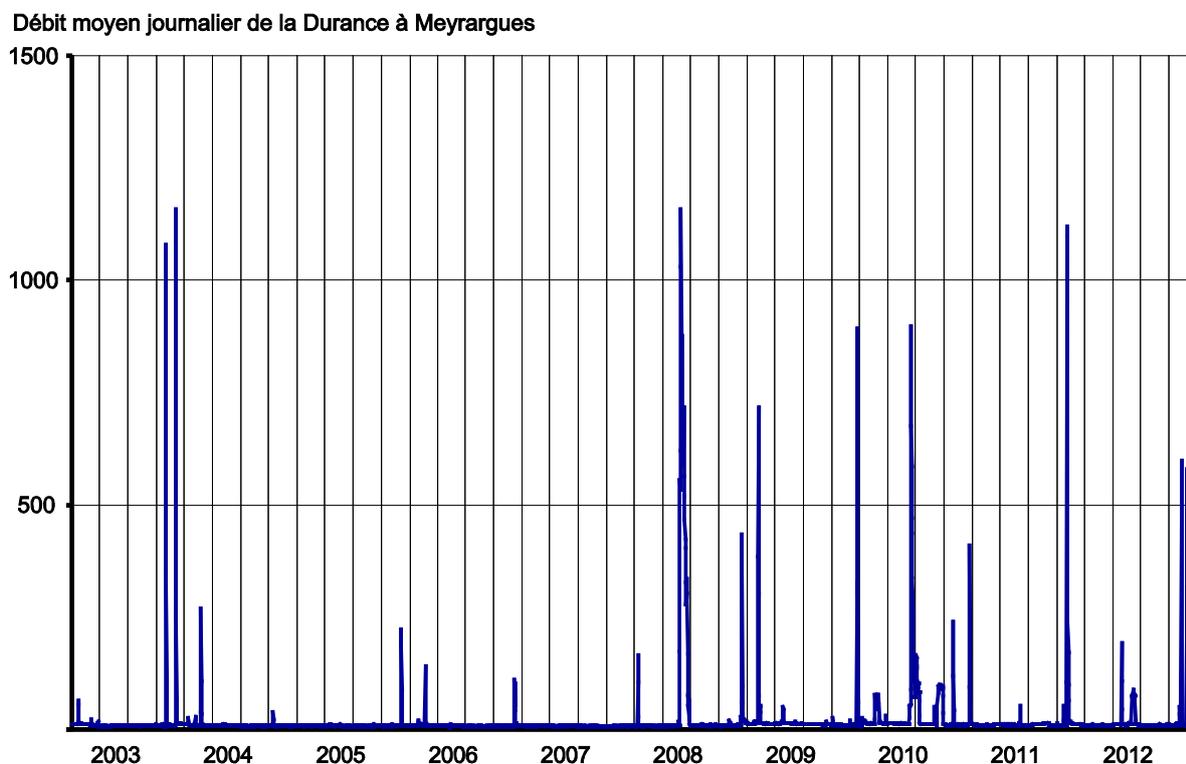


Figure 7 - Débits moyens journaliers de la Durance à Meyrargues. Données Banque HYDRO.

Les hauteurs de rugosité plus faibles mesurées sur Pont de Cadenet en 2009 sont liées à la prospection d'un nouveau bras mis en eau postérieurement aux événements hydrologiques de 2008, dont la taille a progressivement augmenté au cours du temps (cf. Figure 1).

Après élimination des valeurs supérieures à 25.6 cm, la représentation en boîtes à moustaches (Figure 8) des hauteurs de rugosité montre que la hauteur de rugosité est (1) significativement plus élevée à Cadenet, à l'exception de 2009 et 2011 ; (2) elle a diminué après les crues dans les deux stations, étant même non significativement différente entre les deux stations pour cette seconde période (2009 à 2011).

La répartition en densité de l'ensemble des mesures, en excluant les limons ($k < 0.001$) et les rochers ($k > 25.6$ cm), montre que la proportion des valeurs proches de la médiane (3 à 6 cm) est moins élevée à Cadenet mais que l'abondance d'éléments plus grossiers permet d'avoir une hauteur de rugosité globalement plus importante sur cette station. Le substrat est globalement plus hétérogène à Cadenet.

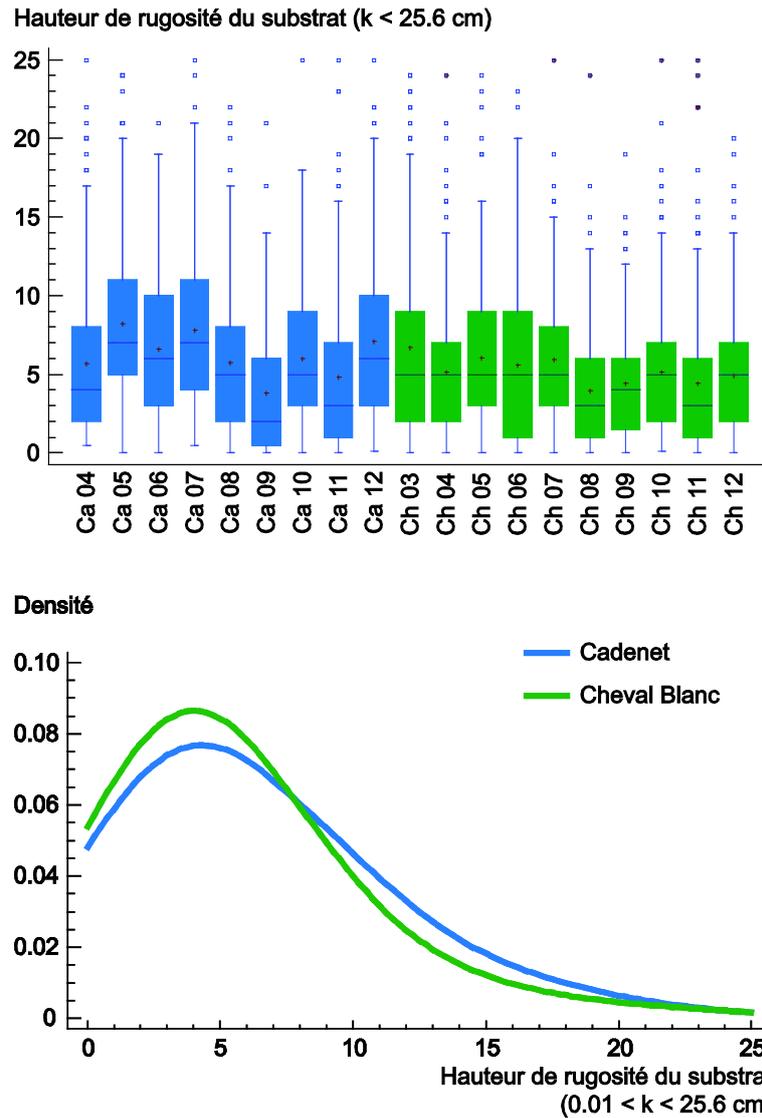


Figure 8 - Répartition par année des hauteurs de rugosité (k , en cm) du substrat dans les stations de Pont de Cadenet et de Cheval Blanc. Les paramètres sont calculés après exclusion des valeurs supérieures à 25.6 cm afin d'éliminer les hauteurs de rugosité associées à des enrochements de rives.

Tableau 5 - Statistiques des hauteurs de rugosité mesurées dans les ambiances des deux stations. Dans la deuxième partie du tableau, les variables sont calculées après exclusion des valeurs de k supérieures à 25.6 cm correspondant majoritairement à des enrochements de berges.

Station	Année	N	Moy	S	Min	Q 25%	Q 50%	Q 75%	Max
Cadenet	2004	288	6.40	6.41	0.5	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	0.5	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	0.1	3	6	10	220
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	0.1	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
Totalité		4083	8.92	16.14	0.001	2	5	9	220
Cadenet	2004	281	5.71	4.65	0.5	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	0.5	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	0.1	3	6	10	25
Cheval Blanc	2003	267	6.70	5.69	0.001	2	5	9	24
	2004	287	5.15	4.14	0.001	2	5	7	24
	2005	170	6.06	5.02	0.001	3	5	9	24
	2006	150	5.61	5.48	0.001	1	5	9	23
	2007	169	5.93	4.44	0.001	3	5	8	25
	2008	198	3.99	3.48	0.001	1	3	6	24
	2009	147	4.40	3.53	0.001	1.5	4	6	19
	2010	201	5.12	4.29	0.1	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
Totalité		3854	5.75	4.79	0.001	2	5	8	25

Partie II - 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 du 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 particulier de la Durance. L'échantillon est accompagné de relevés de paramètres physiques (profondeurs, vitesses, 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 surfaces 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 n'excèdent guère 1,5 mètre.

II - 1. Caractéristiques générales des peuplements

Les résultats des pêches de 2012 sont donnés dans les tableaux des annexes 3 et 4. Ils sont analysés en regard des données obtenues au cours des années précédentes (2003 à 2011). Les tableaux des annexes 5 et 6 synthétisent les observations interannuelles effectuées sur ces deux stations.

D'un point de vue global, pour les dix années et le linéaire de la basse Durance concerné par cette étude, le peuplement compte 8 familles et 28 espèces. Il est caractérisé par une prédominance de 5 cyprinidés : le spirilin *Alburnoides bipunctatus*, le chevaine *Squalius cephalus*, le barbeau *Barbus barbus*, le vairon *Phoxinus phoxinus* et le goujon *Gobio gobio*, et d'un balitoridé : la loche franche *Barbatula barbatula*.

Une espèce apparue sur la Durance en 1994, la loche épineuse *Cobitis bilineata*, a compté parmi les espèces abondantes sur ce linéaire mais ses effectifs ont notablement baissé au cours des dernières années.

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*.

En regard de la chronique considérée (2003-2012), des espèces inféodées aux eaux lentes sont de plus en plus souvent capturées. Ce sont des espèces introduites de plus ou moins longue date : loche épineuse *Cobitis bilineata*, carassin argenté *Carassius gibelio*, pseudorasbora *Pseudorasbora parva*, perche soleil *Lepomis gibbosus*, grémille *Gymnocephalus cernuus*, sandre *Sander lucioperca*, carpe commune *Cyprinus carpio*, bouvière *Rhodeus amarus* et un cortège d'espèces autochtones : perche commune *Perca fluviatilis*, gardon *Rutilus rutilus*, brème bordelière *Blicca bjoerkna*, tanche *Tinca tinca* et rotengle *Scardinius erythrophthalmus*, en provenance des nombreux plans d'eau qui longent la rivière.

Nous signalerons également la capture de la vandoise *Leuciscus leuciscus* mais la présence de cette espèce sur l'axe durancien reste à confirmer.

Bien qu'en 2012, les captures globales au Pont de Cadenet aient baissé comparativement à l'année précédente, les effectifs de la fraction adulte sont en hausse. Les effectifs restent faibles à Cheval Blanc, même s'ils tendent à remonter depuis 2010 (Figure 9).

Le vairon reste abondant au Pont de Cadenet, une espèce peu représentée sur ce secteur, notamment avant 2008. L'espèce était plus abondante à Cheval Blanc où ses effectifs ont globalement baissé ces quatre dernières années.

L'anguille, espèce migratrice susceptible de recoloniser l'axe durancien, n'a été capturée qu'à Cheval Blanc, à raison de quatre individus.

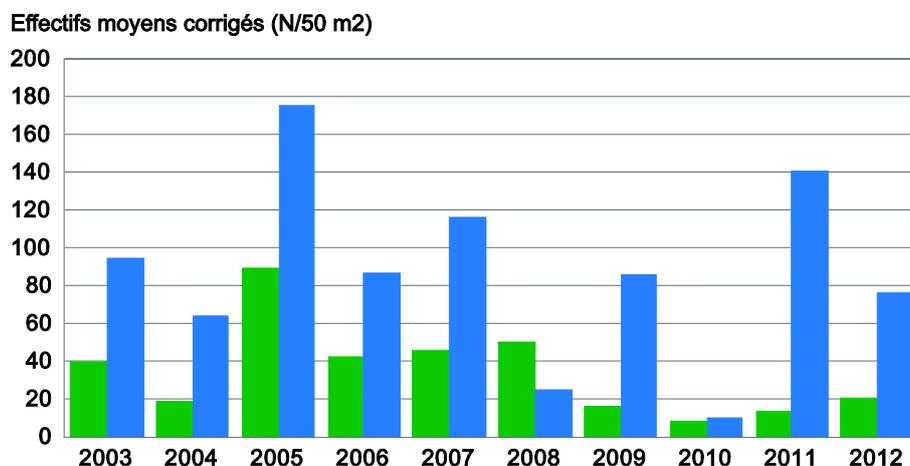


Figure 9 - Évolution temporelle des effectifs totaux moyens (n/50 m²) dans les stations de Pont de Cadenet (bleu) et de Cheval Blanc (vert).

II - 2. Suivi inter-annuel

Les deux stations montrent de notables différences inter-annuelles. Une analyse générale des 10 années est faite avec séparation des espèces principales en entités taxonomiques définies selon leur taille. Les 5 premières classes de taille sont définies par tranches de 30 mm de 0 à 150 mm ; les suivantes (150-300 mm, 300-450 mm, 450-600 mm et LT>600 mm) permettent de regrouper des individus adultes nettement moins nombreux dans les échantillons.

Cette séparation de plusieurs espèces par classes de taille conduit à un total de 92 taxons échantillonnés dans les 325 ambiances réalisées dans les deux stations. Afin de permettre des comparaisons entre ambiances et années, les effectifs sont corrigés à partir des surfaces des ambiances. Pour des questions de lisibilité dans les tableaux, la correction est faite pour une surface de 50 m².

Le suivi temporel de la richesse taxonomique (Figure 10) montre un progressif appauvrissement au cours du temps, notamment sur le secteur de Cheval Blanc. Les diminutions marquées de la richesse taxonomique et des effectifs observées à Pont de Cadenet sont consécutives à des crues souvent à l'origine d'une restructuration hydromorphologique du chenal. Par contre, la situation est restée inchangée sur Cheval Blanc, site où la richesse taxonomique et les effectifs apparaissent globalement en baisse au cours de ces dernières années.

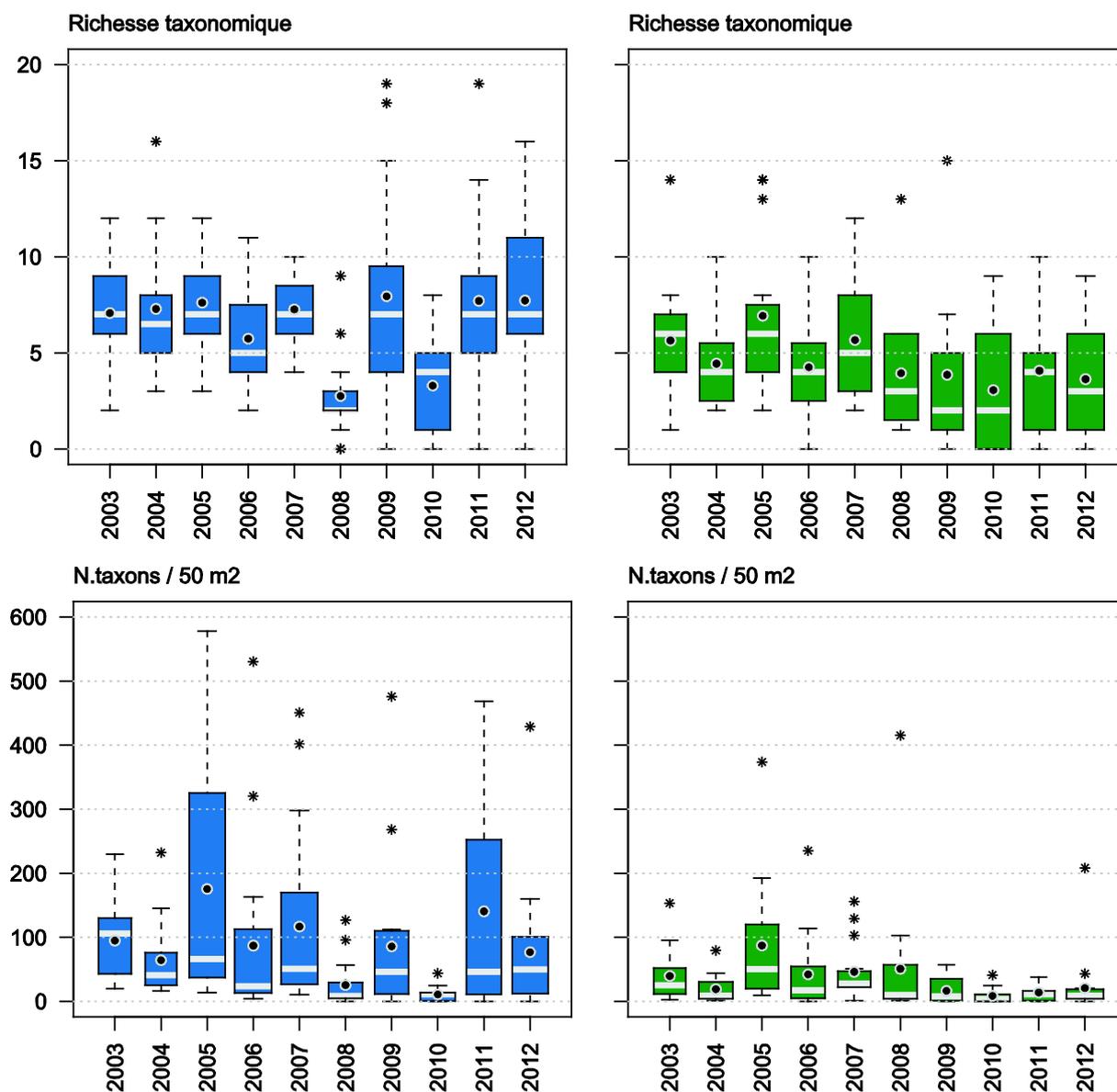


Figure 10 - Évolution interannuelle de la richesse taxonomique et des effectifs corrigés à Pont de Cadenet (en bleu) et Cheval Blanc (en vert). La richesse taxonomique maximale (ensemble des deux stations) est de 93 taxons.

Le tableau général (325 ambiances échantillonnées sur 10 années et 2 stations x 92 taxons) a été traité par une Analyse en Composantes Principales Normée après transformation logarithmique des effectifs corrigés [$\ln(n/50 \text{ m}^2 + 1)$]. Les taxons définis pour une espèce sont pondérés en fonction de l'occurrence globale de l'espèce sur l'ensemble des relevés (nombre de présences/325 relevés). Les résultats présentés concernent les analyses inter-années/stations permettant de mettre en exergue les différences existantes entre les stations au cours du temps. Ces analyses sont réalisées avec le logiciel ADE4 (THIOULOUSE et al., 1997, CHESSEL et al., 2004).

La distinction sectorielle est maximisée par l'analyse inter-annuelle (Figure 11). Le premier axe factoriel oppose franchement les deux stations : valeurs positives pour Pont de Cadenet, et valeurs négatives de Cheval Blanc ; avec deux exceptions : les années 2008 et 2010 au Pont de Cadenet. La station du Pont de Cadenet est caractérisé par une nette dominance du barbeau. Le chevaîne et le spirilin sont également plus abondants dans cette

station. Cheval Blanc se singularise par la présence de l'anguille et de trois petites espèces : vairon, loche franche et loche épineuse au cours des premières années (2003 à 2006).

Le deuxième axe isole l'année 2003 au Pont de Cadenet en raison de l'abondance des taxons suivants : goujons (1 & 2), barbeaux (2), spirilins (2) et loches épineuses (2).

Le troisième axe met en exergue les données 2005, année pour laquelle les effectifs et les richesses taxonomiques sont les plus élevés dans les deux stations. La proximité faunistique des deux stations est alors associée à une dominance commune de la loche franche (2 & 3). Le gradient décroissant marqué entre 2005 et 2012 sur la station de Cheval Blanc est associé à la baisse progressive des captures du vairon, de la loche franche et de la loche épineuse, et des anguilles. Cette dernière espèce est particulièrement associée à des blocs présents dans les ambiances de pêche. De 2003 à 2007, avant le bouleversement du chenal par les crues, quelques ambiances favorables ont été échantillonnées systématiquement. Leur absence dans les campagnes suivantes explique vraisemblablement la modicité des captures à Cheval Blanc d'une espèce par ailleurs peu abondante dans ce secteur.

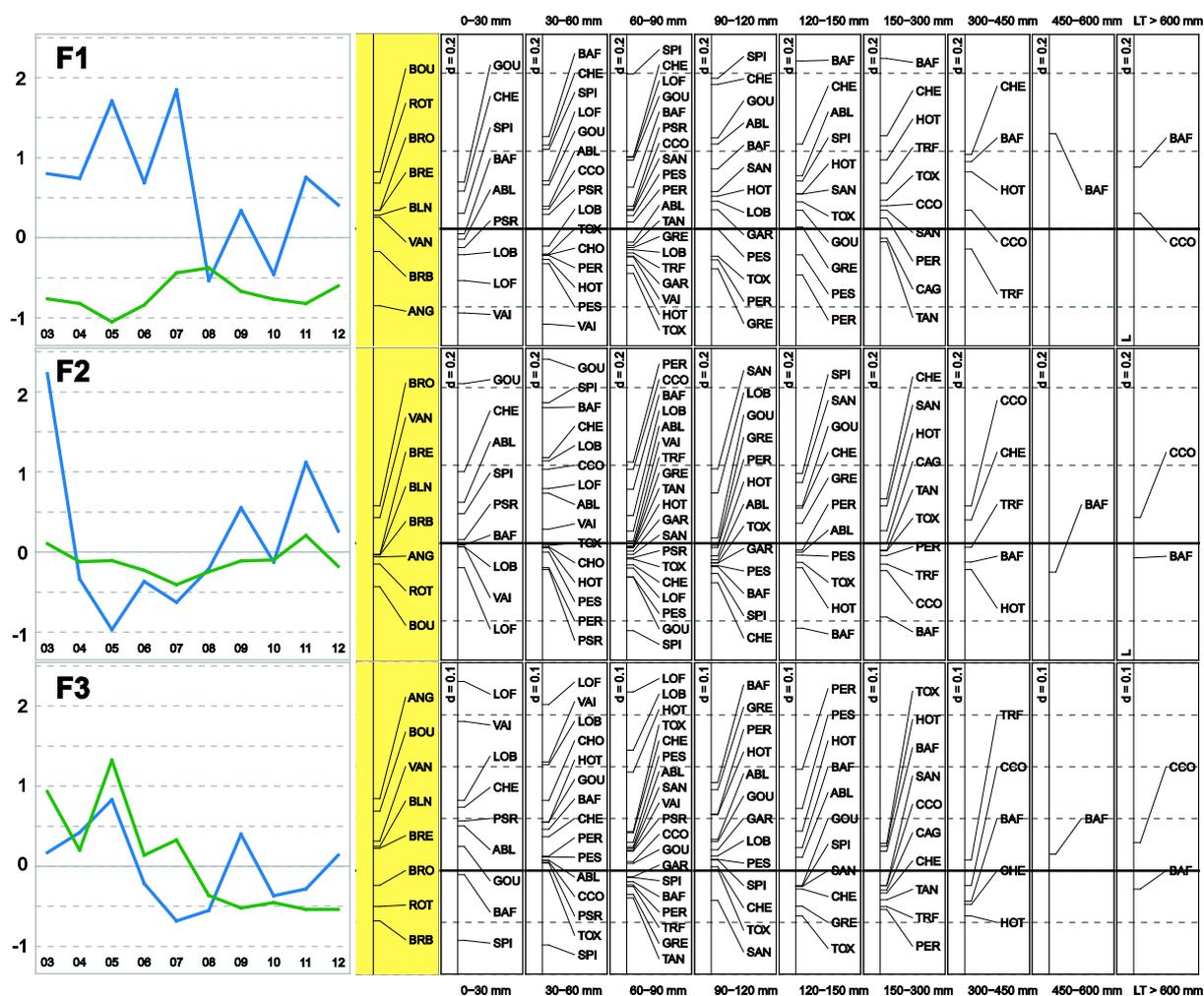


Figure 11 - Analyse en Composantes Principales Normée inter-années/stations. Coordonnées factorielles des stations/années sur les axes 1 à 3 (à gauche). Cheval Blanc (tracé vert) et Pont de Cadenet (tracé bleu). En parallèle, les coordonnées des taxons sur les axes 1 à 3. En jaune, les espèces rares non découpées en classes de taille.

De 2003 à 2007, la station de Pont de Cadenet est caractérisée par la prédominance de grands barbeaux, de spirilins, de chevaines, par l'absence de l'anguille et de la grémille. Globalement, elle abrite plus d'espèces inféodées à des habitats lotiques. En 2008, une quasi-disparition du barbeau a été enregistrée, à l'exception de jeunes de l'année (baf1, taille < 30 mm), vraisemblablement nés après l'épisode de crue. Par ailleurs, les effectifs de la plupart des autres espèces ont diminué. Ce déficit de captures en 2008 auquel s'ajoute la présence de quatre espèces lénitophiles expliquent la position singulière de Pont de Cadenet en 2008 et une relative proximité avec les résultats obtenus à Cheval Blanc. Les changements consécutifs à l'épisode hydro-géomorphologique printanier de 2008 expliquent ces résultats. En 2009, la station de Pont de Cadenet reprend des caractéristiques faunistiques antérieures à 2008. La baisse des effectifs de vairons déjà observée en 2008 sur Cheval Blanc se poursuit après 2009. Les effectifs de cette espèce, initialement peu représentée à Pont de Cadenet, ont augmenté sensiblement à partir de 2009. Les ambiances où domine cette espèce se situent dans le nouveau chenal créé en rive gauche par les crues de 2008 (Figure 1). La situation piscicole observée en 2010 est relativement similaire pour les deux stations, marquée par une grande pauvreté. La station de Cheval Blanc reste dans cette tendance au cours des années suivantes tandis que la situation s'améliore, au moins en termes de richesse taxonomique à Pont de Cadenet.

II - 3. Comparaisons inter-stationnelles

La comparaison des stations 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 inter-annuelle du positionnement des ambiances

Tableau 6 - Effectifs et nombre d'ambiances par années et par stations. 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.

Année	I				II				III			
	Effectifs		Ambiances		Effectifs		Ambiances		Effectifs		Ambiances	
	CA	CB	CA	CB	CA	CB	CA	CB	CA	CB	CA	CB
2003		154		10		51		10		46		8
2004	254	176	6	7	241	32	6	7	241	32	6	7
2005	628	441	12	8	496	115	12	8	496	87	12	6
2006	326	317	16	11	208	72	16	11	208	43	16	9
2007	283	209	11	7	281	174	11	7	281	174	11	7
2008	153	133	13	10	54	62	13	10	52	18	11	5
2009	494	97	12	10	184	62	12	10	59	35	6	9
2010	107	75	15	12	55	22	15	12	37	14	10	9
2011	1069	77	11	6	137	22	11	6	124	10	10	6
2012	641	146	11	16	287	68	11	16	126	49	5	12

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 les jeunes individus et petites espèces dont les effectifs sont souvent élevés et très variables (LT < 60 mm, Tableau 6).

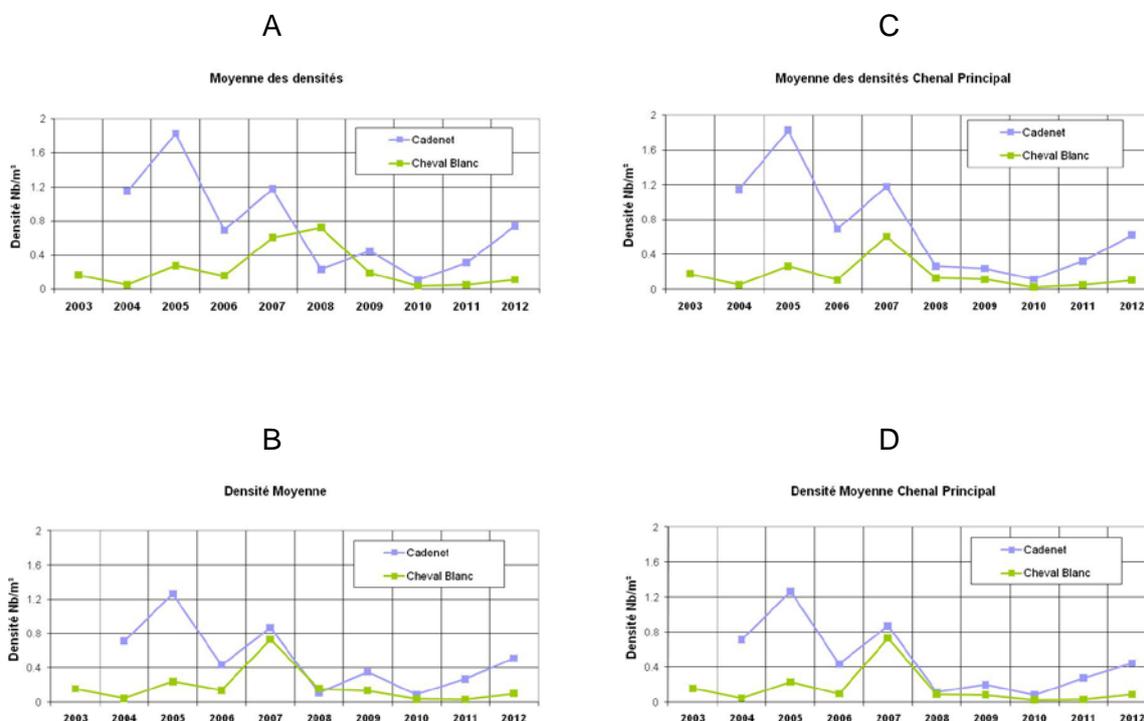


Figure 12 - Évolution des moyennes des densités et des densités moyennes des poissons (n/m²) dans les ambiances sans abris, tous chenaux A & B, chenal principal C & D. Seuls les individus d'une taille supérieure à 60 mm sont pris en compte.

La Figure 12 présente la chronique des résultats des densités en surface dans les ambiances hors abris, pour les poissons d'une longueur totale de plus de 60 mm, tous chenaux confondus (A & B) et chenal principal seul (C & D). Elle 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 l'hydraulique correspondante pour ces ambiances hors abris comptant au moins un individu de LT>60mm.

Les hydrosignatures moyennes des échantillonnages des stations apparaissent comparables avec des HSCsurface de : A=11.6, B=12.9, C=8.3 et D=9.5. 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 du délestage, présente des densités moyennes de poissons (LT > 60 mm) toujours supérieures, à l'exception des épisodes post-crués de 2008 et 2010. Nous constatons avec l'augmentation

des densités moyennes que le système se rétablit après ces crues; et ceci principalement sur Cadenet avec un effet moindre sur Cheval Blanc, l'écart entre les deux stations étant en augmentation sensible.

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.

II - 4. Effets des conditions abiotiques sur la croissance des poissons

Les modifications brutales du débit de la Durance associées à la surverse de Mallemort, de la température et de la turbidité des eaux constituent 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 13) par ces apports (Roy, 2010, 2012; Zanker, 2010 ;). Au vu des surverses quasi-continues du printemps en 2012, 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.

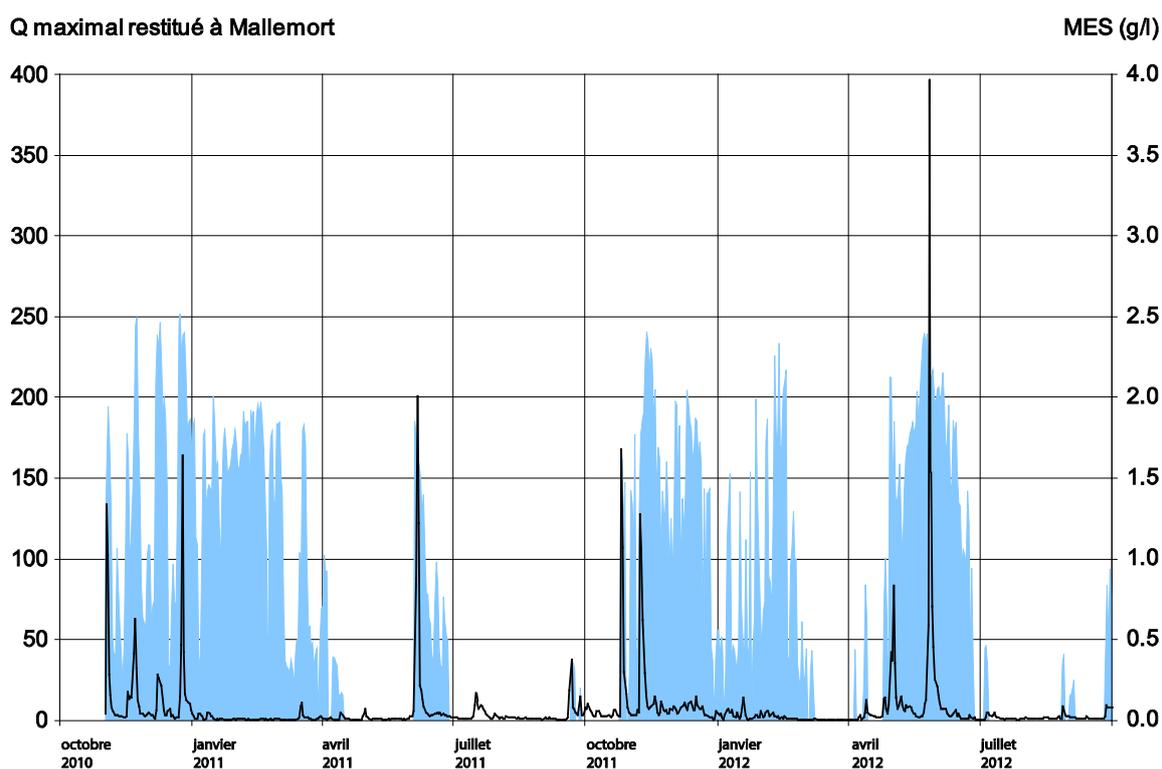


Figure 13 - Débits maximaux journaliers (bleu) restitués à Mallemort et teneurs en matières en suspension (noir). Données SMAVD.

La faiblesse des effectifs de poissons à Cheval Blanc a déjà été soulignée précédemment. Il est également possible de s'intéresser à la croissance des espèces dominantes sur les deux sites, en supposant d'avoir des effectifs suffisants dans les deux stations pour réaliser cette comparaison. Cet aspect a été déjà présenté dans les rapports précédents. En 2011, une comparaison avaient été faites sur les cohortes isolées au sein des

distributions globales de taille du barbeau ($80 \leq LT < 150$ mm), chevaie ($70 \leq LT < 150$ 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 a minima passé deux saisons chaudes (croissance) et deux hivers.

La comparaison des moyennes avaient montré que les tailles de trois espèces sur 4 (Test de rang de Kruskal-Wallis, spirilin, chevaie 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).

Bien que les effectifs respectifs des espèces dominantes dans les deux stations soient relativement faibles en 2012, les tailles au même âge apparaissent contrastées selon les stations. La différence de taille reste perceptible, bien identifiable chez le spirilin.

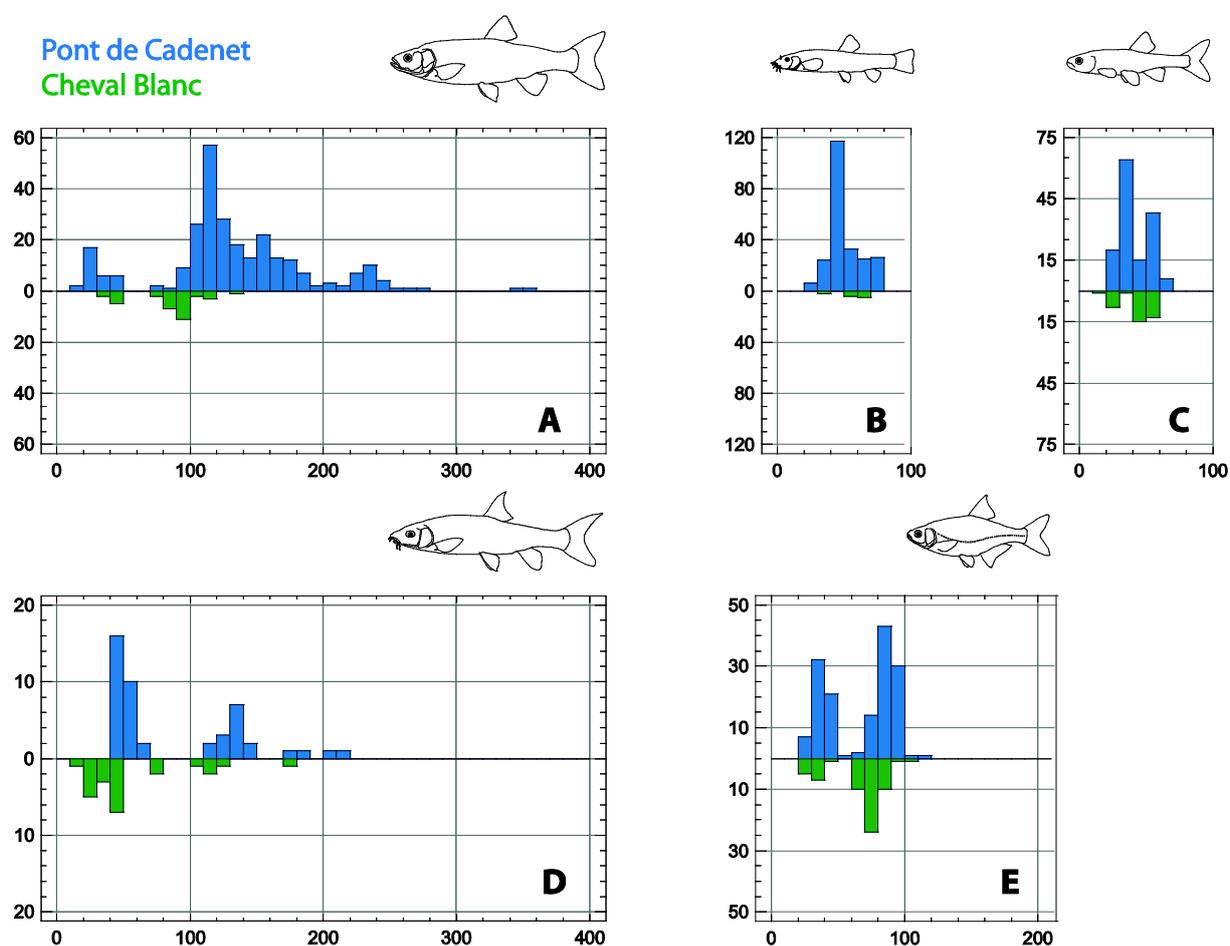


Figure 14 - Distributions des tailles de quatre cyprinidés : chevaie (A), barbeau (D), spirilin (E) et vairon (C), et de la loche franche (B) dans les deux station en 2012.

Plusieurs explications avaient été avancées. La ponte des espèces concernées peut être plus tardive sur la station de Cheval Blanc, plus froide. La gestion hydraulique et le délimonage, 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.

Partie III - Utilisation du modèle habitats/poissons 5M7

L'une des méthodes d'exploitation des résultats collectés au travers de l'échantillonnage piscicole par ambiances consiste à mettre en œuvre le modèle habitats/poissons 5M7. Précisons que ce modèle a été créé à l'origine pour analyser précisément 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 qui ont été répertoriées précédemment (I-6).

Le développement du modèle 5M7 se poursuit, des calculs de coefficients de préférences plus affinés sont en cours, mais certains modules ne sont toujours pas opérationnels à l'heure où nous rédigeons ce rapport. Depuis 2010, nous n'avons plus effectué les calculs de taux de saturation à l'exemple de la période précédente. Jusqu'à présent, ces valeurs avaient été calculées sur la base de modèles établis à partir de nos travaux réalisés en Moyenne Durance. Or, nous avons constaté des différences notables entre les relations Longueur Totale / Vitesse moyenne d'écoulement entre les jeux d'ambiances hors abris dont nous disposons en Moyenne et en Basse Durance.

Ainsi, à 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 +10 cm/s à +27 cm/s et des profondeurs moyennes plus profondes de +5 cm à +8 cm pour la loche et le chevaine. Ce changement d'habitat hydraulique est constaté pour une guilda constituée des 5 espèces précédentes avec une différence de vitesses moyennes de +20 cm/s, mais aussi une profondeur plus importante pour la Basse Durance de l'ordre de 3 cm. 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 0.42 m, vitesse 0.63 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 des cours d'eau différents : l'Ain, l'Ardèche, la Durance et le Rhône. L'explication des processus expliquant ces différences de comportement est pour l'heure inconnue. Nous avons déposé au sein d'Irstea des projets

pour travailler sur ces questions de recherche, qui nous paraissent essentielles pour améliorer la performances des modèles d'habitats/poissons.

Les jeux de préférences calculés en 2000 sur la Moyenne Durance nous apparaissent désormais inadéquats pour être appliqués aux données de la Basse Durance. Nous nous efforcerons de calculer en 2013 des préférences spécifiques à la Basse Durance à l'aide des ambiances du suivi, puis d'analyser les taux de saturation résultants de la chronique.

Sites Webs

<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/>

Références citées

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

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

LE COARER, Y. 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.

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.

Rapports 2003 à 2010

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.

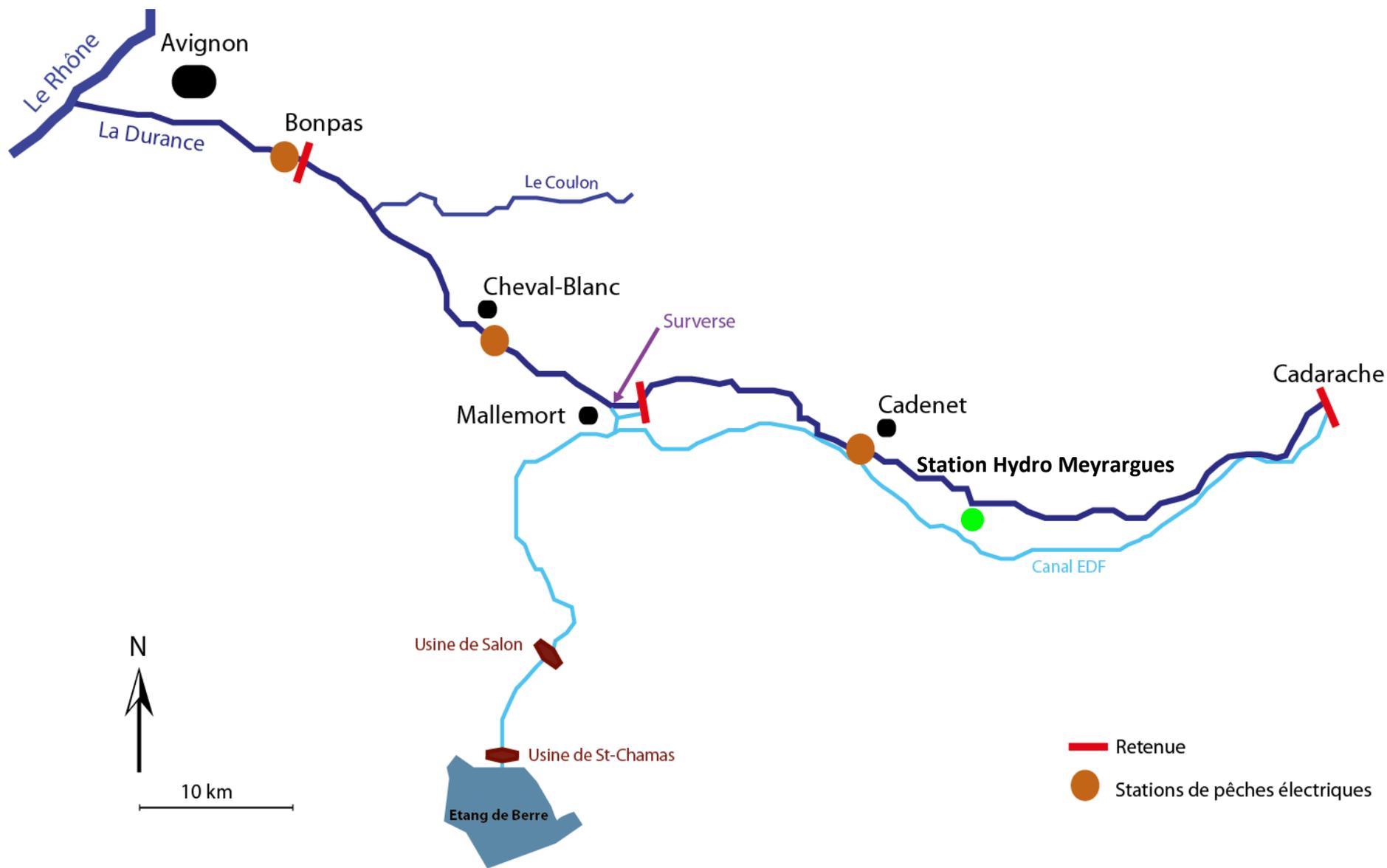
LE COARER, Y., CARREL, G. & BOYER, J. (2010): Analyses piscicoles de la Durance dans les secteurs de Cheval Blanc et de Pont de Cadenet. Campagne 2010. Cemagref, U.R. Hydrobiologie, Aix-en-Provence, 34 p.

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.

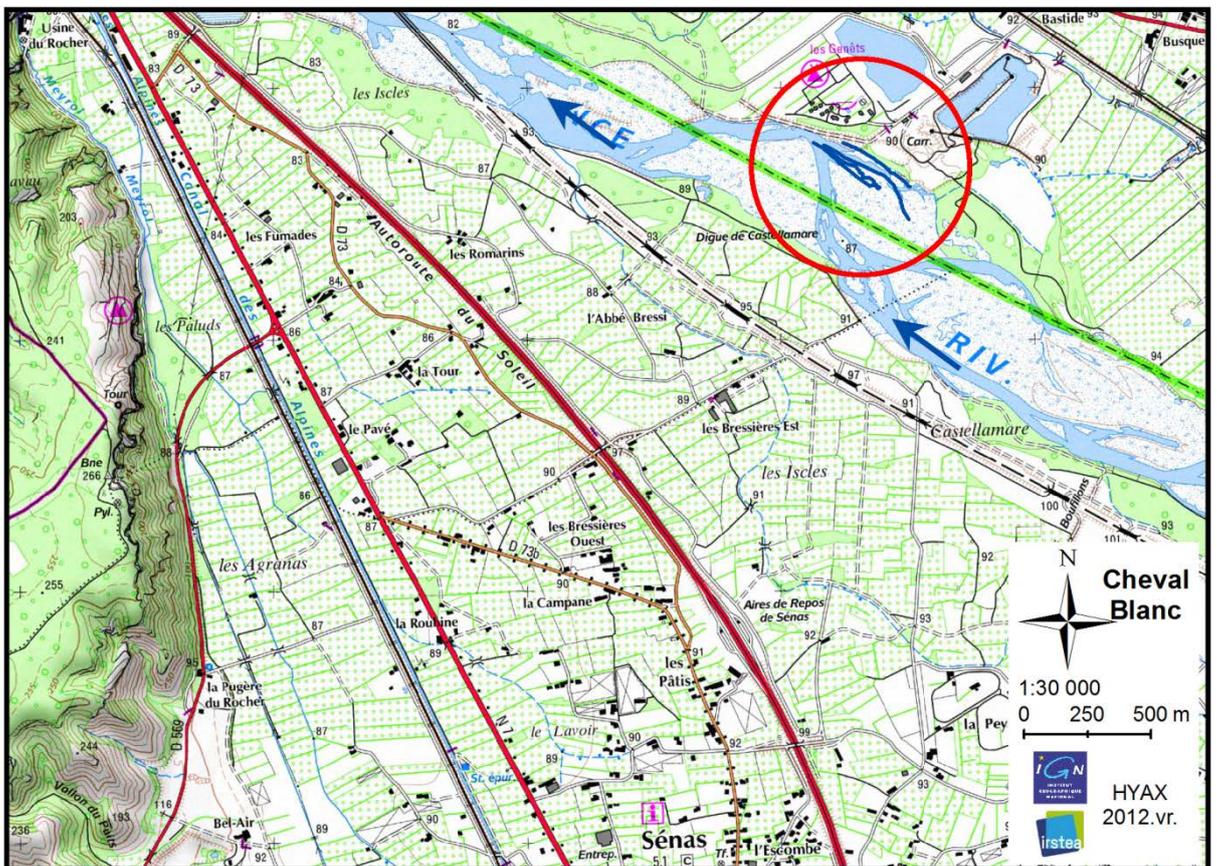
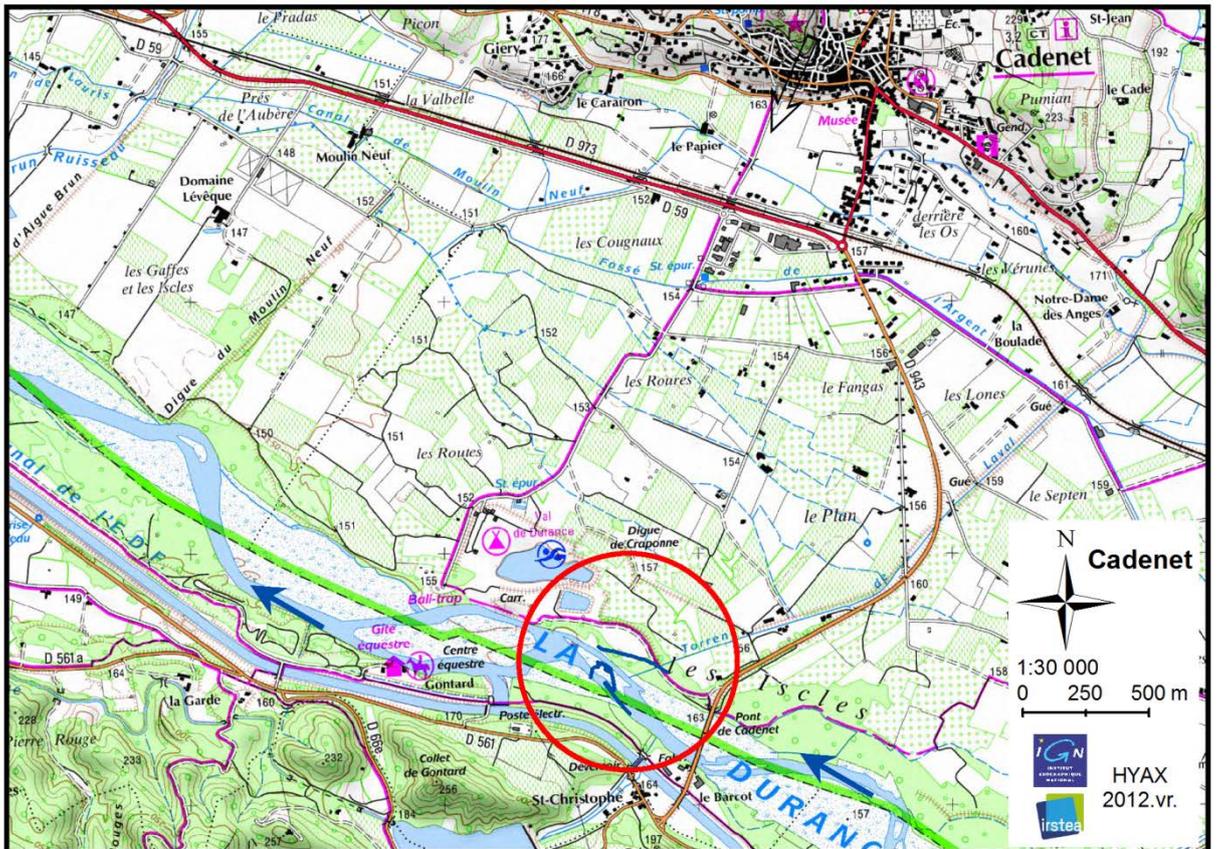
ANNEXES

Annexe 1 - Plan de situation des stations de Bonpas, Cheval Blanc et Pont de Cadenet.....	31
Annexe 2 - Plans de situation des stations de Pont de Cadenet et de Cheval Blanc.....	32
Annexe 3 - Résultats des pêches électriques effectuées sur la station du pont de Cadenet.....	33
Annexe 4 - Résultats des pêches électriques effectuées sur la station de Cheval Blanc.....	34
Annexe 5 - Effectifs corrigés (N/50 m ²) moyens par année des espèces capturées sur les stations de Cadenet et Cheval Blanc.	35
Annexe 6 - Abondances relatives moyennes par année des espèces capturées sur les stations de Cadenet et Cheval Blanc.....	36
Annexe 7 - Comparaison des stations pour les campagnes 2004-2012 de la moyenne des hydrosignatures moyennes (A & C) et de la moyenne des hydrosignatures totales (pondérations des ambiances par leur surface pour chaque campagne) par 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).....	37

Annexe 1 - Plan de situation des stations de 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 du pont de Cadenet.

Pont de Cadenet - 11 juillet 2012

Effectifs bruts		Ambiance	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	N	Occur.
		Surface (m2)	85.0	86.9	61.3	67.1	38.1	37.7	35.2	22.0	23.8	33.1	45.9	32.7	56.6	28.1	20.8	35.6	20.8	89.9		
Balitoridae	<i>Barbatula barbatula</i>	Loche franche			1	42	4		1			3	24	8	27	15	3	4	97	2	231	13
Cobitidae	<i>Cobitis bilineata</i>	Loche épineuse				9							1	1			2				13	4
Cyprinidae	<i>Squalius cephalus</i>	Chevaïne	16	2		17	97		78			12	3	22	14	3		5	3		272	12
	<i>Alburnoides bipunctatus</i>	Spirilin	7	17	2		6		6		34	5			4			40	28	3	152	11
	<i>Phoxinus phoxinus</i>	Vairon											24	16	3	64	10	2	24		143	7
	<i>Barbus barbus</i>	Barbeau fluviatile	4	2		1		1			4			2	2	2		4	26	1	47	10
	<i>Gobio gobio</i>	Goujon	6			1		2	1				2		6	5	1				24	8
	<i>Alburnus alburnus</i>	Ablette								1								8			9	2
	<i>Sander lucioperca</i>	Sandre	2					1													3	2
	<i>Parachondrostoma toxostoma</i>	Toxostome									1										2	2
	<i>Chondrostoma nasus</i>	Hotu	1																		1	1
	<i>Cyprinus carpio</i>	Carpe commune									1										1	1
Percidae	<i>Pseudorasbora parva</i>	Pseudorasbora															1				1	1
	<i>Gymnocephalus cernuus</i>	Grémille	1																		1	1
Salmonidae	<i>Salmo trutta</i>	Truite commune															1				1	1
Total			37	21	3	68	109		89	2	48	12	54	47	56	90	17	63	178	7	901	
Richesse spécifique			7	3	2	3	5		6	2	4	3	5	4	6	6	5	6	5	4	15	

Pont de Cadenet - 11 juillet 2012

Effectifs corrigés (n/50 m2)		Ambiance	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	N	Occur.
		Surface (m2)	85.0	86.9	61.3	67.1	38.1	37.7	35.2	22.0	23.8	33.1	45.9	32.7	56.6	28.1	20.8	35.6	20.8	89.9		
Balitoridae	<i>Barbatula barbatula</i>	Loche franche			0.8	31.3	5.3		1.4			4.5	26.2	12.2	23.8	26.7	7.2	5.6	233.7	1.1	380	13
Cobitidae	<i>Cobitis bilineata</i>	Loche épineuse				6.7							1.1	1.5			4.8				14	4
Cyprinidae	<i>Squalius cephalus</i>	Chevaïne	9.4	1.2		12.7	127.3		110.9			25.2	3.3	33.6	12.4	5.3		7.0	7.2		355	12
	<i>Alburnoides bipunctatus</i>	Spirilin	4.1	9.8	1.6		7.9		8.5		71.3	7.6			3.5			56.2	67.5	1.7	240	11
	<i>Phoxinus phoxinus</i>	Vairon											26.2	24.4	2.6	114.0	24.1	2.8	57.8		252	7
	<i>Barbus barbus</i>	Barbeau fluviatile	2.4	1.2		1.3		1.4			6.0			1.8	3.6			5.6	62.7	0.6	86	10
	<i>Gobio gobio</i>	Goujon	3.5			1.3		2.8	2.3				2.2		5.3	8.9	2.4				29	8
	<i>Alburnus alburnus</i>	Ablette								2.3								11.2			14	2
	<i>Sander lucioperca</i>	Sandre	1.2					1.4													3	2
	<i>Parachondrostoma toxostoma</i>	Toxostome									2.1									0.6	3	2
	<i>Chondrostoma nasus</i>	Hotu	0.6																		1	1
	<i>Cyprinus carpio</i>	Carpe commune									2.1										2	1
Percidae	<i>Pseudorasbora parva</i>	Pseudorasbora															2.4				2	1
	<i>Gymnocephalus cernuus</i>	Grémille	0.6																		1	1
Salmonidae	<i>Salmo trutta</i>	Truite commune															1.8				2	1
Total			21.8	12.1	2.4	50.6	143.1		126.6	4.5	100.7	18.1	58.8	71.8	49.4	160.3	41.0	88.5	428.9	3.9	1383	
Richesse spécifique			7	3	2	3	5		6	2	4	3	5	4	6	6	5	6	5	4	15	

Pont de Cadenet - 11 juillet 2012

Abondances relatives		Ambiance	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	N%	Occur.
		Surface (m2)	85.0	86.9	61.3	67.1	38.1	37.7	35.2	22.0	23.8	33.1	45.9	32.7	56.6	28.1	20.8	35.6	20.8	89.9		
Balitoridae	<i>Barbatula barbatula</i>	Loche franche			33.33	61.76	3.67		1.12			25.00	44.44	17.02	48.21	16.67	17.65	6.35	54.49	28.57	27.48	13
Cobitidae	<i>Cobitis bilineata</i>	Loche épineuse				13.24							1.85	2.13			11.76				1.02	4
Cyprinidae	<i>Squalius cephalus</i>	Chevaïne	43.24	9.52		25.00	88.99		87.64		25.00		5.56	46.81	25.00	3.33		7.94	1.69		25.71	12
	<i>Alburnoides bipunctatus</i>	Spirilin	18.92	80.95	66.67		5.50		6.74		70.83	41.67			7.14			63.49	15.73	42.86	17.34	11
	<i>Phoxinus phoxinus</i>	Vairon											44.44	34.04	5.36	71.11	58.82	3.17	13.48		18.22	7
	<i>Barbus barbus</i>	Barbeau fluviatile	10.81	9.52		0.92		1.12			33.33			3.57	2.22			6.35	14.61	14.29	6.25	10
	<i>Gobio gobio</i>	Goujon	16.22			0.92		2.25	50.00				3.70		10.71	5.56	5.88				2.08	8
	<i>Alburnus alburnus</i>	Ablette								50.00								12.70			0.98	2
	<i>Sander lucioperca</i>	Sandre	5.41					1.12													0.19	2
	<i>Parachondrostoma toxostoma</i>	Toxostome									2.08									14.29	0.19	2
	<i>Chondrostoma nasus</i>	Hotu	2.70																		0.04	1
	<i>Cyprinus carpio</i>	Carpe commune									2.08										0.15	1
Percidae	<i>Pseudorasbora parva</i>	Pseudorasbora															5.88				0.17	1
	<i>Gymnocephalus cernuus</i>	Grémille	2.70																		0.04	1
Salmonidae	<i>Salmo trutta</i>	Truite commune															1.11				0.13	1
Richesse spécifique			7	3	2	3	5		6	2	4	3	5	4	6	6	5	6	5	4	15	

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

Cheval Blanc - 12 juillet 2012

Effectifs bruts		Ambiance	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	N Occur.		
Surface (m2)		39.7	24.5	20.2	5.2	6.2	39.4	61.2	52.2	57.6	41.5	46.6	28.9	51.5	44.9	99.6	33.3	41.0	67.6	19.0				
Anguillidae	<i>Anguilla anguilla</i>	Anguille					4															4	1	
Balitoridae	<i>Barbatula barbatula</i>	Loche franche						2						1		1	4				3	11	5	
Cyprinidae	<i>Alburnoides bipunctatus</i>	Spirilin	2	9	2		12	10	5					2		3	5	8			1	59	11	
	<i>Phoxinus phoxinus</i>	Vairon						2				1		6	6	4	1	1			17	38	8	
	<i>Squalius cephalus</i>	Chevaline	1				9		3				4	8	7							1	33	7
	<i>Barbus barbus</i>	Barbeau fluviatile						1	4			3		8							5	23	6	
	<i>Parachanna toxostoma</i>	Toxostome					1		1						8					1		2	13	5
	<i>Gobio gobio</i>	Goujon																				1	1	1
Total			3	9	2		26	15	13			4	4	25	21	8	12	10			26	4	182	
Richesse spécifique			2	1	1		4	4	4			2	1	5	3	3	4	3			4	3	8	

Cheval Blanc - 12 juillet 2012

Effectifs corrigés (n/50 m2)		Ambiance	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	N Occur.	
Surface (m2)		39.7	24.5	20.2	5.2	6.2	39.4	61.2	52.2	57.6	41.5	46.6	28.9	51.5	44.9	99.6	33.3	41.0	67.6	19.0			
Anguillidae	<i>Anguilla anguilla</i>	Anguille					32.1															32	1
Balitoridae	<i>Barbatula barbatula</i>	Loche franche						2.5						1.7		1.1	2.0				2.2	10	5
Cyprinidae	<i>Alburnoides bipunctatus</i>	Spirilin	2.5	18.4	5.0		96.2	12.7	4.1					3.5		3.3	2.5	12.0			0.7	161	11
	<i>Phoxinus phoxinus</i>	Vairon						2.5				1.2		10.4	5.8	4.5	0.5	1.5			12.6	39	8
	<i>Squalius cephalus</i>	Chevaline	1.3				72.1		2.5				4.3	13.9	6.8						2.6	103	7
	<i>Barbus barbus</i>	Barbeau fluviatile						1.3	3.3			3.6		13.9			1.0				3.7	27	6
	<i>Parachanna toxostoma</i>	Toxostome					8.0		0.8						7.8			1.5			5.3	23	5
	<i>Gobio gobio</i>	Goujon																			2.6	3	1
Total			3.78	18.37	4.955		208.3	19.02	10.62			4.824	4.288	43.31	20.4	8.919	6.025	15.02			19.24	10.526	398
Richesse spécifique			2	1	1		4	4	4			2	1	5	3	3	4	3			4	3	8

Cheval Blanc - 12 juillet 2012

Abondances relatives		Ambiance	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	N Occur.	
Surface (m2)		39.7	24.5	20.2	5.2	6.2	39.4	61.2	52.2	57.6	41.5	46.6	28.9	51.5	44.9	99.6	33.3	41.0	67.6	19.0			
Anguillidae	<i>Anguilla anguilla</i>	Anguille					15.38															8.06	1
Balitoridae	<i>Barbatula barbatula</i>	Loche franche						13.33						4.00		12.50	33.33				11.54	2.42	5
Cyprinidae	<i>Alburnoides bipunctatus</i>	Spirilin	66.67	100.00	100.00		46.15	66.67	38.46					8.00		37.50	41.67	80.00			3.85	40.45	11
	<i>Phoxinus phoxinus</i>	Vairon						13.33				25.00		24.00	28.57	50.00	8.33	10.00			65.38	9.81	8
	<i>Squalius cephalus</i>	Chevaline	33.33				34.62		23.08				100.00	32.00	33.33						25.00	26.00	7
	<i>Barbus barbus</i>	Barbeau fluviatile						6.67	30.77			75.00		32.00			16.67				19.23	6.72	6
	<i>Parachanna toxostoma</i>	Toxostome					3.85		7.69						38.10			10.00			50.00	5.88	5
	<i>Gobio gobio</i>	Goujon																			25.00	0.66	1
Richesse spécifique			2	1	1		4	4	4			2	1	5	3	3	4	3			4	3	8

Annexe 5 - Effectifs corrigés (N/50 m²) moyens par année des espèces capturées sur les stations de Cadenet et Cheval Blanc.

				Cheval Blanc										Pont de Cadenet											
				2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	MOY	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	MOY
Anguillidae	<i>Anguilla anguilla</i>	Anguille	ANG	1.65	0.94	0.79	1.34	0.18	0.81			0.07	1.69	0.75									0.07	0.01	
Balitoridae	<i>Barbatula barbatula</i>	Loche franche	LOF	15.20	4.55	14.55	19.54	4.86	2.23	0.97	1.01	0.36	0.51	6.38	11.60	22.51	74.53	12.55	2.50	2.69	19.67	0.41	35.22	21.11	20.28
Centrarchidae	<i>Lepomis gibbosus</i>	Perche soleil	PES	0.17	0.40	0.21	0.14	1.01	0.20	0.11	0.05			0.23			0.64	0.61							0.12
Cobitidae	<i>Cobitis bilineata</i>	Loche épineuse (Durance)	LOB	0.31	0.74	7.43	2.19	1.81	0.12	0.13	0.08	0.51		1.33	4.18	0.35	0.45	0.82		0.09	2.15	0.09	0.35	0.79	0.93
Cyprinidae	<i>Alburnoides bipunctatus</i>	Spirilin	SPI	1.22	0.15	1.26	1.87	10.59	29.59	3.47	1.87	5.68	8.47	6.42	14.84	17.18	30.64	25.97	53.26	6.76	18.21	1.36	40.31	13.31	22.18
	<i>Squalius cephalus</i>	Chevaïne	CHE	6.61	5.27	9.56	4.31	7.47	4.68	7.06	1.53	0.55	5.44	5.25	33.13	10.83	38.48	31.07	35.21	6.55	26.72	2.41	23.78	19.75	22.79
	<i>Phoxinus phoxinus</i>	Vairon	VAI	8.75	3.95	37.21	9.21	15.51	9.62	2.16	2.20	4.90	2.05	9.55		0.10	1.32	0.20			8.12	1.06	24.93	14.00	4.97
	<i>Barbus barbus</i>	Barbeau fluviatile	BAF	4.38	2.07	0.38	0.29	1.83	3.10	0.25	0.95	1.39	1.41	1.60	14.41	7.38	25.18	13.09	18.10	3.53	7.11	4.47	12.29	4.80	11.04
	<i>Gobio gobio</i>	Goujon	GOU	0.68	0.23	6.42	1.38	0.21		0.18	0.31		0.14	0.96	12.44	2.15	1.72	1.99	5.35	3.31	1.85	1.02	1.70	1.60	3.31
	<i>Alburnus alburnus</i>	Ablette	ABL			1.00		1.59		0.16	0.04	0.35		0.31	0.89	1.50	0.66	0.84	0.56		1.40	0.05	0.48	0.75	0.71
	<i>Parachondrostoma toxostoma</i>	Toxostome	TOX			3.41	1.52	0.50	0.31	0.32			1.23	0.73		0.18	0.05		0.11		0.13				0.15
	<i>Chondrostoma nasus</i>	Hotu	HOT			4.91					0.11			0.50	0.33	0.55	0.43		0.68			0.05	0.03		0.21
	<i>Cyprinus carpio</i>	Carpe commune	CCO											0.09	1.07		0.11		0.06	0.36	0.21		0.13	0.12	0.21
	<i>Rutilus rutilus</i>	Gardon	GAR			0.26	0.46				0.16			0.09				0.47							0.05
	<i>Pseudorasbora parva</i>	Pseudorasbora	PSR	0.17						0.23	0.12			0.05			0.32						0.13		0.05
	<i>Rhodeus amarus</i>	Bouvière	BOU											0.00		0.95									0.10
	<i>Telestes souffia</i>	Blageon	BLN		0.04									0.00		0.78									0.08
	<i>Carassius gibelio</i>	Carassin argenté	CAG											0.00					0.70	0.10					0.08
	<i>Abramis brama</i>	Brème commune	BRE											0.00		0.78									0.08
	<i>Blicca bjoerkna</i>	Brème bordelière	BRB											0.00						0.48					0.05
	<i>Tinca tinca</i>	Tanche	TAN							0.11				0.01						0.23					0.02
	<i>Leuciscus leuciscus</i>	Vandoise	VAN											0.00							0.20				0.02
	<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	Rotengle	ROT											0.00				0.06							0.01
Esocidae	<i>Esox lucius</i>	Brochet	BRO											0.00									0.07		0.01
Percidae	<i>Perca fluviatilis</i>	Perche commune	PER		0.57	1.75		0.59	0.20	0.82	0.14			0.41	2.00				0.37	0.23			0.07		0.27
	<i>Gymnocephalus cernuus</i>	Grémille	GRE	0.51	0.06	0.43					0.08			0.11						0.48			0.14	0.03	0.07
	<i>Sander lucioperca</i>	Sandre	SAN											0.00		0.08							0.98	0.14	0.12
Salmonidae	<i>Salmo trutta</i>	Truite commune	TRF		0.04	0.05				0.35				0.04					0.06	0.04			0.10		0.02
Effectifs totaux moyens				39.64	19.03	89.62	42.27	46.13	50.84	16.43	8.53	13.81	20.93	34.72	94.89	64.37	175.48	87.14	116.78	25.46	85.88	10.86	140.59	76.81	87.83
Richesses spécifiques				11	13	16	11	12	10	15	13	8	8	19	10	13	14	9	13	13	12	8	15	15	28

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

				Cheval Blanc											Pont de Cadenet												
				2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	MOY	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	MOY		
Anguillidae	<i>Anguilla anguilla</i>	Anguille	ANG	4.15	4.92	0.89	3.17	0.38	1.60				0.51	8.06	2.37											0.05	0.01
Balitoridae	<i>Barbatula barbatula</i>	Loche franche	LOF	38.34	23.93	16.23	46.24	10.53	4.38	5.93	11.88	2.62	2.42	16.25	12.23	34.98	42.47	14.41	2.14	10.56	22.90	3.75	25.05	27.48	19.60		
Centrarchidae	<i>Lepomis gibbosus</i>	Perche soleil	PES	0.43	2.09	0.23	0.34	2.18	0.38	0.69	0.53			0.69			0.37	0.70								0.11	
Cobitidae	<i>Cobitis bilineata</i>	Loche épineuse (Durance)	LOB	0.78	3.90	8.29	5.19	3.92	0.24	0.80	0.93	3.68		2.77	4.40	0.54	0.26	0.94		0.34	2.51	0.81	0.25	1.02	1.11		
Cyprinidae	<i>Squalius cephalus</i>	Chevaïne	CHE	16.67	27.71	10.67	10.20	16.19	9.21	42.93	17.89	3.99	26.00	18.15	34.91	16.82	21.93	35.66	30.15	25.72	31.12	22.17	16.91	25.71	26.11		
	<i>Alburnoides bipunctatus</i>	Spirilin	SPI	3.07	0.80	1.41	4.43	22.95	58.19	21.15	21.90	41.17	40.45	21.55	15.64	26.70	17.46	29.80	45.61	26.56	21.20	12.49	28.67	17.34	24.15		
	<i>Barbus barbus</i>	Barbeau fluviatile	BAF	11.04	10.87	0.42	0.69	3.96	6.09	1.53	11.16	10.04	6.72	6.25	15.19	11.47	14.35	15.02	15.50	13.88	8.28	41.19	8.74	6.25	14.99		
	<i>Phoxinus phoxinus</i>	Vairon	VAI	22.06	20.77	41.52	21.78	33.62	18.92	13.13	25.78	35.48	9.81	24.29		0.16	0.75	0.22			9.45	9.74	17.73	18.22	5.63		
	<i>Gobio gobio</i>	Goujon	GOU	1.73	1.23	7.17	3.27	0.45		1.10	3.63		0.66	1.92	13.11	3.34	0.98	2.29	4.58	13.00	2.15	9.42	1.21	2.08	5.22		
	<i>Alburnus alburnus</i>	Ablette	ABL			1.11		3.45		0.98	0.45	2.51		0.85	0.94	2.33	0.38	0.97	0.48		1.63	0.43	0.34	0.98	0.85		
	<i>Cyprinus carpio</i>	Carpe commune	CCO												1.13		0.06		0.05	1.43	0.24		0.09	0.15	0.32		
	<i>Carassius gibelio</i>	Carassin argenté	CAG																	2.75	0.12				0.29		
	<i>Chondrostoma nasus</i>	Hotu	HOT			5.48				0.69				0.62	0.35	0.85	0.24		0.58			0.04	0.04		0.21		
	<i>Blicca bjoerkna</i>	Brème bordelière	BRB																	1.87					0.19		
	<i>Telestes souffia</i>	Blageon	BLN		0.22									0.02		1.21									0.12		
	<i>Abramis brama</i>	Brème commune	BRE													1.21									0.12		
	<i>Tinca tinca</i>	Tanche	TAN							0.69				0.07						0.92					0.09		
	<i>Parachondrostoma toxostoma</i>	Toxostome	TOX			3.80	3.60	1.09	0.61	1.92			5.88	1.69		0.28	0.03		0.09		0.16		0.19		0.07		
	<i>Rhodeus amarus</i>	Bouvière	BOU														0.54								0.05		
	<i>Rutilus rutilus</i>	Gardon	GAR			0.29	1.09				1.86			0.32					0.41						0.04		
	<i>Pseudorasbora parva</i>	Pseudorasbora	PSR	0.43						1.38	1.46			0.33			0.18						0.17		0.04		
	<i>Leuciscus leuciscus</i>	Vandoise	VAN																		0.24				0.02		
	<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	Rotengle	ROT																0.05						0.00		
Esocidae	<i>Esox lucius</i>	Brochet	BRO																						0.05	0.00	
Percidae	<i>Perca fluviatilis</i>	Perche commune	PER		3.00	1.95		1.27	0.38	4.97	1.59			1.32	2.10				0.32	0.92			0.05		0.34		
Percidae	<i>Gymnocephalus cernuus</i>	Grémille	GRE	1.29	0.34	0.48					0.93			0.30						1.88		0.10	0.04		0.20		
Percidae	<i>Sander lucioperca</i>	Sandre	SAN													0.13						0.70	0.19		0.10		
Salmonidae	<i>Salmo trutta</i>	Truite commune	TRF		0.21	0.06				2.11				0.24					0.05	0.17				0.13	0.03		

Annexe 7 - Comparaison des stations pour les campagnes 2004-2012 de la moyenne des hydrosignatures moyennes (A & C) et de la moyenne des hydrosignatures totales (pondérations des ambiances par leur surface pour chaque campagne) par 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).

