



HAL
open science

Suivi scientifique "Nouveau Poutès" - Caractérisation des peuplements piscicoles et des habitats à large échelle

Hervé Capra, N. Lamouroux

► To cite this version:

Hervé Capra, N. Lamouroux. Suivi scientifique "Nouveau Poutès" - Caractérisation des peuplements piscicoles et des habitats à large échelle : Compte rendu des campagnes 2013 & 2014. IRSTEA. 2015, 41 pp. hal-04195814

HAL Id: hal-04195814

<https://hal.science/hal-04195814>

Submitted on 4 Sep 2023

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.

Public Domain

CENTRE DE LYON-VILLEURBANNE
UNITE DE RECHERCHE MILIEUX AQUATIQUES, ECOLOGIE
5 RUE DE LA DOUA – CS7007
69226 VILLEURBANNE CEDEX



SUIVI SCIENTIFIQUE "NOUVEAU POUTES"

Caractérisation des peuplements

piscicoles et des habitats à large échelle

COMPTE RENDU DES CAMPAGNES 2013 & 2014

JUILLET 2015 – révisé Janvier 2016

Hervé CAPRA & Nicolas LAMOUREUX

Avec la collaboration de :

Pascal Roger, Hervé PELLA, Raphaël MONS & Jérémy
PIFFADY (Irstea)

Jean-Maxence DITCHE & Jean-Michel POINAS (ONEMA)

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



Table des matières

Liste des figures.....	3
Liste des tableaux.....	5
INTRODUCTION.....	6
Contexte scientifique.....	6
Objectif général.....	7
Programme de travail.....	7
MATERIEL ET METHODE.....	8
Les sites d'étude.....	8
Quelques photos des secteurs d'échantillonnage.....	10
L'échantillonnage.....	13
Les poissons.....	13
L'habitat physique.....	15
RESULTATS des campagnes EPOs 2013 & 2014.....	17
Principaux résultats de l'échantillonnage par EPOs – Résultats 2013-2014 :.....	21
Analyse en Composantes Principales sur les abondances par espèce.....	28
RESULTATS de la campagne Habitat 2014.....	32
CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES.....	34
REFERENCES.....	38

Liste des figures

Figure 1 : les cinq secteurs d'étude entre Pont de Jonchères et Pont Gibert (les secteurs sont représentés avec des couleurs différentes). Les stations d'échantillonnage des invertébrés sont représentées avec une étoile et les stations d'échantillonnage poissons avec un pentagone. L'affluent rive gauche à hauteur de St Haon est le chapeauroux. L'affluent à l'aval de Monistrol est l'Ance du sud.....7

Figure 2 : Principe de l'Echantillonnage Ponctuel par Observation (EPO), avec détail des mesures enregistrées sur chaque EPO.....11

Figure 3 : Abondance totale observée, exprimée pour 100 EPOs échantillonnés (échelle logarithmique), pour chaque espèce et par année.....15

Figure 4 : Abondance pour 100 EPOs +1 (échelle logarithmique) par espèce et par secteur*année.....18

Figure 5 : Cartographie des effectifs observés de saumon atlantique (SAT ; max = 7 ind.), de truite commune (TRF; max = 5 ind.) et d'ombre commun (OBR; max = 10 ind.) en EPO pour 2013 (en haut) & 2014 (en bas). La taille des points est proportionnelle aux effectifs observés.21

Figure 6 : Cartographie des effectifs observés de chevaine (CHE ; max = 20 ind.), de barbeau (BAF; max = 4 ind.) et de goujon (GOU; max = 200 ind.) en EPO pour 2013 (en haut) & 2014 (en bas). La taille des points est proportionnelle aux effectifs observés.....23

Figure 7 : Cartographie des effectifs observés de gardon (GAR ; max = 30 ind.), de vandoise (VAN; max = 12 ind.) et de perche (PER; max = 4 ind.) en EPO pour 2013 (en haut) & 2014 (en bas). La taille des points est proportionnelle aux effectifs observés.....25

Figure 8 : Histogramme des valeurs propres (avec pourcentage de variation expliqué pour chacun des trois premiers axes) et cercle des corrélations sur les plans factoriels F1F2 (33% de la variabilité expliquée) et F2F3 (21% de la variabilité expliquée) de l'ACP sur les $\ln(1000 \cdot \text{abondances} + 1)$ par espèce par EPO. F1 (resp. F2) est l'axe horizontal du plan factoriel F1F2 (F2F3).....26

Figure 9 : Individus (EPOs) sur le plan factoriel F1F2 (33% de la variabilité expliquée) de l'ACP sur les $\ln(1000 \cdot \text{abondances} + 1)$ par espèce par EPO, regroupés par secteur d'étude).27

Figure 10 : Individus (EPOs) sur le plan factoriel F1F2 (33% de la variabilité expliquée) de l'ACP sur les $\ln(1000 \cdot \text{abondances} + 1)$ par espèce par EPO, regroupés par type de faciès)..27

Figure 11 : Variables hydrauliques en variables supplémentaires sur F1F1 (cercle des corrélations).....28

Figure 12 : Cercle des corrélations (en haut à gauche) sur le plan factoriel F1F2 (35% et 24% de la variabilité expliquée) de l'ACP centrée-réduite sur les conditions hydrodynamiques des EPOs. Positions des EPOs (lignes) sur le même plan factoriel (en bas à droite) avec les associations aux différentes classes du facteur Faciès (Mouille, Plat, Rapide & Cascade). F1 est l'axe horizontal.....29

Figure 13 : Représentation cartographique de la répartition longitudinale en faciès dans les cinq secteurs d'étude de l'Allier.....31

Figure 14 : Chroniques de température moyenne journalière de l'eau enregistrées à Nouveau Monde et à Vabres (Sect2). Données FD43.....35

Liste des tableaux

Tableau 1 : Abondance totale observée par EPO pour chaque espèce et par année d'échantillonnage.....	17
Tableau 2 : Abondance totale observée, exprimée pour 100 EPOs, pour chaque espèce, par année et par secteur. Le nombre d'EPOs échantillonnés par secteur et par année est renseigné en italique. Les limites des secteurs sont indiquées au-dessus du tableau, dans le sens amont – aval.....	18
Tableau 3 : Valeurs moyenne et écart-type de l'abondance totale pour 100 EPOs observée par EPO pour chaque espèce, par année et par secteur.....	19
Tableau 4 : Nombre d'EPOs vides par secteur*année et pourcentage de ce nombre d'EPOs vides par rapport au nombre total d'EPOs échantillonnés par secteur*année.....	19
Tableau 5 : Largeur et profondeur moyennes estimées par secteur d'échantillonnage par EPO et par station dans l'Allier (données 2014 et 2015). Date d'échantillonnage et débit correspondant.....	32
Tableau 6 : Proportion du linéaire de chaque secteur en chacun des quatre faciès recensés (mouille, plat, rapide et cascade (si hauteur de chute > 0.5 m)).....	34

INTRODUCTION

Contexte scientifique

Les méta-communautés sont des ensembles de communautés régies par les processus de colonisation, d'extinction et de dispersion des espèces (Leibold et al. 2004). Dans les milieux naturels, la fragmentation d'habitat est l'une des principales causes impactant la dispersion des individus en créant des ruptures de connectivités entre les différentes communautés. Les cours d'eau sont concernés à la fois de manière naturelle et anthropique. Dans le cadre de fragmentations naturelles, des ruptures de connectivités entre les rivières peuvent être créées, entre autres, par des assèchements temporaires (Labbe & Fausch 2000; Miyazono & Taylor 2013) ou des variations thermiques (Waco & Taylor 2010). Concernant les fragmentations anthropiques, les barrages et autres obstacles à l'écoulement (~60.000 sur les rivières françaises) entraînent de fortes perturbations sur la structure des rivières et sur la biologie des espèces (Hart 2002; Petts & Gurnell 2005).

Caractériser les déplacements des individus de différentes espèces à large échelle spatiale (celle des méta-communautés, typiquement plusieurs dizaines de km ; Torgersen et al. 2006) dans des systèmes dendritiques (Peterson et al. 2013) tels que les réseaux hydrographiques permet de mettre en évidence la réaction des espèces face aux fragmentations de leurs habitats (Grenouillet et al. 2008; Blanchet et al. 2010). Par exemple, lors de projets d'effacement de barrages, la caractérisation des déplacements des individus à différentes échelles permet de mettre en place des suivis de résilience du système (Brenkman et al. 2012). Les principaux enjeux des programmes de restauration sont de réduire la fragmentation des cours d'eau pour améliorer la dispersion des individus et favoriser la connectivité entre communautés (Fausch et al. 2002).

Actuellement, les déplacements des individus dans les systèmes dendritiques sont majoritairement étudiés selon deux approches. La première, théorique, consiste à simuler les processus de dispersion des espèces dans les rivières en intégrant leurs traits biologiques (Bellier et al. 2012; Peterson et al. 2013; O'Hanley et al. 2013). La seconde approche, de terrain, vise à comptabiliser les individus au voisinage des ruptures de connectivité et à représenter leurs répartitions spatiales (Torgersen et al. 2006). Cette approche de terrain nécessite de développer de nouvelles méthodes d'échantillonnage 1) ayant de faibles impacts sur l'environnement et les espèces, 2) « simples » à mettre en oeuvre et 3) utilisables sur de larges échelles spatiales (Torgersen et al. 2006). Les échantillonnages par observation subaquatique peuvent répondre à ces critères malgré les problèmes d'estimation de l'abondance de chaque espèce par rapport aux autres méthodes d'échantillonnage plus classiques comme la pêche électrique (Brosse et al. 2001; Wildman & Neumann 2003; Mueller 2003).

Un protocole d'échantillonnage ponctuel d'abondance (EPA) effectué par des pêches électriques (Copp 2010) est actuellement utilisé en France (et dans bien d'autres pays) pour les suivis réguliers de populations de poissons ou des suivis de qualité des rivières ((Tomanova et al. 2013). Reprenant le principe du protocole de pêche par EPA (Persat & Copp 1990), un

nouveau protocole d'échantillonnage ponctuel par observation (EPO) a été développé (Capra et al., Irstea Lyon, non publié) pour tester la faisabilité d'observations à une échelle spatiale plus large. Les pêches électriques et les observations subaquatiques ont déjà été comparées dans la littérature (Heggenes, Brabrand & Saltveit 1990; Torgersen et al. 2006; Chamberland, Lanthier & Boisclair 2014) mais il n'existe aucune comparaison de ces méthodes lorsqu'elles sont appliquées sur de large distances suivant le principe d'échantillonnages ponctuels.

Afin de tester et améliorer le protocole par EPO, Plichard (2014) a comparé la capacité des EPAs et des EPOs à représenter les abondances, les proportions relatives et la répartition spatiale des individus et des assemblages de poissons sur des tronçons de rivières de plusieurs kilomètres de long. Les résultats (Plichard et al., soumis) montrent que les échantillonnages ponctuels par observation (EPO) sous-estiment l'abondance (de manière variable selon le faciès) de la plupart des espèces présentes dans les petites comme dans les grandes rivières par rapport aux échantillonnages ponctuels d'abondance (EPA). Ces sous-estimations des abondances obtenues par EPO par rapport aux EPA ne sont pas expliquées par les différences de taille ou de comportement des individus. Par ailleurs, un effet plongeur est caractérisé par l'absence d'observations de certaines espèces. Néanmoins, les EPA et les EPO ont des assemblages de poissons et des variables environnementales estimées intra-campagnes qui présentent de fortes similitudes, en soulignant par exemple l'importance des zones de confluence. Les EPA et les EPO révèlent une structure d'assemblages de poissons inter-campagnes différentes, liées à des campagnes particulières pour les EPOs comme pour les EPAs. Enfin, les EPO apparaissent être plus applicables pour échantillonner et représenter les répartitions spatiales des assemblages de poissons des moyennes à petites rivières présentant de bonnes conditions de visibilité.

Objectif général

Les objectifs, dans le cadre du projet de reconfiguration de l'aménagement de Poutès, sont :

- de caractériser à l'échelle d'un linéaire de 50 km de part et d'autre du barrage de Poutès l'évolution du peuplement de poissons holobiotiques,

- d'identifier les relations entre ces évolutions observées à large échelle avec celles observées à l'échelle des stations,

- de modéliser l'habitat à large échelle et à l'échelle des stations pour les poissons et les macro-invertébrés,

- d'analyser les liens habitat-communautés.

Programme de travail

1) Suivi annuel des peuplements de poissons à large échelle (de Pont-de-Jonchères à Pont-Gibert, ~50 km; plus partie aval des affluents). Le suivi pourra être adapté pendant les travaux pour des questions de turbidité.

L'objectif est de mieux cerner les échelles spatiales de réponse des populations aux variations physiques, dans l'espace et le temps, et de discuter de la représentativité des stations.

2) Description de l'habitat hydraulique à large échelle, de l'ensemble du site et des stations suivies (poissons et invertébrés).

L'objectif est de décrire les caractéristiques d'habitat hydraulique des poissons et des invertébrés (protocole et modélisation de type "estimhab", <http://www.irstea.fr/estimhab>, étendu spatialement) et leurs variations avec le débit, afin de tester si elles expliquent les variations biologiques observées.

3) Une analyse finale des dynamiques d'habitat en lien avec les dynamiques des populations (poissons et invertébrés) sera effectuée à la fin de suivi. Les chroniques hydrauliques et d'habitat seront mises en forme sur l'ensemble des stations et secteurs (large échelle) et co-analysées avec les données biologiques.

MATERIEL ET METHODE

Les sites d'étude

L'échantillonnage s'opère dans cinq secteurs consécutifs entre Pont de Jonchères et Pont Gibert (Figure 1):

- Secteur 1 : Pont de Jonchères – Confluence Chapeauroux (10 km)
- Secteur 2 : Confluence Chapeauroux – Pont d'Alleyras (17 km)
- Secteur 3 : Pont d'Alleyras – Barrage (3 km)
- Secteur 4 : Barrage – Monistrol d'Allier amont restitution (10 km)
- Secteur 5 : Monistrol d'Allier aval restitution – Pont Gibert (7 km)
-

Des pêches électriques sont effectuées par l'Onema (Vabres), la FD43 (St Julien de Chazes, juste à l'aval du secteur 5) et un bureau d'études (Athos ; Vabres, TCC_Sapet, TCC_Monistrol). Ces stations de pêches sont localisées sur le linéaire étudié et les résultats seront intégrés dans l'analyse globale (Figure 1).

Les stations de prélèvements invertébrés sont aussi localisées sur le linéaire étudié (Figure 1).

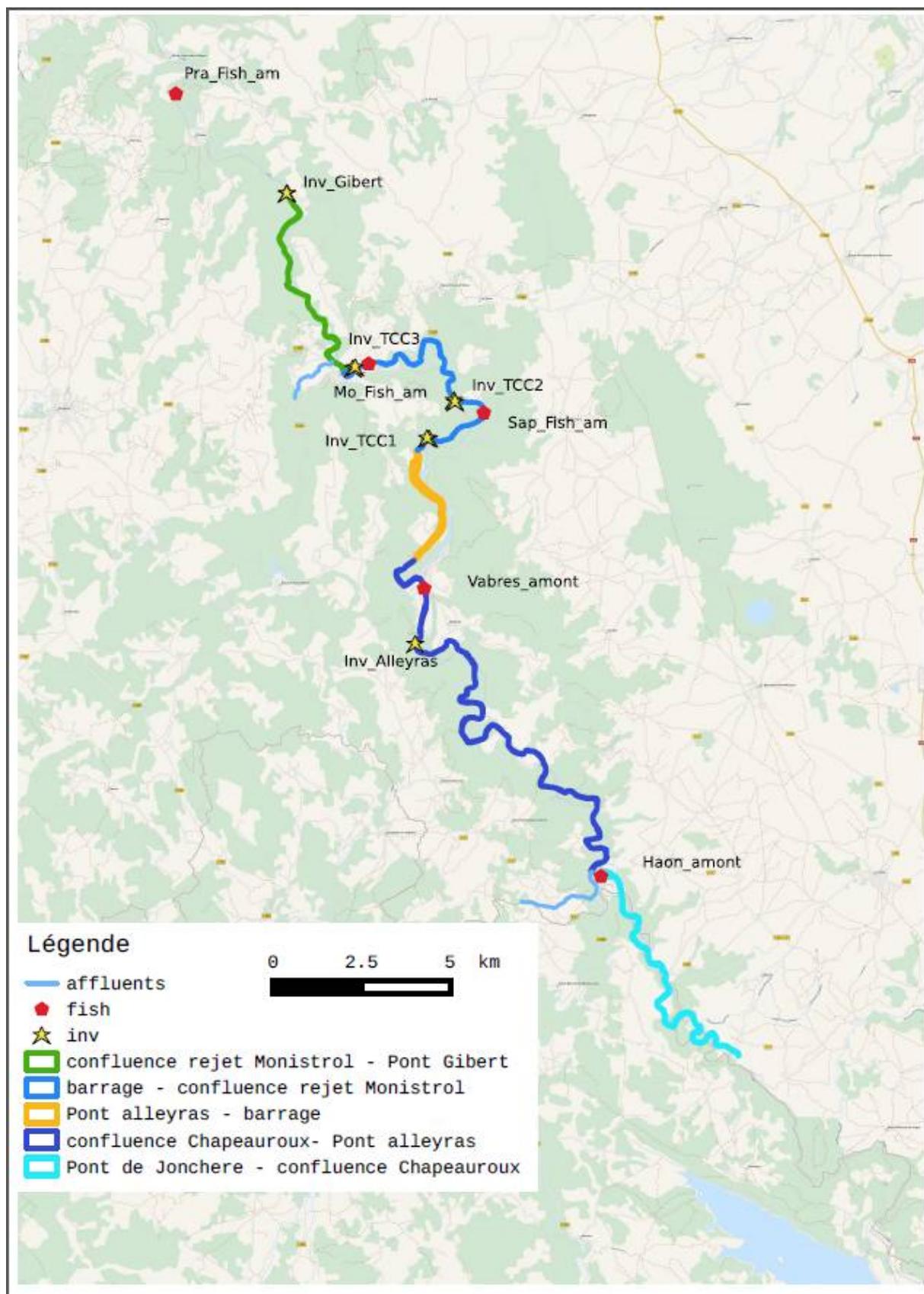


Figure 1 : les cinq secteurs d'étude entre Pont de Jonchères et Pont Gibert (les secteurs sont représentés avec des couleurs différentes). Les stations d'échantillonnage des invertébrés sont représentées avec une étoile et les stations d'échantillonnage poissons avec un pentagone. L'affluent rive gauche à hauteur de St Haon est le chapeauroux. L'affluent à auteur de Monistrol est l'Ance du sud.

Quelques photos des secteurs d'échantillonnage



Secteur 1 : Pont de Jonchère – Confluence Chapeauroux



Secteur 2 : Confluence Chapeauroux – Pont d'Alleyras



Secteur 3 : Retenue (partie amont) - 2014



Secteur 3 : Retenue (partie intermédiaire) - 2014



Secteur 3 : Partie aval retenue & barrage - 2014



Amont secteur 5 (amont passerelle Monistrol)

L'échantillonnage

Les poissons

Suite à des essais méthodologiques réalisés sur le système Ain - Albarine - Seynard (Plichard, 2014 ; Capra et al., *in prep*) et sur l'Allier en aout 2013, nous avons choisi d'appliquer un protocole dit EPO (équivalent visuel des EPA en plongée sub-aquatique), annuel et de long-terme, avec un point tous les ~100 m sur un linéaire total de Pont de Jonnières à Pont Gibert (~50 km ; Figure 1).

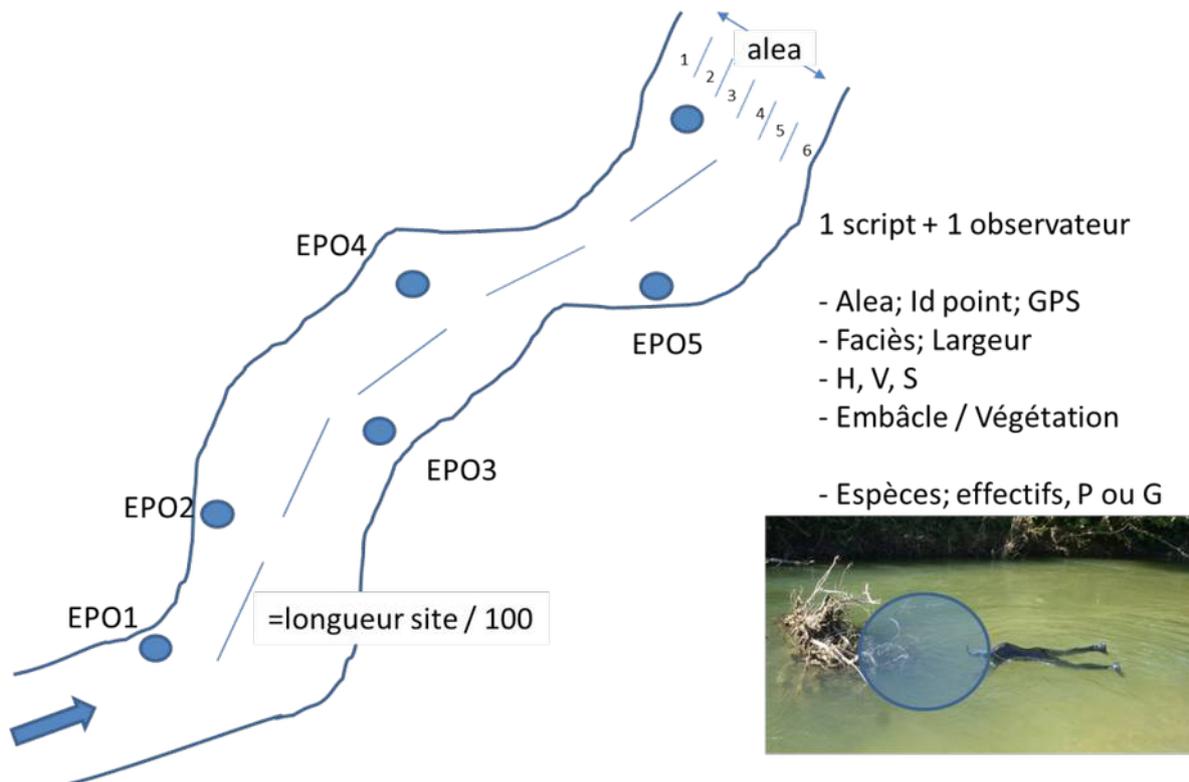


Figure 2 : Principe de l'Echantillonnage Ponctuel par Observation (EPO), avec détail des mesures enregistrées sur chaque EPO.

En chaque point EPO (Figure 2), géoréférencé, sont notés effectifs (2 classes de taille par espèce ; petits (juvéniles de l'année) et grands individus) et caractéristiques physiques (vitesse, hauteur, substrat, largeur, faciès, présence d'embâcle). L'ensemble des données sont enregistrées sur un dictaphone étanche.

Les poissons des principales espèces (salmonidés et espèces rares) observés entre deux EPOs consécutifs (dits « intermédiaires ») sont également recensés.



Echantillonnage par EPO (observation subaquatique directe)



Enregistrement des conditions hydrauliques, de la largeur et du positionnement GPS de l'EPO



Jeune saumon atlantique en tête de rapide

L'habitat physique

Une ou deux campagnes pré-travaux d'une part et post-travaux d'autre part seront à mettre œuvre afin de permettre des extrapolations des conditions d'habitat hydrauliques en fonction du débit. La modélisation des conditions hydrodynamiques sur l'Allier entre Pont de Jonchères et Pont Gibert, compte tenu des rapides et de la longueur (~50 km), ne peut pas s'envisager avec un modèle hydraulique (1 ou 2 dimensions). Nous avons choisi une approche de type Estimhab (Lamouroux et Capra, 2002), basée sur une description des relations hauteur moyenne et largeur moyenne en fonction du débit à partir d'un échantillonnage aléatoire à deux débits contrastés.

Toujours sur un principe d'un transect tous les ~250 m, nous mesurons la géométrie hydraulique du transect (hauteur, largeur moyenne, distribution latérale du substrat), hors remous de la retenue (qui devra être fait par ailleurs). Ces transects sont resserrés au droit des stations d'échantillonnage biologiques (poissons et invertébrés), afin d'obtenir au minimum 8 transects par station. Des jaugeages devraient être effectués simultanément, mais les conditions d'écoulement rendent impossible ces mesures. Ainsi, seule l'extrapolation spatiale des débits, à partir des chroniques de débit fournies par EDF, permettra de reconstituer les débits qui transitaient dans les secteurs d'étude au moment des relevés de profondeur et de largeur mouillée.

Enfin, une description longitudinale des faciès doit être réalisée sur l'ensemble du linéaire étudié. Un point GPS est enregistré au centre du chenal à chaque limite de faciès (i.e. zone de transition entre deux faciès consécutifs).



Mesures physiques (profondeur et substrat) sur un transect.



Mesures physiques (profondeur et substrat) sur un transect.

RESULTATS des campagnes EPOs 2013 & 2014

L'échantillonnage du peuplement de poissons (par EPOs) a été réalisé en 2013, 2014 et 2015 (seuls sont présentés dans ce rapport les résultats pour 2013 & 2014 ; noter qu'en 2015 la campagne d'EPOs a été réalisée entièrement par deux opérateurs différents pour récolter des données permettant de tester l'effet observateur). En 2014 nous avons réalisé une première campagne de description de l'habitat et en 2015 une seconde campagne a pu avoir lieu.

Nous avons observé 22 167 poissons sur les deux premières années d'échantillonnages par EPO pour 14 espèces. Il est très intéressant de constater une très forte stabilité de l'image du peuplement obtenue entre 2013 et 2014. Le nombre d'EPOs vides (n= 389 ; 40% du total des EPOs échantillonnés) est important. Le nombre d'EPOs vides est très variable d'une année à l'autre et d'un secteur à l'autre (de 19% à 83% selon les secteurs*années).

Tableau 1 : Abondance totale observée par EPO pour chaque espèce et par année d'échantillonnage

Espèces			Abondance totale		
Nom commun	Nom latin	Code espèce	2013	2014	Total
Ablette	<i>Alburnus Alburnus</i>	ABL	0	0	0
Barbeau commun	<i>Barbus barbus</i>	BAF	10	26	36
Chabot	<i>Cottus gobio</i>	CHA	2	0	2
Chevaine	<i>Leuciscus cephalus</i>	CHE	133	137	270
Gardon	<i>Rutilus rutilus</i>	GAR	76	90	166
Goujon	<i>Gobio gobio</i>	GOU	965	1216	2181
Loche franche	<i>Barbatula barbatula</i>	LOF	35	55	90
ombre commun	<i>Thymallus thymallus</i>	OBR	24	40	64
Perche commune	<i>Perca fluviatilis</i>	PER	10	8	18
Saumon atlantique	<i>Salmo salar</i>	SAT	74	114	188
Spirilin	<i>Alburnoides bipunctatus</i>	SPI	5556	6501	12057
Truite commune	<i>Salmo trutta fario</i>	TRF	63	71	134
Vairon	<i>Phoxinus phoxinus</i>	VAI	4233	2707	6940
Vandoise	<i>Leuciscus leuciscus</i>	VAN	6	15	21
Total			11187	10980	22167

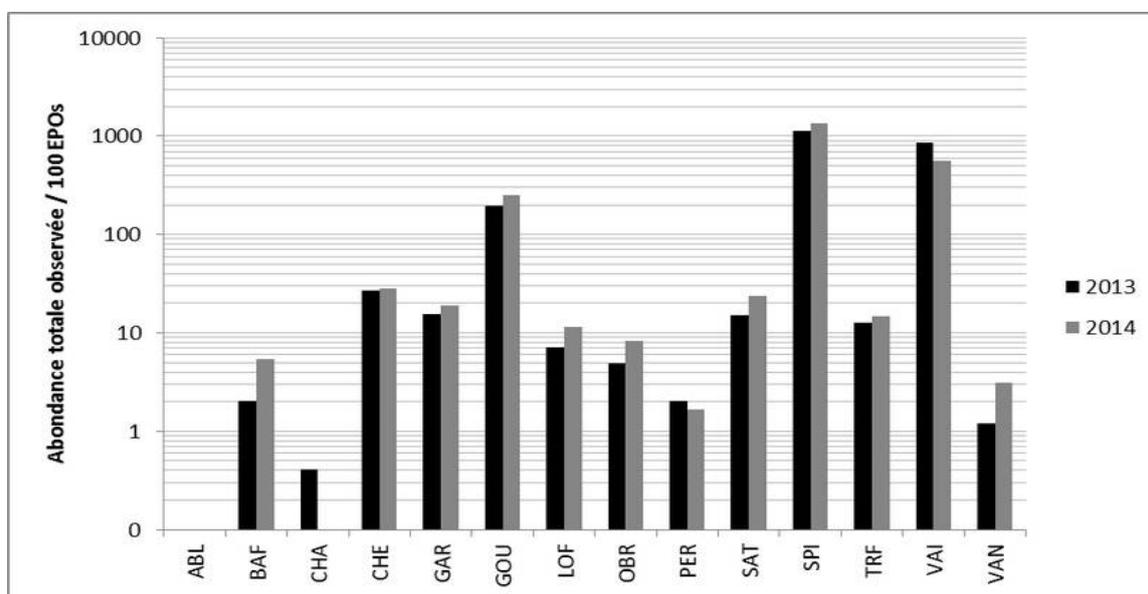


Figure 3 : Abondance totale observée, exprimée pour 100 EPOs échantillonnés (échelle logarithmique), pour chaque espèce et par année.

Tableau 2 : Abondance totale observée, exprimée pour 100 EPOs, pour chaque espèce, par année et par secteur. Le nombre d'EPOs échantillonnés par secteur et par année est renseigné en italique. Les limites des secteurs sont indiquées au-dessus du tableau, dans le sens amont – aval.

Espece	Amont									Aval											
	Pt de Jonchère-----			Confl. Chapeauroux----			Pont d'Alleyras-----			Barrage (TCC)-----			Restitution-----Pt Gibert			Ance_45			Chapeauroux_15		
	2013	2014	<i>Tot</i>	2013	2014	<i>Tot</i>	2013	2014	<i>Tot</i>	2013	2014	<i>Tot</i>	2013	2014	<i>Tot</i>	2013	2014	<i>Tot</i>	2013	2014	<i>Tot</i>
	94	100	194	161	162	323	24	14	38	111	98	209	55	65	120	24	18	42	24	21	45
ABL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BAF	1	0	1	1	6	3	0	20	12	7	5	6	0	8	4	0	0	0	0	0	0
CHA	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CHE	11	0	5	11	51	29	4	120	77	78	11	44	5	10	7	0	0	0	88	5	49
GAR	3	1	2	1	17	8	0	129	82	70	12	41	0	2	1	0	0	0	0	0	0
GOU	379	166	269	258	532	383	0	90	57	98	99	99	144	210	177	4	0	2	13	295	144
LOF	10	5	7	4	35	18	0	0	0	0	2	1	30	2	16	0	0	0	0	0	0
OBR	26	19	23	0	13	6	0	5	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PER	2	0	1	0	0	0	0	20	12	8	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SAT	29	58	44	5	24	13	0	5	3	9	10	9	48	11	30	0	0	0	0	29	13
SPI	1196	1836	1528	843	1941	1342	83	439	308	1976	1103	1541	1610	1057	1338	54	0	31	0	443	207
TRF	34	34	34	3	13	7	4	0	2	17	0	9	5	3	4	13	6	10	8	81	42
VAI	1337	722	1018	701	583	647	83	317	231	1278	490	886	527	708	616	438	72	281	363	590	469
VAN	5	1	3	1	10	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tableau 3 : Valeurs moyenne et écart-type de l'abondance totale pour 100 EPOs observée par EPO pour chaque espèce, par année et par secteur.

Espèces	Sect1		Sect2		Sect3		Sect4		Sect5		Ance_45		Chap_15			
	2013		2014		2013		2014		2013		2014		2013		2014	
	Moy	Sd	Moy	Sd	Moy	Sd	Moy	Sd								
ABL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BAF	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.2	0.0	0.0	0.5	1.9	0.1	0.4	0.0	0.3
CHA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CHE	0.1	0.6	0.0	0.0	0.1	0.4	0.4	1.3	0.2	0.9	2.9	7.4	0.8	2.7	0.1	0.8
GAR	0.0	0.3	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.8	0.0	0.0	3.2	7.4	0.7	3.7	0.1	0.5
GOU	4.1	25.2	1.7	8.3	1.6	9.4	3.9	14.1	0.0	0.0	2.2	5.9	1.0	5.0	1.0	2.7
LOF	0.1	0.6	0.1	0.2	0.0	0.2	0.3	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
OBR	0.3	1.3	0.2	0.7	0.0	0.0	0.1	0.7	0.0	0.0	0.1	0.5	0.0	0.0	0.0	0.1
PER	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	1.5	0.1	0.4	0.0	0.0
SAT	0.3	0.9	0.6	1.1	0.0	0.1	0.2	0.4	0.0	0.0	0.1	0.5	0.1	0.5	0.1	0.4
SPI	13.0	44.0	18.5	44.3	5.2	24.0	14.3	32.6	3.5	17.0	10.7	21.3	19.2	31.3	10.8	25.6
TRF	0.4	0.7	0.3	0.6	0.0	0.1	0.1	0.3	0.2	0.9	0.0	0.0	0.2	0.6	0.0	0.0
VAI	14.5	41.6	7.3	17.7	4.3	13.8	4.3	8.5	3.5	17.0	7.7	20.0	12.4	23.8	4.8	15.9
VAN	0.1	0.6	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Tableau 4 : Nombre d'EPOs vides par secteur*année et pourcentage de ce nombre d'EPOs vides par rapport au nombre total d'EPOs échantillonnés par secteur*année.

Secteurs	2013			2014			Total		
	Nb EPOs tot	Nb EPOs vides	%	Nb EPOs tot	Nb EPOs vides	%	Nb EPOs tot	Nb EPOs vides	%
Sec1	92	32	35	99	21	21	191	53	28
Sec2	163	95	58	136	29	21	299	124	41
sec3	24	20	83	41	17	41	65	37	57
Sec4	103	42	41	102	45	44	205	87	42
Sec5	63	20	32	61	17	28	124	37	30
Chap_15	24	16	67	21	4	19	45	20	44
Ance_45	24	18	75	18	13	72	42	31	74
Total	493	243	49	478	146	31	971	389	40

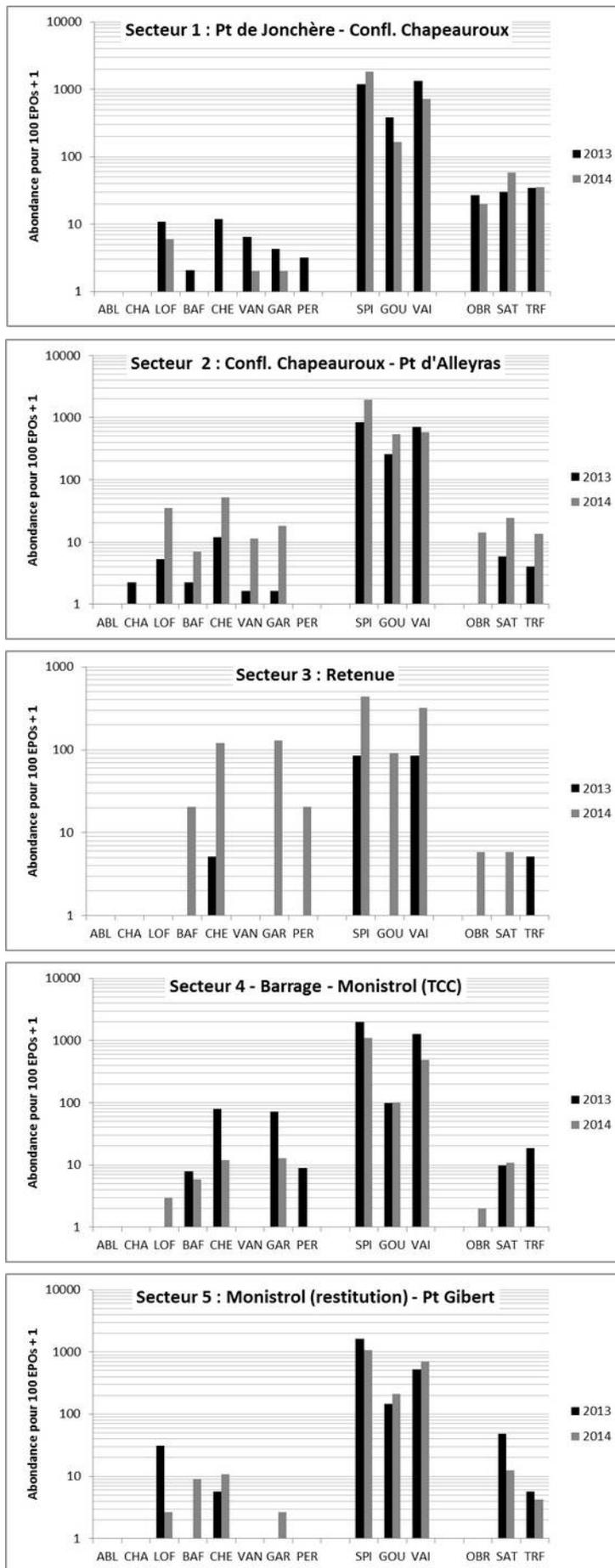


Figure 4 : Abondance pour 100 EPOs + 1 (échelle logarithmique) par espèce et par secteur*année.

Principaux résultats de l'échantillonnage par EPOs - Résultats 2013-2014 :

Globalement l'échantillonnage révèle une image très stable d'une année à l'autre globalement (Tableau 1 et Figure 3).

En plus de la Figure 4 nous avons établi des cartes de répartition spatiale des espèces, pour chaque année d'échantillonnage, à partir des abondances brutes et de la localisation des EPOs (Figure 5, Figure 6, Figure 7). Le spiralin et le vairon ne sont pas représentés du fait de leur très forte abondance partout. Le chabot est quasiment absent des relevés EPO 2013 et 2014. La loche n'a pas été retenue pour des raisons graphiques.

L'étude des répartitions spatiales des espèces par année révèle une variabilité assez importante. Par exemple les espèces accompagnatrices sont bien observées dans le secteur 1 en 2013 mais beaucoup moins en 2014 à l'inverse des secteurs 2 et 5 (Figure 4, Figure 6, Figure 7). L'ombre n'était pas observé en 2013 dans le secteur 3 (Figure 4, Figure 5). Enfin, en 2014 suite à l'abaissement de la retenue, il y avait globalement plus de poissons et plus d'espèces observés dans le secteur 3, y compris pour les salmonidés, ce qui est plutôt de bon augure si la retenue est fortement réduite dans le futur (ex BAF, OBR, SAT ; Figure 4, Figure 5, Figure 6, Figure 7).

Ecart entre secteurs :

TRF, SAT et OBR sont observés en amont (secteur 1 & partie amont du secteur 2) mais également à l'aval de Monistrol (surtout pour SAT); ces espèces sont plus rares dans la partie aval du secteur 2 (en amont de Vabres) et dans la retenue (figure 4). L'ombre est rarement observé en aval de Vabres.

La majorité des poissons observés appartiennent aux trois espèces : SPI, VAI et GOU et ce quel que soit le secteur (ex GOU figure 5).

Pour les espèces dites « accompagnatrices » (figure 5 & 6) : le CHE est abondant et bien réparti, alors que BAF, GAR et LOF sont moins abondants et surtout dans les secteurs 1, 2 & 5 ; VAN (sect1 & 2) & PER (sect3 & 4) sont plutôt rares. Lors de l'échantillonnage un effort particulier doit être fait pour LOF et CHA : il faut terminer l'observation par un « grattage » des pierres pour essayer de les surprendre. La loche est observée de partout sauf dans la retenue alors que le chabot est rarement observé.

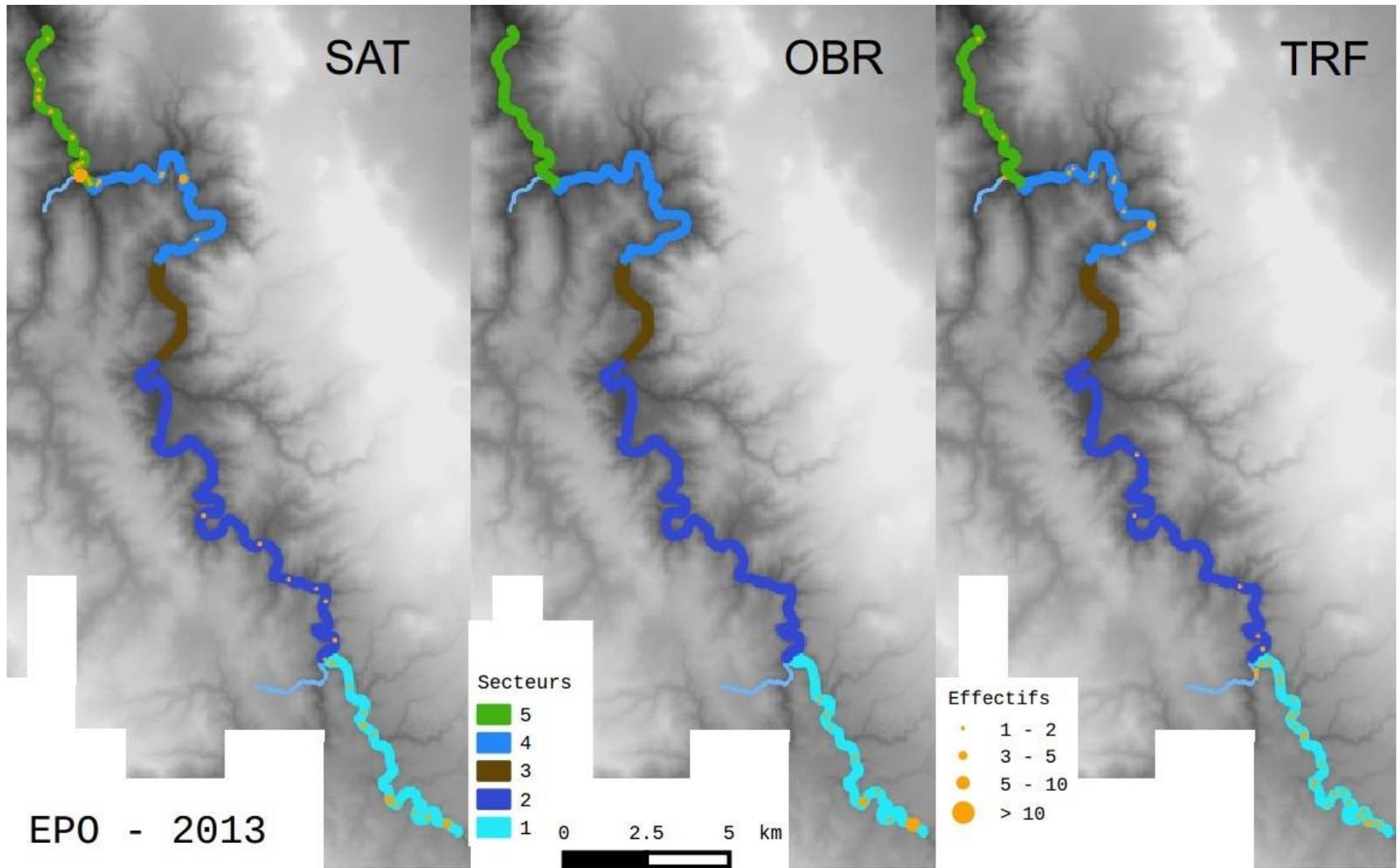
Ecarts entre affluents et Allier :

L'ombre n'a pas été observé dans les affluents; Le saumon n'a été observé que dans le Chapeauroux et la truite a été observée dans les deux affluents, avec VAI, SPI, CHE et GOU.

Ecarts EPOs – pêches par points (peu de données disponibles pour 2013 et 2014) :

En amont (Vabres), en pêche il y a plus de TRF et OBR qu'en EPO dans le secteur 2; pour les espèces accompagnatrices, il y a aussi plus de LOF, BAF et de GAR.

En aval (Pradel), en pêche on observe à peu près les mêmes espèces qu'en EPO mais avec des proportions plus homogènes entre les espèces (proportions assez similaires entre les pêches de 2013 et 2014).



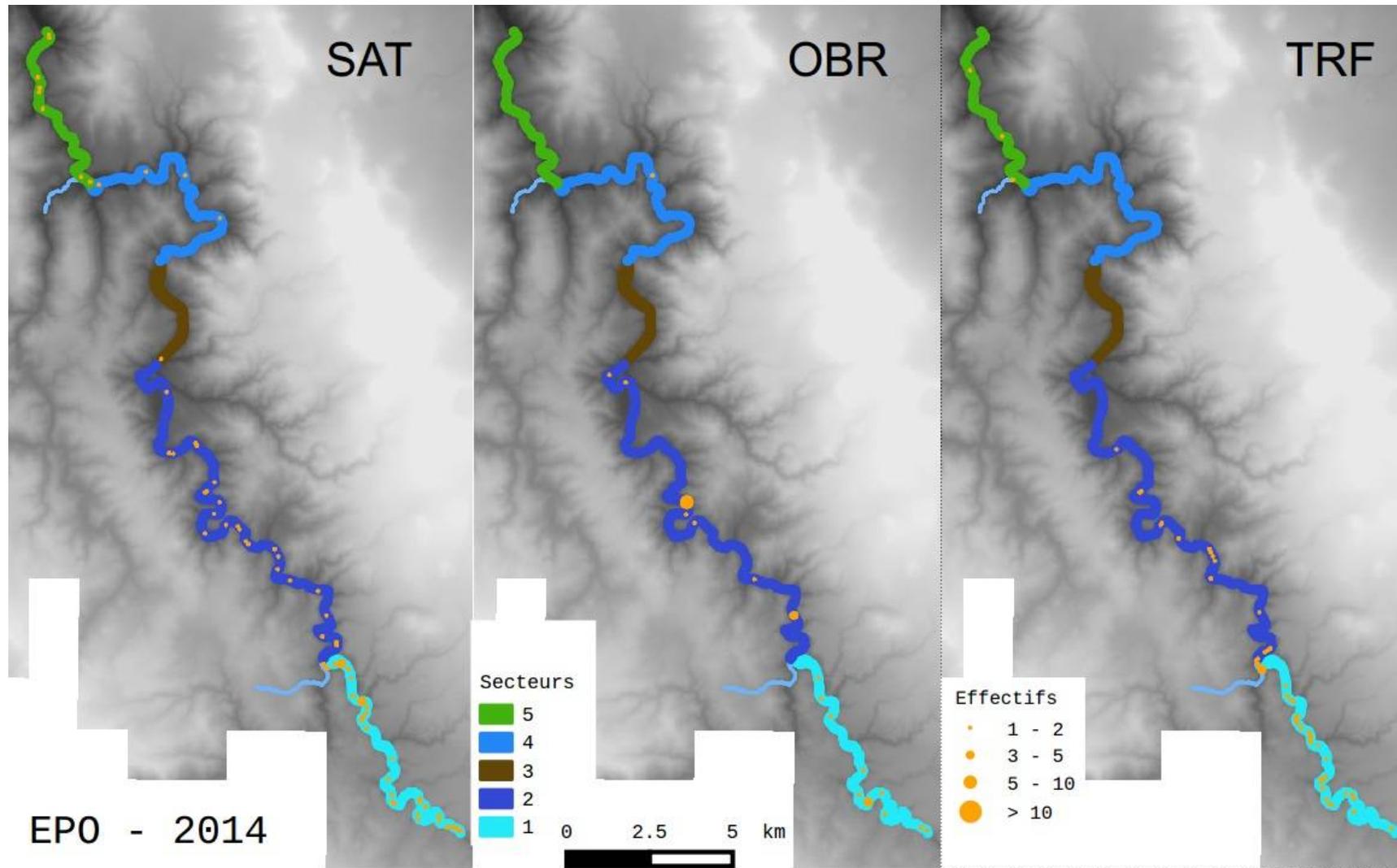
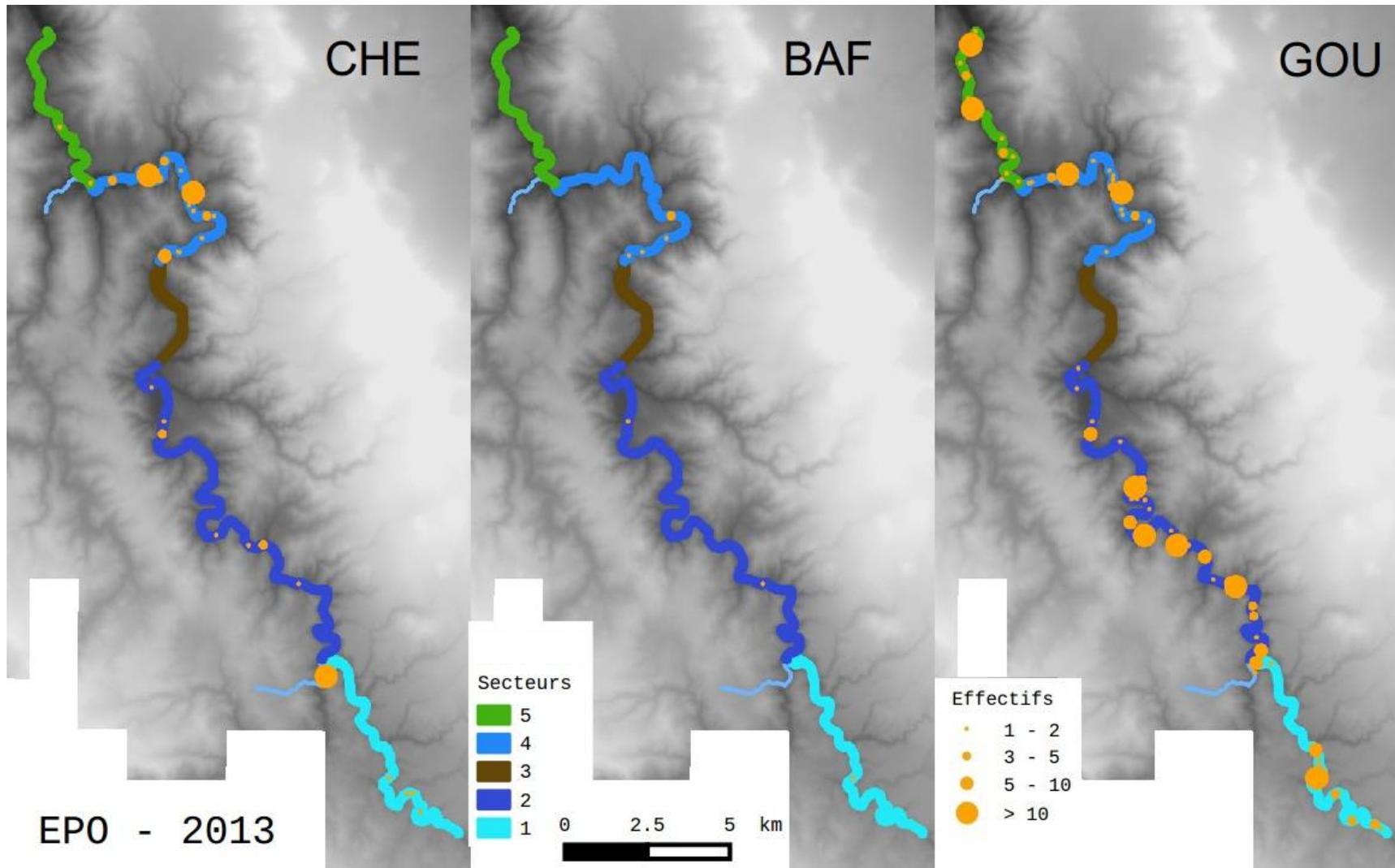


Figure 5 : Cartographie des effectifs observés de saumon atlantique (SAT ; max = 7 ind.), de truite commune (TRF; max = 5 ind.) et d'ombre commun (OBR; max = 10 ind.) en EPO pour 2013 (en haut) & 2014 (en bas). La taille des points est proportionnelle aux effectifs observés.



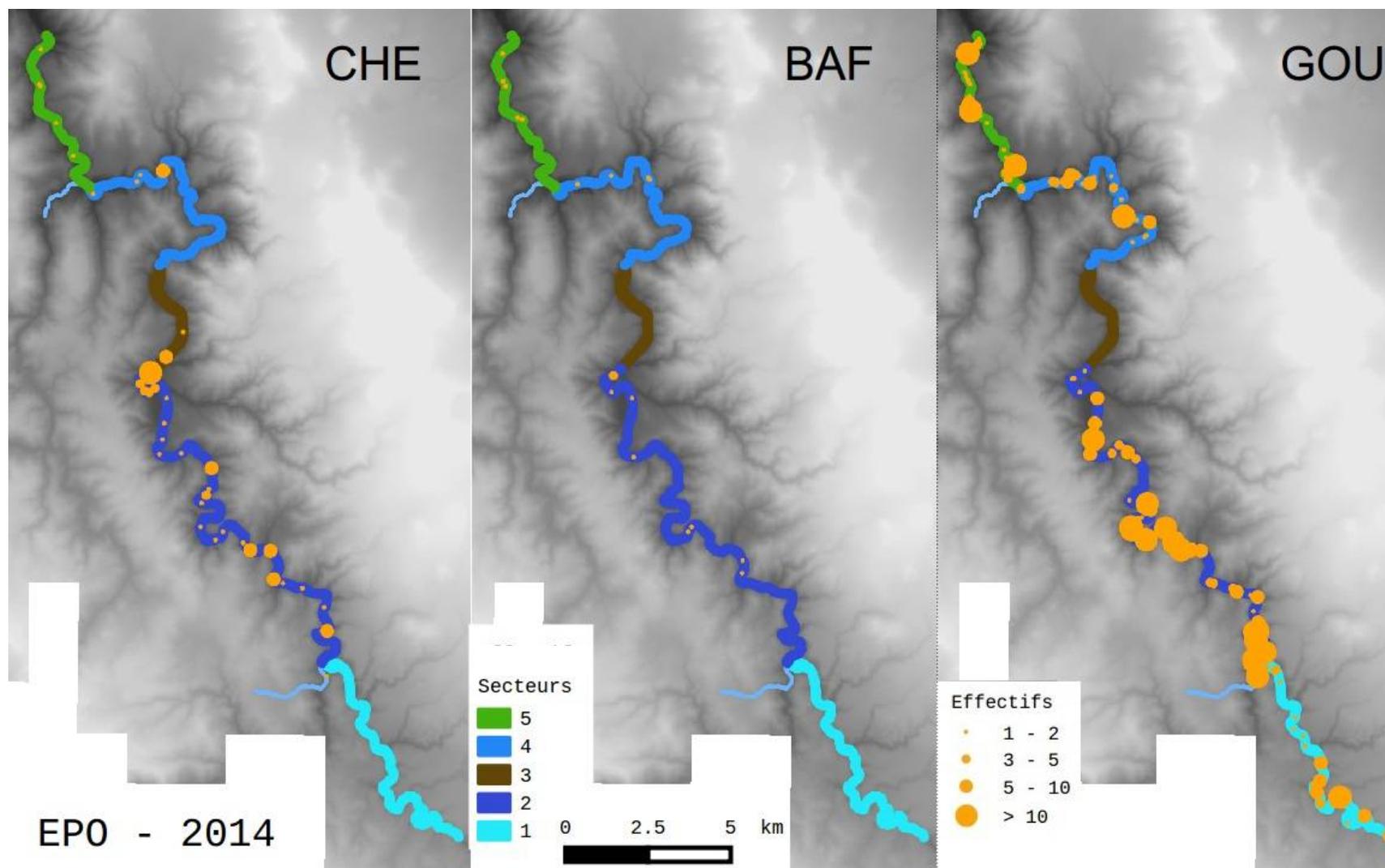
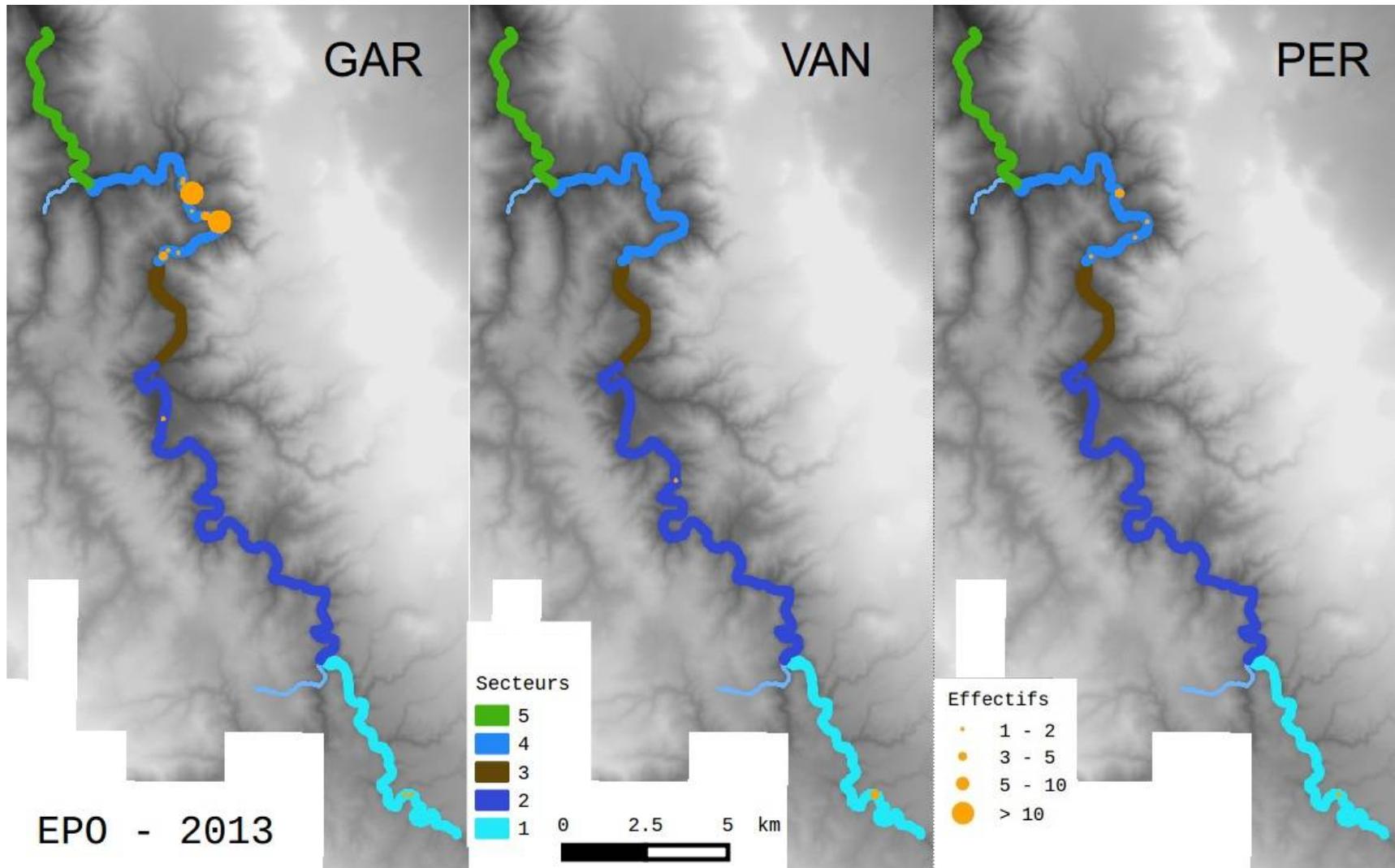


Figure 6 : Cartographie des effectifs observés de chevaine (CHE ; max = 20 ind.), de barbeau (BAF; max = 4 ind.) et de goujon (GOU; max = 200 ind.) en EPO pour 2013 (en haut) & 2014 (en bas). La taille des points est proportionnelle aux effectifs observés.



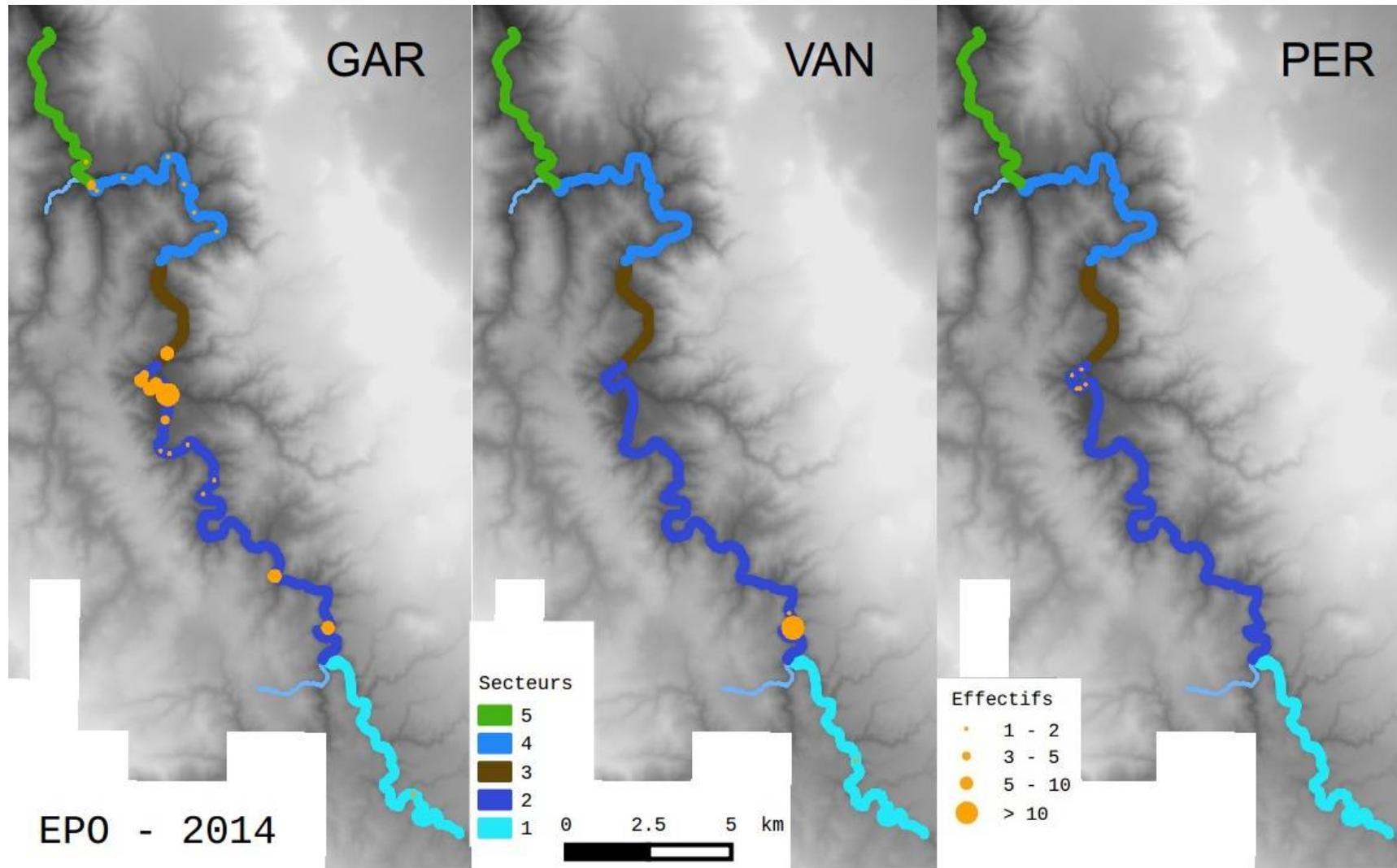


Figure 7 : Cartographie des effectifs observés de gardon (GAR ; max = 30 ind.), de vandoise (VAN; max = 12 ind.) et de perche (PER; max = 4 ind.) en EPO pour 2013 (en haut) & 2014 (en bas). La taille des points est proportionnelle aux effectifs observés.

Analyse en Composantes Principales sur les abondances par espèce

Nous avons réalisé une ACP sur les abondances de chaque espèce observée par EPO en 2013 et 2014 (lignes = EPOs, n = 971; colonnes = Espèces, n= 14), transformées en Ln (1000*abondance + 1).

L'objectif est de résumer les associations d'espèces au sein des EPOs échantillonnés.

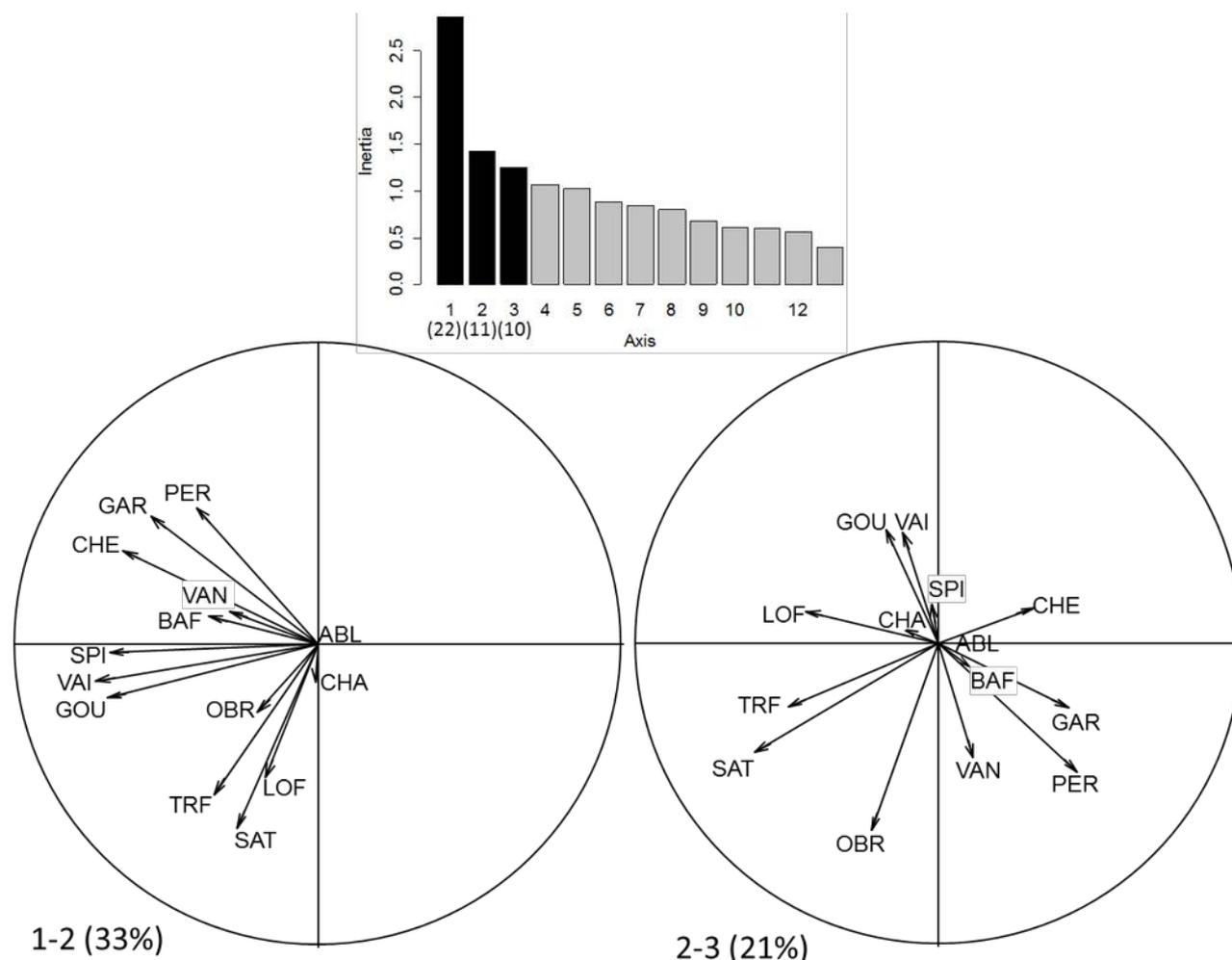


Figure 8 : Histogramme des valeurs propres (avec pourcentage de variation expliquée pour chacun des trois premiers axes) et cercle des corrélations sur les plans factoriels F1F2 (33% de la variabilité expliquée) et F2F3 (21% de la variabilité expliquée) de l'ACP sur les Ln (1000*abondances + 1) par espèce par EPO. F1 (resp. F2) est l'axe horizontal du plan factoriel F1F2 (F2F3).

Le résultat de l'ACP dans le plan factoriel F1F2 (Figure 8) révèle des associations d'espèces particulières : l'axe F1 est surtout structuré par un effet abondances (croissant en direction des valeurs négatives) illustré par la position des trois espèces dominantes VAI, GOU & SPI. Sur l'axe F2, une opposition entre des associations d'espèces de type salmonidés + loche (partie

négative de l'axe ; OBR, TRF, SAT, LOF)) et des associations d'espèces plus « accompagnatrices » CHE GAR et PER et dans une moindre mesure vandoise et barbeau (partie positive de l'axe F2).

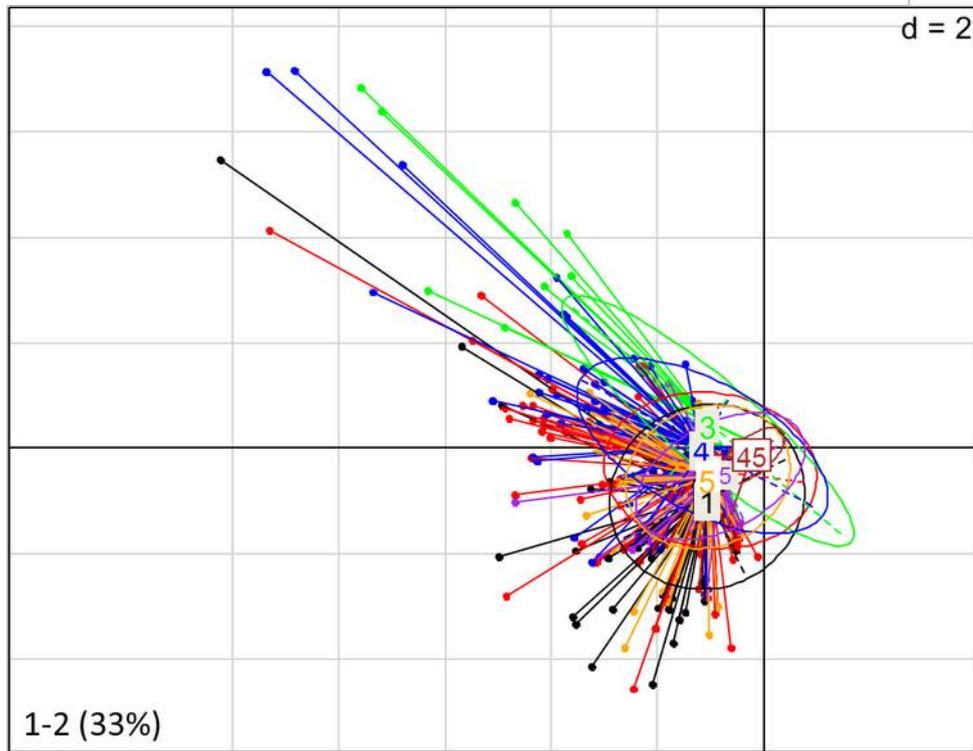


Figure 9 : Individus (EPOs) sur le plan factoriel F1F2 (33% de la variabilité expliquée) de l'ACP sur les $\ln(1000 \cdot \text{abondances} + 1)$ par espèce par EPO, regroupés par secteur d'étude).

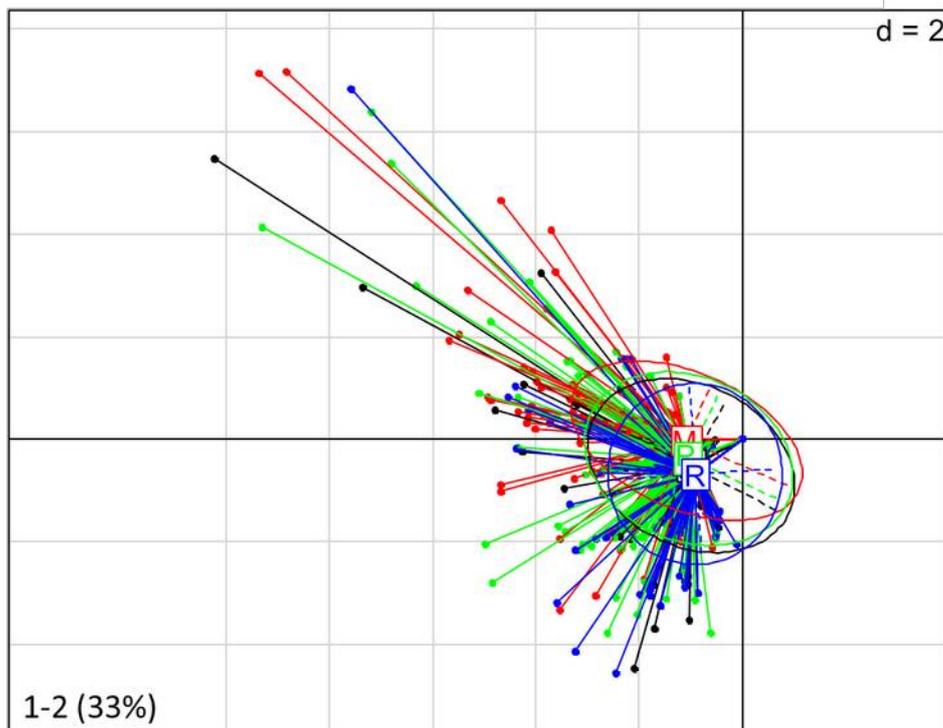


Figure 10 : Individus (EPOs) sur le plan factoriel F1F2 (33% de la variabilité expliquée) de l'ACP sur les ln (1000*abondances + 1) par espèce par EPO, regroupés par type de faciès).

Le regroupement des individus en fonction des différentes catégories des facteurs Secteur, Faciès ou Année ne révèle aucune originalité très nette de ces catégories les unes par rapport aux autres. Toutes les ellipses de dispersion sont pratiquement superposées. Un léger gradient de secteurs de plus en plus courant semble se dessiner selon l'axe F2, du secteur 3 (Retenue), au TCC et aux secteurs 1, 2 et 5. Les affluents eux se distinguent des secteurs selon l'axe F1, en lien avec les faibles abondances observées.

Pour info-discussion, nous avons inséré sur le premier plan factoriel (F1F2) des variables (abondances espèces), en tant que variables supplémentaires, les variables décrivant les conditions hydro-morphologiques relevés pour les EPOs (Figure 11).

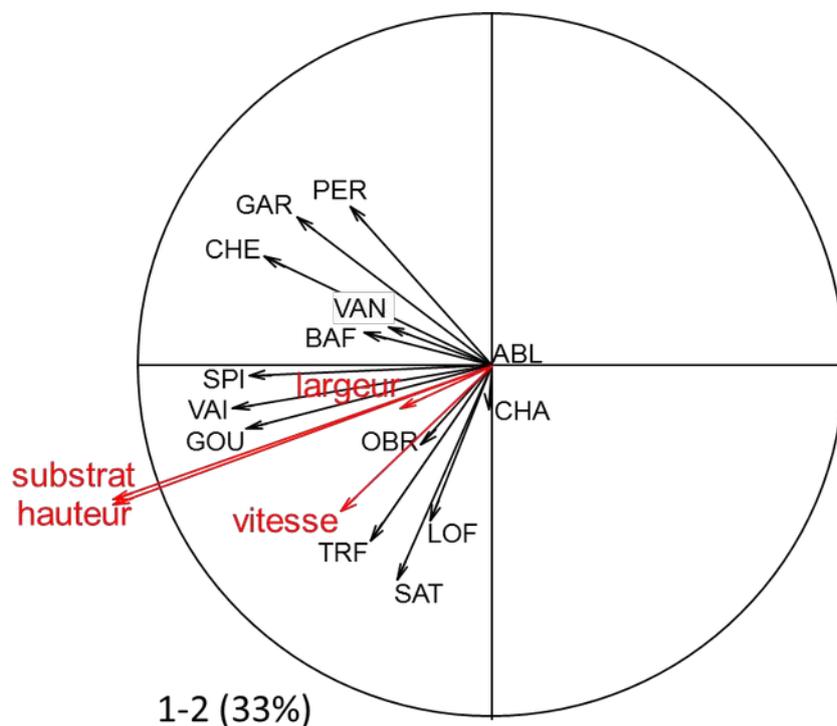


Figure 11 : Variables hydrauliques en variables supplémentaires sur F1F2 (cercle des corrélations).

La Figure 11 est assez peu informative, si ce n'est l'association des vitesses fortes à des EPOs avec observation des salmonidés et de la loche et des hauteurs d'eau (et substrat) importantes à des EPOs avec observation des trois espèces dominantes, spiralin, vairon et goujon.

La projection en variables supplémentaires des ln (1000*abondance + 1) recensées entre les EPOs (intermédiaires) n'apporte pas d'informations. Les salmonidés sont majoritairement observés, surtout le saumon ; l'ombre et la truite sont aussi souvent observées. Les observations de ces espèces se font entre des EPOs avec observation de ces espèces. L'ombre est cependant observé en aval (contrairement aux EPOs).

Nous avons enfin réalisé une ACP centrée réduite sur les quatre variables morphologiques et hydrauliques (largeur, hauteur d'eau, vitesse du courant et taille du substrat) estimée pour chaque EPO échantillonné en 2013 et en 2014 (lignes = EPOs, n = 971; colonnes = Variables, n= 4).

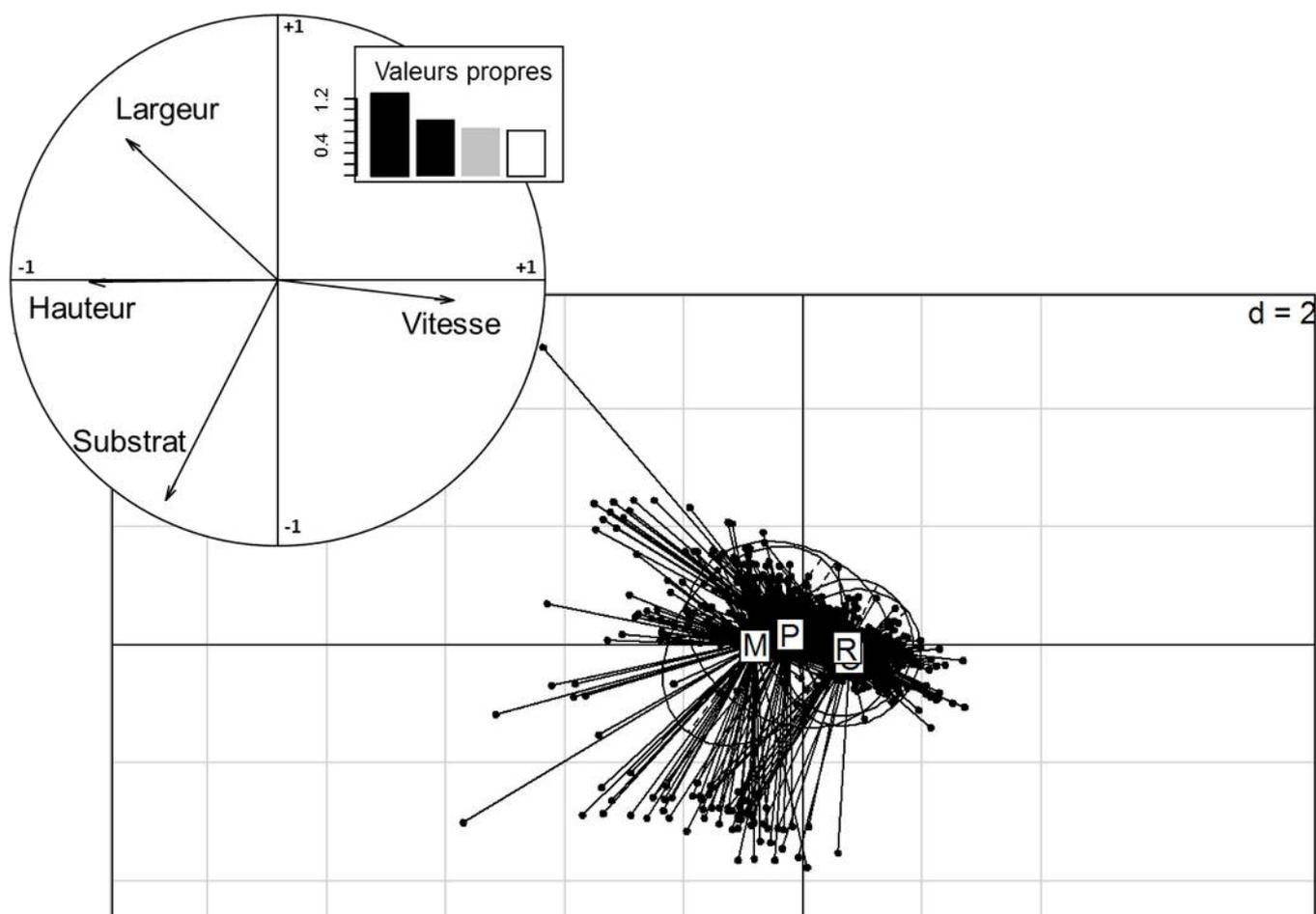


Figure 12 : Cercle des corrélations (en haut à gauche) sur le plan factoriel F1F2 (35% et 24% de la variabilité expliquée) de l'ACP centrée-réduite sur les conditions hydrodynamiques des EPOs. Positions des EPOs (lignes) sur le même plan factoriel (en bas à droite) avec les associations aux différentes classes du facteur Faciès (Mouille, Plat, Rapide & Cascade). F1 est l'axe horizontal.

Les faciès sont assez bien différenciés (Figure 12). Là encore il n'y a pas de distinction nette entre les années. Les deux affluents (secteur 15 & 45) sont à l'opposé des secteurs du fait des profondeurs faibles mesurées. Les autres secteurs ne sont pas du tout différenciés dans le plan factoriel F1F2.

RESULTATS de la campagne Habitat 2014

La première campagne de description des conditions hydrauliques et des faciès s'est déroulée entre le 8 septembre et le 25 septembre 2014. Tout le linéaire de Pont de Jonchères à Pont Gibert a été échantillonné avec un transect tous les 250 m. Toutes les stations invertébrés et poissons (pêche électriques) ont été échantillonnées sauf TCC1_Invertébrés (juste à l'aval du barrage), TCC2_Invertébrés (Sapet) et TCC_poissons (Sapet ; station pas encore déterminée précisément en 2014). Les données habitat ne sont pas encore traitées.

Tableau 5 : Largeur et profondeur moyennes estimées par secteur d'échantillonnage par EPO et par station dans l'Allier (données 2014 et 2015). Date d'échantillonnage et débit correspondant.

	1° Passage					2° Passage					
		date	nb de transects	largeur moy (m)	prof moy (cm)	Débit (m3/s)	date	nb de transects	largeur moy (m)	prof moy (cm)	Débit (m3/s)
Secteurs											
1		11/09/2014	41	21.4	73.2	4.7	A FAIRE				
2	9, 10 & 12/09/2014*		80	28.6	82.3	6.02 - 5.6 - 7.5	A FAIRE				
4		17/09/2014	44	22,1	130,4	3.9???	29/09/2015	**	**	**	2
5		16/09/2014	30	28.2	128.2	8.9 - 9.5	16/09/2015	**	**	**	6
Stations											
St Haon		11/09/2014	6	24.2	64.3	4.7	A FAIRE				
Inv_Alleyras		10/09/2014	8	31.3	87.3	5.6	A FAIRE				
Vabres		10/09/2014	11	29.8	82.2	5.6	A FAIRE				
Inv_Tcc1		15/09/2015	**	**	**	5	29/09/2015	**	**	**	2
Sapet		15/09/2015	**	**	**	5	29/09/2015	**	**	**	2
Inv_Tcc2		10/09/2015	**	**	**	5	29/09/2015	**	**	**	2
Monistrol & Inv_Tcc3		25/09/2014	9	31.3	74.3	4.7	29/09/2015	**	**	**	2
Inv_Gibert		16/09/2014	7	36.6	45.8	8.9 - 9.5	16/09/2015	**	**	**	6
Pradel		25/09/2014	9	32.2	73.2	5.9	A FAIRE				

* 9/09/2014 - Nouveau Monde --> Genestouse; 10/09/2014 - Vabres --> Pt Alleyras; 12/09/2014 - Genestouse --> Vabres

** données non dépolluées

Le secteur 3 = Retenue : non décrite car bathymétrie prévue et peu d'intérêt

St Haon, Sapet, Monistrol et Pradel = station de pêche électrique (poissons) ; Inv_xx = station de prélèvement invertébrés. Attention : les transects d'un même secteur ont pu être échantillonnés sur plusieurs jours, donc à des débits différents. Ainsi le calcul de l'habitat par secteur sera issu du croisement date * débit horaires que fournira EDF.

Les campagnes d'habitat sont à terminées pour les secteurs 1 et 2 et pour les stations de pêche St Haon, Vabres et Pradel, et pour la station Inv_Alleyras (Tableau 5).

Les faciès ont été décrits et repérés sur l'ensemble du linéaire de Pont de Jonchères à Pont Gibert en septembre 2014 (complété pour le TCC en septembre 2015). Le Tableau 6 ci-dessous donne les proportions (en linéaire) des quatre types de faciès définis pour chaque secteur et la présente la répartition spatiale des différents faciès dans les cinq secteurs d'étude.

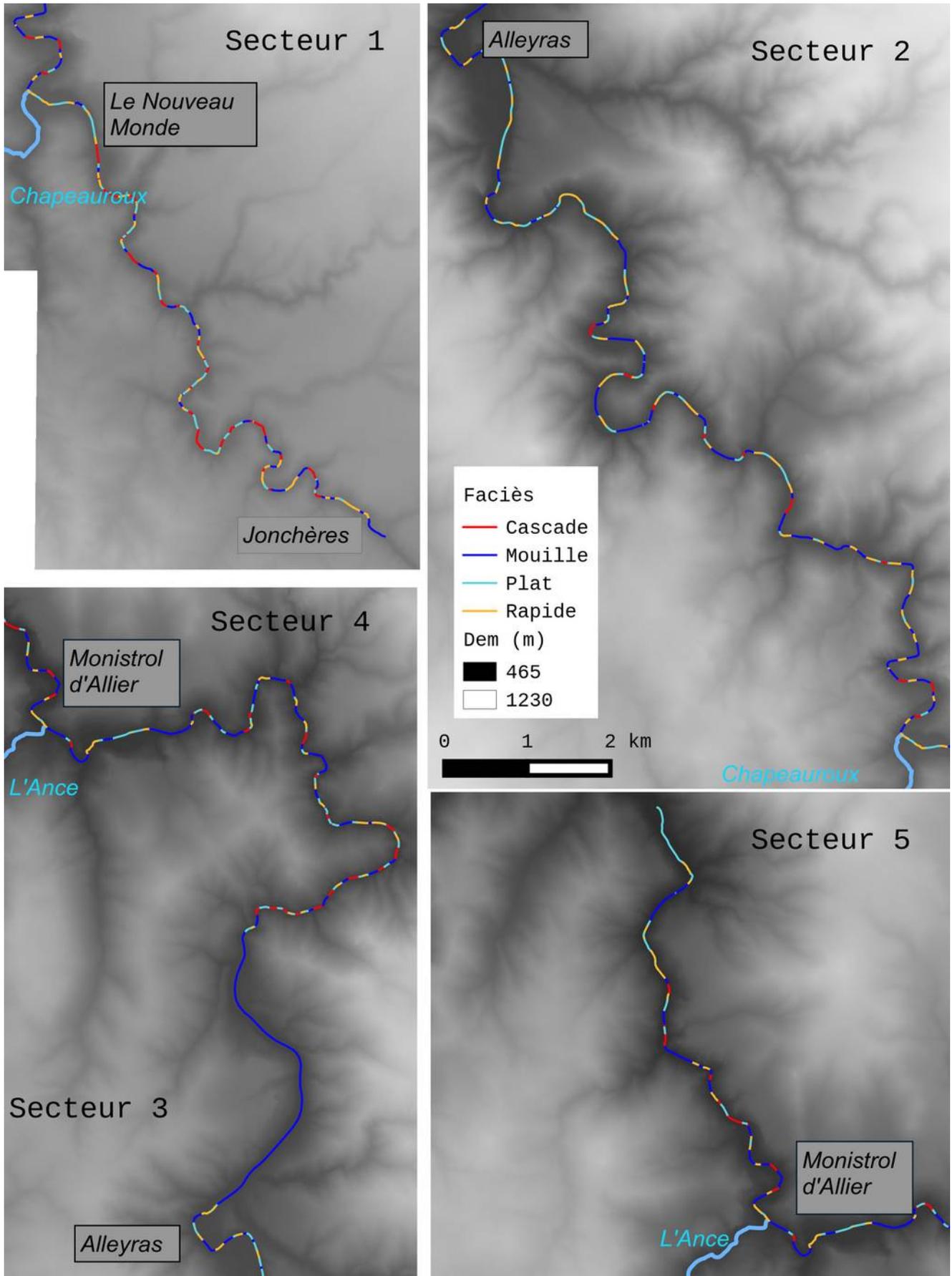


Figure 13 : Représentation cartographique de la répartition longitudinale en faciès dans les cinq secteurs d'étude de l'Allier.

Globalement, en linéaire de cours d'eau (Figure 13) sur le linéaire total échantillonné (48 291 m) les faciès représentent :

- Cascades, 82 parties, 6350 m (13.0%)
- Mouilles, 117 parties, 19 536 m (40.5%)
- Plats, 171 parties, 11 315 m (23.4 %)
- Rapides, 136 parties, 11 077 m (23.0%)

La répartition des faciès, toujours en linéaire de cours d'eau, par secteur est résumée dans le Tableau 6.

Tableau 6 : Proportion du linéaire de chaque secteur en chacun des quatre faciès recensés (mouille, plat, rapide et cascade (si hauteur de chute > 0.5 m)).

Secteur	Faciès			
	Mouille	Plat	Rapide	Cascade
1	22	28	25	25
2	39	25	31	6
3	100			
4	41	25	15	19
5	38	25	23	14

Les quatre faciès se répartissent presque uniformément dans le secteur 1. Les secteurs 2, 4 et 5 sont dominés par les mouilles. Le secteur 2 se caractérise par une proportion assez forte de rapide. Le secteur 4 (TCC), et le secteur 5 dans une moindre mesure, se caractérise au contraire par peu de linéaire rapide.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Trop peu de données sont actuellement disponibles pour déjà faire un premier bilan des observations après 2 campagnes d'EPOs. Il apparaît toutefois que la période du mois de septembre est bien adapté pour cet échantillonnage (entre 2 et 5 m de visibilité selon les secteurs ; débit inférieur à $10 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Ensuite même si le peuplement en place est globalement le même entre 2013 et 2014, nous constatons que la répartition spatiale des espèces de salmonidés (surtout ombre commun) et des espèces dites accompagnatrices est assez variable. Ce résultat a déjà été observé sur d'autres rivières (Plichard et al., soumis). Enfin, la comparaison des données EPO avec les quelques résultats disponibles montre une certaine similitude dans la structure de la communauté piscicole décrite par les deux approches.

Pour le moment les données dites « intermédiaires » (les recensements d'individus entre deux EPOs consécutifs) ne sont pas utilisées pour l'interprétation. L'impossibilité d'en déduire des informations quantitatives nous contraindra certainement à ne les utiliser qu'en complément des cartographies de présence – absence des différentes espèces.

Les données habitat de la phase « avant modification du barrage » du projet sont presque toutes disponibles. Le complément pourra se faire avant fin 2016. Cependant le manque de données de débit précis sur le long terme (et pour les jours des relevés en particulier) pour chacun des secteurs d'étude nous rend impossible à l'heure actuelle la modélisation de l'habitat telle qu'envisagée initialement.

Nous n'enregistrons pas la température en continu dans le secteur d'étude. Nous espérons que ce paramètre sera renseigné par ailleurs. A l'heure actuelle nous avons pu obtenir quelques données de l'Onema et de la FD43. Les données de l'Onema, en moyenne journalière, d'octobre à décembre 2012 nous permettent d'évaluer qu'entre Langogne et Prades (couvrant l'ensemble de notre secteur d'étude) l'écart journalier de température est globalement faible (91% des écarts des moyennes journalières entre octobre et décembre 2012 < 1°C). Les données de la FD43 (01 mai 2010 – 29 avril 2014 en moyenne journalière) enregistrées à Nouveau Monde et Vabres (représentant parfaitement notre secteur 2) sont parfaitement identiques (Figure 14). Elles démontrent une forte variabilité intra annuelle (0°C – 23°C) mais également au cours des semaines (jusqu'à plus de 5°C de variation sur une semaine). Les données de température au pas de temps horaire sont disponibles mais pas encore analysées. Il semblerait que des variations journalières aient été enregistrées (sans doute liées à la gestion de Naussac). Il faudra compléter cette étude car de fortes variations journalières de la température de l'eau ne sont pas très favorables pour les poissons et peuvent influencer directement la structure du peuplement.

Nous avons entamé en 2015 un échantillonnage par EPO par deux personnes simultanément (environ 1h de décalage entre les deux équipes). Les deux personnes qui échantillaient (NL & HC) ont réalisé tous les EPOs des 5 secteurs d'études (excepté la retenue pour NL). Ces données nous permettront d'évaluer le biais opérateur sur les données EPO. Il faudra cependant compléter en 2016 avec un autre type de comparaison : NL versus différents observateurs. En 2015 nous avons pu initier au protocole EPO et Habitat de nombreuses personnes : Onema (Yannick Hermet, Michel XX, JM Ditché, Gaël Olivier, René Martin) ; Logrami (Timothé Parouty & Cédric Leon) ; Irstea (Céline Le Pichon) ; USGS (Christian Torgersen). Il sera donc plus facile de procéder à ce double échantillonnage en 2016.

Un séminaire d'échange s'est tenu du 21 au 25 sept 2015 à St Privat d'Allier avec la participation de Christian Torgersen (U.S. Geological Survey), qui pratique des échantillonnages en plongée comparables à notre échantillonnage mais en continu, de Céline Le Pichon (Irstea Antony), qui travaille sur la continuité écologique avec des approches issues de l'écologie du paysage et de Stéphane Nicolas (FD43). Ce séminaire fut un moment idéal de comparaison des protocoles (avec des relevés EPO) et d'échange à propos des projets en cours et des données disponibles. L'USGS a entamé un projet d'étude de la restauration de la libre circulation du saumon et du transport sédimentaire dans la rivière Elwha

(<http://walrus.wr.usgs.gov/elwha/publications.html>). Cette restauration est fondée sur l'arasement de deux ouvrages qui bloquent la continuité écologique et sédimentaire depuis 100 ans. C. Torgersen (USGS) et S. Brenkman (National Park Service) ont déjà mis en œuvre un échantillonnage des populations de salmonidés par observation directe (en continu) sur des linéaires importants de la rivière, avant l'arasement des ouvrages. Ils ont programmé de recommencer cet échantillonnage après l'arasement des deux barrages. Les contacts pris avec Christian Torgersen nous permettent d'envisager un travail de comparaison intercontinental très prometteur.

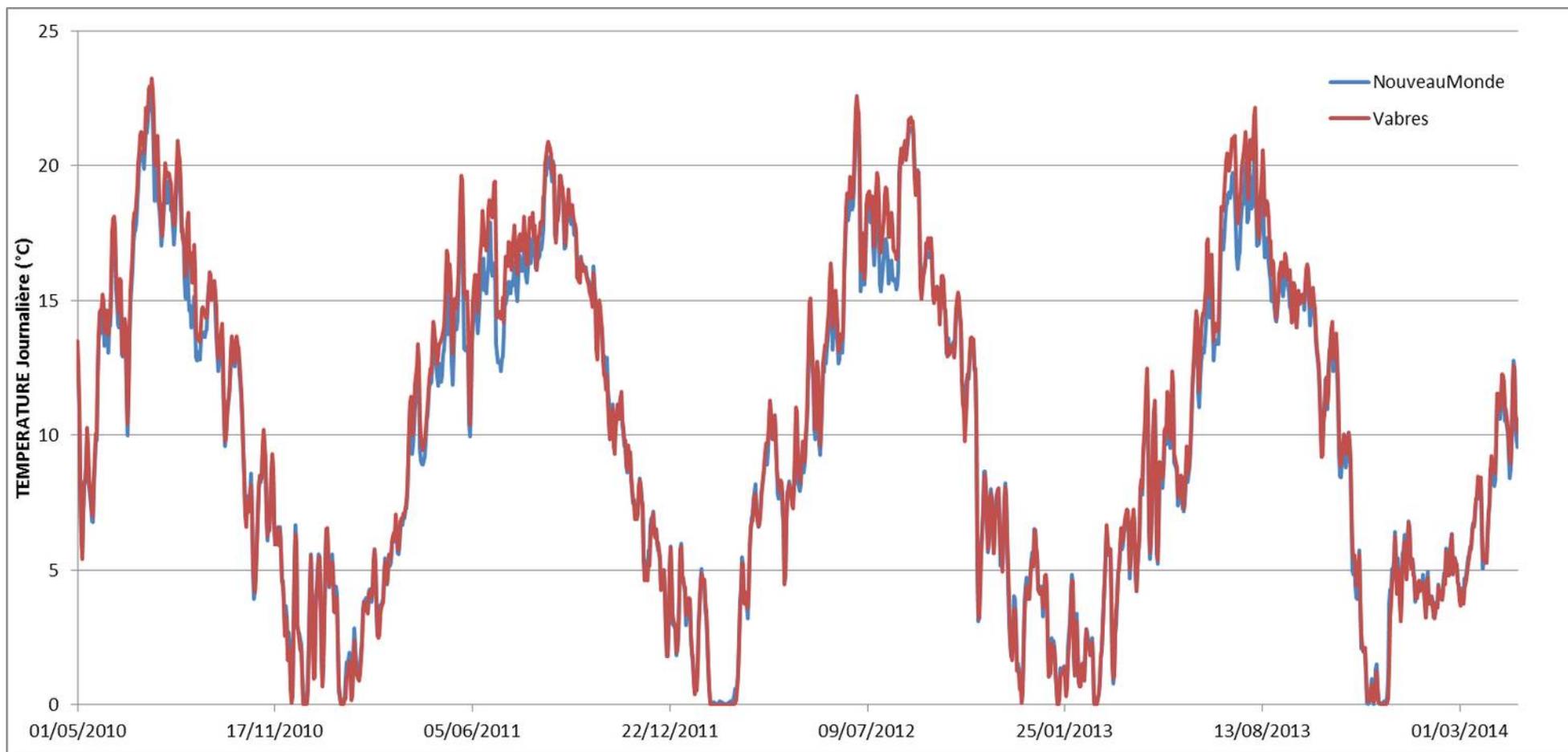


Figure 14 : Chroniques de température moyenne journalière de l'eau enregistrées à Nouveau Monde et à Vabres (Sect2). Données FD43

REFERENCES

- Bellier E., Monestiez P., Certain G., Chadoeuf J. & Bretagnolle V. (2012) Decomposing the heterogeneity of species distributions into multiple scales: a hierarchical framework for large-scale count surveys. *Ecography* **35**, 839–854.
- Blanchet S., Rey O., Etienne R., Lek S. & Loot G. (2010) Species-specific responses to landscape fragmentation: implications for management strategies. *Evolutionary Applications* **3**, 291–304.
- Brenkman S.J., Duda J.J., Torgersen C.E., Welty E., Pess G.R., Peters R., *et al.* (2012) A riverscape perspective of Pacific salmonids and aquatic habitats prior to large-scale dam removal in the Elwha River, Washington, USA. *Fisheries Management and Ecology* **19**, 36–53.
- Brosse S., Laffaille P., Gabas S. & Lek S. (2001) Is scuba sampling a relevant method to study fish microhabitat in lakes? Examples and comparisons for three European species. *Ecology of Freshwater Fish* **10**, 138–146.
- Capra H., Lamouroux H., Plichard L. & Datry T. Connectivités des tronçons de cours d'eau et structuration des communautés piscicoles à leurs voisinages. Rapport Irstea – Agence de l'eau RMC – Action 41 Connectifish. *In prep.*
- Chamberland J.-M., Lanthier G. & Boisclair D. (2014) Comparison between electrofishing and snorkeling surveys to describe fish assemblages in Laurentian streams. *Environmental Monitoring and Assessment* **186**, 1837–1846.
- Copp G.H. (2010) Patterns of diel activity and species richness in young and small fishes of European streams: a review of 20 years of point abundance sampling by electrofishing. *Fish and Fisheries* **11**, 439–460.
- Fausch K.D., Torgersen C.E., Baxter C.V. & Li H.W. (2002) Landscapes to Riverscapes: Bridging the Gap between Research and Conservation of Stream Fishes. *BioScience* **52**, 483–498.
- Grenouillet G., Brosse S., Tudesque L., Lek S., Baraillé Y. & Loot G. (2008) Concordance among stream assemblages and spatial autocorrelation along a fragmented gradient. *Diversity and Distributions* **14**, 592–603.
- Hart D.D., Johnson T.E., Bushaw-newton K.L., Horwitz R.J., Bednarek A.T., Charles D.F., Kreeger DA. & Velinsky, D.J. (2002) Dam Removal: Challenges and Opportunities for Ecological Research and River Restoration. *BioScience* **52**, 669–681.
- Heggenes J., Brabrand Åg. & Saltveit S. (1990) Comparison of Three Methods for Studies of Stream Habitat Use by Young Brown Trout and Atlantic Salmon. *Transactions of the American Fisheries Society* **119**, 101–111.

- Leibold M.A., Holyoak M., Mouquet N., Amarasekare P., Chase J.M., Hoopes M.F., *et al.* (2004) The metacommunity concept: a framework for multi-scale community ecology. *Ecology Letters* **7**, 601–613.
- Labbe T.R. & Fausch K.D. (2000) Dynamics of Intermittent Stream Habitat Regulate Persistence of a Threatened Fish at Multiple Scales. *Ecological Applications* **10**, 1774–1791.
- Miyazono S. & Taylor C.M. (2013) Effects of habitat size and isolation on species immigration–extinction dynamics and community nestedness in a desert river system. *Freshwater Biology* **58**, 1303–1312.
- Mueller K.W. (2003) A comparison of electrofishing and scuba diving to sample black bass in western Washington lakes. *North American Journal of Fisheries Management* **23**, 632–639.
- O’Hanley J.R., Wright J., Diebel M., Fedora M.A. & Soucy C.L. (2013) Restoring stream habitat connectivity: A proposed method for prioritizing the removal of resident fish passage barriers. *Journal of Environmental Management* **125**, 19–27.
- Persat H. & Copp G.H. (1990) Electric fishing and point abundance sampling for the ichthyology of large rivers. In: *Developments in Electrofishing*, I.G. Cows. Fishing News Books, pp. 197–209. Cambridge University Press, Cambridge.
- Peterson E.E., Ver Hoef J.M., Isaak D.J., Falke J.A., Fortin M.-J., Jordan C.E., *et al.* (2013) Modelling dendritic ecological networks in space: an integrated network perspective. *Ecology Letters* **16**, 707–719.
- Petts G.E. & Gurnell A.M. (2005) Dams and geomorphology: Research progress and future directions. *Geomorphology* **71**, 27–47.
- Plichard L. 2014. Pêcher ou plonger ? Comparaison spatio-temporelle des méthodes d’échantillonnage des communautés de poissons d’eau courante. Rapport Master II Irtsea Lyon – Université Lyon 1.
- Plichard L., Capra H., Mons R., Pella H. & Lamouroux N. Soumis. Comparing electrofishing and snorkeling for characterizing fish assemblages over long distances. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*.
- Tomanova S., Tedesco P.A., Roset N., Berrebi dit Thomas R. & Belliard J. (2013) Systematic point sampling of fish communities in medium- and large-sized rivers: sampling procedure and effort. *Fisheries Management and Ecology* **20**, 533–543.
- Torgersen C.E., Baxter C.V., Li H.W. & McIntosh B.A. (2006) Landscape influences on longitudinal patterns of river fishes: spatially continuous analysis of fish-habitat relationships. In: *American Fisheries Society Symposium*. p. 473. American Fisheries Society.

- Waco K.E. & Taylor W.W. (2010) The influence of groundwater withdrawal and land use changes on brook charr (*Salvelinus fontinalis*) thermal habitat in two coldwater tributaries in Michigan, U.S.A. *Hydrobiologia* **650**, 101–116.
- Wildman T.L. & Neumann R.M. (2003) Comparison of snorkeling and electrofishing for estimating abundance and size structure of brook trout and brown trout in two southern New England streams. *Fisheries Research* **60**, 131–139.