



**HAL**  
open science

## **Suivi scientifique du programme décennal de restauration écologique et hydraulique du Rhône. Vieux Rhône et lones de Chautagne. Caractérisation de l'état initial. Année 2003**

Jean-Michel Olivier, Nicolas Lamouroux, Simon André, Sylvain Dolédec, Sylvie Méricoux

### ► To cite this version:

Jean-Michel Olivier, Nicolas Lamouroux, Simon André, Sylvain Dolédec, Sylvie Méricoux. Suivi scientifique du programme décennal de restauration écologique et hydraulique du Rhône. Vieux Rhône et lones de Chautagne. Caractérisation de l'état initial. Année 2003. [Rapport de recherche] CEMA-GREF; Université Lyon 1; CNRS; EZUS - Université Lyon 1. 2003. halshs-04557974

**HAL Id: halshs-04557974**

**<https://shs.hal.science/halshs-04557974>**

Submitted on 24 Apr 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.

Maitrise d'ouvrage:



Compagnie Nationale du Rhône

# Suivi scientifique du programme décennal de restauration écologique et hydraulique du Rhône



## **Vieux Rhône et îlons de Chautagne**

Caractérisation de l'état initial

**année 2003**



Laboratoire d'écologie des  
hydrosystèmes fluviaux  
Université Lyon 1  
43 Bd du 11 novembre 1918  
69100 Villeurbanne

date de rédaction : juin 2004

Contrat de prestations n°DPE-F 03-0093  
CNR / EZUS-Lyon 1



Département Gestion des Milieux Aquatiques  
UR Biologie des Ecosystèmes Aquatiques  
Groupement de Lyon  
3 bis quai Chauveau CP 220  
69336 Lyon Cedex 09

Suivi scientifique du programme décennal de restauration  
hydraulique et écologique du Rhône

**Rapport n° 1**  
**Portant sur l'année 2003**

**Caractérisation de l'état initial du RCC de  
Chautagne**

Thèmes traités :  
**poissons et invertébrés du chenal**

date de rédaction : juin 2004

Simon ANDRE – Sylvain DOLEDEC – Nicolas LAMOUROUX –  
Sylvie MERIGOUX – Jean-Michel OLIVIER

---

Coordination Jean-Michel OLIVIER & Nicolas LAMOUROUX

# Table des matières

<b>1. Résumé .....</b>	<b>2</b>
<b>2. contexte.....</b>	<b>8</b>
<b>3. Peuplement d'invertébrés du chenal .....</b>	<b>10</b>
3.1. Rappel du contexte et des objectifs .....	10
3.2. Méthodologie .....	10
3.2.1. Modèle d'habitat statistique .....	11
3.2.2. Protocole d'échantillonnage de terrain.....	11
3.3. Etat de référence pour les invertébrés du chenal du R.C.C. de Chautagne .....	13
3.3.1. Données faunistiques.....	13
3.3.2. Comparaison qualitative des données faunistiques de référence avec des données antérieures .....	16
3.3.3. Données hydrauliques à l'échelle locale .....	17
3.3.4. Données hydrauliques à l'échelle du tronçon .....	22
3.3.5. Couplage des données faunistiques et hydrauliques .....	22
3.4. Discussion sur l'état de référence actuel .....	26
3.5. Bilan et Perspectives .....	28
<b>4. Peuplement piscicole .....</b>	<b>29</b>
4.1. Rappel du contexte et des objectifs .....	29
4.2. Stratégie d'échantillonnage .....	29
4.2.1. Stations d'étude .....	29
4.2.2. Protocole d'échantillonnage .....	32
4.3. Analyse de données .....	33
4.4. Résultats .....	33
4.4.1. Liste Faunistique .....	33
4.4.2. Caractérisation du peuplement du R.C.C. de Chautagne .....	35
4.4.3. Analyse quantitative du peuplement du R.C.C. de Chautagne .....	48
4.4.4. Simulation de la qualité de l'habitat : Attendus en Chautagne.....	50
4.4.5. Etat initial des lônes de la Malourdie et du Brotalet .....	54
4.5. Bilan et Perspectives .....	55
<b>5. Niveau de la nappe alluviale.....</b>	<b>56</b>
<b>6. Références bibliographiques .....</b>	<b>59</b>

# 1. RESUME

Le programme décennal de restauration écologique et hydraulique du Rhône a été doté d'un suivi scientifique destiné à évaluer les impacts positifs du programme sur les milieux et communautés biologiques concernés.

Chaque Rhône court-circuité (R.C.C.) dont la restauration a été programmée fera l'objet d'une description de son état avant restauration et d'un suivi post-restauration restitué sous la forme d'un rapport annuel.

Ce rapport présente le travail et les résultats de caractérisation de l'état initial du R.C.C. de Chautagne dont la restauration des lônes (Malourdie et Brotalet) a été effectuée fin 2003 et l'augmentation des débits réservés est prévue pour l'été 2004. Selon les termes du cahier des charges, le suivi sur ce site est basé sur les compartiments suivants :

- faune de macro-invertébrés aquatiques du chenal
- faune piscicole du chenal et des lônes
- niveau de la nappe alluviale.

Outre une description des peuplements d'invertébrés et de poissons du R.C.C. de Chautagne, ce rapport s'attachera également à caractériser leurs relations avec les conditions hydrauliques locales (c'est en effet ces conditions qui seront modifiées par les mesures de restauration).

L'état initial du peuplement d'invertébrés benthiques du chenal du Rhône court-circuité de Chautagne a été réalisé en effectuant 3 campagnes d'échantillonnage de la faune et des conditions hydrauliques locales en 2002 (printemps et été) et 2003 (hiver). Pour le peuplement piscicole, l'état initial a été réalisé en utilisant les données de pêches électriques recueillies de 1989 à 2003. Les résultats marquants sont les suivants :

## **Peuplement d'invertébrés :**

- Un total de 120 taxons ont été échantillonnés au cours de ces campagnes.
- Le peuplement typique d'un épiptamon<sup>1</sup> présente une faune mixte de taxons spécifiques des grandes rivières (e.g. Potamanthus luteus) et de taxons rencontrés sur de plus petit cours d'eau (e.g. Leuctra, Baetis).
- La plupart des taxons rencontrés dans ce secteur sont eurythermes et donc capables de supporter des variations importantes de température de l'eau.
- Pour l'essentiel, les taxons sont oligotrophes ou mésotrophes<sup>2</sup> témoignant d'une assez bonne qualité biologique du secteur.

---

<sup>1</sup> Partie amont de la zone potamique qui correspond elle même au cours d'eau inférieur à courant lent.

- Les taxons dominants présentent une forte affinité pour des habitats à substrat grossier recouvert d'algues filamenteuses largement rencontrés dans le secteur de Chautagne étudié.
- On peut souligner que l'espèce invasive *Dreissena polymorpha* ne présente pas une abondance très forte comme dans d'autres secteurs du Rhône.
- Nos résultats montrent que la plupart des taxons échantillonnés ne se répartissent pas au hasard dans le milieu mais présentent des préférences marquées pour des contraintes hydrauliques particulières exercées au fond du cours d'eau.  
Ces contraintes hydrauliques sont fortement dépendantes des conditions hydrologiques instantanées et/ou passées et toute modification du régime hydrologique aura un impact sur ces variables et donc sur la faune benthique. Ainsi on peut par exemple supposer que la réhabilitation des débits dans le R.C.C. de Chautagne engendrera une augmentation des habitats à contraintes hydrauliques fortes dans le chenal et que des taxons montrant des préférences pour de tels habitats seront favorisés. Ce type d'hypothèses sera testé au cours du suivi de niveau 2 avec le modèle d'habitat statistique FSTress.

#### **Peuplement piscicole :**

- 27 espèces de poissons ont été échantillonnées au cours de cette période, dont 2 espèces de Salmonidés (truite fario et ombre commun) et 15 espèces de cyprinidés ; ces espèces sont pour la plupart très commune dans le Haut Rhône, à l'exception du carassin doré, espèce introduite trouvée récemment dans ce secteur.
- les espèces les plus caractéristiques du R.C.C. de Chautagne sont : la truite fario, le hotu, le spirin, l'ombre commun, la vandoise, la loche franche, le chevaine, le goujon, le vairon, le barbeau fluviatile.
- certaines espèces sont présentes avec une certaine régularité dans le temps : le barbeau fluviatile, la perche fluviatile, le goujon, la tanche, l'ombre commun ;
- certaines espèces ont des fréquences d'occurrence ayant augmenté significativement au cours du temps : le vairon, le chevaine, la loche franche, sans doute en raison de la mise en débit réservé du tronçon court-circuité et des changements des caractéristiques écologiques associées (granulométrie, réduction des vitesses de courant et de la profondeur, et eutrophisation du milieu) ;
- d'autres espèces ont des fréquences d'occurrence ayant diminué entre 1989 et 2003 : la vandoise, le hotu, le blageon, le spirin et dans une moindre mesure la truite fario ; ces espèces reconnues comme très exigeantes vis-à-vis de la qualité du substrat, de la température, de la vitesse d'écoulement et de qualité générale de l'eau, ont probablement été défavorisées par la construction de l'aménagement de Chautagne ; ce phénomène peut refléter des problèmes de dynamique de population sérieux ;

---

<sup>2</sup> Taxons que l'on retrouve dans des eaux oligotrophes ou mésotrophes présentant des caractéristiques chimique particulières et notamment des teneurs en azote et phosphore faibles (oligotrophes) ou intermédiaires (mésotrophes).

- l'analyse quantitative des données met en évidence un changement de la structure du peuplement à partir de 1995 avec un peuplement dominé par vandoise, hotu, perche fluviatile, spirlin, truite fario et blageon pour la période avant 1996, et par loche franche, vairon, gardon, ablette, goujon et chevaîne pour la période 1996 – 2003 ; ce changement reflète les inversions de proportion d'espèces citées dans les 2 points précédents. Cette constatation peut témoigner de la durée nécessaire pour mettre en évidence sur le moyen terme (15 ans) les changements de structure de communauté associés à la mise en débit réservée du secteur. De plus, les changements climatiques globaux peuvent également jouer un rôle dans les phénomènes observés.

Le R.C.C. de Chautagne est donc un milieu dont la faune piscicole originelle comportait un ensemble d'espèces affectionnant particulièrement les fonds de galets et les fortes vitesses de courant (cyprinidés rhéophiles et salmonidés tels que la truite et l'ombre commun). La construction du barrage de Motz et la mise en débit réservé du secteur a conduit à une modification importante des caractéristiques d'habitat dont les effets sur le long terme se traduisent par une réduction de l'abondance des espèces rhéophiles et une augmentation de l'abondances des espèces plus tolérantes et plus caractéristiques des cours d'eau de faible et de moyenne dimensions.

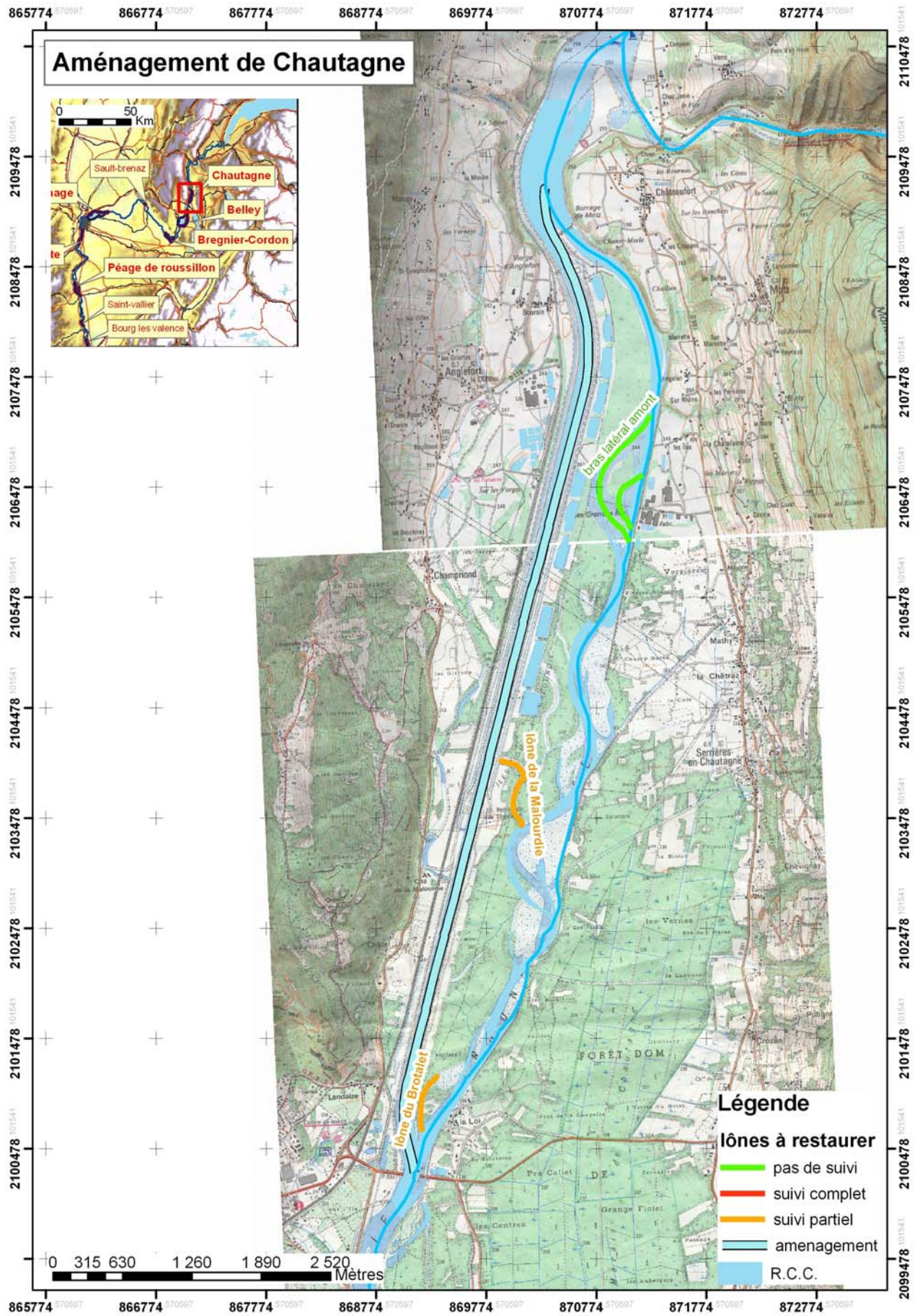
Les simulations de la qualité de l'habitat des poissons dans le vieux Rhône ont été actualisées à l'aide de la méthode des 'microhabitats' *via* le logiciel Estimhab. Les modélisations de qualité de l'habitat indiquent que l'augmentation du débit favorise les espèces vivant dans des conditions rapides et/ou profondes (ombre, barbeau, ablette, hotu, vandoise) par rapport aux autres. Cette tendance est continue, bien que particulièrement marquée en dessous de 50 m<sup>3</sup>/s.

Les lônes de la Malourdie et du Brotalet ont été pêchées en septembre 2003. La Lône de la Malourdie constituait alors un milieu de très faibles dimensions et très pauvre en poissons. La Lône du Brotalet constituait quant-à elle une reculée fréquentée essentiellement par des juvéniles de l'année. Le suivi ultérieur aura pour objectif de tester si ces milieux réhabilités en 2003 joueront un véritable rôle d'annexes fluviales (zone de reproduction et de croissance pour les poissons par exemple).

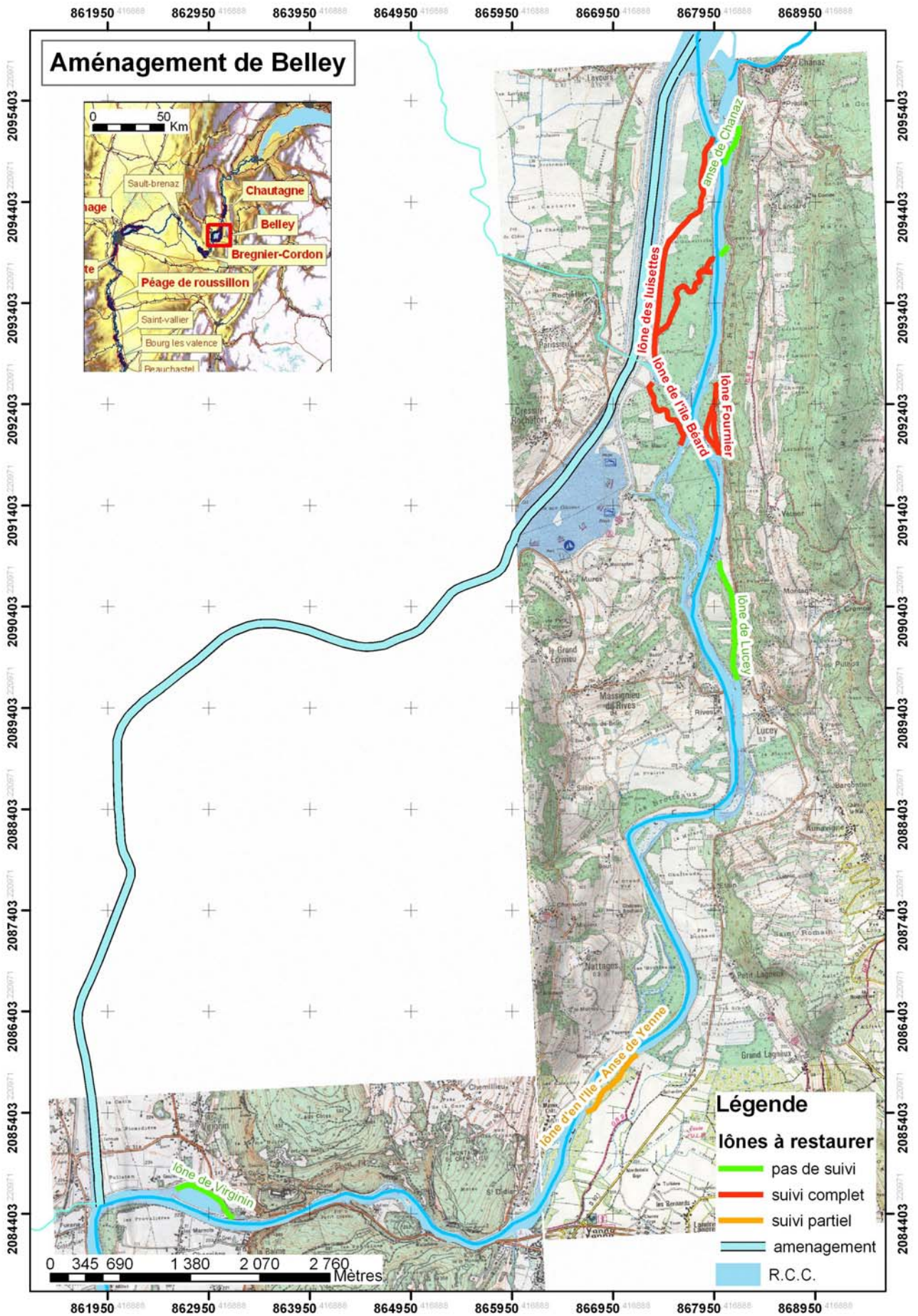
#### Le suivi scientifique du haut-Rhône :

		poissons	invertébrés	végétation	sédimentation
Chautagn e	chenal	X	X		
	Lône de la Malourdie	X			
	Lône du Brotalet	X			
Belley	chenal	X	X		
	Lône Luisettes	X	X	X	X
	Lône Moiroud	X	X	X	X
	Lône Béard	X	X	X	X
	Lône Fournier	X	X	X	X
	Lône Chantemerle	X	X	X	X
	Anse de Yenne (lône d'en l'île)	X			
Bregnier - cordon	chenal	X	X		
	Lônes Ponton et Plaine	X	X	X	X
	Lône des Granges	X	X	X	X
	Lône des Molottes	X	X	X	X
	Lône Vachon	X			
	Lône Mattant	X			
Lône des Cerisiers	X				

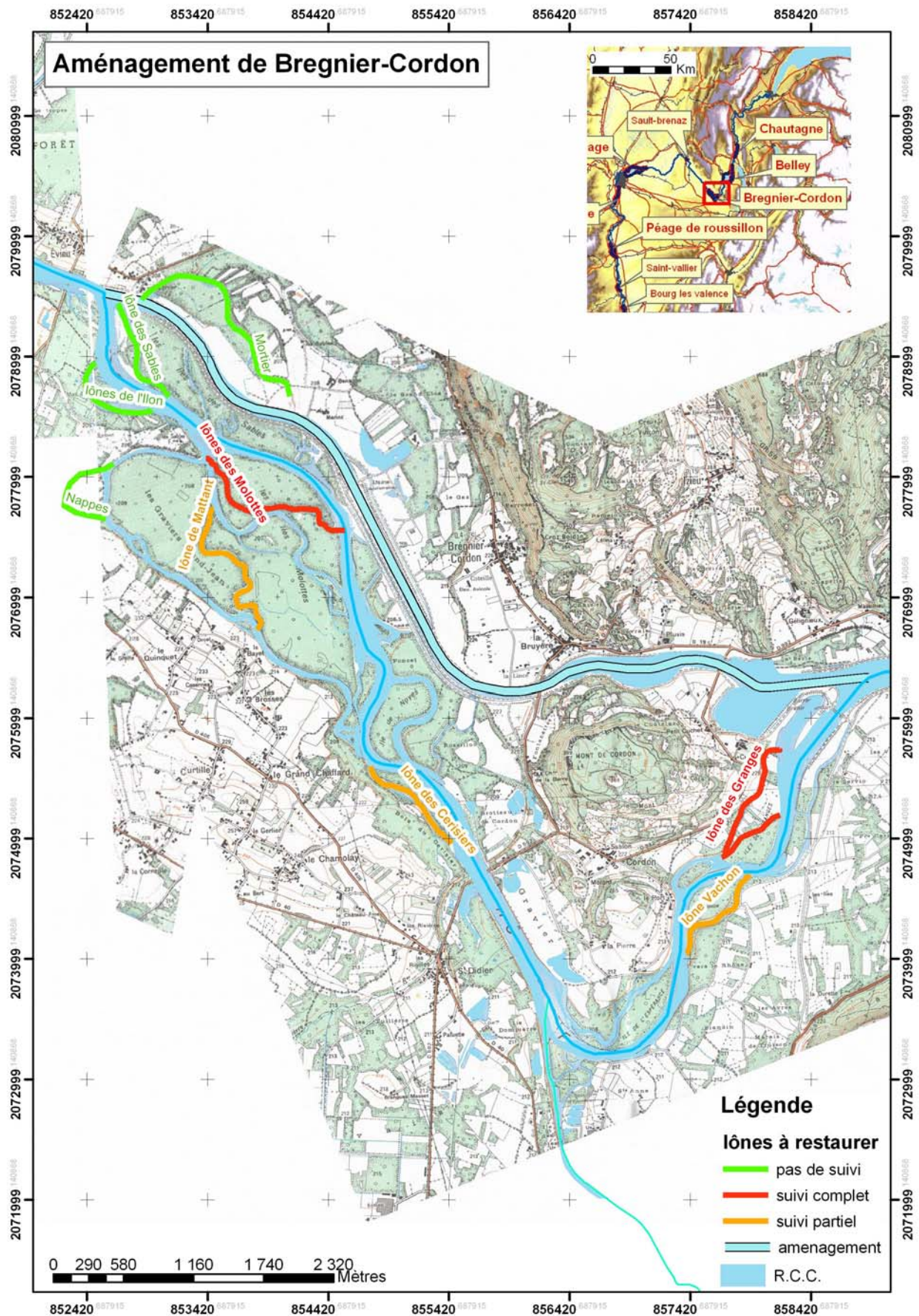












## 2. CONTEXTE

La **réhabilitation écologique et hydraulique** des vieux Rhône de Chautagne, Belley et Brégner-Cordon s'appuie sur deux opérations essentielles que sont :

- l'augmentation des débits réservés,
- la restauration écologique de 24 lônes.

Il s'agit là d'opérations dont les enjeux écologiques et économiques sont très importants à l'échelle du Rhône puisque intégrée au plan décennal de restauration hydraulique et écologique du fleuve et transposable aux autres chutes et à l'échelle locale, pour le SHR (Syndicat du Haut Rhône) qui regroupe les communes des trois départements concernés : l'Ain, la Savoie et l'Isère.

Afin d'évaluer les impacts écologiques positifs de l'augmentation des débits réservés et des travaux sur les lônes, un **suivi scientifique** a été mis en place sur la période 2003-2008. Il doit permettre de contrôler l'objectif assigné aux travaux de restauration à savoir l'augmentation de la diversité des milieux et par là, l'augmentation de la richesse patrimoniale tant en terme de milieu que d'espèce.

Le contenu du suivi scientifique a été élaboré par le laboratoire d'écologie des hydrosystèmes fluviaux de l'université de Lyon 1 dans le cadre d'une convention passée avec la DIREN-délégation de bassin Rhône-Méditerranée-Corse. Ce suivi a fait l'objet d'une validation par le SIPBBRS, pilote institutionnel du projet de réhabilitation du Haut Rhône lors du comité de pilotage réuni à Yenne le 9 avril 2003.

La CNR maître d'ouvrage des opérations d'augmentation des débits réservés et de restauration des lônes assure la maîtrise d'ouvrage du suivi scientifique sur le Haut Rhône. Le suivi est financé par l'Agence de l'Eau RMC, l'Etat, la Région, les départements de la Savoie et de l'Isère et la CNR.

Le suivi est basé sur des travaux expérimentaux et des méthodes d'échantillonnage qui ne font pas l'objet d'une normalisation. Il se décompose en deux phases successives :

La première concerne la **description**, au cours de l'année précédant les travaux de restauration des lônes, **de l'état écologique initial** du site au travers de ses deux compartiments :

- abiotique : qualité des eaux, évolution morphologique des lônes, hydraulique des nappes,
- biologique : végétation aquatique, peuplements d'invertébrés aquatiques et piscicoles.

La seconde phase interviendra après l'augmentation des débits réservés, prévue après les travaux de restauration des lônes pour mettre en évidence, sur une période de 6 ans, les **évolutions des mêmes composantes écologiques**.

Le présent rapport entre dans le cadre de la première phase et s'attache donc à décrire l'état initial du R.C.C. de Chautagne, premier site restauré dans le cadre du programme décennal Rhône.

En respect du cahier des charges, la description de l'état initial du R.C.C. de Chautagne est réalisée au travers des compartiments **faune piscicole** et **faune d'invertébrés aquatique pour le chenal** et **faune piscicole pour les lônes**. Est également intégré à cet état initial un volet descriptif sur le **niveau de la nappe alluviale**.

Pour les invertébrés, l'aspect modélisation de la réponse biologique aux changements de conditions hydrauliques sera évoqué dans les parties « méthodologie » et « perspectives » mais fera l'objet des travaux futurs du suivi de niveau 2.

A titre d'information, le groupe d'acteurs du programme décennal de restauration du Rhône a choisi de mettre en place un suivi complémentaire à celui présenté ici. Dénommé **suivi de niveau 2**, il comporte une composante scientifique plus marquée et vise à permettre le développement et la validation de modélisations du comportement des peuplements biologiques vis-à-vis des modifications des conditions hydrauliques.

Il est à noter que le R.C.C. de Chautagne constitue depuis son aménagement un des lieux privilégiés du Haut-Rhône pour l'étude de l'impact de mise en débit réservé des sections court-circuitées par les aménagements hydro-électriques. En effet, en raison de la faible longueur de ce tronçon, de l'absence d'affluent et du cloisonnement du site par le barrage de Motz, l'usine de Chautagne et l'aménagement de Belley à l'aval, les scientifiques ont trouvé ici un site privilégié pour y accomplir de nombreuses études à caractère interdisciplinaire en liaison avec l'aménagement du fleuve et la mise en débit réservé (voir par exemple les travaux de Klingeman *et al.*, 1998).

*Les données présentées dans ce rapport sont visualisables sur le tableau de bord du suivi scientifique du programme décennal de restauration hydraulique et écologique du Rhône. Il s'agit d'un outil de lecture actualisé et dynamique du suivi scientifique, le tableau de bord permet de consulter les dernières évolutions des données, métriques et indicateurs présentés dans ce rapport au moyen d'une interface cartographique conviviale. Cet outil offre d'intéressantes possibilités de comparaisons géographiques ou temporelles qui illustreront et compléteront l'information figée du présent rapport.*

*En phase de développement mais néanmoins fonctionnelle, la version de test est téléchargeable sur le site internet du tableau de bord du suivi scientifique :*

*<http://rhone.univ-lyon1.fr>*

### **3. PEUPLEMENT D'INVERTEBRES DU CHENAL**

#### **3.1. Rappel du contexte et des objectifs**

Toutes modifications naturelles ou anthropiques des conditions hydrauliques d'un cours d'eau sont susceptibles d'avoir un impact sur les assemblages d'espèces de macroinvertébrés benthiques dont le cycle de vie se déroule en partie (Insectes) ou entièrement en milieu aquatique (e.g. Crustacés, Mollusques ou certains Insectes).

Au cours des deux dernières décennies, de nombreux travaux ont été initiés sur les invertébrés du Rhône dans le cadre de la mise en place des aménagements hydroélectriques (e.g. pour le secteur de Chautagne, Olivier, 1986, Dessaix et al., 1995). Les objectifs de ces études et les protocoles d'échantillonnage étaient variés et les données ainsi obtenues sont hétérogènes. Les comparaisons quantitatives de ces jeux de données deviennent alors difficiles et ne permettent pas d'établir une situation de référence avant l'augmentation des débits des Rhône Court-Circuités (R.C.C.) prévue dans le programme décennal de restauration. De plus, aucune donnée simultanée de la faune et des conditions hydrauliques locales n'était jusqu'alors disponible. Ces données sont pourtant nécessaires pour connaître les préférences hydrauliques des taxons afin de prédire l'impact éventuel des modifications des conditions hydrauliques sur ces taxons.

Aussi, notre étude initiée au cours de l'année 2002, vise à établir un état de référence pour les invertébrés des quatre R.C.C. concernés par la restauration des débits (Chautagne, Belley, Brégnier-Cordon). Dans une première phase (niveau 1) notre étude décrit les peuplements d'invertébrés en place dans le chenal de ces 3 R.C.C. et décrit la relation de ces organismes vis à vis des conditions hydrauliques locales. Dans un deuxième temps (suivi de niveau 2), notre étude visera, à partir de cet état de référence, à établir des scénarios de modifications biocénétiques (composition spécifique ou à l'échelle du stade de développement larvaire) en fonction des changements hydrauliques associés aux augmentations de débit dans les R.C.C. en utilisant un modèle d'habitat statistique (FSTress). Le fait que les invertébrés benthiques soient inféodés aux sédiments et que leur répartition dépende largement des conditions hydrauliques font de ces organismes un matériel de choix pour répondre aux hypothèses concernant les effets des changements de valeurs de débit réservés.

#### **3.2. Méthodologie**

La stratégie d'échantillonnage suit le protocole recommandé pour l'utilisation du modèle d'habitat statistique adapté aux invertébrés benthiques, FSTress (Lamouroux, 1997, <http://www.lyon.cemagref.fr/bea/lhq/stathab.htm>). Même si ce présent rapport a pour objectif de dresser un état du peuplement des invertébrés benthiques du R.C.C. de Chautagne, nous présentons rapidement dans cette partie méthodologique, le modèle qui sera utilisé dans le suivi de niveau 2 ainsi que la démarche d'échantillonnage requise par le modèle pour les 3 R.C.C. concernés par les modifications de débits.



### **3.2.1. Modèle d'habitat statistique**

Le modèle FSTress implique le couplage de deux types de modèles : des modèles biologiques établis à une échelle locale (microhabitat) et des modèles hydrauliques statistiques établis à l'échelle du tronçon (typiquement de 15 à 30 fois la largeur afin de couvrir une à plusieurs séquences de type radier-mouille, lorsqu'elles existent). Les détails de ces deux types de modèles sont donnés en Annexe I.

### **3.2.2. Protocole d'échantillonnage de terrain**

#### *3.2.2.1. Echantillonnage à l'échelle locale*

##### 3.2.2.1.1. Travail de terrain

A l'échelle locale, nous avons échantillonné les **invertébrés** et les **paramètres hydrauliques** sur les mêmes points d'échantillonnage.

Les invertébrés ont été récoltés avec un cylindre de Hess muni d'un filet de maille de 200µm. Les premiers centimètres de substrat et la faune associée ont été collectés sur une surface de 0.05 m<sup>2</sup>.

Le filet a été rincé et nettoyé. Les pierres et les galets récoltés ont été brossés dans un bac pour les débarrasser des organismes.

Les sédiments de taille supérieure à 8 mm ont été mesurés (cf. ci-dessous) puis remis dans la rivière. Le reste des sédiments ainsi que les organismes ont été conservés dans une solution formolée (6 %) pour leur identification ultérieure au laboratoire.

Nous avons utilisé la **méthode des hémisphères FST** de Statzner & Müller (1989) pour mesurer les contraintes hydrauliques locales au fond de la rivière au niveau du point d'échantillonnage de la faune. La force mesurée ainsi intègre les contraintes longitudinales, latérales et verticales qui s'exercent localement au fond du lit de la rivière. **Cette mesure synthétique correspond aux contraintes hydrauliques locales que subissent les organismes benthiques.**

Les hémisphères sont placés sur une plaque lestée posée horizontalement au fond de la rivière. L'hémisphère le plus lourd qui quitte la plaque donne la valeur contrainte. Un jeu d'hémisphères comporte 24 hémisphères de même taille mais qui diffèrent par leur densité. Des courbes de calibration permettent de traduire chaque numéro d'hémisphère par une force de cisaillement en dyn/cm<sup>2</sup> (Statzner et al. 1991). **Ces forces induisent le remaniement des sédiments et peuvent déloger les invertébrés benthiques de leurs abris** (Townsend et al., 1997).

A l'échelle locale, la vitesse du courant, la taille du substrat et la profondeur ont également été mesurées. Ces paramètres n'interviennent pas dans l'utilisation du modèle FSTress mais permettront d'approfondir l'analyse des relations entre les facteurs hydrauliques et la faune (par l'estimation d'autres paramètres hydrauliques tels que le nombre de Froude, la vitesse de cisaillement ou le nombre de Reynolds au fond cf. 3.2.2.1.2).

La **vitesse du courant** est mesurée à l'aide d'un courantomètre à hélice de marque OTT. Cette valeur, mesurée à 40% de la profondeur correspond à la vitesse moyenne dans la

colonne d'eau (cf. Gordon et al., 1992). Elle exprime **la composante longitudinale des contraintes hydrauliques** qui s'exercent sur les organismes benthiques.

La taille des éléments composant le **substrat** de chaque point d'échantillonnage a été mesurée à l'aide d'un gabarit (plaque de PVC percée de trous de différentes tailles permettant de classer les grains selon une échelle phi). La transformation Phi représente le logarithme négatif (en base 2) du diamètre en mm de la particule (cf. Annexe II). Nous avons dénombré le nombre de particules appartenant à chaque classe granulométrique de taille supérieure à 8 mm.

La **profondeur** a été mesurée à l'aide d'une tige graduée (en cm).

#### 3.2.2.1.2. Calcul de variables hydrauliques

Des variables hydrauliques calculées à partir de nos mesures hydrauliques directes (vitesse du courant, profondeur et taille du substrat) et connues pour être déterminantes dans la structuration des assemblages des invertébrés benthiques ont été considérées. Il s'agit de **la rugosité de substrat**, du **nombre de Froude**, de **la vitesse de cisaillement** et du **nombre de Reynolds au fond** (cf. Annexe III pour un détail de ces variables et les formules permettant de les calculer).

#### 3.2.2.1.3. Travail de laboratoire

Afin de prendre en compte l'effet des conditions hydrauliques sur les différents stades du développement nous avons utilisé, au laboratoire, 5 tamis de vides de maille différents (2000, 1000, 630, 400 & 200µm) pour séparer les organismes par classe de taille. Le tri et la détermination (au niveau de l'espèce si possible sauf pour les plus petits individus et les Diptères) ont été réalisés pour chacune de ces fractions. Les Annélides Oligochètes n'ont pas été pris en compte.

Les particules du substrat de tailles inférieures à 8 mm non mesurées sur le terrain (cf 3.2.2.1.1), ont été triées mécaniquement au laboratoire à l'aide de tamis de mailles différentes (8000, 4000, 1000, 500 & 200µm). Ces différentes fractions ont ensuite été pesées après 48h de séchage à l'étuve (110°C).

#### 3.2.2.2. Echantillonnage à l'échelle du tronçon

A l'**échelle du tronçon**, nous avons réalisé des mesures de **largeur et la profondeur moyennes**, les deux variables d'entrée nécessaires pour le modèle FSTress (cf. Annexe IV pour le détail des mesures).

#### 3.2.2.3. Sites d'étude et campagnes d'échantillonnage

Les invertébrés et les paramètres hydrauliques ont été échantillonnés dans 3 tronçons représentatifs de 3 sections court-circuitées du Haut Rhône (Chautagne, Belley et Brégnier-Cordon, Tableau I).

**Tableau I : Localisation des tronçons échantillonnés**

<b>R.C.C.</b>	<b>PK</b>
Chautagne	141-142
Belley	aval du seuil de Lucey
Brégnier	96-97 et 93-94

Un total de 20 microhabitats a été choisi au hasard dans chacun de ces tronçons court-circuités. La faune et les paramètres hydrauliques locaux (cf 3.2.2.1.1) de ces microhabitats ont été échantillonnés à 3 saisons différentes (Tableau II). Un total de **180 échantillons** a ainsi été obtenu.

**Tableau II : Dates des campagnes d'échantillonnage**

R.C.C.	Campagnes		
	printemps 2002	été 2002	hiver 2003
Chautagne	5 juin	13 septembre	24 janvier
Belley	30 mai	28 août	23 janvier
Brégnier	6 juin	28 et 29 août	20 et 21 janvier

En plus de ces échantillons, 20 échantillons supplémentaires ont été récoltés aux 3 mêmes saisons dans le tronçon court-circuité de Brégnier-Cordon dont le débit sera le moins modifié par la restauration. Ces échantillons ont été choisis de manière à obtenir **toute la gamme de conditions hydrauliques du tronçon** : l'objectif est donc de récolter au moins un échantillon pour chaque classe de forces de cisaillement.

→ Ces **60 échantillons supplémentaires** seront utilisés pour construire **les modèles biologiques** pour chaque espèce et, quand cela est possible, pour chaque stade de développement.

→ Les 180 échantillons choisis au hasard seront utilisés pour la validation des modèles biologiques.

### **3.3. Etat de référence pour les invertébrés du chenal du R.C.C. de Chautagne**

#### **3.3.1. Données faunistiques**

Un total de **103749 individus a été dénombré et identifié** dans le R.C.C. de Chautagne au cours des 3 campagnes d'échantillonnage, printemps et été 2002 et hiver 2003. Parmi ces individus **93% sont des Insectes** (91% des larves, 2% des nymphes et seulement 9 individus adultes) et 7% sont des stades indéterminés de Cnidaires, Planaires, Mollusques, Annélides ou Crustacés (cf. Annexes V à VIII). Parmi les 101351 individus de stades larvaires, adultes ou indéterminés, 54% (54630 individus) ont été échantillonnés au cours de la campagne de printemps, 43% (43720), au cours de la campagne d'été et seulement 3% (3001) en hiver (Annexe V).

Sur les **120 taxons** rencontrés dans le chenal de Chautagne, 86, 88 et 52 taxons ont été récoltés au cours des campagnes de printemps, d'été et d'hiver respectivement. Parmi ces taxons, **47 sont identifiés à l'espèce**. A noter que pour les plus petits individus (tamis 200µm) seuls 7 taxons ont pu être déterminés à l'espèce alors que pour les plus gros individus (tamis 2000µm) 44 taxons ont été identifiés à ce niveau taxonomique.

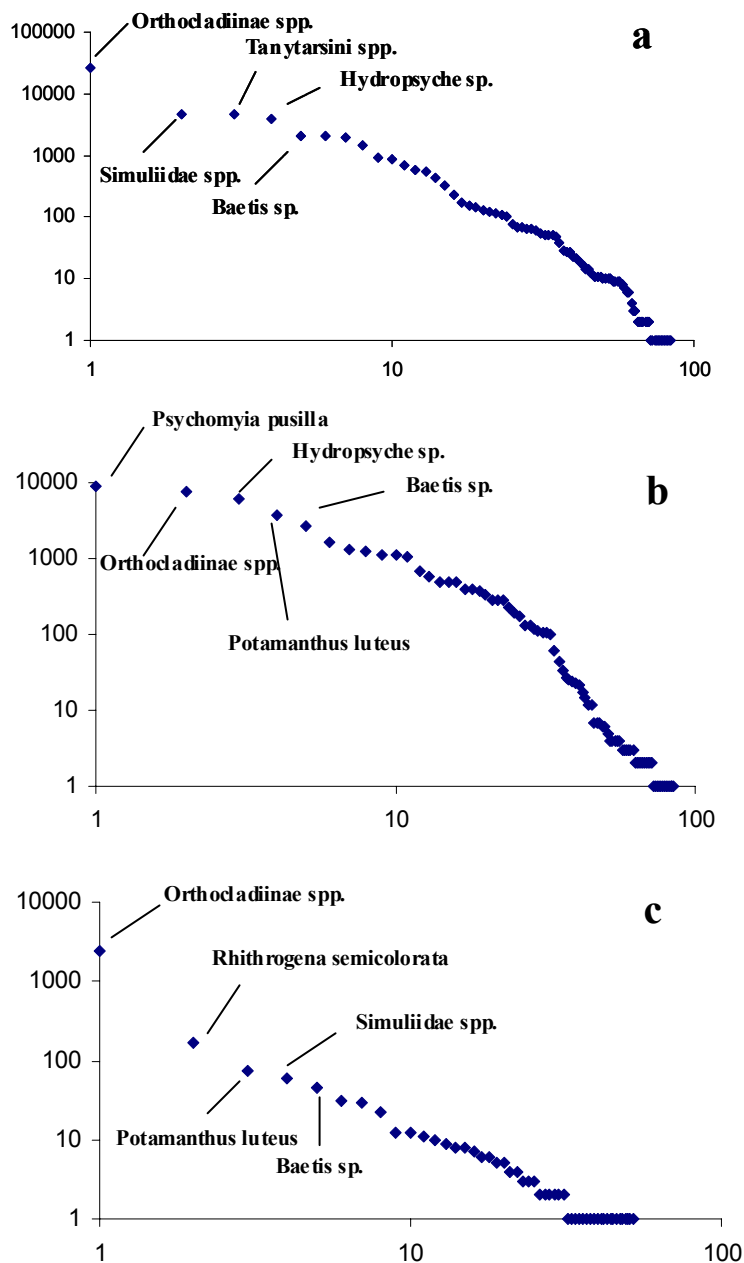
Les taxons dominants dans le R.C.C. de Chautagne pour les trois campagnes sont dans un ordre décroissant, les **Orthoclaadiinae spp.**, **Hydropsyche sp.**, **Psychomyia pusilla**, **Tanytarsini spp.**, **Simuliidae spp.**, **Baetis sp.**, **Potamanthus luteus** et **Gammarus sp.** (cf. Figure 1, Annexe V). A noter que tout ces taxons présentent une affinité pouvant être

forte pour des habitats à substrat grossier recouvert d'algues filamenteuses (Tachet et al., 2000).

En fonction du cycle biologique des taxons, leur ordre de dominance varie selon les campagnes et on peut souligner au cours de la campagne d'hiver le nombre important d'individus de l'espèce rhéophile *Rhithrogena semicolorata* (Figure 1).

Parmi les groupes les mieux représentés, les Diptères sont rencontrés au cours des 3 campagnes d'échantillonnage. Les Crustacés et les Trichoptères sont essentiellement rencontrés au cours des campagnes de printemps et d'été. Il en est de même pour les Coléoptères avec l'exception des individus d'*Orectochilus villosus* rencontrés à un individu près, uniquement en été. La plupart des Ephéméroptères sont récoltés au printemps et en été sauf deux exceptions rencontrées uniquement (*Rhithrogena semicolorata*) ou en très grande majorité (*Baetis rhodani*) en hiver. Parmi les cinq taxons de Plécoptères, les Leuctridae se rencontrent essentiellement au printemps, mais les quatre autres taxons ont été échantillonnés uniquement en hiver (cf. Annexe V).

La campagne d'hiver se démarque donc des deux autres campagnes par son nombre d'individus et de taxons plus faible, mais aussi par la présence de taxons spécifiques rencontrés uniquement à cette saison.



**Figure 1 : Diagramme rang-fréquence en log pour les taxons échantillonnés au cours des trois campagnes de printemps 2002 (a), été 2002 (b) et hiver 2003 (c). Seuls les 5 taxons les plus abondants sont mentionnés.**

Plus de 80% des individus rencontrés au cours des trois campagnes d'échantillonnage sont de petits individus, c'est à dire retrouvés dans les classes de tailles correspondant aux tamis de 200, 400 et 630  $\mu\text{m}$  (Tableau III).

Si on considère l'ensemble des taxons pour les 3 campagnes séparément la majorité des individus se retrouve aussi dans les classes de tailles correspondant aux tamis de 200, 400 et 630  $\mu\text{m}$  (Tableau III).



**Tableau III : Nombre et % d'individus total (pour les 3 campagnes) et pour chacune des 3 campagnes pour les Insectes adultes (A), larves (L) et nymphes (N) ainsi que les stades indéterminés de Cnidaires, Planaires, Mollusques, Annélides ou Crustacés (I) dans les différents tamis utilisés pour le tri et la détermination.**

<b>Total pour les 3 Campagnes</b>						
<b>Stade</b>	<b>Tamis</b>					<b>Total</b>
	<b>200</b>	<b>400</b>	<b>630</b>	<b>1000</b>	<b>2000</b>	
<b>A</b>			7	2		9
<b>L</b>	18213	39095	23661	8503	5047	94519
<b>N</b>	70	564	1003	300	461	2398
<b>I</b>	34	785	2254	2147	1603	6823
<b>Total</b>	18317	40444	26925	10952	7111	103749
<b>%</b>	<b>17.66</b>	<b>38.98</b>	<b>25.95</b>	<b>10.56</b>	<b>6.85</b>	

<b>Campagne de Printemps</b>						
<b>Stade</b>	<b>Tamis</b>					<b>Total</b>
	<b>200</b>	<b>400</b>	<b>630</b>	<b>1000</b>	<b>2000</b>	
<b>A</b>			5	1		6
<b>L</b>	9344	23932	12216	3624	2898	52014
<b>N</b>	70	550	929	188	321	2058
<b>I</b>	28	393	1030	630	529	2610
<b>Total</b>	9442	24875	14180	4443	3748	56688
<b>%</b>	<b>16.66</b>	<b>43.88</b>	<b>25.01</b>	<b>7.84</b>	<b>6.61</b>	

<b>Campagne d'été</b>						
<b>Stade</b>	<b>Tamis</b>					<b>Total</b>
	<b>200</b>	<b>400</b>	<b>630</b>	<b>1000</b>	<b>2000</b>	
<b>A</b>			2	1		3
<b>L</b>	8322	14429	10683	4212	1906	39552
<b>N</b>		14	74	58	129	275
<b>I</b>		390	1209	1504	1062	4165
<b>Total</b>	8322	14833	11968	5775	3097	43995
<b>%</b>	<b>18.92</b>	<b>33.72</b>	<b>27.20</b>	<b>13.13</b>	<b>7.04</b>	

<b>Campagne d'hiver</b>						
<b>Stade</b>	<b>Tamis</b>					<b>Total</b>
	<b>200</b>	<b>400</b>	<b>630</b>	<b>1000</b>	<b>2000</b>	
<b>L</b>	547	734	762	667	243	2953
<b>N</b>				54	11	65
<b>I</b>	6	2	15	13	12	48
<b>Total</b>	553	736	777	734	266	3066
<b>%</b>	<b>18.04</b>	<b>24.01</b>	<b>25.34</b>	<b>23.94</b>	<b>8.68</b>	<b>100</b>

### **3.3.2. Comparaison qualitative des données faunistiques de référence avec des données antérieures**

Une analyse en composantes principales a été réalisée à partir d'un tableau constitué de 3 jeux de données faunistiques obtenus depuis 1986. L'idée était de **comparer qualitativement** nos **données de référence** avec des **jeux de données antérieurs**. Pour gommer une partie des effets liés aux différences de protocoles d'échantillonnage, nous avons comparé des campagnes d'échantillonnage réalisées à peu près aux mêmes saisons (printemps et été) et nous avons travaillé sur des jeux de données en présence-absence. Le premier jeu de données utilisé dans cette analyse provient d'une étude de 1986 qui a porté sur la répartition

spatiale des invertébrés du R.C.C. de Chautagne (Olivier, 1986). Le deuxième jeu de données (1997) visait à comparer la structure du peuplement d'invertébrés 10 ans après les travaux d'Olivier. Enfin, le troisième jeu de données correspond aux deux campagnes de printemps et d'été 2002 réalisées pour l'état de référence avant restauration des débits.

Les résultats montrent qu'il existe un gradient de richesse taxonomique de la campagne de 1986 à la campagne de 2002, cette dernière présentant un nombre de taxons plus élevé (Figure 2).

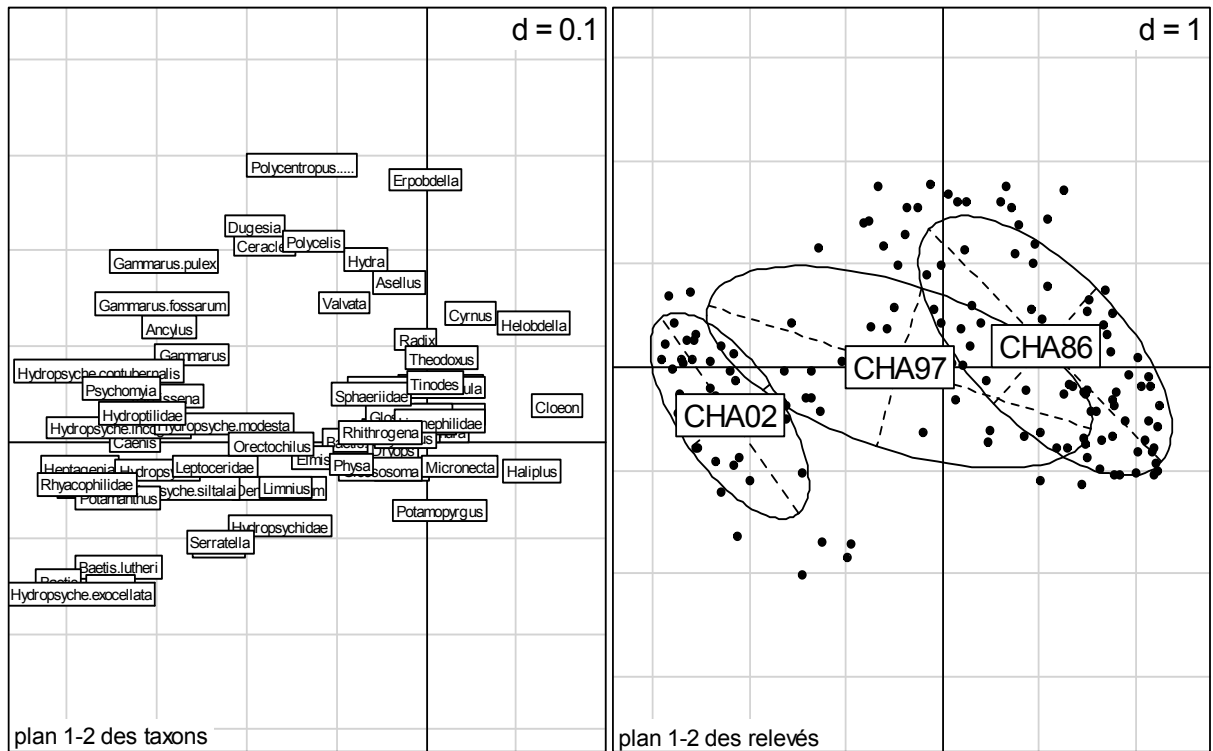


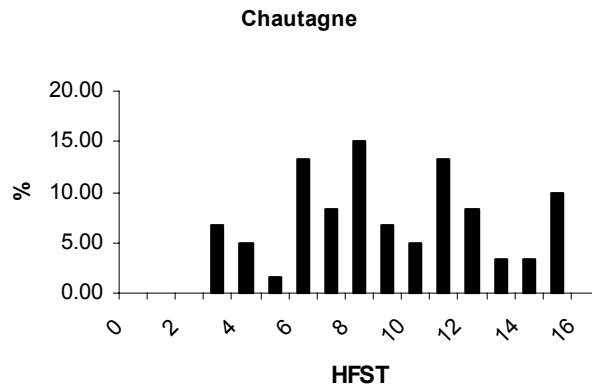
Figure 2 : ACP sur les jeux de données d'invertébrés échantillonnés dans le R.C.C. de Chautagne de 1986 (CHA86), 1997 (CHA97) et 2002 (CHA02). Les données sont en présence-absence.

**La campagne 2002 est notamment plus riche en taxons rhéophiles** tels que *Hydropsyche contubernalis*, *Baetis fuscatus*, *Rhyacophila s. stricto* sp., *Psychomyia pusilla* et les espèces du genre *Hydropsyche*. Les deux autres campagnes et notamment la campagne de 1986 présentent des taxons inféodés à des zones calmes tels que *Cloeon* ou *Haliphus*. Ces différences peuvent être en partie expliquées par des différences de protocole d'échantillonnage mais cette dynamique temporelle méritera une analyse plus profonde si d'autres jeux de données sur le secteur de Chautagne peuvent être exploités.

### 3.3.3. Données hydrauliques à l'échelle locale

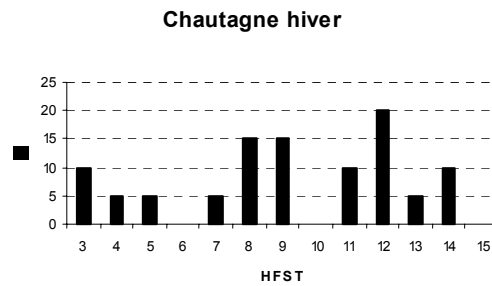
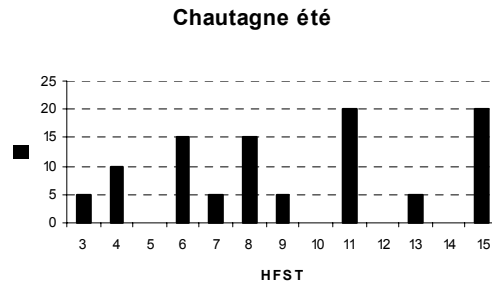
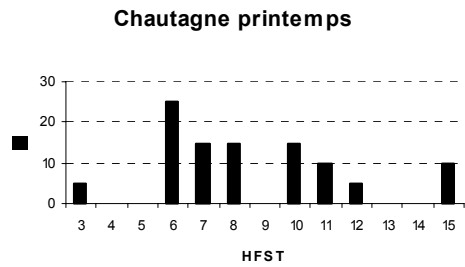
#### 3.3.3.1. Force de cisaillement

Le gradient hydraulique échantillonné s'étend sur les hémisphères numéro 3 à 15 dans le tronçon du R.C.C. de Chautagne (Figure 3). Ce gradient correspond à des forces de cisaillement minimum de 0.118 à 3.17 N m<sup>-2</sup> (Statzner et al., 1991).



**Figure 3 : Pourcentages des différents hémisphères échantillonnés dans le R.C.C. de Chautagne.**

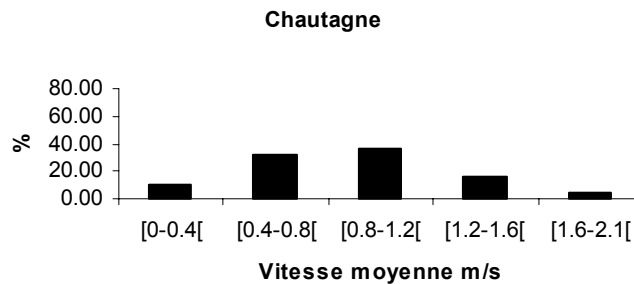
Cette gamme de contraintes au fond est celle prise en compte pour les 3 campagnes d'échantillonnage séparées (Figure 4).



**Figure 4: Pourcentages des différents hémisphères échantillonnés à chacune des 3 campagnes de prélèvements dans le R.C.C. de Chautagne.**

### 3.3.3.2. Vitesse du courant

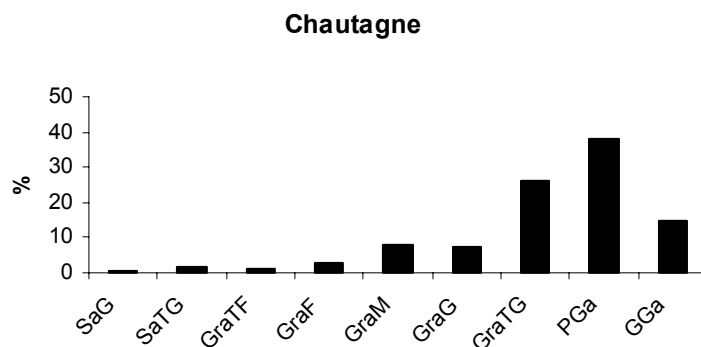
La gamme de vitesses de courant moyennes dans nos échantillons couvre l'intervalle de  $0.04$  à  $2.05 \text{ m.s}^{-1}$  (Figure 5). Plus de 75% des vitesses de courant sont comprises entre  $0.4$  et  $1.6 \text{ m.s}^{-1}$ .



**Figure 5 : Pourcentages des 5 classes de vitesses de courant moyennes rencontrées dans le R.C.C. de Chautagne (n=60).**

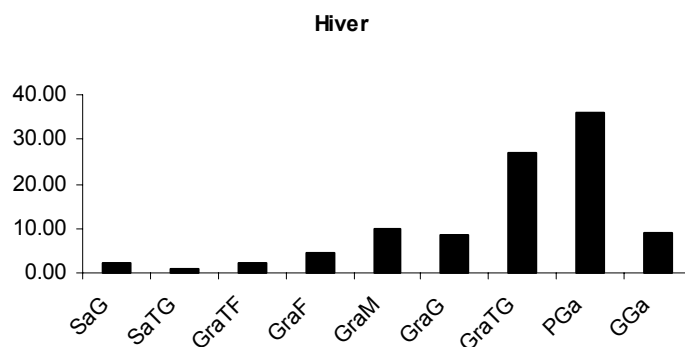
### 3.3.3.3. Taille du substrat

Le substrat des 60 échantillons de Chautagne montre une dominance des graviers très grossiers, des petits galets et des gros galets qui représentent à eux seuls près de 80% du total du poids en substrat (Figure 6).



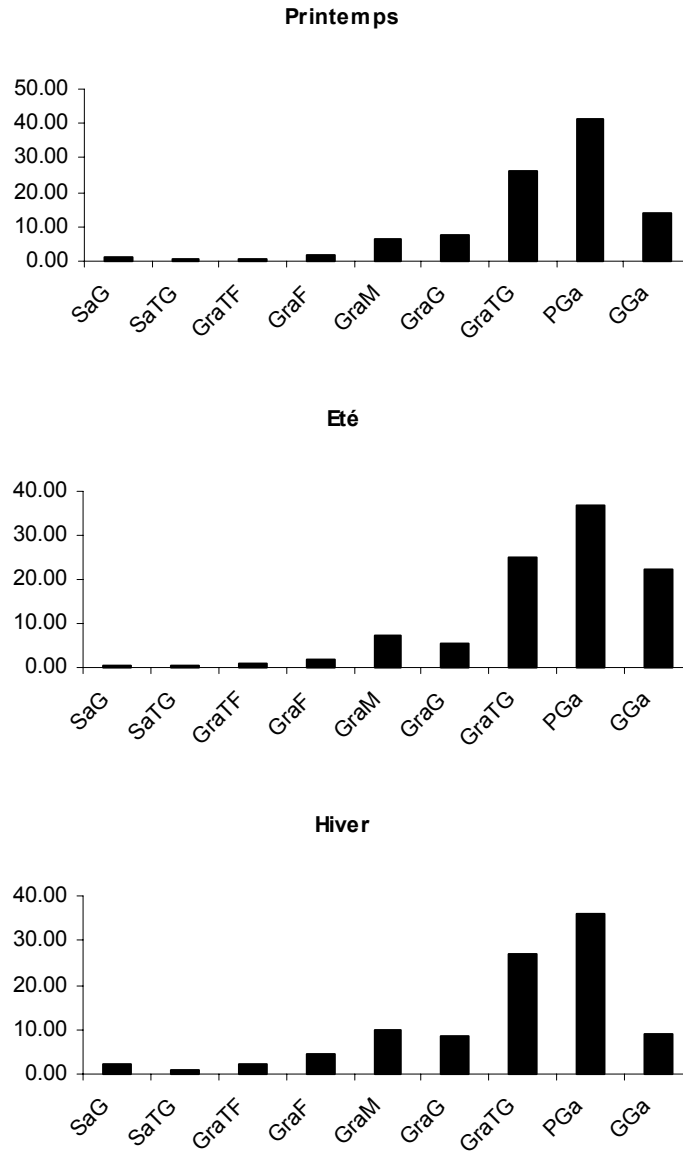
**Figure 6 : Pourcentages des différentes catégories de substrat représentées dans les échantillons (n=60) avec SaG : sables grossiers, SaTG : sables très grossiers, GraTF : graviers très fins, GraF : graviers fins, GraM : graviers moyens, GraG : graviers grossiers, GraTG : graviers très grossiers, PGa : petits galets, GGa : gros galets.**

La dominance de ces 3 classes de substrat s'exprime dans les échantillons des trois campagnes d'échantillonnage prises séparément



(  
Figure 7).

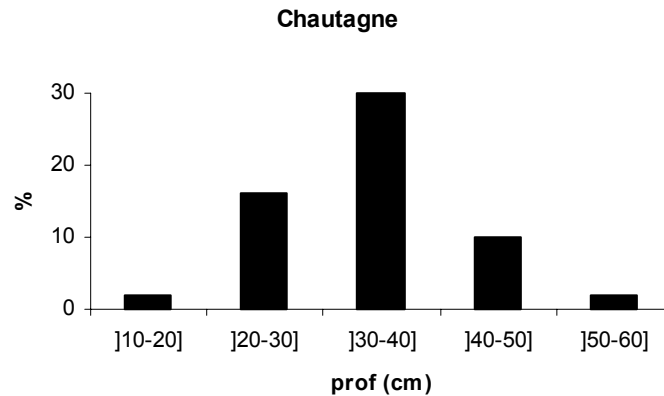




**Figure 7: Pourcentages des différentes catégories de substrat représentées dans les échantillons des 3 campagnes d'échantillonnage (n=20) avec SaG : sables grossiers, SaTG : sables très grossiers, GraTF : graviers très fins, GraF : graviers fins, GraM : graviers moyens, GraG : graviers grossiers, GraTG : graviers très grossiers, PGa : petits galets, GGa : gros galets.**

#### 3.3.3.4. Profondeur

La profondeur au niveau des microhabitats échantillonnés n'excède pas 60 cm et la plupart des échantillons se situe dans des profondeurs de 20 à 50 cm (Figure 8).



**Figure 8 : Pourcentages des différentes catégories de profondeurs représentées dans les 60 échantillons.**

### 3.3.3.5. Autres variables hydrauliques

La rugosité du substrat, le nombre de Froude, la vitesse de cisaillement et le nombre de Reynolds au fond calculées à partir des mesures de variables hydrauliques effectuées sur le terrain (vitesse du courant, profondeur et taille du substrat) pour les échantillons des deux premières campagnes d'échantillonnage printemps et été sont consignés en Annexe IX.

### 3.3.4. Données hydrauliques à l'échelle du tronçon

A l'échelle du tronçon, les mesures de largeurs et de profondeurs ont été réalisées à deux débits différents suivant le protocole requis pour l'utilisation du modèle d'habitat statistique FSTress (cf. 3.2.1, Tableau IV).

**Tableau IV : Largeurs et profondeurs moyennes pour deux débits dans le tronçon du R.C.C. de Chautagne étudié.**

Débit ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	Largeur (m)	Profondeur (cm)
20	60.3	78.2
10	71	62.5

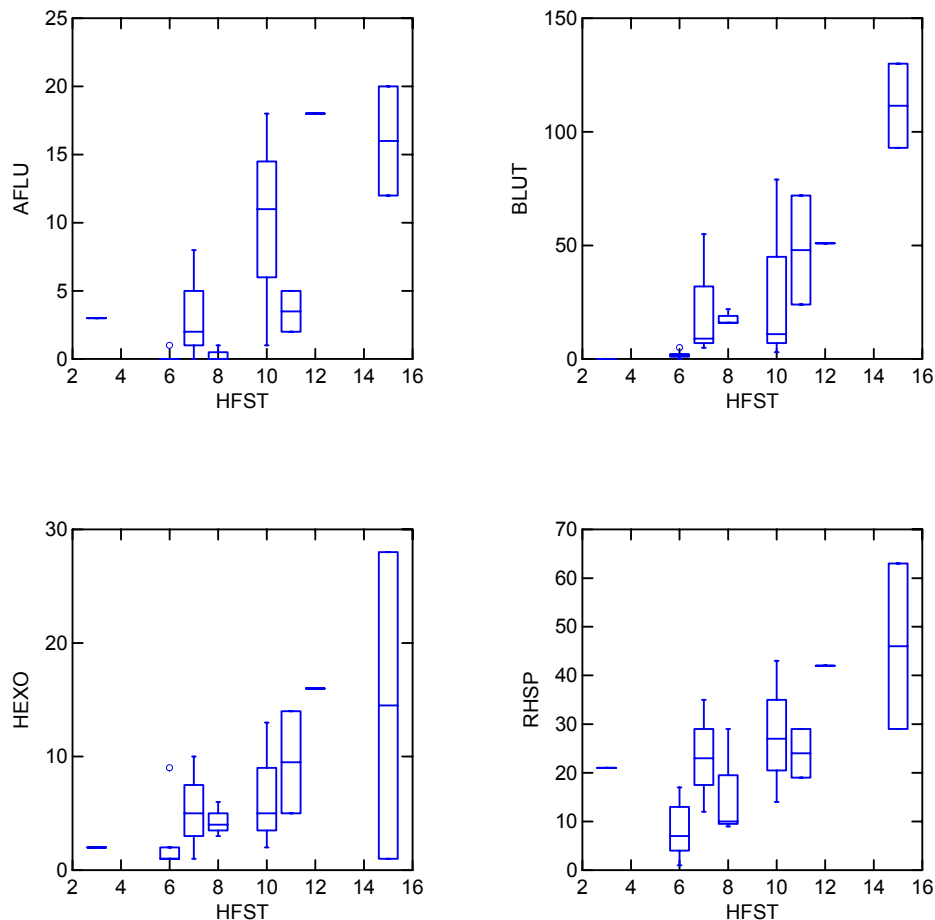
Le modèle hydraulique utilisé dans FSTress a été mis au point pour des cours d'eau de faible largeur et de débit inférieur à  $50 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Sa validation pour les grands cours d'eau fera l'objet d'une partie du travail du suivi du niveau 2. Nous avons donc réalisé en avril 2004 une centaine de mesures d'hémisphères dans tout le tronçon. Ces données sont en cours d'analyse, le but étant de comparer les distributions de fréquences des contraintes au fond du tronçon observé et celles prédites par le modèle statistique hydraulique de FSTress. Le décalage probable entre ces deux jeux de données impliquera des ajustements.

### 3.3.5. Couplage des données faunistiques et hydrauliques

#### 3.3.5.1. Couplage de la faune et des forces de cisaillement

**De nombreuses études ont souligné l'importance de la force de cisaillement pour expliquer la distribution des invertébrés benthiques en milieux lotiques** (e.g. Statzner et al., 1988, Méricoux & Dolédec, 2004). De plus, cette variable est la variable considérée dans

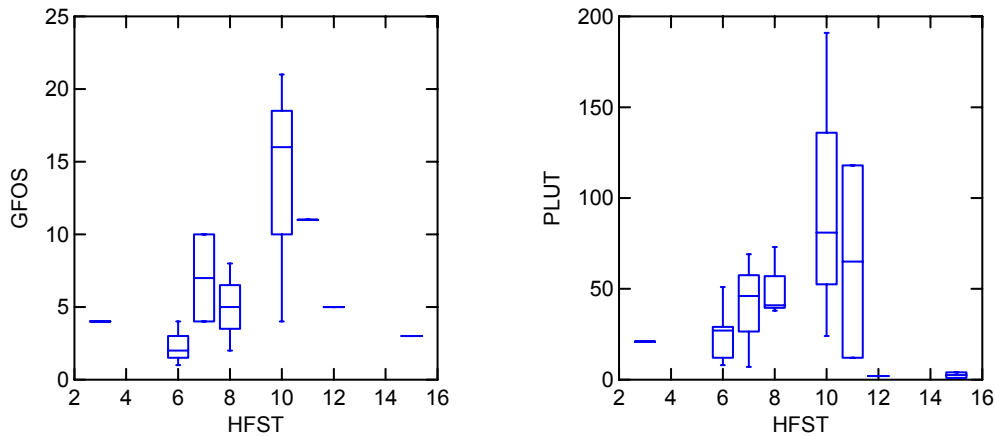
le modèle d'habitat statistique FStress (cf. 3.2.1). Nous avons donc étudié les relations entre l'abondance des taxons dans le R.C.C. de Chautagne et les forces de cisaillement (exprimée ici par le numéro d'hémisphère HFST). **Les résultats montrent des préférences de contraintes hydrauliques nettes pour certaines espèces (Annexes XI et XII°).** Au printemps, les espèces *Ancylus fluviatilis*, *Baetis lutheri*, *Hydropsyche contubernalis*, *Hydropsyche exocellata* ou *Rhyacophila s. stricto* sp. sont par exemple, essentiellement retrouvées dans des contraintes fortes, c'est à dire dans des habitats où le numéro d'hémisphère est égal ou supérieur à 10 (Figure 9 pour 4 exemples et Annexe XI pour les autres taxons). Ces taxons sont en effet connus pour être typiquement rhéophiles.



**Figure 9 : Représentations graphiques (Box plots) du nombre d'individus en fonction des forces de cisaillement échantillonnées (exprimées par les numéros d'hémisphères, HFST, en abscisse de chaque graphe). Exemples pour 4 taxons inféodés à des contraintes fortes : *Ancylus fluviatilis*, *Baetis lutheri*, *Hydropsyche exocellata* et *Rhyacophila s. stricto* sp. pour la campagne de printemps. A noter que certains numéros d'HFST n'ont pas été échantillonnés (HFST, 0, 1, 2, 4, 5, 9, 13 & 14) et que les autres numéros ont été échantillonnés 1, 2, 3 ou 4 fois. Cf. Annexe X pour les détails de cette représentation graphique.**

D'autres espèces telles que *Dendrocoelum lacteum*, *Gammarus fossarum*, *Heptagenia sulphurea*, *Potamopyrgus antipodarum*, *Potamanthus luteus* et *Polycelis nigra-tenuis* présentent une préférence pour des contraintes correspondant à des numéros d'hémisphère 10 et/ou 11 et leurs effectifs diminuent pour des contraintes plus faibles ou plus fortes (Figure 10 pour 2 exemples et Annexe XI pour les autres taxons). Ces taxons mis à part *Heptagenia*

*sulphurea* (généralement classé « rhéophiles ») sont connus pour être inféodés à des vitesses de courant faibles à moyennes (moins de  $50 \text{ cm.s}^{-1}$ , Tachet et al., 2000).



**Figure 10 : Représentations graphiques (Box plots) du nombre d'individus en fonction des forces de cisaillement échantillonnées (exprimées par les numéros d'hémisphères, HFST, en abscisse de chaque graphique). Exemples pour 2 taxons inféodés à des contraintes moyennes : *Gammarus fossarum* et *Potamanthus luteus* pour la campagne de printemps. A noter que certains numéros d'HFST n'ont pas été échantillonnés (HFST, 0, 1, 2, 4, 5, 9, 13 & 14) et que les autres numéros ont été échantillonnés 1, 2, 3 ou 4 fois. Cf. Annexe X pour les détails de cette représentation graphique.**

Enfin, certaines espèces sont retrouvées préférentiellement dans des contraintes faibles (exemple au printemps *Hydroptila* sp, cf. Annexe XI et en été *Polycentropus flavomaculatus* cf. Annexe XII). Ces taxons sont reconnus pour être inféodés préférentiellement à des habitats où les vitesses de courant sont faibles (moins de  $25 \text{ cm.s}^{-1}$ ) mais ils peuvent aussi se retrouver dans des vitesses de courant moyennes.

Parmi les espèces présentes également en été, les mêmes tendances sont retrouvées par exemple pour *Baetis lutheri*, *Dreissena polymorpha*, *Dugesia tigrina* ou *Potamanthus luteus* mais certaines espèces montrent des préférences différentes (e.g. *Ancylus fluviatilis*, *Heptagenia sulphurea* ou *Hydropsyche exocellata*) (cf. Annexe XII).

→ Nos résultats montrent donc que la plupart des taxons rencontrés dans le secteur de Chautagne montrent des préférences marquées pour les contraintes hydrauliques au fond. On remarque 3 groupes de taxons 1) des taxons inféodés à des contraintes faibles (HFST  $\leq 8$ ), 2) des taxons préférant des contraintes intermédiaires (HFST = 10) et 3) des taxons qu'on retrouve essentiellement dans des contraintes fortes (HFST > 10).

→ Nos résultats soulignent aussi des variations saisonnières de ces préférences hydrauliques. Ces variations peuvent s'expliquer par des différences de taille, les individus d'une même espèce pouvant changer de préférence hydraulique au cours de la croissance (Sagnes & Méricoux, soumis) mais pourraient aussi s'expliquer par des différences d'habitat hydrauliques disponibles en fonction des débits.

### 3.3.5.2. Couplage entre le peuplement et une combinaison de variables hydrauliques

Pour coupler les données faunistiques et hydrauliques de chacun des échantillons, nous avons procédé à une analyse OMI (Outlying Mean Index, Dolédec et al., 2000). Cette méthode d'ordination permet d'identifier les préférences des différents taxons d'un peuplement selon un gradient environnemental (gradient hydraulique ici). Nous avons réalisé cette analyse pour les deux saisons printemps et été séparément.

Les deux premiers axes des deux analyses OMI « printemps » et « été » expliquent 99% de la variabilité (cf. Annexes XIII & XIV). Bien que le premier axe explique une très grande part de cette variabilité (88 et 91% au printemps et en été respectivement) les deux premiers axes ont été conservés pour les représentations graphiques. Pour les deux saisons, l'axe 1 montre que les forces hydrauliques les plus structurantes sont **le nombre de Froude et la vitesse de cisaillement (U\*)**. **La force de cisaillement (exprimée par HFST) et le Re\*** interviennent aussi sur cet axe mais sont moins structurants. La rugosité elle, structure les données sur l'axe 2.

**On distingue pour les deux saisons deux groupes de taxons.**

- **Un groupe de taxons qui présentent une forte affinité pour des habitats dans lesquels les contraintes hydrauliques sont importantes.** Ces taxons sont par exemple *Hydropsyche siltalai*, *Ancylus fluviatilis*, *Baetis lutheri*, *Hydropsyche incognita*, *Dreissena polymorpha*, *Hydropsyche exocellata* et les *Simuliidae* spp. au printemps (Annexes XIII et XV) et *Leuctra* sp., *Hydropsyche siltalai*, *Dendrocoelum lacteum*, *Dreissena polymorpha*, *Simuliidae* spp. et *Heptagenia* sp. en été (Annexes XIV et XV).
- **Les taxons du deuxième groupe sont inféodés à des habitats dans lesquels les contraintes hydrauliques sont faibles** (faible vitesse de cisaillement, faible nombre de Froude). Ces taxons sont par exemple au printemps, *Glossosoma* sp., *Baetis fuscatus*, Chironominae spp., *Caenis rivulorum*, *Ceraclea* sp. et *Sphaerium* spp. et Polycentropodidae spp., Tabanidae spp., Ceratopogoninae spp., Leptoceridae spp., Hemerodromiinae spp., Chironominae spp. en été (Annexes XIII, XIV & XV).

→ Ces résultats montrent donc **l'importance des forces hydrauliques au fond** (nombre de Froude, force de cisaillement) **de la structure du substrat** (rugosité du substrat) ou des **variables combinant les deux** (nombre de Reynolds au fond et vitesse de cisaillement) pour expliquer la distribution des invertébrés benthiques. A noter que les variables les plus structurantes sont les variables qui combinent les forces hydrauliques qui s'exercent au fond du cours d'eau et les variables qui décrivent la structure du substrat.

### **3.4. Discussion sur l'état de référence actuel**

Notre échantillonnage a permis d'échantillonner **120 taxons** qui doivent être comparés aux 83 taxons récoltés en 20 points en 1997 et aux 89 taxons (sans les Diptères) récoltés par Olivier (1986). **Nos campagnes d'échantillonnage de printemps et été campagne 2002 sont notamment plus riches en taxons rhéophiles** tels que *Hydropsyche contubernalis*, *Baetis fuscatus*, *Rhyacophila s. stricto* sp., *Psychomyia pusilla* et les espèces du genre *Hydropsyche* que les campagnes de 1986 et 1997. Ces comparaisons ne sont qu'indicatives car les protocoles d'échantillonnage utilisés étaient très différents. **Notre étude est en effet la première sur le Rhône qui permet de mettre en relation les invertébrés benthiques et les conditions hydrauliques locales sur tout le gradient hydraulique disponible d'un secteur.** Les données des secteurs de Belley et Brégnier-Cordon obtenues avec le même protocole permettront des comparaisons fiables.

Trois groupes d'insectes composent principalement le peuplement du point de vue des effectifs. Ce sont les Diptères (51.2%), Les Trichoptères (24.2%) et les Ephéméroptères (17.2%) auxquels on peut adjoindre les Crustacés (3.7%), les Hydridae (1.5%) et les Mollusques (1.2%). La présence de Coléoptères (0.6%) dont l'essentiel appartient aux Elmidae et de plus rares Plécoptères (0.15%, Leuctridae et Taeniopterygidae) complètent ce **peuplement typique d'un épipotamon**. D'un point de vue spécifique, l'Ephéméroptère, *Potamanthus luteus* par exemple est une espèce potamique par excellence du fait de sa relative résistance à la charge organique, prédomine. De même, les Ephéméroptères *Baetis fuscatus* et *Baetis lutheri* sont fréquemment trouvées en association en épipotamon de bonne qualité biologique (ex. Ardèche).

**Les taxons dominants** dans le R.C.C. de Chautagne pour les trois campagnes sont dans un ordre décroissant, les **Orthoclaadiinae spp.** (36.7%), ***Hydropsyche* sp.** (13.4%), ***Psychomyia pusilla*** (9.2%), **Tanytarsini spp.** (5.5%), **Simuliidae spp.** (5.3%), ***Baetis* sp** (4.8%), ***Potamanthus luteus*** (4.5%) et ***Gammarus* sp.** (2.7%). Cette dominance peut s'expliquer notamment par **l'affinité de ces taxons pour des habitats à substrat grossier recouvert d'algues filamenteuses**, ce type d'habitat étant largement rencontré dans le secteur. A noter que suivant le cycle biologique des différents taxons, leur dominance varie au cours des saisons et on peut souligner par exemple l'importance du nombre d'individus de ***Psychomyia pusilla*** au printemps ou de l'espèce très rhéophile ***Rhithrogena semicolorata*** en hiver.

Parmi ces taxons dominants, les Diptères Orthoclaadiinae et Simuliidae présentent majoritairement des taxons nécessitant du courant. De même, les Trichoptères du genre *Hydropsyche* appartiennent au groupe de filtreurs rhéophiles. Les *Gammarus* sp., toujours bien représentés aux côtés de quelques rares *Asellus aquaticus* témoignent d'une **eutrophisation modérée du secteur** et *Psychomyia pusilla* le second taxon abondant dans du groupe de Trichoptère est une espèce **oligo- à mésotrophique** fréquentant les zones de courant lent à modéré.

Parmi les autres taxons moins abondants, on peut souligner la bonne implantation de l'espèce nord-américaine thermophile *Dugesia tigrina*. Parmi les Mollusques, l'espèce *Ancylus fluviatilis* prédomine aux côtés de *Dreissena polymorpha*. La première espèce se

développe dans les zones de courant et nécessite un substrat stable recouvert de périphyton<sup>3</sup>. On peut souligner que **l'espèce invasive *Dreissena polymorpha* ne présente pas une abondance très forte comme dans d'autres secteurs du Rhône**. L'Ephéméroptère *Heptagenia sulphurea* est également bien implantée, c'est une espèce qui s'accommode de divers substrats mais fréquente surtout les secteurs présentant un courant vif. Les Trichoptères Rhyacophilidae enfin, comportent des espèces essentiellement rhéophiles.

Nos résultats montrent que la plupart des taxons échantillonnés présentent des préférences marquées pour des contraintes hydrauliques particulières exercées au fond du cours d'eau.

On remarque au printemps par exemple, trois groupes de taxons :

→ **des taxons inféodés à des contraintes faibles** (*Hydroptila* sp ou *Polycentropus flavomaculatus*),

→ **des taxons préférant des contraintes intermédiaires** (*Dendrocoelum lacteum*, *Gammarus fossarum*, *Potamopyrgus antipodarum*, *Potamanthus luteus* et *Polycelis nigra-tenuis*),

→ **et des taxons qu'on retrouve essentiellement dans des contraintes fortes** (*Ancylus fluviatilis*, *Baetis lutheri*, *Dreissena polymorpha*, *Hydropsyche contubernalis*, *Hydropsyche exocellata* ou *Rhyacophila s. stricto* sp.).

Nos résultats soulignent aussi **des variations saisonnières des préférences hydrauliques pour certains taxons** (par exemple *Ancylus fluviatilis* ou *Heptagenia sulphurea*). Ces variations peuvent s'expliquer par des différences de taille, les individus d'une même espèce pouvant changer de préférence hydraulique au cours de la croissance (Sagnes & Méricoux, soumis) mais pourraient aussi s'expliquer par des différences d'habitat hydrauliques disponibles en fonction des débits.

Au final, le peuplement observé au cours de ces campagnes présente une **faune mixte de taxons spécifiques des grandes rivières** (e.g. *Potamanthus luteus*) **et de taxons rencontrés sur de plus petits cours d'eau** (e.g. *Leuctra*, *Baetis*). Pour l'essentiel, les taxons sont **oligotrophes** ou **mésotrophes** témoignant d'une **assez bonne qualité biologique** du secteur. On note également que pour une bonne part, ces taxons présentent une tolérance pour les variations thermiques de l'eau. Du point de vue du substrat, ce peuplement se développe principalement sur sédiment minéral d'assez grande taille accompagné de débris organiques grossiers et d'algues filamenteuses. Les taxons ont majoritairement des préférences pour des vitesses faibles (moins de 25 cm.s<sup>-1</sup>) à modérées (moins de 50 cm.s<sup>-1</sup>). Quelques taxons sont fortement rhéophiles (plus de 50 cm.s<sup>-1</sup>). Enfin, **la plupart des taxons échantillonnés présentent des préférences marquées pour des contraintes hydrauliques particulières exercées au fond du cours d'eau**.

---

<sup>3</sup> Algues fixées sur le substrat

### **3.5. Bilan et Perspectives**

Les trois campagnes d'échantillonnage réalisées en 2002 et 2003 dans un tronçon représentatif du R.C.C. de Chautagne ont permis d'établir un état de référence avant restauration à partir de jeux de données faunistiques et hydrauliques solides. **Nos résultats confirment l'importance des contraintes hydrauliques pour déterminer la distribution des taxons mais soulignent aussi l'importance de combiner ces facteurs hydrauliques au fond avec les variables intégrant la nature et la structure du substrat** (exprimées par exemple par la vitesse de cisaillement ou le nombre de Reynolds au fond). **Toutes ces variables hydrauliques sont fortement dépendantes des conditions hydrologiques instantanées et/ou passées et toute modification du régime hydrologique aura un impact sur ces variables et donc sur la faune benthique.** Nos résultats soulignent aussi un effet saisonnier dans les préférences hydrauliques de certaines espèces (cf. 3.3.5.1). Dans le niveau 2, un effort particulier sera porté sur ces effets pour élaborer les modèles biologiques qui seront insérés dans le modèle d'habitat statistique. Ces modèles devront aussi intégrer un effet spatial puisqu'ils seront réalisés à partir des données récoltées dans les 3 R.C.C. du Haut Rhône qui seront soumis à des augmentations de débit. Un travail particulier sera aussi effectué sur les préférences hydrauliques en fonction de la taille pour chaque taxon. Enfin, il reste à valider le modèle statistique hydraulique (cf. 3.3.4) pour les grands cours d'eau puisque pour l'instant ce modèle n'a été validé que dans des petits cours d'eau. Il s'agit donc d'étudier le décalage éventuel entre la distribution en fréquence des conditions hydrauliques au fond mesurées sur le terrain et celles prédites par le modèle statistique hydraulique. Ce travail sera réalisé dans le cadre du suivi de niveau 2.



## **4. PEUPLEMENT PISCICOLE**

### **4.1. Rappel du contexte et des objectifs**

Le R.C.C. de Chautagne, situé immédiatement en aval de Seyssel, a fait l'objet d'études particulières durant les périodes de chasses triennales du Haut-Rhône. De ce fait, la faune piscicole a été suivie de manière relativement régulière en utilisant des méthodes standardisées permettant une comparaison des données au cours du temps. Malheureusement, le suivi initié durant quatre ans après la mise en service du barrage a été interrompu et a été repris sur initiative de l'UMR CNRS 5023 en 1989. Les données traitées dans ce rapport concernent donc le suivi piscicole réalisé entre 1989 et 2003 et a pour objectif de caractériser la faune piscicole de ce secteur et de mettre en évidence l'évolution potentielle de ce peuplement au cours de cette période. Les caractéristiques hydrauliques du secteur ont été couplées aux modèles de préférence d'habitat des poissons afin d'établir des estimations de surfaces utiles en fonction de la valeur du débit.

### **4.2. Stratégie d'échantillonnage**

#### **4.2.1. Stations d'étude**

A partir de 1989, deux stations ont été régulièrement suivies (le méandre de la Malourdie et l'aval du Vieux Rhône) par des campagnes de pêches réalisées en automne. Des campagnes printanières ont été effectuées lors de l'étude d'impact des chasses en 1990, 1993, 1997, 2000 et 2003. L'UMR CNRS 5023 (Laboratoire d'Ecologie des Hydrosystèmes Fluviaux) a réalisé une campagne d'échantillonnage intensif dans le R.C.C. de Chautagne en fin d'été 1999 (243 points d'échantillonnage) en prévision de la réalisation de l'état initial du peuplement piscicole du R.C.C. avant réhabilitation.

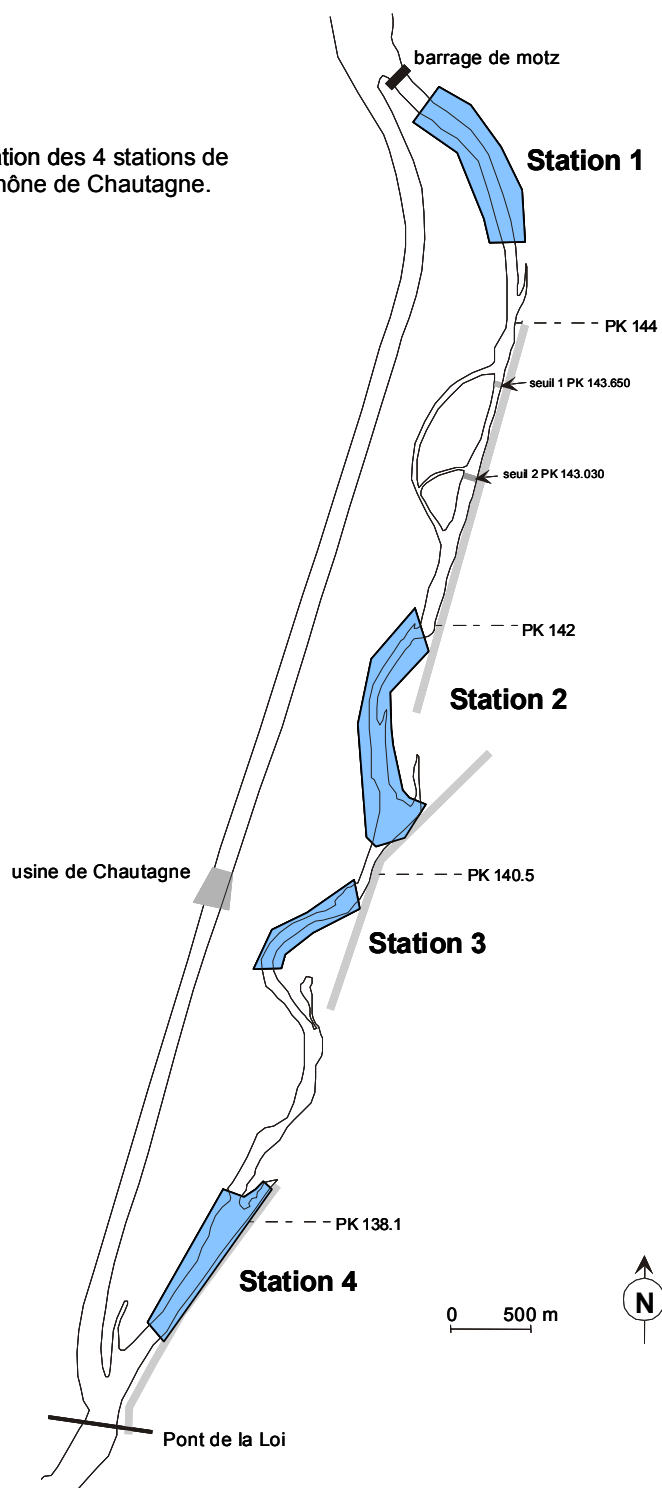
Depuis 2000, les 4 stations suivantes ont été échantillonnées (Figure 11) :

- **l'amont du Vieux Rhône de Chautagne** : cette station s'étend de l'aval immédiat du barrage de Motz au PK 145.000 et comprend une partie peu profonde en amont et une mouille de profondeur importante dans ses trois quarts inférieurs, bordée en rive gauche par une falaise de molasse très abrupte et en rive droite par un banc de galets ;
- **le méandre de Mathy** : entre les PK 142 et 140.500, cette station peut être considérée, comme la station suivante, comme typique du Vieux-Rhône de Chautagne, avec une succession de seuils avec des vitesses d'écoulement très rapides et de mouilles plus ou moins profondes à écoulement plus lent ;

- **le méandre de la Malourdie** : entre les PK 140.300 et 139.500, cette station comprend un seuil courant (amont du méandre), un bras latéral courant et une mouille faiblement courante (partie médiane du méandre) ;
- **l'aval du Vieux Rhône** : entre les PK 138.300 et 137.375, cette station est partiellement sous l'influence du canal de fuite et subit un léger marnage en fonction des éclusées, l'échantillonnage a été réalisé dans plusieurs types de faciès incluant la rive endiguée.

Pour des raisons hydrologiques (groupe en arrêt à l'usine de Chautagne) les pêches automnales de 2001 et 2002 n'ont pas pu être effectuées.

Figure 11 : Localisation des 4 stations de pêches du Vieux Rhône de Chautagne.



Le tableau suivant récapitule le plan d'échantillonnage du Vieux-Rhône de Chautagne depuis 1989 :

**Tableau V Plan d'échantillonnage des pêches réalisées en Chautagne**

Campagnes\stations	1	2	3	4	5	6	7	8	Nombre de points
Printemps 1989							X	X	50
Automne 1989							X	X	50
Printemps 1990							X	X	100
Automne 1990							X	X	50
Automne 1991							X	X	50
Automne 1992							X	X	50
Printemps 1993							X	X	100
Automne 1993							X	X	50
Printemps 1994							X	X	50
Automne 1994							X	X	50
Printemps 1995							X	X	50
Automne 1995							X	X	50
Printemps 1996							X	X	50
Automne 1996							X	X	50
Printemps 1997							X	X	100
Automne 1997							X	X	50
Printemps 1998							X	X	50
Automne 1998							X	X	50
Automne 1999	X	X	X	X	X	X	X	X	243
Printemps 2000	X						X	X	200
Automne 2000	X						X	X	100
Printemps 2001	X						X	X	100
Printemps 2002	X						X	X	100
Printemps 2003	X						X	X	182
Automne 2003	X						X	X	100

Code des stations : (1) aval barrage, (2) PK 143.65-144.3, (3) PK 143.03-143.65, (4) PK 142-143.03, (5) Bras latéral rive droite PK 142.5-144, (6) Méandre de Mathy, (7) Méandre de la Malourdie, (8) Aval R.C.C..

#### **4.2.2. Protocole d'échantillonnage**

La méthode d'échantillonnage utilisée est celle des échantillons ponctuels d'abondance (E.P.A.) (Nelva *et al.*, 1979 ; Persat et Olivier, 1991). Une campagne de pêche est constituée d'un ensemble de points réalisés à une date donnée.

A chaque point d'échantillonnage, les poissons sont identifiés, mesurés et remis à l'eau.

### **4.3. Analyse de données**

Les données faunistiques ont été traitées à l'aide d'analyses multivariées [analyse en composantes principales centrée par espèce et analyse factorielle des correspondances décentrée (Dolédec *et al.*, 1995)].

L'analyse en composantes principales (ACP) centrée (matrice de covariance) par colonne permet de traiter des données quantitatives (effectifs capturés par pêche) et l'interprétation de la position des variables dans le plan défini par les axes principaux s'interprète comme suit : « la distance entre deux variables s'exprime en terme de covariance et augmente avec les variances. Elle diminue si la liaison est positive et augmente si la liaison est négative. La distance à l'origine d'une variable est sa variance » (LEBART *et al.*, 1997). Les données ont été préalablement transformées en Log (abondance +1) afin de minimiser les effets dus à la structure spatiale en bancs des juvéniles de poissons et d'éviter que cette information soit le principal résultat de l'analyse des données.

L'analyse factorielle des correspondances décentrée présente l'intérêt de traiter des données sous forme d'occurrence en pondérant les observations par l'effort d'échantillonnage et donc d'intégrer dans l'analyse la situation expérimentale. Le fait d'analyser les occurrences des espèces (présence-absence à l'échelle du point de pêche) permet de s'affranchir du biais que peut constituer le caractère agrégatif de la distribution des juvéniles de poissons de la majorité des espèces de cyprinidés et qui se traduit soit par l'absence de capture, soit par la capture d'un grand nombre d'individus dans un même point de pêche.

Les calculs ont été effectués avec le logiciel ADE-4 (Thioulouse *et al.*, 1997)

## **4.4. Résultats**

### **4.4.1. Liste Faunistique**

Les 27 espèces échantillonnées entre 1989 et 2003 sont répertoriées dans le Tableau VI : liste des espèces échantillonnées entre 1989 et 2003.

**Tableau VI : liste des espèces échantillonnées entre 1989 et 2003**

Famille	Espèce		Code
	Nom vernaculaire	Nom latin	
Salmonidés	Truite fario	<i>Salmo trutta fario</i> (L., 1758)	TRF
	Ombre commun	<i>Thymallus thymallus</i> (L. 1766)	OBR
Lotidés	Lote	<i>Lota lota</i> (Linné, 1758)	LOT
Esocidés	Brochet	<i>Esox lucius</i> (L., 1758)	BRO
Cyprinidés	Gardon	<i>Rutilus rutilus</i> (L., 1758)	GAR
	Blageon	<i>Leuciscus soufia</i> (Risso, 1826)	BLN
	Vandoise	<i>Leuciscus leuciscus</i> (L., 1758)	VAN
	Chevaîne	<i>Leuciscus cephalus</i> (L., 1758)	CHE
	Vairon	<i>Phoxinus phoxinus</i> (L., 1758)	VAI
	Rotengle	<i>Scardinius erythrophthalmus</i> (L., 1758)	ROT
	Tanche	<i>Tinca tinca</i> (L., 1758)	TAN
	Ablette	<i>Alburnus alburnus</i> (L., 1758)	ABL
	Spirilin	<i>Alburnoides bipunctatus</i> (Bloch, 1782)	SPI
	Brème bordelière	<i>Blicca bjoerkna</i> (L., 1758)	BRB
	Brème commune	<i>Abramis brama</i> (L., 1758)	BRE
	Hotu	<i>Chondrostoma nasus</i> (L., 1758)	HOT
	Bouvière	<i>Rhodeus sericeus</i> (Bloch, 1785)	BOU
	Goujon	<i>Gobio gobio</i> (L., 1758)	GOU
	Barbeau fluviatile	<i>Barbus barbus</i> (L., 1758)	BAF
Carassin doré	<i>Carassius auratus</i> (L., 1758)	CAA	
Balitoridés	Loche franche	<i>Barbatula barbatula</i> (L., 1758)	LOF
Ictaluridés	Poisson-chat	<i>Ameiurus melas</i> (Rafinesque, 1820)	PCH
Anguillidés	Anguille	<i>Anguilla anguilla</i> (L., 1758)	ANG
Gastérostéidés	Epinoche	<i>Gasterosteus aculeatus</i> (L., 1758)	EPI
Centrarchidés	Perche-soleil	<i>Lepomis gibbosus</i> (L., 1758)	PES
Percidés	Perche fluviatile	<i>Perca fluviatilis</i> (L., 1758)	PER
	Grémille	<i>Gymnocephalus cernua</i> (L., 1758)	GRE

La liste faunistique est tout à fait représentative de la faune du secteur étudié (Klingeman et al., 1998).

Trois espèces n'ont été rencontrées qu'une fois :

- le carassin doré (*Carassius auratus*) (fin août 2000), cette espèce a été introduite dans le bassin du Rhône, probablement avec des lots d'empoissonnement ;
- la lote de rivière (*Lota lota*), autrefois commune dans le secteur de Chautagne et le marais de Lavours et toujours très présente dans le Lac du Bourget ;
- le rotengle (*Scardinius erythrophthalmus*), espèce lénitophile, représentative des annexes fluviales déconnectées, milieux absents du R.C.C. de Chautagne.

La fréquence d'occurrence des 27 espèces (nombre de points d'échantillonnage dans lesquels une espèce a été rencontrée) est représentée sur la figure 12.

Six espèces ont une fréquence d'occurrence inférieure à 1% sur la période considérée : bouvière, brochet, blageon, brème bordelière, anguille, poisson-chat.

Trois espèces ont des fréquences d'occurrence supérieures à 20% : le vairon (33,6%), la loche franche (32,9%), le chevaine (29,6%) et le barbeau fluviatile (20,8%).

La figure 13 présente l'abondance relative de chacune des espèces. La plupart des poissons capturés au cours des campagnes de pêches étant des juvéniles de l'année, ces données doivent être interprétées avec prudence compte tenu du très fort caractère agrégatif des juvéniles et des fortes variations interannuelles du succès de la reproduction des différentes espèces. Ainsi, la forte proportion de gardons est principalement due à un très bon succès de reproduction de cette espèce en 1999. Il importe donc de considérer l'évolution des abondances des espèces au cours du temps.

Les données sont présentées en annexes XVI et XVII.

#### **4.4.2. Caractérisation du peuplement du R.C.C. de Chautagne**

Afin de caractériser de manière synthétique le peuplement du Vieux-Rhône de Chautagne les fréquences d'occurrence des espèces ont été analysées par une analyse factorielle des correspondances décentrée. Le carassin doré, la lote, le poisson-chat et le rotengle n'ont pas été conservés pour l'analyse en raison du caractère très accidentel de leur capture. Seules les campagnes de pêches réalisées en période post-estivale ont été prises en compte d'une part en raison de l'hétérogénéité du plan d'échantillonnage et d'autre part en raison de la présence des juvéniles de l'année dans les échantillons en fin d'été. L'analyse permet donc de présenter de manière très générale l'évolution de la structure du peuplement entre 1989 et 2003 à travers la présence des différentes espèces dans les E.P.A. Le peuplement a été étudié à l'échelle du R.C.C. et non à l'échelle de la station de pêche. En effet, une étude approfondie de l'ichtyofaune du R.C.C. de Chautagne réalisée de 1997 à 1999 a montré que la principale source de variabilité dans le jeu de données était représentée par les différences inter-annuelles du succès de reproduction des espèces et non par des différences entre les stations échantillonnées (Olivier, 2000). Le Vieux-Rhône constitue une entité au sein de laquelle les poissons peuvent circuler. L'analyse met donc en évidence la variabilité temporelle et mesure les points communs et les particularités de chaque campagne de pêche. Afin de présenter au mieux les caractéristiques générales de cette évolution et de ne pas décrire précisément chaque événement particulier (différences inter-annuelles du succès de reproduction des différentes espèces par exemple) seul le premier facteur de l'analyse a été conservé pour l'interprétation des résultats (il prend en compte 37% de la variabilité du tableau de données). Un axe factoriel est une variable synthétique qui décrit une partie de la

structure du jeu de données, reflétant dans le cas présent, les caractéristiques majeures du peuplement de Chautagne. Les résultats sont présentés sur la figure 14.

La figure 14A montre les coordonnées factorielles des campagnes de pêches (lignes du tableau traité) sur le 1<sup>er</sup> axe de l'analyse en fonction du temps. Les points (campagnes de pêche) dont les coordonnées sont proches de l'origine (figure 14A) présentent la particularité de contenir la majorité des espèces.

La figure 14B montre les fréquences d'occurrence des espèces triées selon leurs coordonnées factorielles sur le 1<sup>er</sup> axe de l'analyse. Onze espèces (spirlin, truite fario, ombre commun, tanche, chevaine, goujon, perche fluviatile, barbeau, vairon, loche franche, grémille) ont été rencontrées dans la plupart des campagnes de pêches ; les autres espèces ont été trouvées beaucoup moins régulièrement dans le Vieux Rhône et présentent une variabilité importante de leur fréquence d'occurrence, probablement due aux caractéristiques hydrologiques des différentes années. A titre d'exemple, la figure 15 montre l'évolution temporelle de la fréquence d'occurrence du gardon et de l'ablette d'une part et de la perche-soleil et de la grémille d'autre part.



### Fréquences d'occurrence

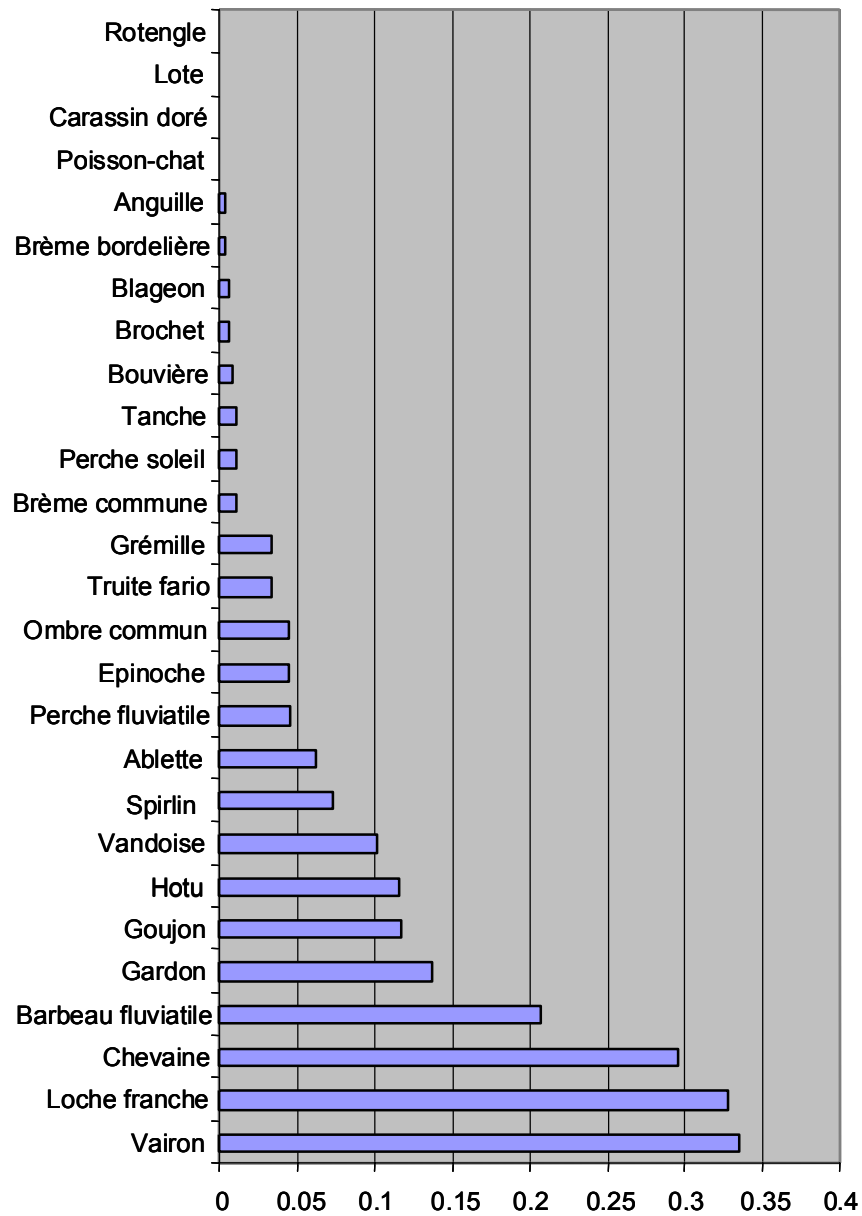


Figure 12 : Fréquences d'occurrence des différentes espèces échantillonnées dans le RCC de Chautagne entre 1989 et 2003 (toutes dates confondues).

Abondance relative (calculée pour 100 E.P.A.)

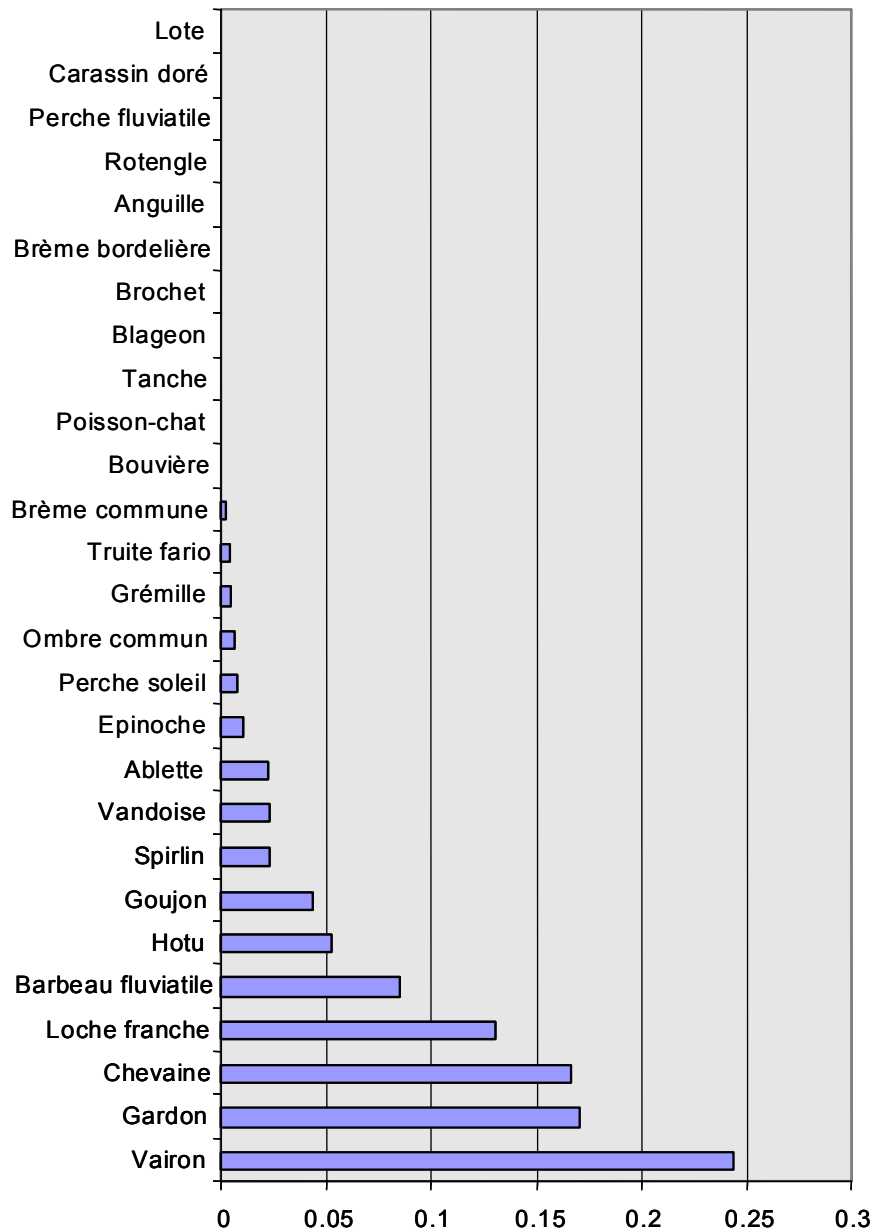
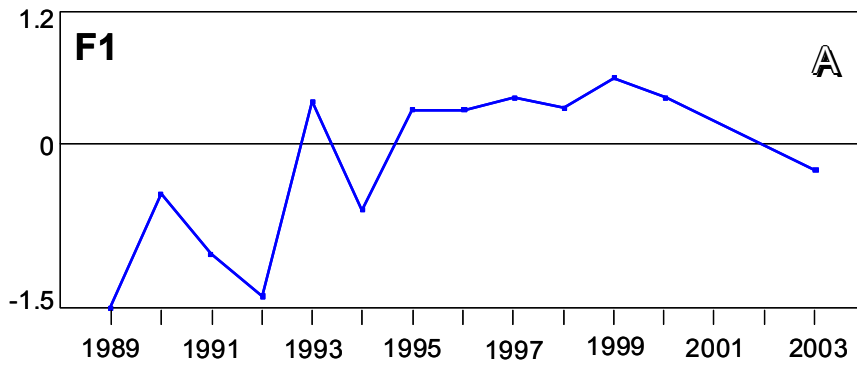
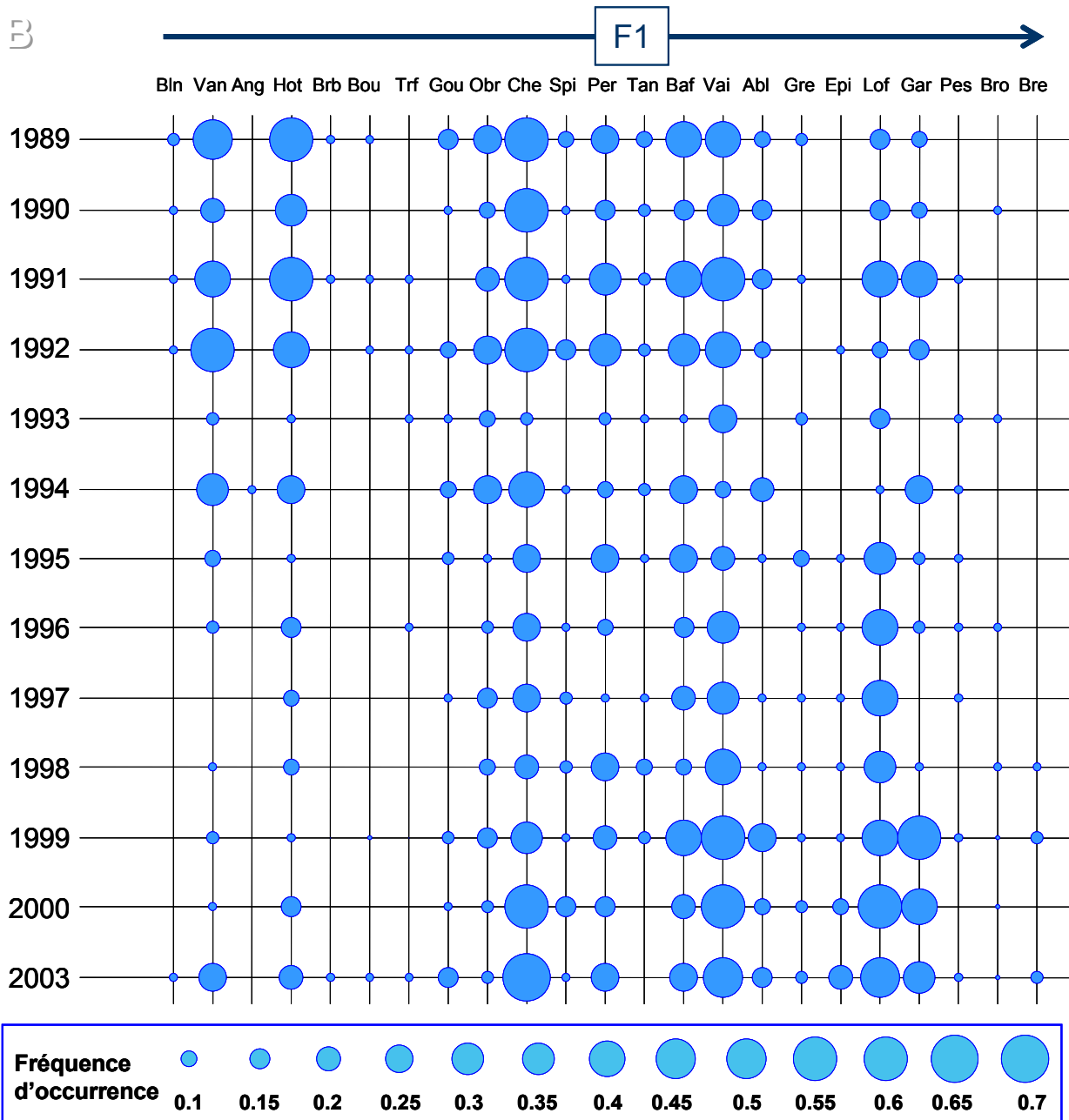


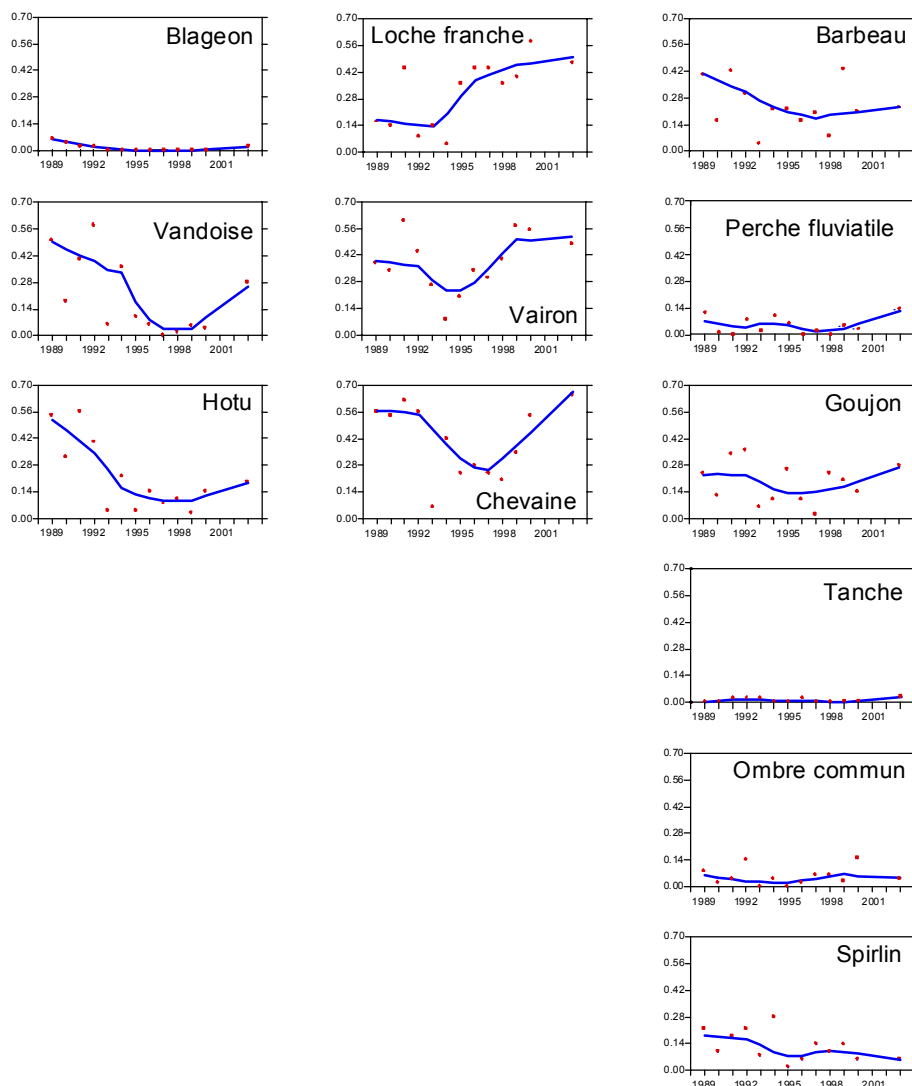
Figure 13 : Abondances relatives des différentes espèces échantillonnées dans le RCC de Chautagne entre 1989 et 2003 (Abondances calculées pour 100 échantillons ponctuels d'abondance, toutes dates confondues).



B



Figures 14A et 14B : Analyse factorielle décentrée du tableau comportant les occurrences par espèce et par pêche (réalisées en automne) :  
 A : coordonnées factorielles des pêches sur le 1er axe de l'analyse,  
 B : représentation des fréquences d'occurrence des espèces par an, les espèces sont ordonnées suivant leurs coordonnées sur le 1er axe de l'analyse



**Figure 14C fréquence d'occurrence du pool d'espèces typiques du RCC de Chautagne entre 1989 et 2003 (données brutes = carrés rouges, et données lissées = courbes bleues) classées par groupes**

La figure 14C montre l'évolution temporelle du pool d'espèces considérées comme représentatives du R.C.C. de Chautagne. Toutes ces espèces ont été capturées régulièrement dans le Vieux Rhône, avec des fréquences d'occurrence différentes. Plusieurs cas de figure peuvent être considérés :

- des espèces dont les fréquences d'occurrence sont différentes mais **dont l'occurrence présente une certaine régularité dans le temps** : le barbeau fluviatile, la perche fluviatile, le goujon, la tanche, l'ombre commun, la truite fario le spirilin ;
- des espèces dont **l'occurrence a augmenté significativement au cours du temps** : le vairon, le chevaine, la loche franche ;
- des espèces dont **l'occurrence a diminué** entre 1989 et 2003 : la vandoise, le hotu, le blageon.

L'observation des histogrammes des tailles des espèces permet de mieux comprendre cette évolution :

La comparaison des histogrammes de barbeaux fluviatiles (figure 16) et de hotus (figure 17) montre que dans les deux cas la plupart des poissons échantillonnés sont des juvéniles de l'année. Dans le cas du barbeau, des individus âgés sont néanmoins régulièrement capturés (*cf* l'histogramme de distribution des tailles en 2003). **Dans le cas du hotu, les effectifs ont largement décliné après 1992** et ce quelles que soient les classes de tailles, avec cependant un affaiblissement très marqué des effectifs dans les classes de tailles moyennes à grandes. Ce phénomène peut avoir plusieurs causes, en particulier un manque d'habitat disponible pour les classes de tailles intermédiaires, de plus le Vieux Rhône de Chautagne a été pêché par un pêcheur professionnel en 1993-1994, ce qui peut avoir provoqué un affaiblissement de la fraction la plus âgée de la population.

L'examen de l'histogramme de 2003 témoigne de **la présence de géniteurs** dans le R.C.C. à travers la présence de juvéniles de l'année dans les échantillons et montre que la reproduction se poursuit, même si les effectifs échantillonnés restent faibles par rapport aux valeurs mesurées après la mise en service du barrage de Chautagne ou dans les années 90.

L'examen des distributions en classes de tailles de vandoises (figure 18) montre une évolution assez similaire à celle du hotu, néanmoins les échantillonnages effectués en 2003 ont révélé une abondance de juvéniles de l'année plus forte qu'auparavant.

La distribution en classes de tailles des populations dominantes constitue un bon indicateur de l'état des populations. Un succès régulier de la reproduction et une bonne intégration des juvéniles de l'année dans les populations témoigne d'une bonne adéquation entre les caractéristiques d'habitats et les exigences écologiques des différentes classes d'âge.

Les cas de figure présentés ci-dessus constituent des exemples démonstratifs d'une population qui fonctionne bien (le barbeau) et de populations en déclin sur le secteur étudié (le hotu et la vandoise).

**Le suivi prévu sur le R.C.C. de Chautagne permettra au cours des 5 prochaines années de mesurer le succès de reproduction des espèces dominantes.** L'examen des histogrammes de distribution en classes de taille renseignera sur l'évolution des structures de populations éventuelles.

Les histogrammes de tailles des espèces les plus abondantes en 2003 sont présentés sur la figure 19.

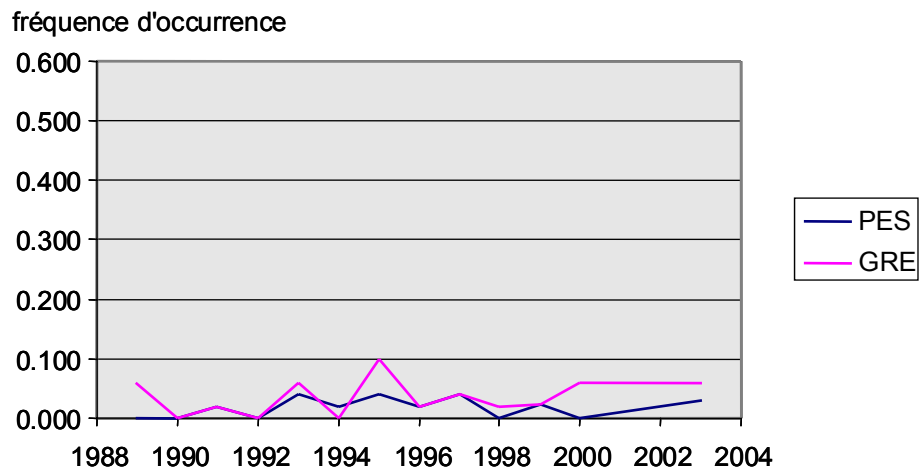
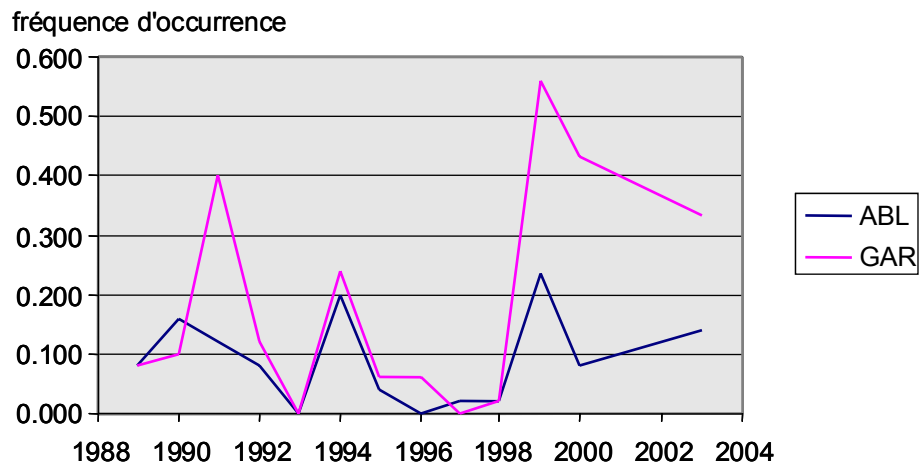


Figure 15 : fréquence d'occurrence du gardon, de l'ablette, de la grémille et de la perche-soleil dans le RCC de Chautagne entre 1989 et 2003 (données brutes).

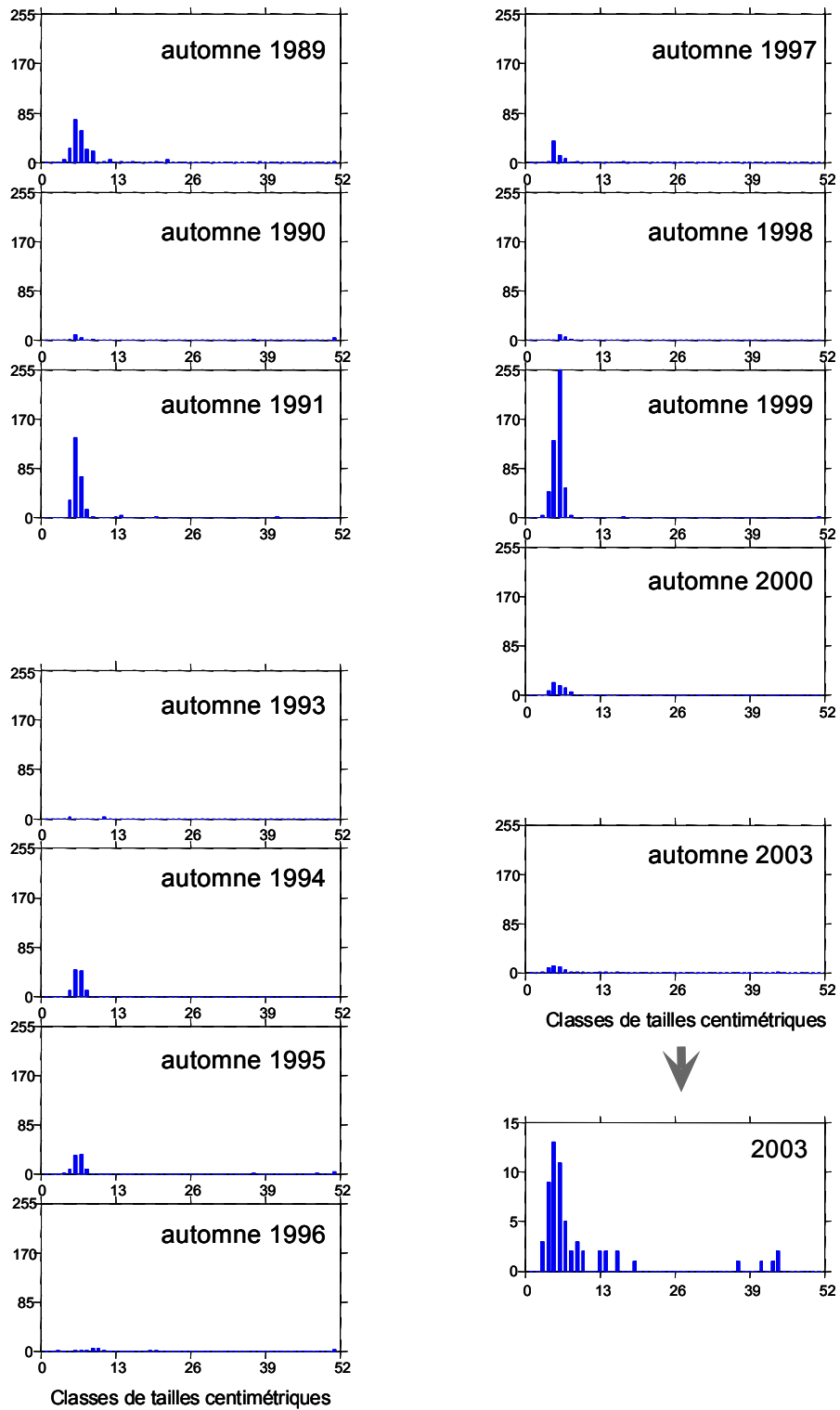


Figure 16 : distribution en classes de tailles centimétriques des barbeaux fluviatiles capturés lors des pêches d'automne entre 1989 et 2003 (la dernière classe représente les individus de taille > 50 cm). (Effectifs pour 100 EPA).





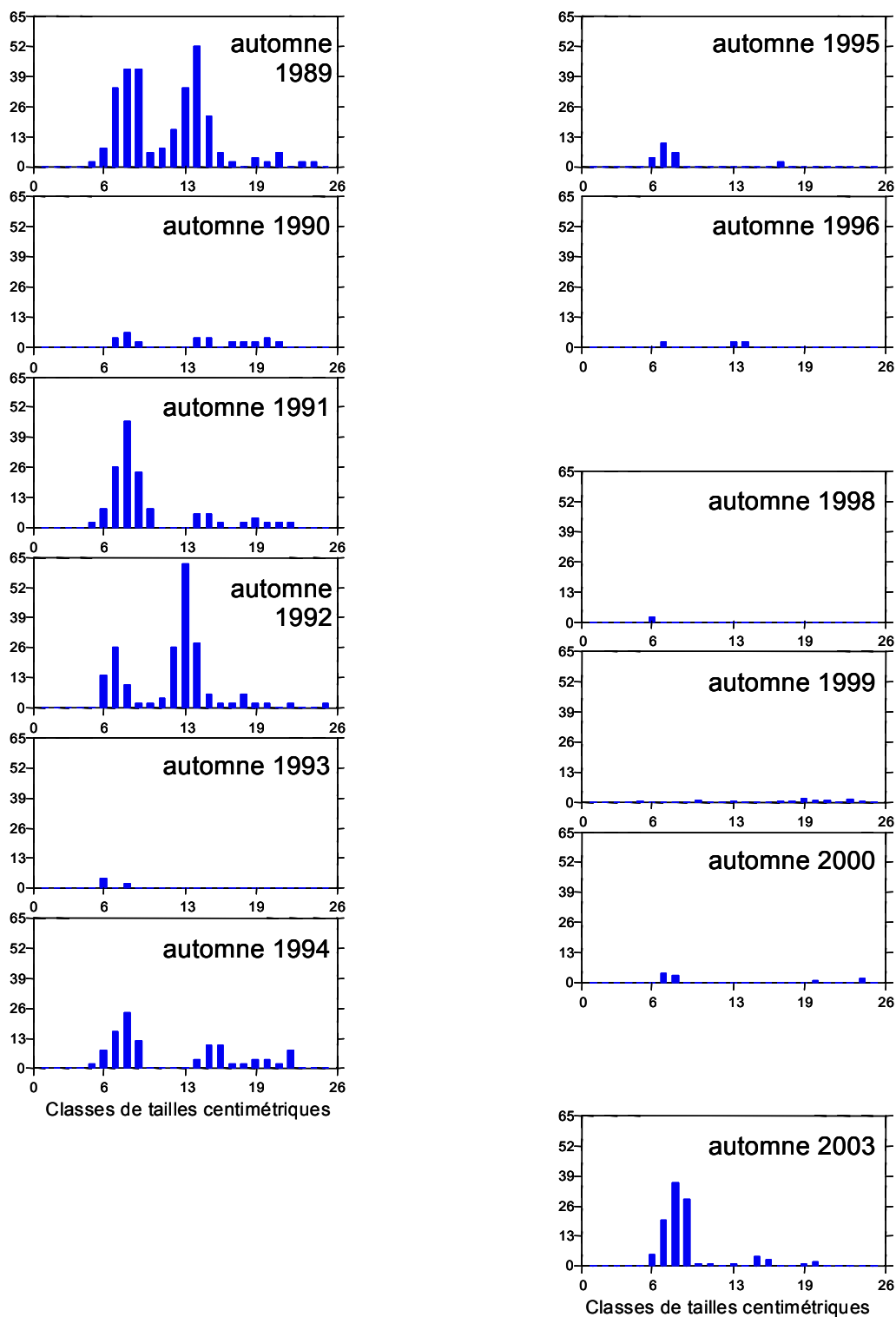
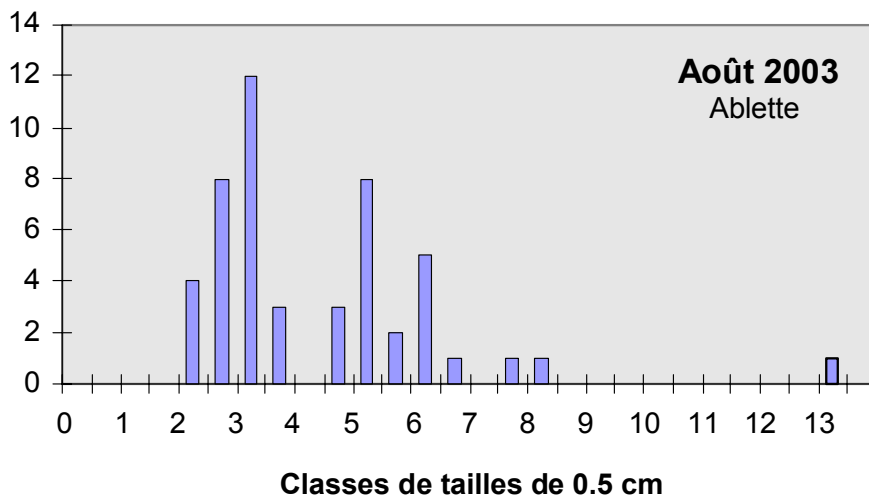
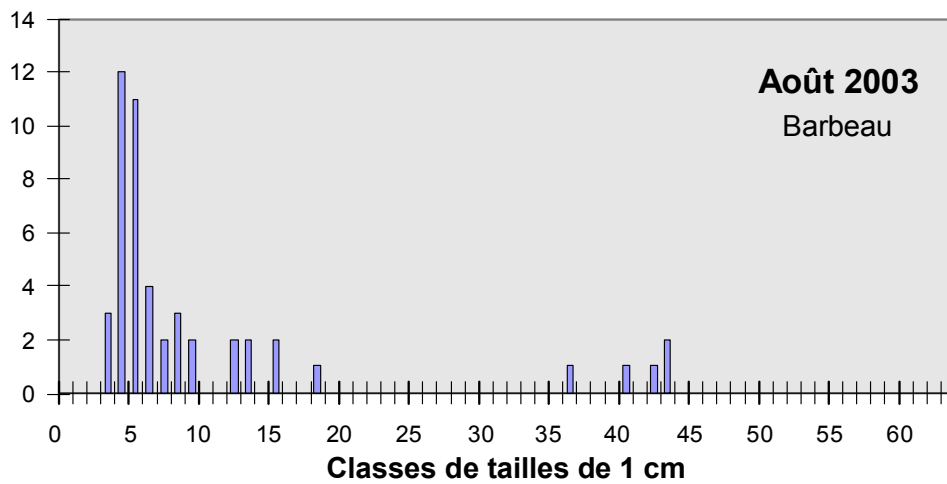


Figure 18 : distribution en classes de tailles centimétriques des vandoises capturées lors des pêches d'automne entre 1989 et 2003. (Effectifs pour 100 EPA).

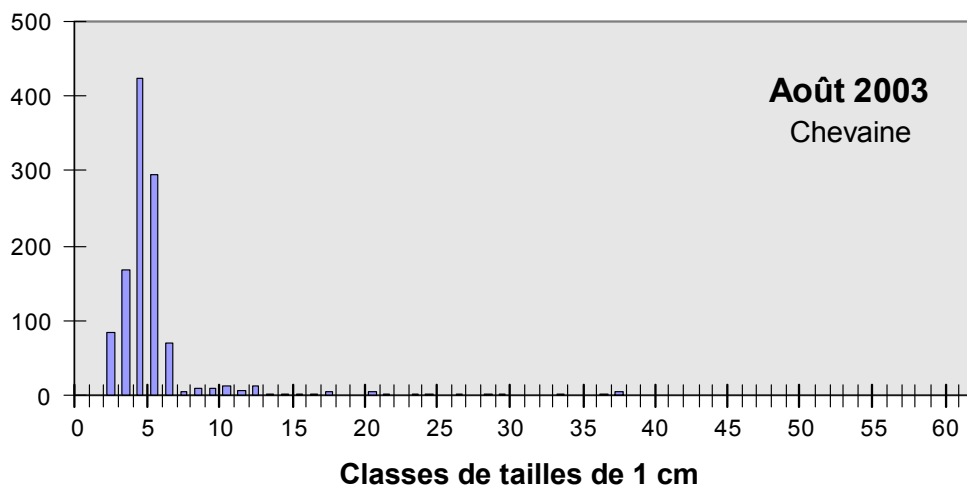
Nb individus



Nb individus



Nb individus



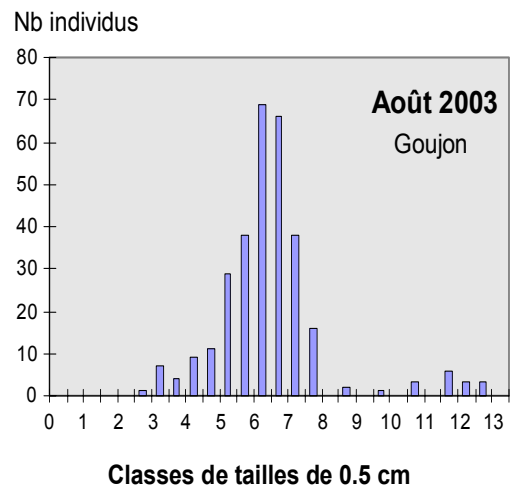
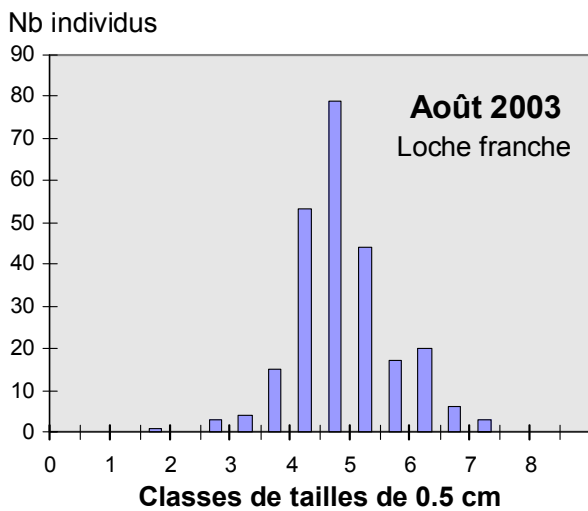
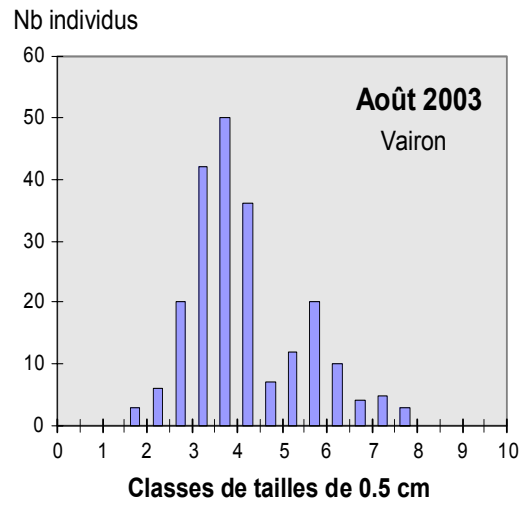
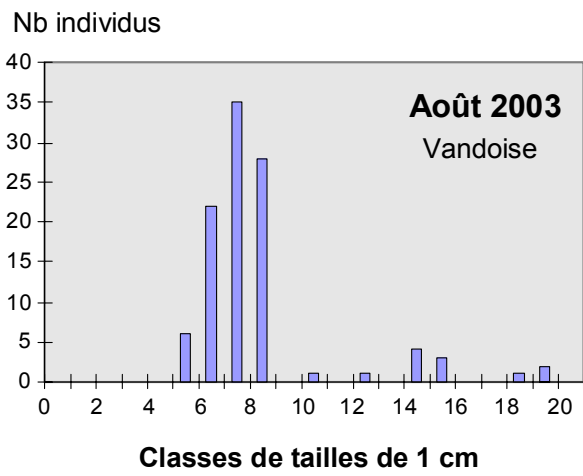
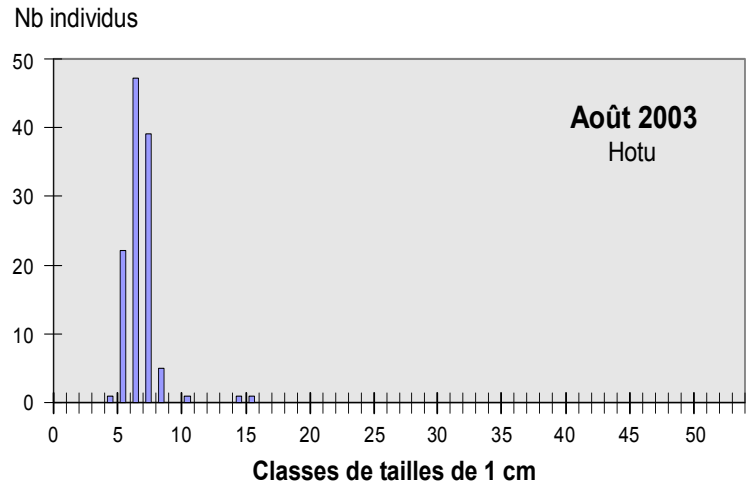
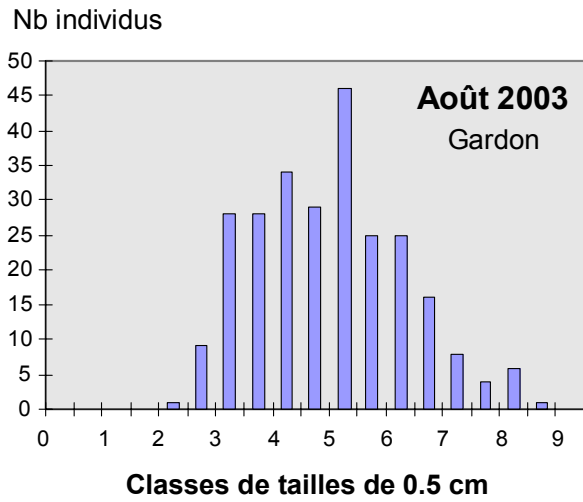


Figure 19 : distribution en classe de taille des poissons capturés en 2003

#### **4.4.3. Analyse quantitative du peuplement du R.C.C. de Chautagne**

Les données ont été traitées par une analyse en composantes principales après transformation des abondances brutes en Log (effectif + 1) afin de limiter l'effet taille des échantillons du à la grégarité des juvéniles. L'analyse a pour objectif de mettre en évidence les variations temporelles de l'abondance des espèces.

Les résultats de l'analyse sont présentés sur les figures 20 et 21.

Les deux premiers axes de l'ACP prennent en compte 60 % de l'inertie totale du tableau (figure 20A).

Le premier axe décrit les variations majeures de l'abondance et oppose les pêches réalisées durant les campagnes de printemps (valeurs négatives) et celles réalisées en automne (valeurs positives) (figures 20B et 21A). Les variations saisonnières de l'abondance relative des juvéniles de l'année (0+) sont responsables de cet effet. Le premier axe de l'ACP est significativement corrélé à l'abondance des poissons dans les pêches (figure 21C), les espèces les plus contributives à cet effet sont présentées sur la figure 21B. Les augmentations automnales d'effectifs dans les échantillons sont essentiellement dues au succès de la reproduction des espèces de cyprinidés les mieux représentées : hotu, vandoise, gardon, ablette, goujon, chevaine, spirlin, barbeau. Ce phénomène est très commun dans le Rhône quel que soit le secteur étudié.

L'axe 2 de l'analyse oppose les années 1989 à 1995 aux années suivantes.

Le peuplement échantillonné dans ces deux groupes d'années est dominé numériquement par des espèces différentes :

- vandoise, hotu, perche fluviatile, spirlin, truite fario et blageon pour la période avant 1996,
- loche franche, vairon, gardon (surtout en 1999), ablette, goujon et chevaine pour la période 1996 – 2003.

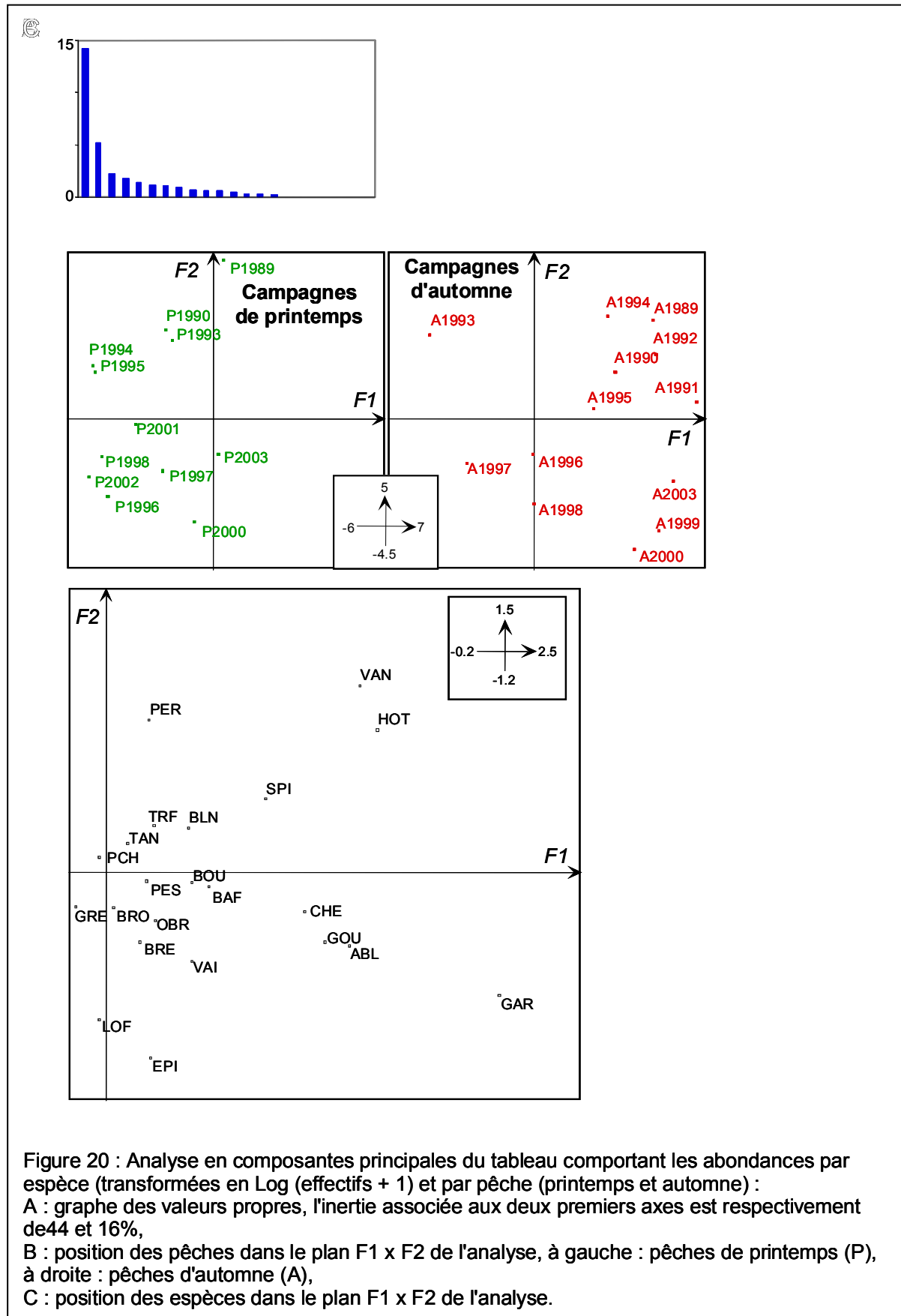
Ce phénomène est mis en évidence sur les figures 21, B et C.

Les changements observés ont probablement plusieurs origines, les espèces dont les effectifs ont décliné au cours du temps sont des espèces exigeantes vis-à-vis de facteurs clés comme la vitesse du courant, la nature du substrat (degré de colmatage), la température de l'eau et la teneur en oxygène. Les espèces plus abondantes au cours de la seconde période sont des espèces plus tolérantes ou plus typiques de cours d'eau de dimensions réduites comme le vairon et la loche franche.

Ces changements de structure de communauté peuvent révéler un effet sur le long terme de la mise en débit réservé du tronçon court-circuité, mettant en évidence la durée nécessaire pour mesurer convenablement les **effets de la construction du barrage** sur le Rhône en Chautagne.

De plus, les **changements des caractéristiques hydro-climatiques générales** au cours des 25 dernières années ont des répercussions sur le régime thermique général du fleuve et des changements de structure de communauté ont été également mis en évidence sur d'autres secteurs du Rhône (secteur du confluent de l'Ain, secteur de Péage de Roussillon, secteur de Cruas). Dans tous les cas, il est souvent difficile d'identifier la cause exacte de ces

changements sur le moyen terme, plusieurs facteurs pouvant agir de manière concomitante et de façon plus ou moins synergique.



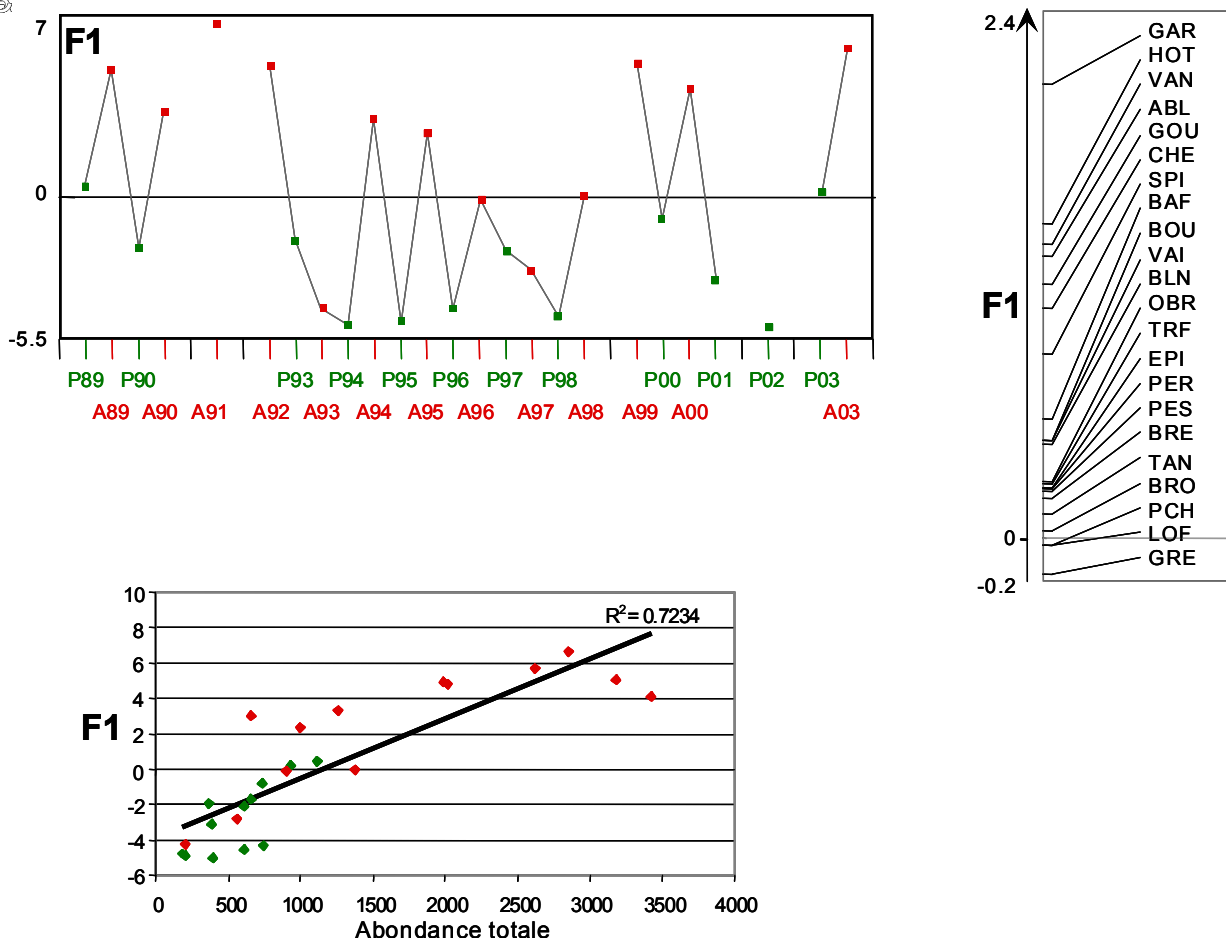


Figure 21 : Analyse en composantes principales du tableau comportant les abondances par espèce (transformées en Log (effectifs + 1) et par pêche (printemps et automne) :

A : coordonnées factorielles des pêches sur le 1<sup>er</sup> axe de l'analyse,

B : coordonnées factorielles des espèces sur le 1<sup>er</sup> axe de l'analyse,

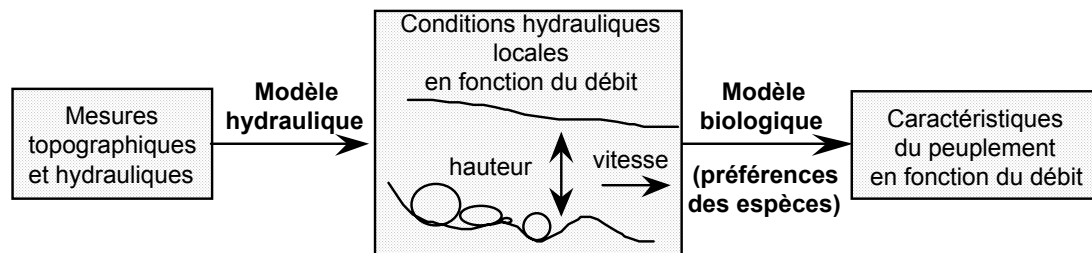
C : corrélation entre les coordonnées factorielles des pêches et l'abondance totale par pêche,

#### 4.4.4. Simulation de la qualité de l'habitat : Attendus en Chautagne

Les simulations de la qualité de l'habitat des poissons dans le vieux Rhône ont été actualisées à l'aide de la méthode des 'microhabitats' *via* le logiciel Estimhab (<http://www.lyon.cemagref.fr/bea/lhq/lhq.html>, Lamouroux et Capra 2002, Lamouroux et Souchon 2002). Estimhab est un modèle peu coûteux pour estimer les impacts écologiques de la gestion hydraulique des cours d'eau (modification des débits minimums, ajout/suppression de seuils). Il donne des résultats quasi-similaires à ceux fournis par les modèles classiques des 'microhabitats' (logiciels Phabsim, Evha), à partir de variables d'entrée simplifiées (mesures de largeurs et hauteurs à deux débits).

Les modèles 'microhabitats' classiques décrivent les conditions physiques dans un cours d'eau à l'aide d'un modèle hydraulique, puis estiment l'habitat potentiel des espèces à l'aide de leurs modèles de préférence les conditions physiques. Les prédictions sont exprimées

en terme de valeur d'habitat (note entre 0 et 1) ou en terme de surface utilisable (valeur d'habitat \* surface mouillée) pour chacune des espèces considérées.



Ces modèles de qualité de l'habitat ont été essentiellement utilisés pour les salmonidés, et sont relativement lourds à mettre en œuvre localement (relevés topographiques et hydrauliques précis). En l'état, il semblait donc difficile de les appliquer sur de nombreux sites ou à l'ensemble d'un bassin versant. Afin de remédier à ce type de limites, Estimhab utilise les résultats de la recherche autour de trois points :

### **1. Le développement de courbes de préférence pour un grand nombre d'espèces de poisson.**

Ceci a été fait pour 24 espèces de poissons (à différents stades de développement) du sud de la France, en prenant soin de définir des modèles 'moyens' sur différents cours d'eau des bassins de la Loire, du Rhône et de la Garonne. Ces développements permettent d'appliquer les modèles d'habitat dans tous les types de cours d'eau.

### **2. La simplification des variables d'entrée des modèles.**

L'analyse de l'application des modèles d'habitat sur plusieurs dizaines de sites a permis d'identifier quelles caractéristiques hydrauliques moyennes des tronçons de cours d'eau (débit, hauteur, largeur, taille du substrat ...) gouvernent la valeur d'habitat ou surface utilisable par différentes espèces. On peut alors simplifier les variables d'entrée nécessaires pour estimer les modifications de qualité de l'habitat. Estimhab utilise ces variables d'entrée simplifiées.

### **3. La validation biologique des simulations.**

Sur les cours d'eau à truite comme sur les cours d'eau plus larges, multispécifiques, plusieurs prédictions des modèles ont été validées (par confrontation avec des données issues de pêches). Ces validations multi-sites, obtenues sur le bassin du Rhône comme à l'étranger, ont montré la pertinence biologique des modèles.

Comme 'Phabsim' ou 'Evha', versions classiques des méthodes 'des microhabitats', Estimhab prédit l'évolution avec le débit d'une note de qualité de l'habitat (variant entre 0 et 1), ou d'une surface utilisable (note de qualité de l'habitat \* surface de la station).

En chautagne, les données d'entrée d'Estimhab (lois hauteur-débit et largeur-débit moyennes) ont été estimées par mesure directe (en 1995, à différents débits) sur un tronçon courant (station de pêche 'méandre de la Malourdie' pk 139-140.5). Les simulations réalisées sur ce tronçon pourront être comparées à des simulations faites sur d'autres tronçons du secteur lors de la phase d'évaluation de la restauration.

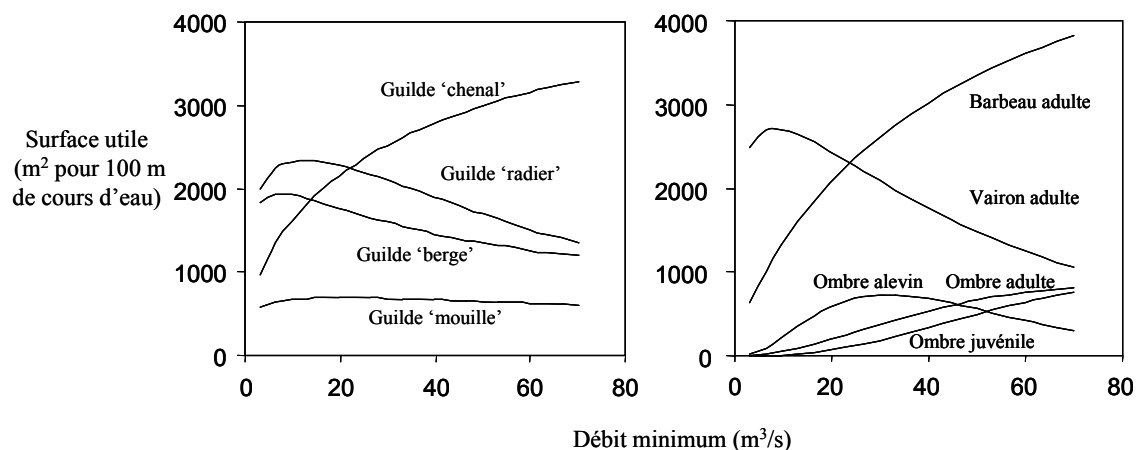


Figure 22 Evolution des surfaces utiles pour des guildes de poissons (groupes d'espèces, à gauche) et quelques espèces (à droite) en fonction du débit minimum sur le vieux Rhône de Chautagne. La guildes 'chenal' indique la valeur d'habitat moyenne des espèces vivant dans des conditions rapides et/ou profondes (ex : ombre, barbeau adulte, ablette, hotu, vandoise). Les autres guildes sont : berge (ex : goujon, blageon juvénile, chevesne juvénile, vairon) ; radier (ex : loche, chabot, barbeau juvénile) ; mouille (ex : anguille, perche soleil, perche, gardon, chevesne adulte). L'augmentation du débit favorise la guildes 'chenal', dont la surface utile double avec le passage du débit minimum de 10 à 50 m<sup>3</sup>/s. L'ombre et le barbeau, par exemple, devraient largement bénéficier de l'augmentation du débit minimum. La valeur d'habitat des poissons vivant le long des berges ou dans les radiers (ex : vairon) diminue en liaison avec l'augmentation de la profondeur.

Les modélisations de qualité de l'habitat (Figure 27) indiquent que l'augmentation du débit favorise les espèces vivant dans des conditions rapides et/ou profondes (ombre, barbeau, ablette, hotu, vandoise) par rapport aux autres. Cette tendance est continue, bien que particulièrement marquée en dessous de 50 m<sup>3</sup>/s. Elle est tout à fait comparable à celle obtenue sur Pierre-Bénite, et cohérente avec les modélisations existantes sur le Rhône (Lamouroux *et al.*, 1999).

Les validations biologiques de ces modèles (exemple de Pierre-Bénite) nous indiquent clairement que la position relative des courbes est pertinente (les proportions relatives des espèces répondent de façon comparable). Par contre, les difficultés d'échantillonnage en habitat profond font 'descendre' artificiellement toutes les courbes à fort débit, notamment en grands fleuves. Il ne faut donc pas s'inquiéter de la décroissance des surfaces utiles des guildes 'radier' et 'rive' pour les forts débits. La modélisation indique juste que leur proportion sera réduite par rapport à celles des espèces de la guildes 'chenal'.

### Indicateurs hydrauliques synthétiques et comparaisons entre vieux Rhône.

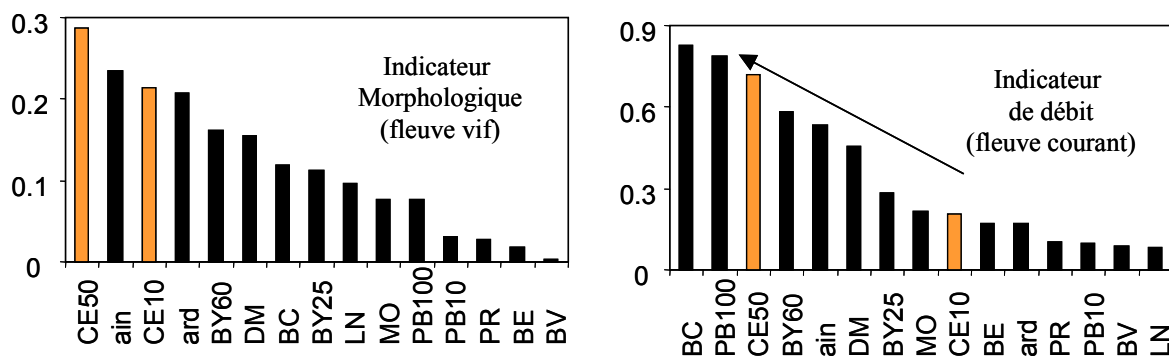
Les résultats d'Estimhab sont fidèlement reflétés par quelques descripteurs hydrauliques clés des tronçons de cours d'eau. Les plus importants sont le nombre de Froude au débit médian FR50 et le nombre de Reynolds au débit minimum RE, qui sont des combinaisons du débit Q, de la largeur L et de la hauteur d'eau H du tronçon de cours d'eau considéré. Ces indices sont extrêmement utiles pour refléter/comparer l'impact de la restauration sur plusieurs sites.



FR50 est un indice hydraulique lié à la morphologie du cours d'eau (proportions de radiers/mouilles). Plus sa valeur est élevée, plus il reflète l'idée d'un fleuve vif, de façon comparable sur des sites variés. C'est une variable sensible par exemple à une modification de seuil transversal. Une augmentation de FR50 augmente la valeur d'habitat relative (par rapport aux autres espèces) des espèces typiques des radiers (barbeau, loche, chabot).

RE est lié au niveau de débit par unité de largeur. Plus sa valeur est élevée, plus il reflète l'idée d'un fleuve courant, de façon comparable sur des sites variés. Il est particulièrement sensible aux changements de débit minimum. Une augmentation de RE augmente la valeur d'habitat relative des espèces typiques d'eau courante (ombre, barbeau, ablette, hotu, toxostome, vandoise). Noter que certaines espèces rhéophiles comme le barbeau sont favorisées à la fois par de fortes valeurs de FR et RE.

En pratique,  $FR50 = Q50 / (g^{0.5} * H50^{1.5} * L50)$  et  $RE = QM / (v * LM)$  où Q50, H50, L50 sont le débit, la hauteur et la largeur mouillée médians ; g est l'accélération gravitationnelle ; QM et LM sont le débit minimum et la largeur correspondante ; v est la viscosité dynamique de l'eau.



**Figure 22** Valeurs de FR50 (indicateur morphologique) et RE (indicateur de débit) sur les différents vieux Rhône du bas Rhône et du haut Rhône, sur l'Ain et l'Ardèche. CE10 et CE50 reflètent respectivement la situation du vieux Rhône de Chautagne avant et après modification du débit minimum. Idem pour BY25 et BY60 sur Belley, PB10 et PB100 sur Pierre-Bénite. Les autres vieux Rhône sont : Brégnier-Cordon BC, Péage-de-Roussillon PR, Bourg-les-Valence BV, Logis-Neuf LN, Montélimar MO, Donzère-Mondragon DM, Beauchastel BE.

Le changement de débit réservé en Chautagne modifierait essentiellement la valeur de RE, l'indice de débit. L'indice de débit s'approche de la valeur la plus haute du Rhône (celle de Brégnier-Cordon) pour un débit minimum de 50 m<sup>3</sup>/s (figure 28).

En revanche, l'indice lié à la morphologie serait assez peu modifié par le changement de débit. Il resterait le plus fort du Rhône, témoin d'un vieux Rhône vif et original avec de nombreux radiers.

Rappelons toutefois que la définition d'indicateurs synthétiques pour caractériser le fonctionnement hydraulique et écologique du fleuve ne doit pas masquer la complexité de ce fonctionnement. L'utilisation d'indices synthétiques nous semble pertinente pour avoir une vision globale, comparative entre sites, de l'effet de la restauration du fleuve. La cohérence entre indices hydrauliques et biologiques, aussi bien entre sites qu'avant/après restauration (Pierre-Bénite), est particulièrement encourageante. Cela dit, ces indices ne reflètent qu'en partie la complexité du fonctionnement hydraulique du fleuve (colmatage éventuel, stabilité

du lit, hétérogénéité hydraulique) ou des dynamiques des populations. L'utilisation d'indices synthétiques doit donc faciliter la décision et l'évaluation, mais ne se substitue pas à une étude détaillée de l'écosystème.

#### **4.4.5. Etat initial des lômes de la Malourdie et du Brotalet**

Le suivi de niveau 1 prévoit un suivi « allégé » des 2 lômes faisant l'objet de procédures de réhabilitation.

Chacune de ces lômes a été échantillonnée le 5 septembre 2003 (15 E.P.A ont été réalisés dans la Lôme de la Malourdie et 10 dans celles du Brotalet).

Les résultats des pêches sont consignés dans le tableau suivant :

**Tableau VII : Effectifs échantillonnés dans les Lômes de la Malourdie et du Brotalet le 5 septembre 2003.**

Espèce \ Station	Lôme de la Malourdie	Lôme du Brotalet
Ablette		1
Bouvière		61
Chevaine		453
Epinoche	7	9
Gardon		23
Goujon		105
Hotu		1
Loche	1	
Perche fluviatile		1
Perche soleil		15
Tanche		1
Vairon	11	33

Tous les poissons capturés dans la Lôme de la Malourdie ont une taille inférieure à 4 cm. Avant restauration, l'entrée de La Lôme était obturée par un bouchon alluvial et des arbres tombés en travers du chenal. A l'amont, seules de courtes zones peu profondes étaient présentes, constituant des milieux de trop faibles dimensions pour accueillir des poissons.

La Lôme du Brotalet constituait avant restauration un faciès calme connecté au R.C.C. situé dans le remous du canal de fuite de Chautagne, en ce sens elle constituait une zone limoneuse abritée favorable aux juvéniles. La majorité des poissons capturés était des juvéniles de l'année, par exemple les juvéniles de chevaine constituaient 95% des poissons échantillonnés. On notera cependant la très forte abondance de bouvière (espèce ostracophile qui dépose ses œufs dans des moules d'eau douce du genre *Unio* ou *Anondonta* se développant dans les substrat limoneux). Avant restauration, la faible surface en eau de cette lôme ne permettait pas de la considérer comme une entité mais comme un diverticule du R.C.C., c'est pourquoi la faune piscicole rencontrée ne présente pas de caractéristiques majeures par rapport à celle du R.C.C..

Les échantillonnages réalisés après restauration devraient permettre de mettre en évidence si ces deux lônes restaurées constitueront ou non de véritables annexes fluviales jouant un rôle particulier vis-à-vis du peuplement piscicole.

#### **4.5. Bilan et Perspectives**

Les données utilisées pour cette synthèse de l'état initial du peuplement de poissons ont permis de caractériser le peuplement du Vieux-Rhône de Chautagne et de montrer son évolution au cours des 13 dernières années. La simulation de la qualité de l'habitat des poissons réalisée avec la méthode des 'microhabitats' (logiciel Estimab) a permis de calculer l'évolution des surfaces utiles pour des guildes de poissons et quelques espèces comme l'ombre commun, qui, comme le barbeau fluviatile, devrait bénéficier de l'augmentation du débit réservé.

L'enjeu du suivi futur sera de mesurer l'évolution du peuplement après restauration des lônes et augmentation du débit réservé en prenant en compte à la fois les problèmes de dynamique de populations (cas de l'ombre commun, du hotu, de la vandoise et de la truite fario) et les modifications de l'habitat hydraulique induites par le changement de débit.

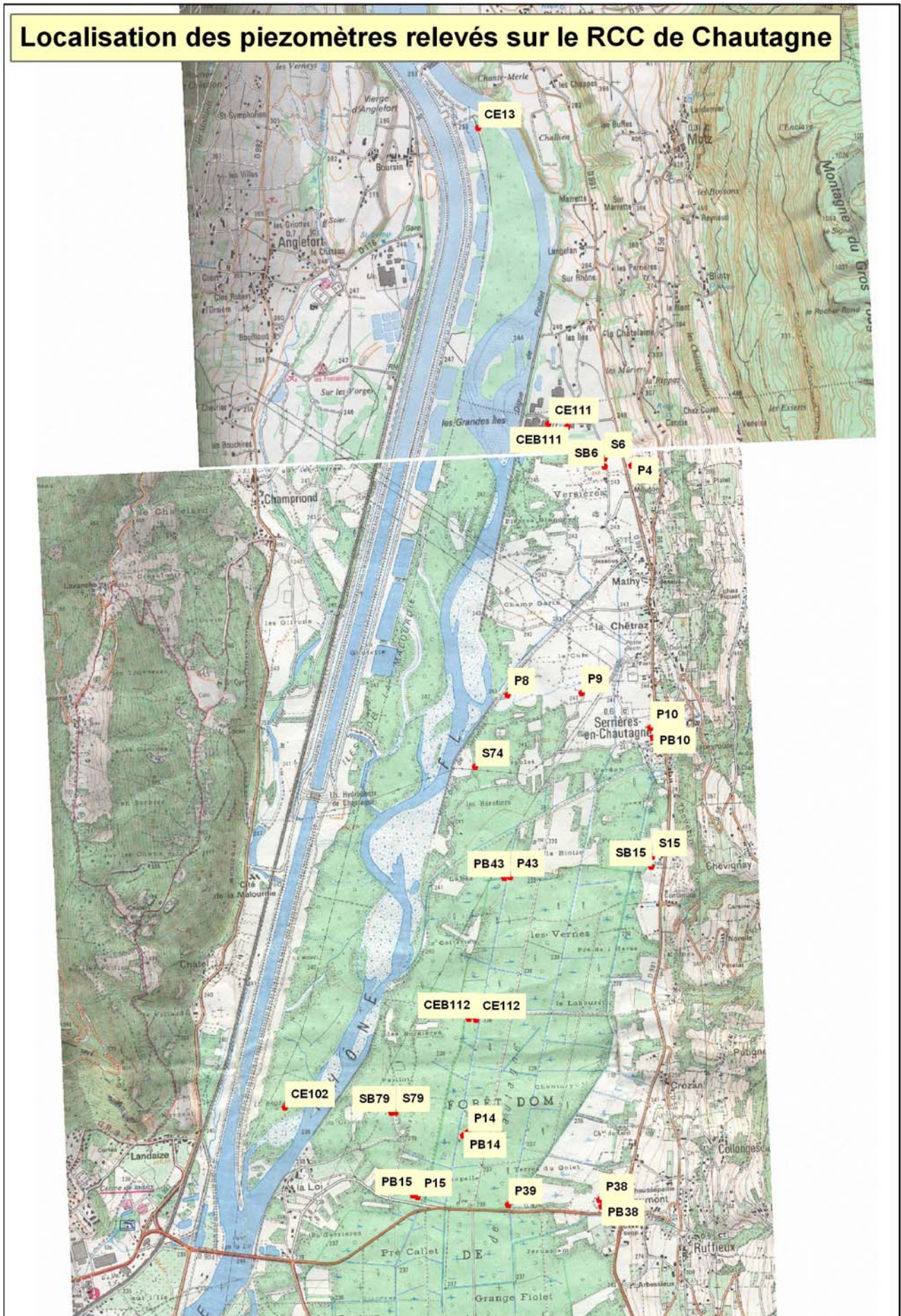
## **5. NIVEAU DE LA NAPPE ALLUVIALE**

Le suivi du battement de la nappe alluviale est réalisé à partir des données issues des piézomètres de la CNR. Nous avons retenus les appareils fournissant des données de façon régulière et situés à proximité du R.C.C. Le débit réservé de Chautagne n'étant pas encore relevé, nous nous contenterons dans cette section de comparer sur les graphiques qui suivent la relation entre le niveau de la nappe observé sur les différents piézomètres avec le débit du R.C.C. mesuré à la station limnimétrique de serrière en Chautagne au cours des 6 dernière années.

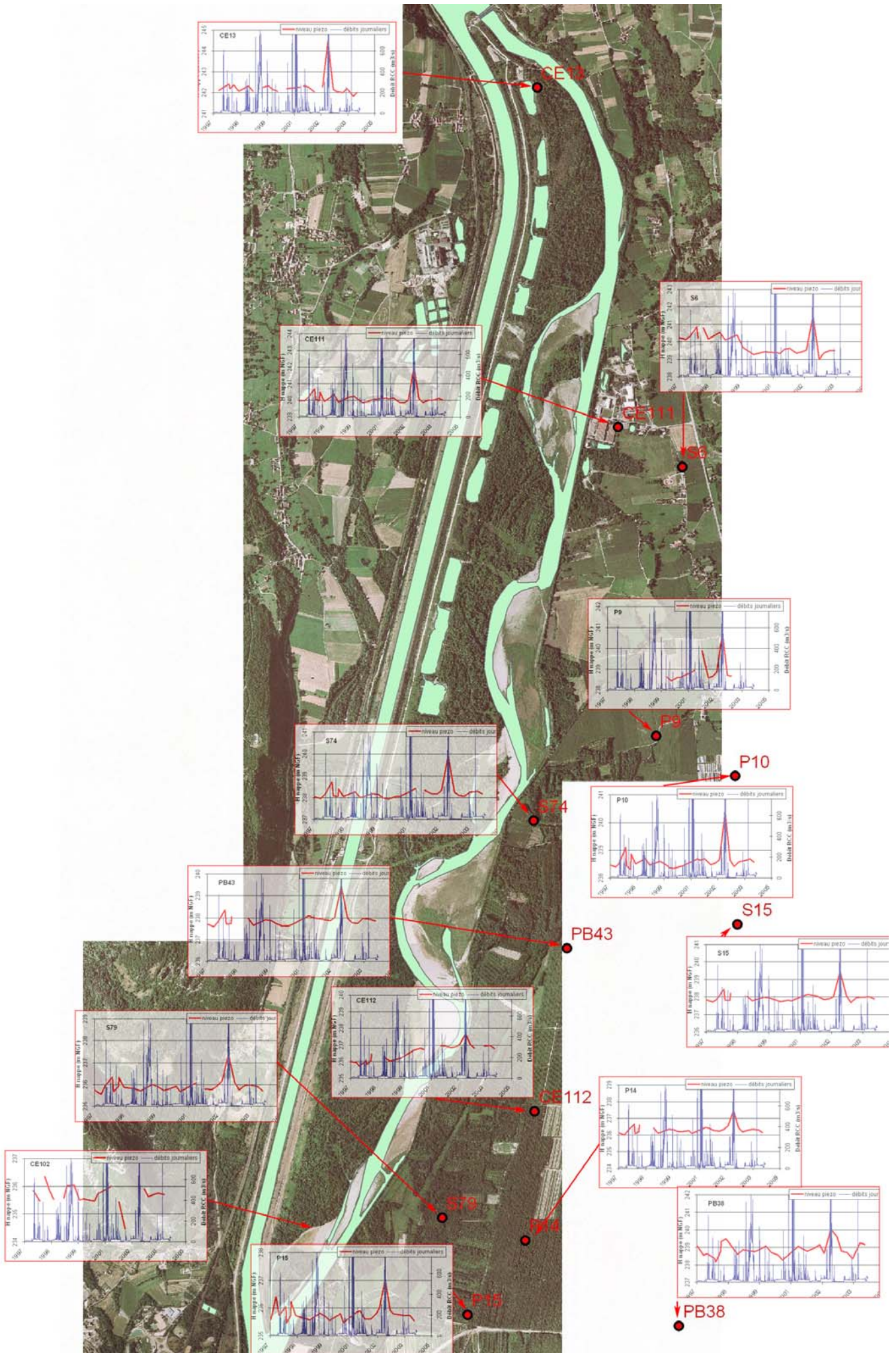
Les graphiques de tous les piézomètres retenus figurent en annexe XVIII.



# Localisation des piezomètres relevés sur le RCC de Chautagne







## **6. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- Dessaix, J., Fruget, J.F., Olivier, J.M., Beffy, J.L. (1995) Changes of the macroinvertebrate communities in the dammed and by-passed sections of the French Upper Rhone after regulation. *Regulated Rivers: Research & Management*, 265-279.
- Dolédec S., Chessel D. & Gimaret-Carpentier C. (2000) Niche separation in community analysis: a new method. *Ecology*, 81, 2914-2927.
- Dolédec, S., Chessel, D. & Olivier, J.M., 1995 - L'analyse des correspondances décentrée: application aux peuplements ichtyologiques du Haut-Rhône. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture* 336 : 29-40.
- Gordon, N.D., McMahon T.A. & Finlayson B.L. (1992) *Stream hydrology*, John Wiley, New York, 526 pp.
- Klingeman P.C., Bravard J.P., Giuliani Y., Olivier J.M. & Pautou G., 1998 - Hydropower reach by-passing and dewatering impacts in gravel-bed rivers. pp. 313-344 *In GRAVEL-BED RIVERS IN THE ENVIRONMENT*.(1998) Edited by Peter C. Klingeman, Robert L. Beschta, Paul D. Komar, and Jeffrey B. Bradley. Water Resources Publications, LLC, USA.
- Lamouroux N. (1997). *Hydraulique statistique et prédiction de caractéristiques du peuplement piscicole : modèles pour l'écosystème fluvial*. Thèse de Doctorat, UCB Lyon 1.
- Lamouroux N., Capra H. (2002) Simple predictions of instream habitat model outputs for target fish populations. *Freshwater Biology*, 47, 1543-1556.
- Lamouroux N., Doutriaux E., Terrier C., Zylberblat M. (1999) Modélisation des impacts de la gestion des débits réservés du Rhône sur les peuplements piscicoles. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, 1999, 352, 45-61.
- Lamouroux N., Souchon Y. (2002) Simple predictions of instream habitat model outputs for fish habitat guilds in large streams. *Freshwater Biology*, 47, 1531-1542.
- Lamouroux, N., Doutriaux, E., Terrier, C., & Zylberblat, M. (1999a). Modélisation des impacts de la gestion des débits réservés du Rhône sur les peuplements piscicoles. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, 352, 45-61.
- Lamouroux, N., Olivier, J.M., Persat, H., Pouilly, M., Souchon, Y., & Statzner, B. (1999b). Predicting community characteristics from habitat conditions: fluvial fish and hydraulics. *Freshwater Biology*, 42, 275-299.
- Lebart L., Morineau A. & Piron M., 1997 – *Statistique exploratoire multidimensionnelle*. Dunod (Ed) Deuxième édition. Paris. 439 p.
- Mérigoux S. & Dolédec S. (2004) Hydraulic requirements of stream communities: a case study on invertebrates. *Freshwater Biology*, 49, 600-613.
- Nelva A., Persat H. & Chessel D., 1979 - Une nouvelle méthode d'étude des peuplements ichtyologiques dans les grands cours d'eau par échantillonnage ponctuel d'abondance. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 289 D : 1295-1298.

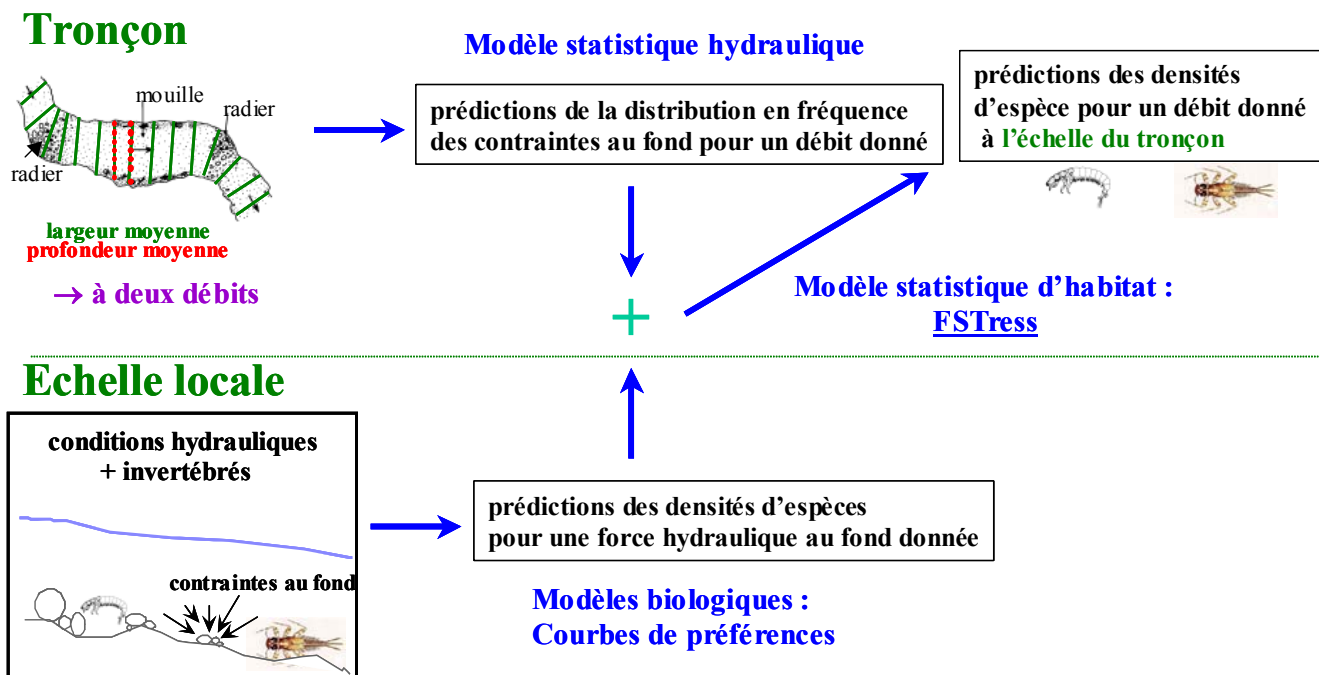
- Olivier J.M. 1998 – Suivi de la faune piscicole dans les retenues de Chautagne et de Belley et dans le Vieux Rhône de Chautagne. Rapport à la Compagnie Nationale du Rhône. 13 p. + annexes.
- Olivier J.M. 2000 – Suivi du peuplement piscicole du Vieux Rhône de Chautagne 1997-1999. Etude pour la Compagnie Nationale du Rhône. 21 pages + annexes.
- Olivier J.M. 2001 – Suivi du peuplement piscicole de Chautagne avant et après les chasses 2000. Etude pour la Compagnie Nationale du Rhône. 29 pages + annexes.
- Olivier J.M. 2003 – Suivi du peuplement piscicole de Chautagne avant et après les chasses 2003. Etude pour la Compagnie Nationale du Rhône. 25 pages + annexes.
- Olivier, J.M. (1986). Etude des peuplements de macro-invertébrés benthiques du Rhône court-circuité de Chautagne. Recherche des facteurs déterminant la répartition spatiale. Rapport de DEA. 37pp.
- Persat H & Olivier J.M., 1991 - The point abundance sampling, a fishing strategy for large rivers: short presentation of the concept, its appliance and some results. Pages 104-113 *in* Penaz M. (ed), Biological monitoring of large rivers, Czechoslovak Academy of Sciences, Brno, and Slovak Academy of Sciences, Bratislava, publishers.
- Sagnes P. & Mérigoux S. Ontogenetic shifts in near-bed hydraulic preferences for larvae of five insect species. *Hydrobiologia*, soumis.
- Statzner B. & Müller R. (1989). Standard hemispheres as indicators of flow characteristics in lotic benthos research. *Freshwater Biology*, 21, 445-459.
- Statzner B., Gore J.A. & Resh V.H. (1988) Hydraulic stream ecology: observed patterns and potential applications. *Journal of the North American Benthological Society*, 7, 307-360.
- Statzner B., Kohmann F. & Hildrew A.G. (1991) Calibration of FST-hemispheres against bottom shear stress in a laboratory flume. *Freshwater Biology*, 26, 227-231.
- Tachet H., Richoux P., Bournaud M. & Usseglio-Polatera P. (2000) *Invertébrés d'eau douce : systématique, biologie, écologie*. CNRS éditions, Paris.
- Thioulouse J., Chessel D., Dolédec S., & Olivier J.M., 1997 - ADE-4: a multivariate analysis and graphical display software. *Statistics and Computing*, 7 (1) 75-83. (<http://pbil.univ-lyon1.fr/ADE-4/ADE-4F.html>)
- Townsend, C.R., Scarsbrook, M.R. & Dolédec, S. (1997). Quantifying disturbance in streams: alternative measures of disturbance in relation to macroinvertebrate species traits and species richness. *J. N. Am. Benthol. Soc.*, 16, 531-544.



# **Annexes**

## Annexe I : Modèle d'habitat statistique FSTress appliqué aux invertébrés

- A l'échelle du tronçon, le modèle statistique hydraulique nécessite une valeur de profondeur et de largeur moyenne à deux débits différents. Ces données d'entrée très simples permettent de prédire la distribution en fréquences des contraintes au fond pour un débit donné (cf. Figure ci dessous).
- A l'échelle locale, les modèles biologiques requièrent l'échantillonnage d'invertébrés et des mesures de contraintes hydrauliques exercées au fond du lit de la rivière. Ces données permettent de prédire la densité des espèces pour une force hydraulique au fond donnée. Ces modèles biologiques permettent, en outre, de déterminer ou de confirmer les conditions hydrauliques critiques pour ces organismes (et leurs différents stades de développement) à cette échelle d'observation (cf. Figure ci dessous).
- Le couplage des deux types de modèles abouti à un modèle dit « d'habitat statistique » qui permet de prédire des densités d'espèces et de différents stades larvaires à un débit donné à l'échelle du tronçon (cf. Figure ci dessous).



Annexe II : Correspondances entre les tailles granulométriques du substrat et l'échelle Phi (d'après Gordon et al. 1992 : p.192)

Type de substrat	Diamètre (mm)	Phi
Gros Galets	256-128	-8 à -7
Petits Galets	128 - 64	-7 à -6
Graviers très grossiers	64 - 32	-6 à -5
Graviers grossiers	32 - 16	-5 à -4
Graviers moyens	16 - 8	-4 à -3
Graviers fins	8 - 4	-3 à -2
Graviers très fins	4 - 2	-2 à -1
Sables très grossiers	2 - 1	-1 à 0
Sables grossiers	1 - 0,5	0 à 1

## Annexe III : Description et calcul des variables hydrauliques

La **rugosité du substrat** ( $k_v$ ) a été calculée suivant la formule de Statzner et al. (1988):

$$k_v = (5C_1 + 3C_2 + C_3) \div 9$$

où  $C_1$ ,  $C_2$  et  $C_3$  représentent les proportions de la première, seconde et troisième classe de substrat la plus abondante respectivement.

Le **nombre de Froude** ( $Fr$ ), est un nombre adimensionnel qui représente le rapport entre les forces d'inertie et de gravité. Ce nombre est un bon indicateur du stress hydraulique rencontré par les animaux benthiques. Ce nombre dépend de la vitesse du courant et de la profondeur.

$$Fr = V \div \sqrt{g \times D}$$

Avec  $V$  ( $m s^{-1}$ ) la vitesse moyenne mesurée à 40% de la profondeur,  $g$ , l'accélération due à la gravité =  $9.8 m s^{-2}$  et  $D$  (m), la profondeur.

La **vitesse de cisaillement** ( $U_*$ ) en  $cm s^{-1}$  dépend de la vitesse du courant, de la profondeur et de la rugosité de substrat et se calcule suivant la formule :

$$U_* = U \div \log_{10}(12D/k_v)$$

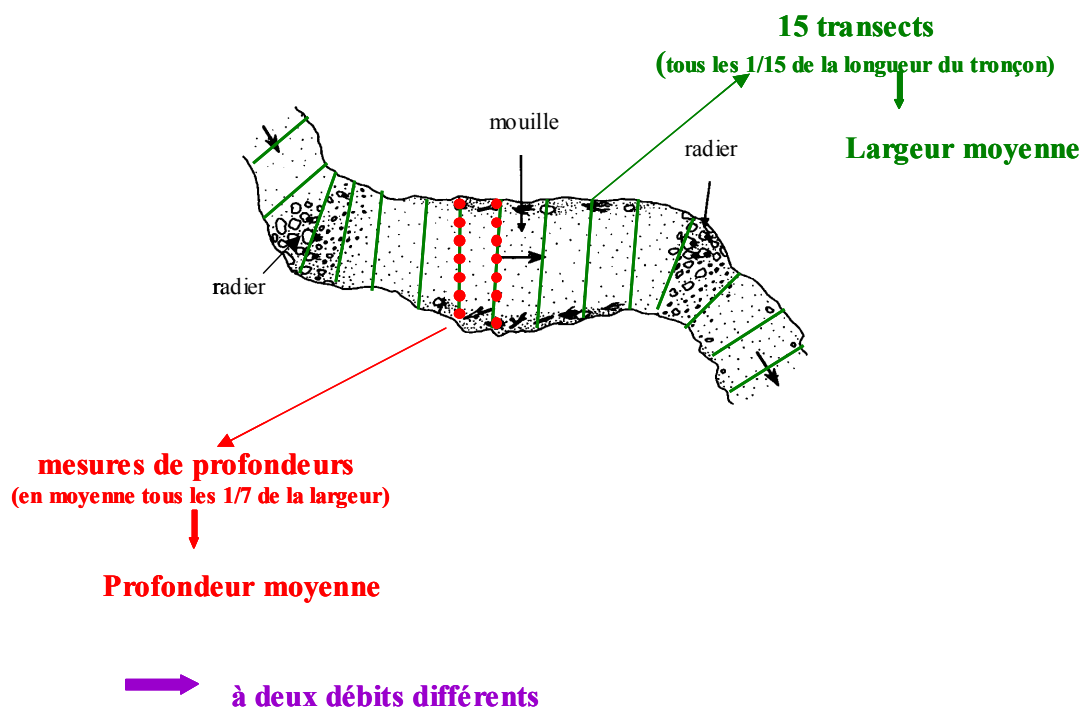
avec  $U$ , la vitesse moyenne mesurée à 40% de la profondeur,  $D$ , la profondeur et  $k_v$ , la rugosité du substrat.

Le **nombre de Reynolds fond** ( $Re_*$ ) est un nombre adimensionnel qui intègre la vitesse de cisaillement,  $U_*$ , la rugosité  $k_v$  et la viscosité cinématique de l'eau ( $\nu$ ).

$$Re_* = U_* * k_v \div \nu$$

## Annexe IV : Protocole de mesures des paramètres physiques du modèle FSTress à l'échelle du tronçon

A l'échelle du tronçon, le modèle FSTress requière des mesures **de largeur et profondeur moyennes**. Ces mesures doivent être réalisées à **deux débits**, les plus différents possibles et inférieurs au débit de plein bord. Le temps passé entre les deux campagnes de mesures a peu d'importance. A l'échelle du tronçon, **15 transects** séparés par une distance de  $L/15$  (où  $L$  est la longueur du tronçon) ont été réalisés. Sur ces transects la largeur a été mesurée et en moyenne **7 mesures** de profondeur (en fonction de la largeur du transect) ont été effectuées à l'aide d'une tige graduée (cf. Figure ci dessous).



## Annexe V : Abondance par taxon pour les 3 campagnes d'échantillonnage

avec Camp 1 : printemps 2002, Camp2 : été 2002 et Camp3 : hiver 2003. Les individus de taxons d'Insectes au stade nymphal ne sont pas pris en compte dans ce tableau.

E/CI/sCI/O	Famille	Genre	Taxon	Code	Camp1	Camp2	Camp3	Tot
<b>Cnidaires</b>								
Hydrozoa								
Hydroïde	Hydridae	Hydra	Hydra spp.	CNID	170	1	6	177
<b>Plathelminthes</b>								
Turbellaria								
Tricladida	Dendrocoelidae	Dendrocoelum	Dendrocoelum lacteum	DLAC	62	7	0	69
	Dugesiiidae	Dugesia	Dugesia polychroa-lugubris	DUPL	11	23	0	34
			Dugesia tigrina	DTIG	52	1293	2	1347
			Dugesiiidae spp.	DUGE	0	0	1	1
	Planariidae	Polycelis	Polycelis nigra-tenuis	PONT	52	15	1	68
			Tricladida spp.	TRSP	0	1	0	1
<b>Annelides</b>								
Hirudinea								
Arhynchobdellida	Erpobdellidae	Erpobdella	Erpobdella octoculata	EOCT	8	4	3	15
Rhynchobdellida	Glossiphoniidae	Glossiphonia	Glossiphonia complanata	GCOM	10	0	0	10
	Piscicolidae	Piscicola	Piscicola geometra	PGEO	2	0	0	2
<b>Mollusques</b>								
Gastropoda								
Ectobranchia	Valvatidae	Valvata	Valvata cristata	VCRI	9	2	0	11
			Valvata piscinalis	VPIS	0	2	0	2
			Valvata sp.	VASP	10	3	12	25
Neotaenioglossa	Bithyniidae	Bithynia	Bithynia tentaculata	BTEN	1	2	0	3
			Bithynia sp.	BITH	2	0	0	2
	Hydrobiidae	Potamopyrgus	Potamopyrgus antipodarum	PANT	69	6	0	75
Pulmonata	Ancylidae	Ancylus	Ancylus fluviatilis	AFLU	102	593	0	695
	Lymnaeidae	Radix	Radix peregra-ovata	RAPO	2	3	0	5
			Radix sp.	RASP	9	1	0	10
	Physidae	Physa	Physa acuta	PACU	18	2	0	20
			Physa sp.	PHSP	27	6	0	33
	Planorbidae	Gyraulus	Gyraulus albus	GALB	1	1	0	2
			Planorbidae spp.	PLAN	3	4	0	7
Bivalvia								
Veneroïdeia	Dreissenidae	Dreissena	Dreissena polymorpha	DPOL	148	110	2	260
	Sphaeriidae	Pisidium	Pisidium sp.	PISP	1	0	0	1
		Sphaerium	Sphaerium spp.	SPSP	10	0	0	10
			Sphaeriidae spp.	SPHA	0	62	1	63
			Gastropoda spp.	GAST	12	0	0	12
<b>1. ARTHROPODA</b>								
<b>Arachnida</b>								
Acaria			Hydracarina spp.	ACAR	70	27	4	101
<b>Crustacea</b>								
Amphipoda	Gammaridae	Gammarus	Gammarus fossarum	GFOS	111	485	5	601
			Gammarus pulex	GPUL	113	224	2	339
			Gammarus sp.	GASP	1457	1278	8	2743
Isopoda	Asellidae	Asellus	Asellus aquaticus	AAQU	21	4	1	26
			Asellus spp.	ASSP	0	2	0	2
<b>Insecta</b>								
Collembola	Poduridae		Podura aquatica	PAQU	47	0	0	47
Coleoptera	Dryopidae	Dryops	Dryops spp.	DRSP	2	2	0	4
	Dytiscidae	Bidessus	Bidessus sp.	BIDE	0	1	0	1
				BIDEa	0	1	0	1
	Elmidae	Elmis	Elmis sp.	ELSP	3	21	1	25

				ELSPa	1	1	0	2
		Esolus	Esolus sp.	ESSP	225	197	8	430
				ESSPa	5	1	0	6
		Limnius	Limnius sp.	LISP	11	45	0	56
		Riolus	Riolus sp.	RISP	1	0	0	1
	Gyrinidae	Orectochilus	Orectochilus villosus	OVIL	0	107	1	108
	Haliplidae	Haliplus	Haliplus sp.	HASP	1	0	0	1
			Coleoptera spp.	COLE	0	1	0	1
Diptera	Athericidae	Atrichops	Atrichops crassipes	ACRA	0	3	0	3
	Ceratopogonidae		Ceratopogoninae spp.	CERA	77	7	2	86
	Chironomidae		Chironomini spp.	CHSP	675	334	31	1040
			Orthoclaadiinae spp.	ORTH	27021	7709	2427	37157
			Tanypodinae spp.	TANY	2100	286	11	2397
			Tanytarsini spp.	TASP	4529	1062	12	5603
			Chironominae spp.	CHPS	0	0	3	3
	Dolichopodidae		Dolichopodidae spp.	DOLI	2	0	0	2
	Empididae		Clinocerinae spp.	CLIN	6	0	0	6
			Hemerodromiinae spp.	HEME	27	131	7	165
			Empididae spp.	EMPI	0	2	0	2
	Limoniidae		Eriopterini spp.	ERIO	1	0	0	1
			Hexatomi spp.	HEXA	1	0	0	1
			Limoniidae spp.	LIMO	1	7	1	9
	Psychodidae		Psychodidae spp.	PSSP	0	2	0	2
	Simuliidae		Simuliidae spp.	SIMU	4784	494	59	5337
	Stratiomyidae		Stratiomyidae spp.	STRA	0	0	1	1
	Tabanidae		Tabanidae spp.	TABA	1	24	1	26
	Tipulidae		Tipulidae spp.	TIPU	4	0	0	4
Ephemeroptera	Baetidae	Baetis	Baetis fuscatus	BFUS	1941	688	0	2629
			Baetis lutheri	BLUT	596	396	3	995
			Baetis rhodani	BRHO	0	4	29	33
			Baetis sp.	BASP	2100	2709	45	4854
	Caenidae	Caenis	Caenis luctuosa	CLUC	64	377	2	443
			Caenis rivulorum	CRIV	38	0	1	39
			Caenis sp.	CASP	14	393	2	409
	Ephemerellidae	Serratella	Serratella ignita	SIGN	935	1	0	936
	Heptageniidae	Ecdyonurus	Ecdyonurus gp. helveticus	EHEL	1	0	1	2
		Heptagenia	Heptagenia sulphurea	HSUL	537	1601	0	2138
			Heptagenia sp.	HESP	9	130	1	140
			Heptageniidae spp.	HEPT	6	0	1	7
		Rhithrogena	Rhithrogena semicolorata	RSEM	0	0	165	165
			Rhithrogena sp.	RHPS	0	1	5	6
	Leptophlebiidae	Habrophlebia	Habrophlebia lauta	HLAU	1	0	0	1
			Leptophlebiidae spp.	LEPTO	0	0	1	1
	Potamanthidae	Potamanthus	Potamanthus luteus	PLUT	855	3643	74	4572
			Ephemeroptera spp.	EPHE	0	2	0	2
Heteroptera	Corixidae	Micronecta	Micronecta sp.	MISP	0	4	0	4
Megaloptera	Sialidae	Sialis	Sialis sp.	SISP	2	0	0	2
Odonata	Calopterygidae	Calopteryx	Calopteryx splendens	CSPL	0	3	0	3
Plecoptera	Leuctridae	Leuctra	Leuctra fusca	LFUS	7	0	0	7
			Leuctra sp.	LESP	122	12	0	134
	Nemouridae	Nemoura	Nemoura sp.	NESP	0	0	1	1
	Perlodidae	Isoperla	Isoperla sp.	ISSP	0	0	1	1
	Taeniopterygidae	Brachyptera	Brachyptera sp.	BRSP	0	0	9	9
			Plecoptera spp.	PLEC	0	0	1	1
Trichoptera	Glossosomatidae	Glossosoma	Glossosoma sp.	GLSP	9	1	0	10
	Goeridae	Goera	Goera pilosa	GPIL	1	5	0	6
	Hydropsychidae	Hydropsyche	Hydropsyche contubernalis	HCON	52	1141	0	1193
			Hydropsyche exocellata	HEXO	129	1130	1	1260
			Hydropsyche incognita	HINC	23	171	10	204
			Hydropsyche modesta	HMOD	2	116	0	118

		Hydropsyche siltalai	HSIL	29	498	4	531
		Hydropsyche sp.	HYSP	3967	6264	6	10237
Hydroptilidae	Hydroptila	Hydroptila sp.	HDSP	55	284	1	340
Leptoceridae	Athripsodes	Athripsodes albifrons	AALB	11	0	0	11
		Athripsodes sp.	ATSP	0	17	0	17
	Ceraclea	Ceraclea dissimilis	CDIS	64	3	0	67
		Ceraclea sp.	CESP	16	26	0	42
		Leptoceridae spp.	LEPT	10	34	0	44
	Mystacides	Mystacides sp.	MYSP	0	1	0	1
	Oecetis	Oecetis testacea	OTES	1	0	0	1
		Oecetis sp.	OESP	0	2	0	2
	Setodes	Setodes punctatus	SPUN	0	1	0	1
		Setodes sp.	SETO	0	1	0	1
		Polycentropus	Polycentropus flavomaculatus	PFLA	0	98	1
Polycentropodidae		Polycentropus sp.	POSP	0	12	0	12
		Polycentropodidae spp.	POLY	14	107	0	121
Psychomyiidae	Psychomyia	Psychomyia pusilla	PPUS	332	8962	22	9316
Rhyacophilidae	Rhyacophila	Rhyacophila s. stricto sp.	RHSP	447	279	1	727
		Rhyacophilidae spp.	RHYA	152	0	0	152
Sericostomatidae	Sericostoma	Sericostoma sp.	SESP	0	1	0	1
		Trichoptera spp.	TRIC	0	3	0	3
<b>Abondance totale</b>				<b>54630</b>	<b>43720</b>	<b>3001</b>	<b>101351</b>
<b>Richesse taxonomique</b>				<b>86</b>	<b>88</b>	<b>52</b>	<b>120</b>



## Annexe VI

Code	Cha001	Cha002	Cha003	Cha004	Cha005	Cha006	Cha007	Cha008	Cha009	Cha010	Cha011	Cha012	Cha013	Cha014	Cha015	Cha016	Cha017	Cha018	Cha019	Cha020	N
AFLU	3		1	2	11	5	18	8	12	20	1	18	2				1				102
AAQU	1		7	6	1			1				1	2		1				1		21
ASSP																					0
AALB		1		6		1					1	1	1								11
ATSP																					0
ACRA																					0
BFUS	63	103	66	36	117	52	8	200	156	59	170	172	185	45	30	46	95	64	128	146	1941
BLUT		2	3	72	79	24	51	55	130	93	16	11	5	1		9	2	5	22	16	596
BRHO																					0
BASP	33	31	56	91	210	55	134	316	207	135	184	139	123	107	16	55	22	26	57	103	2100
BIDE																					0
BIDEa																					0
BITH			2																		2
BTEN																		1			1
BRSP																					0
CLUC	8	1	2	4	6	1	1	1	1	3	5	3	9	2	2	1	2	1	7	4	64
CRIV	3	4	2	8	3						4	6	1			1			3	3	38
CASP	1			1	4				1		4	3									14
CSPL																					0
CDIS	5	2		12	16			8			3	2	7	2	2				3	2	64
CESP				15												1					16
CERA	9	6		7			2				16	4	12	12	3	4		1	1		77
CHPS																					0
CHSP	14	33	9	10	2	3	1	18	11	10	12	15	45	29	45	44	86	253	23	12	675
CLIN	2									1	1							1		1	6
COLE																					0
DLAC	1	1	10	34	7		2		1		4			1					1		62
DOLI	1																			1	2
DPOL		5	15	19	24	5	36	5	14	2	3	14	1	4				1			148
DRSP									1			1									2
DUPL		1	3		2		1					3	1								11
DTIG	2		2	18	12	4	2	2				4	1	4						1	52
DUGE																					0
EHEL		1																			1
ELSP	1					1	1														3
ELSPa																					1
EMPI																					0
EPHE																					0
ERIO				1																	1
EOCT				6								1		1							8
ESSP	13	4	6	64	19	4	3	8	3	2	19	12	12	17	6	6	9	9	4	5	225
ESSPa					1							2	1							1	5
GFOS	4	4	4	11	21	11	5	10	3		8	16	4	2				1	5	2	111



Code	Cha001	Cha002	Cha003	Cha004	Cha005	Cha006	Cha007	Cha008	Cha009	Cha010	Cha011	Cha012	Cha013	Cha014	Cha015	Cha016	Cha017	Cha018	Cha019	Cha020	N
PAQU																2	7	8	28	2	47
PONT	2		6	27	5	2	1						3	3	3						52
POLY								11				1	1								14
PFLA																					0
POSP																					0
PLUT	21	51	24	118	191	12	2	46	4	1	73	81	69	27	29	7	12	8	38	41	855
PANT	2	1	3	23			1	5	2	1	2	19	5	4					1		69
PSSP																					0
PPUS	4	2		24	28	20	15	36	25	20	18	25	30	11	6	14	11	16	11	16	332
RAPO		2																			2
RASP			1	2			1		1		1	2	1								9
RSEM																					0
RHPS																					0
RHSP	21	1	14	29	43	19	42	35	63	29	29	27	23	13	7	12	4	17	9	10	447
RHYA					11	4		18	21	22	25	26	11		9					5	152
RISP					1																1
SESP																					0
SIGN	34	3	23	81	183	48	38	117	65	43	61	61	44	20	4	19	18	18	30	25	935
SPUN																					0
SETO																					0
SISP																				2	2
SIMU	6	3	77	99	167	235	677	1239	333	335	244	185	38	15	2	237	178	4	404	306	4784
SPHA																					0
SPSP				10																	10
STRA																					0
TABA					1																1
TANY	63	42	60	241	53	18	18	102	32	68	130	103	167	83	31	100	138	155	321	175	2100
TASP	239	87	87	374	158	28	110	388	240	222	252	233	444	229	141	164	155	296	413	269	4529
TIPU			1													1	1	1			4
TRIC																					0
TRSP																					0
VCRI	1	1	1	1	2			1				1		1							9
VPIS																					0
VASP			6	2									2								10
<b>Total</b>	<b>1554</b>	<b>761</b>	<b>989</b>	<b>3128</b>	<b>3258</b>	<b>1261</b>	<b>2312</b>	<b>4373</b>	<b>3742</b>	<b>2899</b>	<b>2939</b>	<b>3314</b>	<b>3969</b>	<b>2290</b>	<b>1784</b>	<b>2522</b>	<b>1887</b>	<b>3112</b>	<b>4855</b>	<b>3675</b>	<b>54624</b>

annexe VII

Code	Cha021	Cha022	Cha023	Cha024	Cha025	Cha026	Cha027	Cha028	Cha029	Cha030	Cha031	Cha032	Cha033	Cha034	Cha035	Cha036	Cha037	Cha038	Cha039	Cha040	N
AFLU	32	51	6	20	59	79	186	1	1	1	1	1	2		5	5	2	6	29	106	593
AAQU		1				1		2													4
ASSP						1				1											2
AALB																					0
ATSP	1	1		1			5	1	2		1	1		2	1					1	17
ACRA																		1	2		3
BFUS	26	28	64	21	34	51	44	40	32	34	32	27	50	83	44	32	3	13	12	18	688
BLUT	8	45	14	40	13	12	3	17	37	3	43	18	33	47	40	23					396
BRHO														2	1	1					4
BASP	51	250	183	50	198	190	152	205	188	138	72	208	113	249	173	208	22	28	19	12	2709
BIDE																	1				1
BIDEa																	1				1
BITH																					0
BTEN									1						1						2
BRSP																					0
CLUC	10	6	16	3	12	8	27	27	4	74		18		8	2		29	31	26	76	377
CRIV																					0
CASP	10	18	34	26	1	2	51	24	19	38	13	35	6	18	5	1	19	10	11	52	393
CSPL																				3	3
CDIS									1									2			3
CESP			1	7		1	10	2		3							2				26
CERA							1							1						5	7
CHPS																					0
CHSP	8	11	7	4	6	19	61	7		61	2	4		1	5		5	12	28	93	334
CLIN																					0
COLE									1												1
DLAC		1						1						4	1						7
DOLI																					0
DPOL	4	15	4	3	8	3	6	1				4	14	13	16	16		2	1		110
DRSP								1									1				2
DUPL			2		1	1	2	1				1	1	1	12	1					23
DTIG	9	94	141	5	41	39	27	62	68	56	77	101	109	137	261	58	1	1	3	3	1293
DUGE																					0
EHEL																					0
ELSP			8		2				1				1		6	1		1		1	21
ELSPa		1																			1
EMPI										1										1	2
EPHE											2										2
ERIO																					0
EOCT			1			1						1			1						4
ESSP	5	7	48	6	5	1		10	11	5	33	21	17		19	5	1	1		2	197
ESSPa													1								1
GFOS	31	40	77	19	38	42	41	13	26	5	15	20	29	12	35	18		5	9	10	485



Code	Cha021	Cha022	Cha023	Cha024	Cha025	Cha026	Cha027	Cha028	Cha029	Cha030	Cha031	Cha032	Cha033	Cha034	Cha035	Cha036	Cha037	Cha038	Cha039	Cha040	N
PAQU																					0
PONT	2		1				1	3		2		1		1	4						15
POLY							23	1	1	3				1			1		32	45	107
PFLA		10		2		1	31			6			2		4		6	4	32		98
POSP	1		5		1				2			1					2				12
PLUT	45	58	107	24	40	25	17	159	391	74	880	449	526	312	240	148	61	23	35	29	3643
PANT		1					2					3									6
PSSP	1																	1			2
PPUS	119	234	140	113	334	1290	1681	607	727	184	350	285	206	297	185	111	362	639	416	682	8962
RAPO										3											3
RASP			1																		1
RSEM																					0
RHPS													1								1
RHSP	9	55	23	15	29	39	27	2	8	7	10	2	7	8	9	12	7	9	1		279
RHYA																					0
RISP																					0
SESP				1																	1
SIGN							1														1
SPUN																		1			1
SETO																			1		1
SISP																					0
SIMU	14	35	20	62	16	21	1	3	46	2	12	24	19	65	91	62		1			494
SPHA	1	3	7	7	8	2	20	1				1		5	4	3					62
SPSP																					0
SLAC																					0
TABA										3							4	5	1	11	24
TANY	32	20	21	51	8	11	70	2		10	6	4	5	2	5	1	1	4	7	26	286
TASP	15	27	23	34	37	66	225	86	24	161		49	7	26	24	12	10	77	27	132	1062
TIPU																					0
TRIC							1					1							1		3
TRSP		1																			1
VCRI								1							1						2
VPIS							1	1													2
VASP							2										1				3
<b>Total</b>	<b>1627</b>	<b>2699</b>	<b>2749</b>	<b>1344</b>	<b>1718</b>	<b>3391</b>	<b>3851</b>	<b>2885</b>	<b>2619</b>	<b>2253</b>	<b>2271</b>	<b>2534</b>	<b>1971</b>	<b>2426</b>	<b>2236</b>	<b>1488</b>	<b>913</b>	<b>1894</b>	<b>994</b>	<b>1857</b>	<b>43720</b>

annexe VIII

Code	Cha041	Cha042	Cha043	Cha044	Cha045	Cha046	Cha047	Cha048	Cha049	Cha050	Cha051	Cha052	Cha053	Cha054	Cha055	Cha056	Cha057	Cha058	Cha059	Cha060	N
AFLU																					0
AAQU															1						1
ASSP																					0
AALB																					0
ATSP																					0
ACRA																					0
BFUS																					0
BLUT								1										2			3
BRHO	1		3	3	6	1	3	1		1				1	2	1	4	2		29	
BASP	4		2	10	1	2	8		2		1			3		2	5	3		45	
BIDE																					0
BIDEa																					0
BITH																					0
BTEN																					0
BRSP	2		1							1	1			1				2	1		9
CLUC							1						1								2
CRIV							1														1
CASP												2									2
CSPL																					0
CDIS																					0
CESP																					0
CERA			1					1													2
CHPS														3							3
CHSP	1		1	2	1	6	6	6			1			2	2	1	1	1		31	
CLIN																					0
COLE																					0
DLAC																					0
DOLI																					0
DPOL									1				1								2
DRSP																					0
DUPL																					0
DTIG									1					1							2
DUGE					1																1
EHEL																		1			1
ELSP			1																		1
ELSPa																					0
EMPI																					0
EPHE																					0
ERIO																					0
EOCT			1												2						3
ESSP											7		1								8
ESSPa																					0
GFOS							1									1			3		5





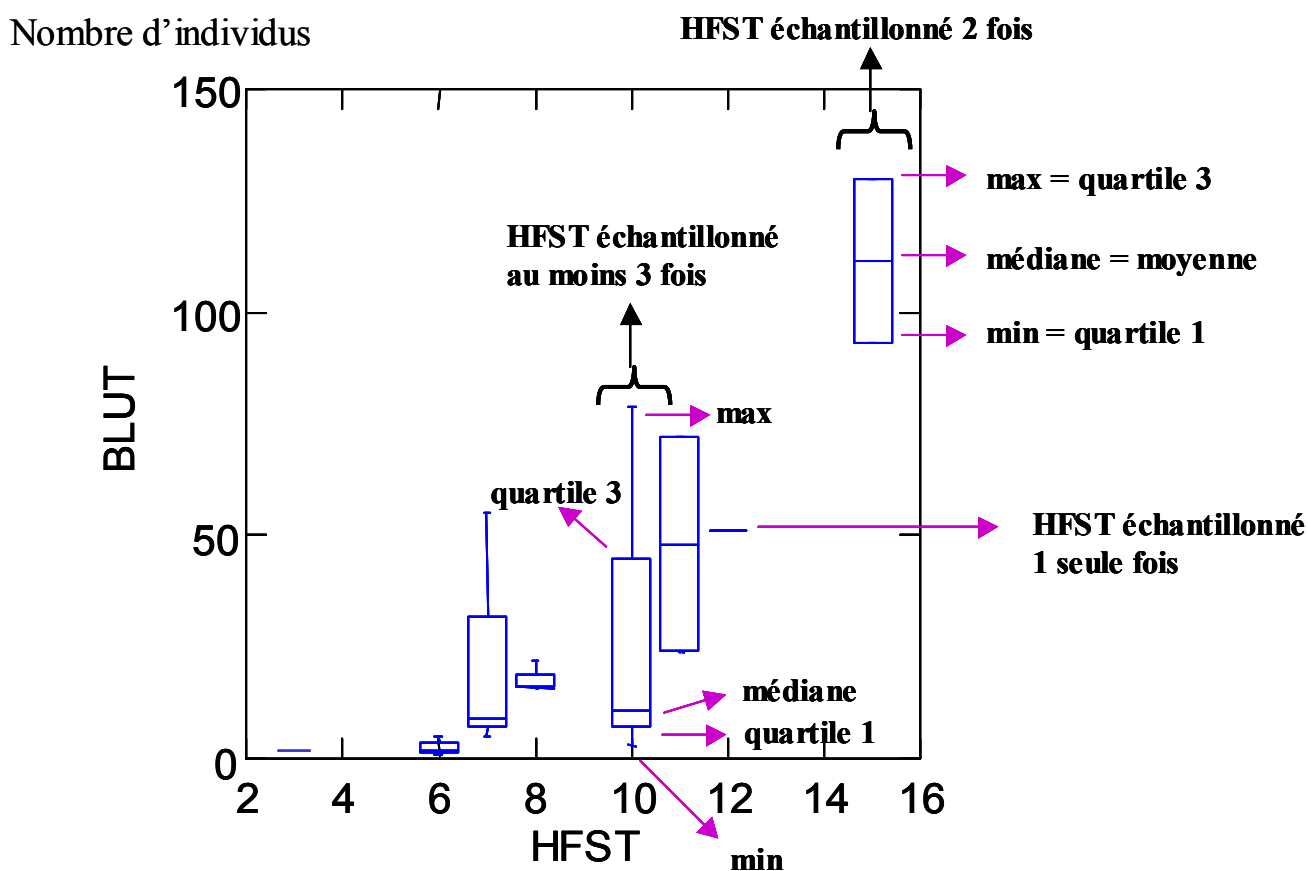
Code	Cha041	Cha042	Cha043	Cha044	Cha045	Cha046	Cha047	Cha048	Cha049	Cha050	Cha051	Cha052	Cha053	Cha054	Cha055	Cha056	Cha057	Cha058	Cha059	Cha060	N
PAQU																					0
PONT								1													1
POLY																					0
PFLA																	1				1
POSP																					0
PLUT	1				1		1	3	1		18	8	5	17	2	13	3			1	74
PANT																					0
PSSP																					0
PPUS	6			2		5	1	3	1	1									2	1	22
RAPO																					0
RASP																					0
RSEM	1	8	2	2	7			2	10	15	13	25	20			14	15	26	5	165	
RHPS			1									1						1	2		5
RHSP						1															1
RHYA																					0
RISP																					0
SESP																					0
SIGN																					0
SPUN																					0
SETO																					0
SISP																					0
SIMU	3	6	1	1	5			4	5	1	1		2			1	3			26	59
SPHA				1																	1
SPSP																					0
TABA													1								1
TANY			1		1	1	5	1						1			1				11
TASP				1		1	5									1	3	1			12
TIPU																					0
TRIC																					0
TRSP																					0
VCRI																					0
VPIS																					0
VASP			7					2		1	1					1					12
<b>Total</b>	<b>50</b>	<b>28</b>	<b>18</b>	<b>66</b>	<b>348</b>	<b>254</b>	<b>462</b>	<b>127</b>	<b>36</b>	<b>63</b>	<b>41</b>	<b>57</b>	<b>46</b>	<b>101</b>	<b>23</b>	<b>51</b>	<b>522</b>	<b>124</b>	<b>239</b>	<b>345</b>	<b>3001</b>

## Annexe IX : valeurs des variables hydrauliques

Données des contraintes hydrauliques mesurées (HFST) ou calculées (rugosité du substrat, nombre de Froude, vitesse de cisaillement et nombre de Reynolds au fond) pour chacun des 40 échantillons des campagnes de printemps et d'été 2002. cf. Annexe III pour les formules utilisées pour calculer ces variables.

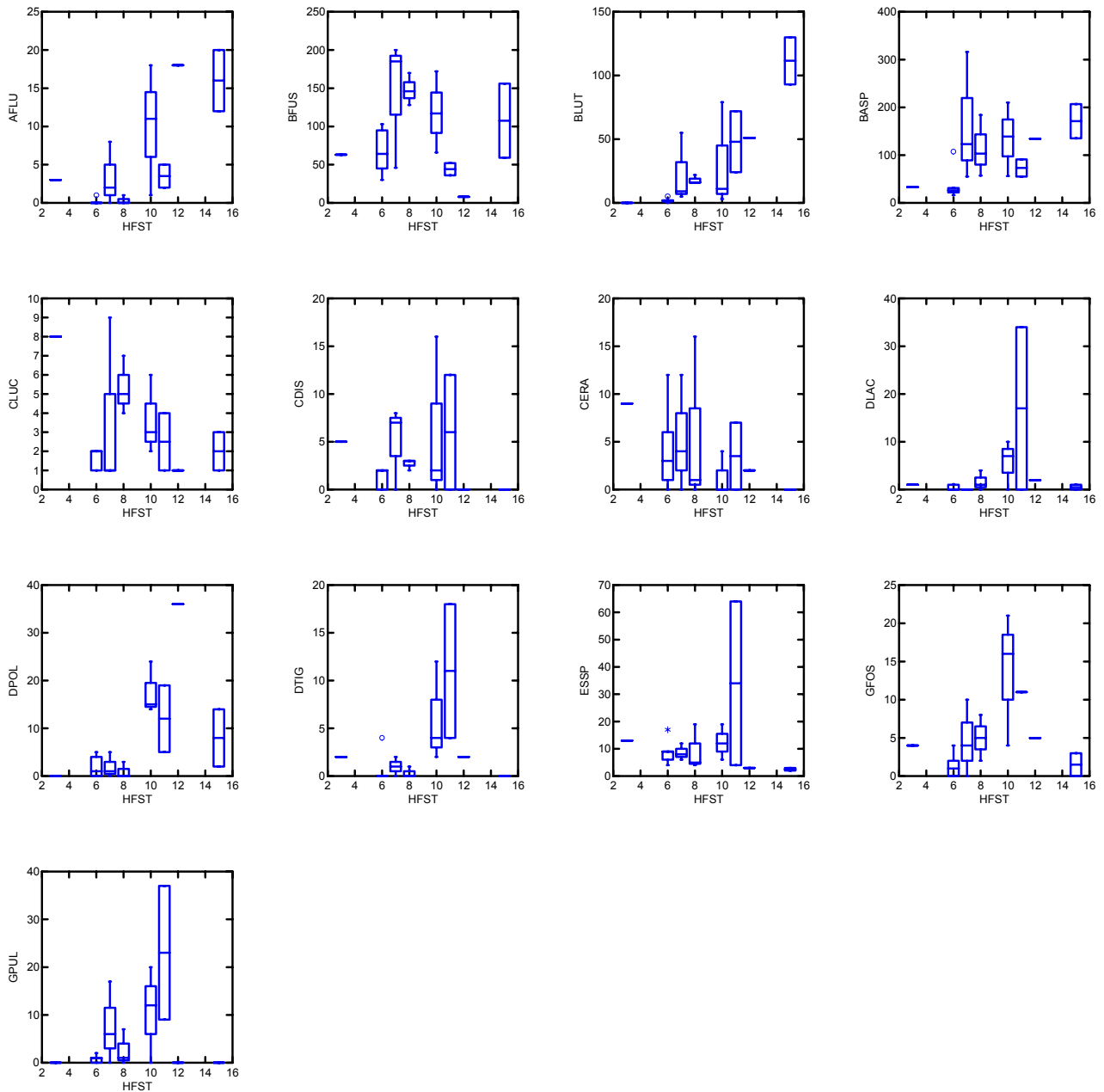
<b>Nuech</b>	<b>HFST</b>	<b>RugositéFr</b>		<b>U*</b>	<b>Re*</b>
Cha001	3	7.2	0.3	5.7	4086.3
Cha002	6	4.5	0.3	5.2	2339.4
Cha003	10	6.1	0.6	9.7	5944.8
Cha004	11	3.6	0.5	8.4	3025.4
Cha005	10	7.1	0.7	12.7	8968.9
Cha006	11	12.3	0.7	13.9	16925.6
Cha007	12	14.4	0.9	20.3	29142.4
Cha008	7	9.1	0.6	11.6	10471.2
Cha009	15	12.3	0.9	17.7	21679.7
Cha010	15	14.4	0.9	19.6	28086.5
Cha011	8	7.1	0.5	9.3	6522.7
Cha012	10	7.1	0.5	8.5	5955.3
Cha013	7	7.1	0.5	8.8	6214.6
Cha014	6	13.3	0.4	7.8	10339.1
Cha015	6	6.1	0.4	6.4	3901.2
Cha016	7	7.2	0.4	7.9	5661.2
Cha017	6	7.1	0.4	6.8	4816.7
Cha018	6	7.2	0.4	7.5	5372.5
Cha019	8	6.1	0.4	8.0	4907.8
Cha020	8	4.1	0.5	8.5	3502.0
Cha021	8	7.2	0.6	9.2	6586.0
Cha022	15	14.4	1.1	22.3	31918.4
Cha023	11	9.1	0.7	13.2	11921.0
Cha024	15	12.3	0.9	17.9	21828.7
Cha025	15	6.1	0.9	15.1	9245.6
Cha026	7	12.5	0.4	8.5	10583.4
Cha027	6	6.1	0.4	6.2	3790.5
Cha028	8	7.1	0.5	8.6	6066.4
Cha029	8	7.1	0.4	8.0	5619.7
Cha030	6	7.1	0.5	7.3	5125.0
Cha031	11	7.1	0.5	10.3	7225.2
Cha032	11	6.0	0.7	11.3	6742.2
Cha033	11	7.1	0.7	11.6	8137.7
Cha034	13	7.1	0.8	13.7	9660.7
Cha035	9	9.2	0.5	10.0	9178.3
Cha036	15	12.3	0.8	17.7	21649.6
Cha037	6	14.4	0.4	8.1	11688.0
Cha038	4	14.4	0.3	6.1	8749.1
Cha039	4	7.2	0.2	4.3	3079.3
Cha040	3	14.4	0.2	3.7	5285.0

## Annexe X : Détails de la représentation graphique en box plots



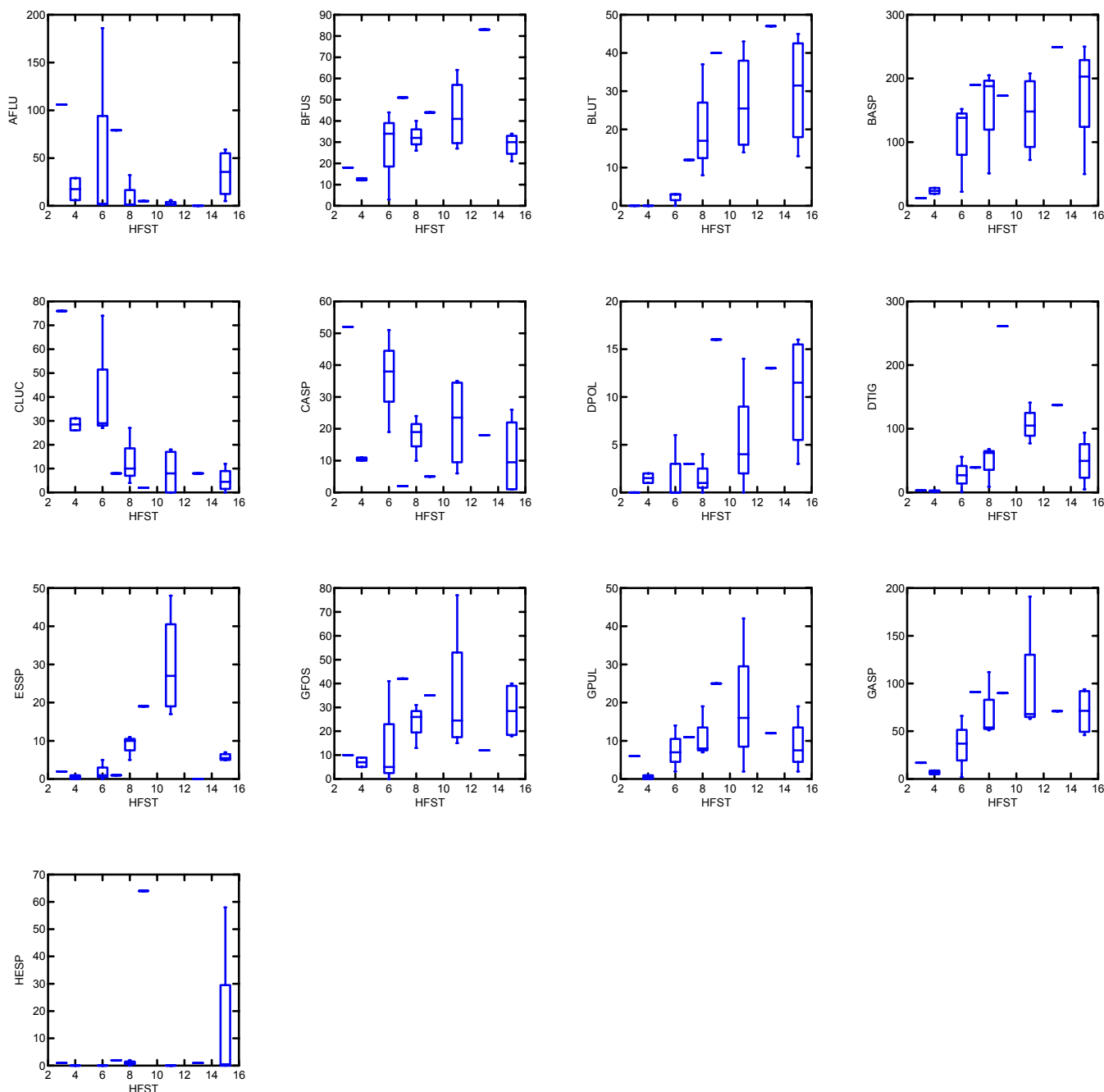
Représentations en Box plots du nombre d'individus d'un taxon en fonctions des forces de cisaillement échantillonnées (exprimées par les numéros d'hémisphères, HFST, en abscisse de chaque graphe). Un numéro d'HFST peut ne pas être échantillonné (exemple HFST 4) ou être échantillonné 1 fois (exemple HFST 12°), 2 fois (HFST 15) ou plus (HFST 10). Exemple pour *Baetis lutheri* pour la campagne de printemps

## Annexe XI : nombre d'individus en fonction des HFST (campagne de printemps)

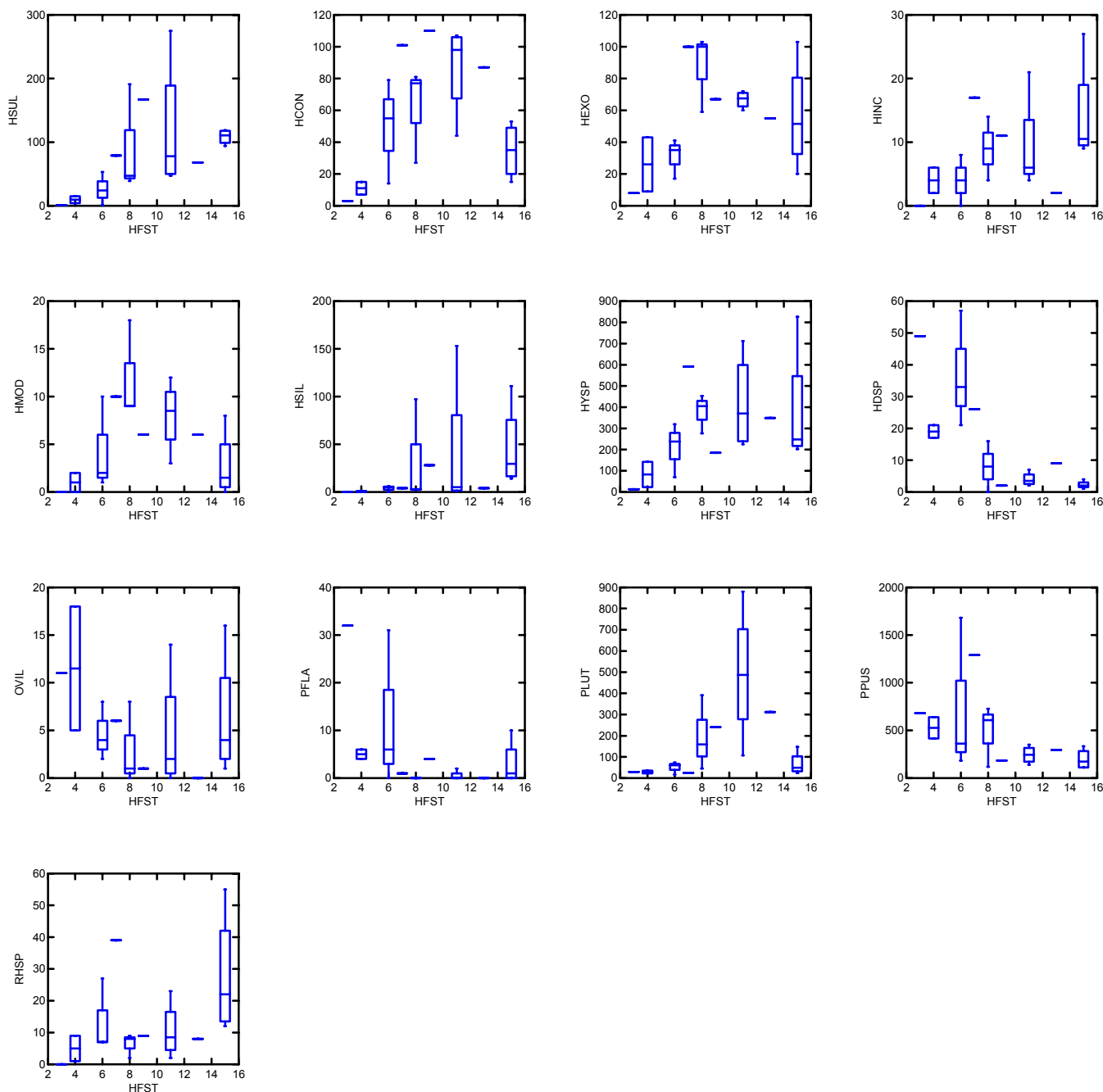


**Représentations graphiques (Box plots) du nombre d'individus pour les taxons présentant au moins 50 individus pour la campagne de printemps en fonctions des forces de cisaillement échantillonnées (exprimées par les numéros d'hémisphères, HFST, en abscisse de chaque graphe). A noter que certains numéros d'HFST n'ont pas été échantillonnés (HFST, 0, 1, 2, 4, 5, 9, 13 & 14) et que les autres numéros ont été échantillonnés 1, 2, 3 ou 4 fois. Cf. Annexe X pour les détails de cette représentation graphique et Annexe XV pour le code des taxons.**

## Annexe XII : nombre d'individus en fonction des HFST (campagne d'été)



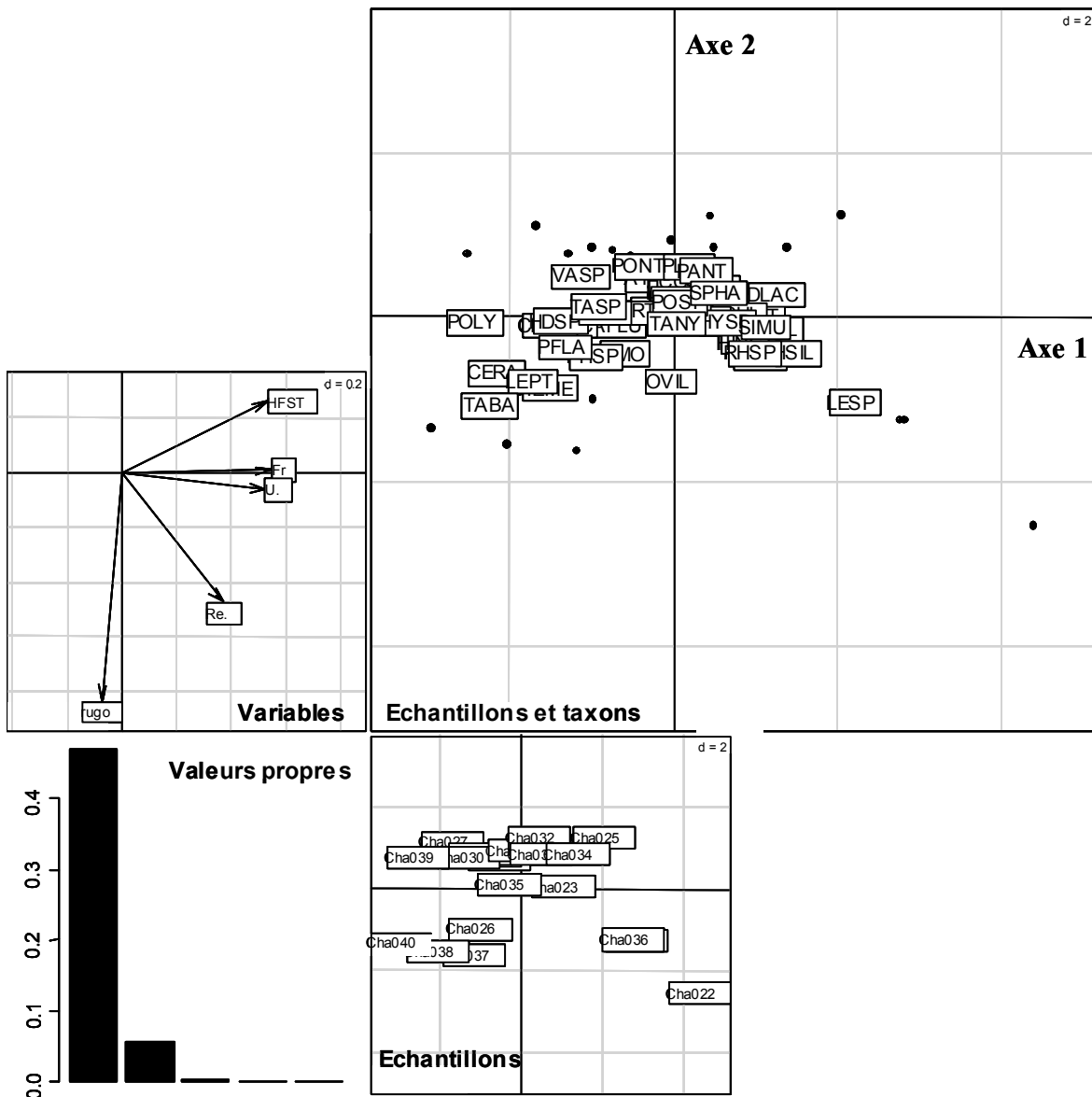
**Représentations graphiques (Box plots) du nombre d'individus pour les taxons présentant au moins 50 individus pour la campagne d'été en fonctions des forces de cisaillement échantillonnées (exprimées par les numéros d'hémisphères, HFST, en abscisse de chaque graphe). A noter que certains numéros d'HFST n'ont pas été échantillonnés (HFST, 0, 1, 2, 5, 10, 12 & 14) et que les autres numéros ont été échantillonnés 1, 2, 3 ou 4 fois. Cf. Annexe X pour les détails de cette représentation graphique et Annexe XV pour le code des taxons.**



**Représentations graphiques (Box plots) du nombre d'individus pour les taxons présentant au moins 50 individus pour la campagne d'été en fonctions des forces de cisaillement échantillonnées (exprimées par les numéros d'hémisphères, HFST, en abscisse de chaque graphe). A noter que certains numéros d'HFST n'ont pas été échantillonnés (HFST, 0, 1, 2, 5, 10, 12 & 14) et que les autres numéros ont été échantillonnés 1, 2, 3 ou 4 fois. Cf. Annexe X pour les détails de cette représentation graphique et Annexe XV pour le code des taxons.**

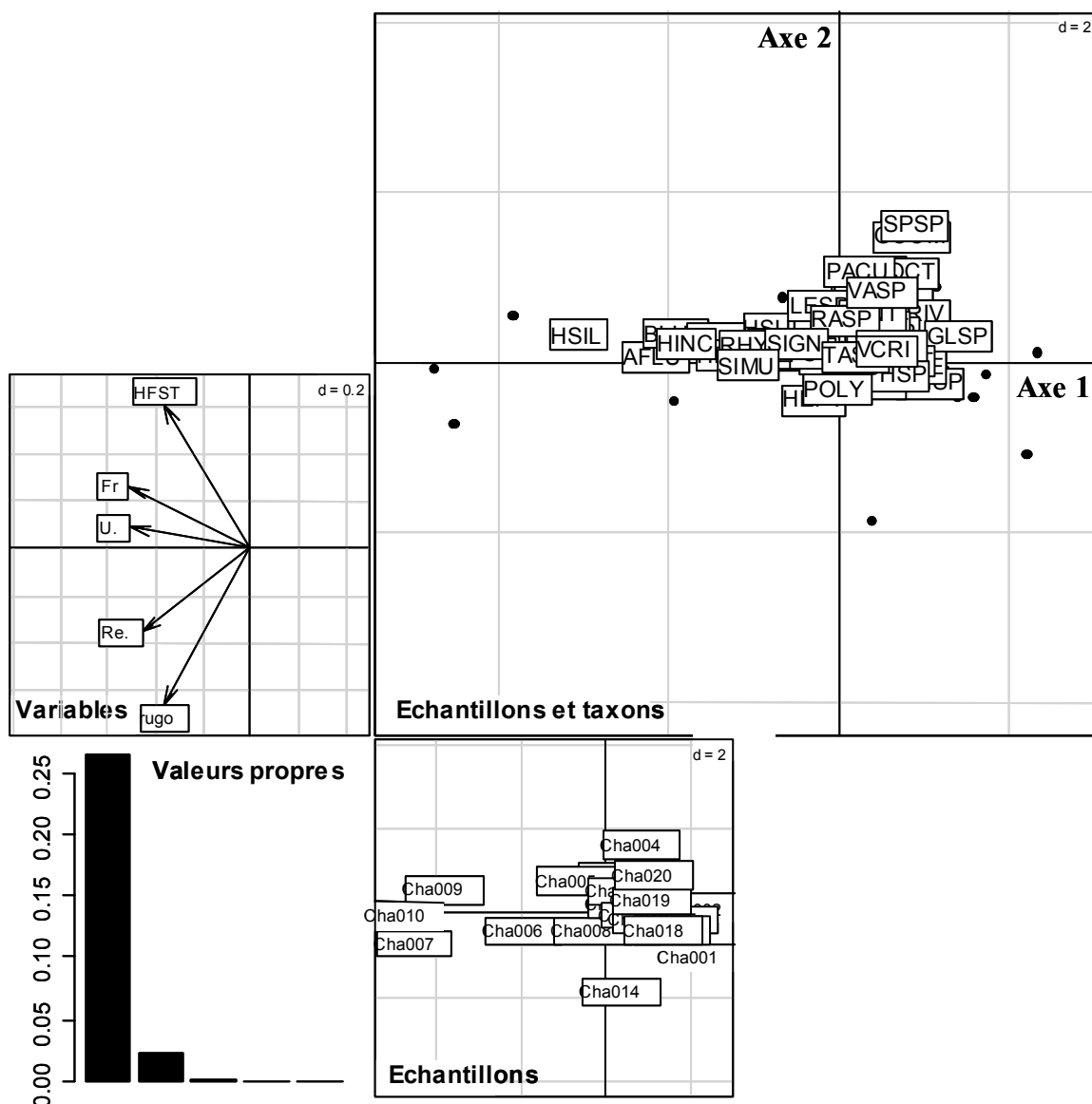
## Annexe XIII

Cartes factorielles de l'analyse OMI des taxons, des variables hydrauliques et des échantillons pour la campagne d'échantillonnage de printemps 2002. Le graphe des valeurs propres de l'analyse est aussi présenté. Seuls les taxons représentés par au moins 5 individus ont été gardés pour l'analyse. Cf. Annexe XV pour le code des taxons et Annexe XVI pour les coordonnées factorielles des taxons sur l'axe 1.



## Annexe XIV

Cartes factorielles de l'analyse OMI des taxons, des variables hydrauliques et des échantillons pour la campagne d'échantillonnage de l'été 2002. Le graphe des valeurs propres de l'analyse est aussi présenté. Seuls les taxons représentés par au moins 5 individus ont été gardés pour l'analyse. Cf. Annexe XV pour le code des taxons et Annexe XVI pour les coordonnées factorielles des taxons sur l'axe 1.







<b>E</b>	<b>Classe</b>	<b>Ordre</b>	<b>Famille</b>	<b>Genre</b>	<b>Taxon</b>	<b>Code</b>
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Leptoceridae	Athripsodes	Athripsodes albifrons	AALB
Arthropoda	Crustacea	Isopoda	Asellidae	Asellus	Asellus aquaticus	AAQU
Arthropoda	Arachnida	Acaria			Hydracarina spp.	ACAR
Arthropoda	Insecta	Diptera	Athericidae	Athricops	Atrichops crassipes	ACRA
Mollusca	Gastropoda	Pulmonata	Ancylidae	Ancylus	Ancylus fluviatilis	AFLU
Arthropoda	Crustacea	Isopoda	Asellidae	Asellus	Asellus spp.	ASSP
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Leptoceridae	Athripsodes	Athripsodes sp.	ATSP
Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Baetidae	Baetis	Baetis sp.	BASP
Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Baetidae	Baetis	Baetis fuscatus	BFUS
Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Dytiscidae	Bidessus	Bidessus sp.	BIDE
Mollusca	Gastropoda	Neotaenioglossa	Bithyniidae	Bithynia	Bithynia sp.	BITH
Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Baetidae	Baetis	Baetis lutheri	BLUT
Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Baetidae	Baetis	Baetis rhodani	BRHO
Arthropoda	Insecta	Plecoptera	Taeniopterygidae	Brachyptera	Brachyptera sp.	BRSP
Mollusca	Gastropoda	Neotaenioglossa	Bithyniidae	Bithynia	Bithynia tentaculata	BTEN
Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Caenidae	Caenis	Caenis sp.	CASP
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Leptoceridae	Ceraclea	Ceraclea dissimilis	CDIS
Arthropoda	Insecta	Diptera	Ceratopogonidae		Ceratopogoninae spp.	CERA
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Leptoceridae	Ceraclea	Ceraclea sp.	CESP
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae		Chironominae spp.	CHPS
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae		Chironomini spp.	CHSP
Arthropoda	Insecta	Diptera	Empididae		Clinocerinae spp.	CLIN
Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Caenidae	Caenis	Caenis luctuosa	CLUC
Cnidaire	Hydrozoa	Hydroide	Hydridae	Hydra	Hydra spp.	CNID
Arthropoda	Insecta	Coleoptera			Coleoptera spp.	COLE
Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Caenidae	Caenis	Caenis rivulorum	CRIV
Arthropoda	Insecta	Odonata	Calopterygidae	Calopteryx	Calopterix splendens	CSPL
Plathelminthes	Turbellaria	Tricladida	Dendrocoelidae	Dendrocoelum	Dendrocoelum lacteum	DLAC
Arthropoda	Insecta	Diptera	Dolichopodidae		Dolichopodidae spp.	DOLI
Mollusca	Bivalvia	Veneroidea	Dreissenidae	Dreissena	Dreissena polymorpha	DPOL
Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Dryopidae	Dryops	Dryops spp.	DRSP
Plathelminthes	Turbellaria	Tricladida	Dugesidae	Dugesia	Dugesia tigrina	DTIG
Plathelminthes	Turbellaria	Tricladida	Dugesidae	Dugesia	Dugesidae spp.	DUGE
Plathelminthes	Turbellaria	Tricladida	Dugesidae	Dugesia	Dugesia polychroa-lugubris	DUPL
Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Heptageniidae	Ecdyonurus	Ecdyonurus gp. helveticus	EHEL
Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Elmidae	Elmis	Elmis sp.	ELSP
Arthropoda	Insecta	Diptera	Empididae		Empididae spp.	EMPI
Annelida	Hirudinea	Arhynchobdellida	Erpobdellidae	Erpobdella	Erpobdella octoculata	EOCT
Arthropoda	Insecta			Ephemeroptera	Ephemeroptera spp.	EPHE
Arthropoda	Insecta	Diptera	Limoniidae		Eriopterini spp.	ERIO
Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Elmidae	Esolus	Esolus sp.	ESSP
Mollusca	Gastropoda	Pulmonata	Planorbidae	Gyraulus	Gyraulus albus	GALB
Arthropoda	Crustacea	Amphipoda	Gammaridae	Gammarus	Gammarus sp.	GASP
Mollusca	Gastropoda	Gastropoda	Gastropoda	Gastropoda	Gastropoda spp.	GAST
Annelida	Hirudinea	Rhynchobdellida	Glossiphoniidae	Glossiphonia	Glossiphonia complanata	GCOM
Arthropoda	Crustacea	Amphipoda	Gammaridae	Gammarus	Gammarus fossarum	GFOS
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Glossosomatidae	Glossosoma	Glossosoma sp.	GLSP
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Goeridae	Goera	Goera pilosa	GPIL
Arthropoda	Crustacea	Amphipoda	Gammaridae	Gammarus	Gammarus pulex	GPUL
Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Haliplidae	Haliplus	Haliplus sp.	HASP
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Hydropsychidae	Hydropsyche	Hydropsyche contubernalis	HCON
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Hydroptilidae	Hydroptila	Hydroptila sp.	HDSP
Arthropoda	Insecta	Diptera	Empididae		Hemerodromiinae spp.	HEME
Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Heptageniidae		Heptageniidae spp.	HEPT
Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Heptageniidae	Heptagenia	Heptagenia sp.	HESP
Arthropoda	Insecta	Diptera	Limoniidae		Hexatomini spp.	HEXA
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Hydropsychidae	Hydropsyche	Hydropsyche exocellata	HEXO
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Hydropsychidae	Hydropsyche	Hydropsyche incognita	HINC
Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Leptophlebiae	Habrophlebia	Habrophlebia lauta	HLAU
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Hydropsychidae	Hydropsyche	Hydropsyche modesta	HMOD
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Hydropsychidae	Hydropsyche	Hydropsyche siltalai	HSIL
Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Heptageniidae	Heptagenia	Heptagenia sulphurea	HSUL
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Hydropsychidae	Hydropsyche	Hydropsyche sp.	HYSP
Arthropoda	Insecta	Plecoptera	Perlodidae	Isoperla	Isoperla sp.	ISSP

<b>E</b>	<b>Classe</b>	<b>Ordre</b>	<b>Famille</b>	<b>Genre</b>	<b>Taxon</b>	<b>Code</b>
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Leptoceridae		Leptoceridae spp.	LEPT
Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Leptophlebiidae		Leptophlebiidae spp.	LEPTO
Arthropoda	Insecta	Plecoptera	Leuctridae	Leuctra	Leuctra sp.	LESP
Arthropoda	Insecta	Plecoptera	Leuctridae	Leuctra	Leuctra fusca	LFUS
Arthropoda	Insecta	Diptera	Limoniidae		Limoniidae spp.	LIMO
Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Elmidae	Limnius	Limnius sp.	LISP
Arthropoda	Insecta	Heteroptera	Corixidae	Micronecta	Micronecta sp.	MISP
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Leptoceridae	Mystacides	Mystacides sp.	MYSYP
Arthropoda	Insecta	Plecoptera	Nemouridae	Nemoura	Nemoura sp.	NESP
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Leptoceridae	Oecetis	Oecetis sp.	OESP
Annelida	Oligochaeta				Oligochaeta spp.	OLIG
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae		Orthoclaadiinae spp.	ORTH
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Leptoceridae	Oecetis	Oecetis testacea	OTES
Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Gyrinidae	Orectochilus	Orectochilus villosus	OVIL
Mollusca	Gastropoda	Pulmonata	Physidae	Physa	Physa acuta	PACU
Mollusca	Gastropoda	Neotaenioglossa	Hydrobiidae	Potamopyrgus	Potamopyrgus antipodarum	PANT
Arthropoda	Insecta	collembola	Poduridae		Podura aquatica	PAQU
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Polycentropodidae	Polycentropus	Polycentropus flavomaculatus	PFLA
Annelida	Hirudinea	Rhynchobdellida	Piscicolidae	Piscicola	Piscicola geometra	PGEO
Mollusca	Gastropoda	Pulmonata	Physidae	Physa	Physa sp.	PHSP
Mollusca	Bivalvia	Veneroidea	Sphaeriidae	Pisidium	Pisidium sp.	PISP
Mollusca	Gastropoda	Pulmonata	Planorbidae		Planorbidae spp.	PLAN
Arthropoda	Insecta	Plecoptera			Plecoptera spp.	PLEC
Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Potamanthidae	Potamanthus	Potamanthus luteus	PLUT
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Polycentropodidae		Polycentropodidae spp.	POLY
Plathelminthes	Turbellaria	Tricladida	Planariidae	Polycelis	Polycelis nigra-tenuis	PONT
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Polycentropodidae	Polycentropus	Polycentropus sp.	POSP
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Psychomyiidae	Psychomyia	Psychomyia pusilla	PPUS
Arthropoda	Insecta	Diptera	Psychodidae		Psychodidae spp.	PSSP
Mollusca	Gastropoda	Pulmonata	Lymnaeidae	Radix	Radix peregra-ovata	RAPO
Mollusca	Gastropoda	Pulmonata	Lymnaeidae	Radix	Radix sp.	RASP
Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Heptageniidae	Rhithrogena	Rhithrogena sp.	RHPS
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Rhyacophilidae	Rhyacophila	Rhyacophila s. stricto sp.	RHSP
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Rhyacophilidae		Rhyacophilidae spp.	RHYA
Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Elmidae	Riolus	Riolus sp.	RISP
Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Heptageniidae	Rhithrogena	Rhithrogena semicolorata	RSEM
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Sericostomatidae	Sericostoma	Sericostoma sp.	SESP
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Leptoceridae	Setodes	Setodes sp.	SETO
Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Ephemerellidae	Serratella	Serratella ignita	SIGN
Arthropoda	Insecta	Diptera	Simuliidae		Simuliidae spp.	SIMU
Arthropoda	Insecta	Megaloptera	Sialidae	Sialis	Sialis sp.	SISP
Annelida	Oligochaeta		Naididae	Stylaria	Stylaria lacustris	SLAC
Mollusca	Bivalvia	Veneroidea	Sphaeriidae		Sphaeriidae spp.	SPHA
Mollusca	Bivalvia	Veneroidea	Sphaeriidae	Sphaerium	Sphaerium spp.	SPSP
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Leptoceridae	Setodes	Setodes punctatus	SPUN
Arthropoda	Insecta	Diptera	Stratiomyidae		Stratiomyidae spp.	STRA
Arthropoda	Insecta	Diptera	Tabanidae		Tabanidae spp.	TABA
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae		Tanypodinae spp.	TANY
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae		Tanytarsini spp.	TASP
Arthropoda	Insecta	Diptera	Tipulidae		Tipulidae spp.	TIPU
Arthropoda	Insecta	Trichoptera			Trichoptera spp.	TRIC
Plathelminthes	Turbellaria	Tricladida			Tricladida spp.	TRSP
Mollusca	Gastropoda	Ectobranchia	Valvatidae	Valvata	Valvata sp.	VASP
Mollusca	Gastropoda	Ectobranchia	Valvatidae	Valvata	Valvata cristata	VCRI
Mollusca	Gastropoda	Ectobranchia	Valvatidae	Valvata	Valvata piscinalis	VPIS

annexe XVI : Fréquences d'occurrence des différentes espèces de poissons capturées entre 1989 et 2003

Saison	Année	ABL	ANG	BAF	BLN	BOU	BRB	BRE	BRO	CAA	CHE	EPI	GAR	GOU	GRE	HOT	LOF	LOT	OBR	PCH	PER	PES	ROT	SPI	TAN	TRF	VAI	VAN	Nb_points
Printemps	1989			0.28	0.02						0.28		0.02	0.06		0.42	0.22		0.02		0.22			0.06	0.02	0.08	0.44	0.14	50
Automne	1989	0.08		0.40	0.06	0.02	0.02				0.56		0.08	0.24	0.06	0.54	0.16		0.08		0.12			0.22		0.08	0.38	0.50	50
Printemps	1990	0.02	0.01	0.24							0.16			0.03	0.03	0.11	0.11		0.04	0.01	0.06			0.04		0.01	0.19	0.16	100
Automne	1990	0.16		0.16	0.04				0.02		0.54		0.10	0.12		0.32	0.14		0.02		0.04			0.10		0.06	0.34	0.18	50
Automne	1991	0.12		0.42	0.02	0.04	0.02				0.62		0.40	0.34	0.02	0.56	0.44		0.04			0.02		0.18	0.02	0.06	0.60	0.40	50
Automne	1992	0.08		0.30	0.02	0.04					0.56	0.02	0.12	0.36		0.40	0.08		0.14		0.08			0.22	0.02	0.06	0.44	0.58	50
Printemps	1993			0.24		0.02					0.27	0.01		0.02	0.04	0.15	0.24		0.02	0.01	0.05	0.02		0.08	0.04	0.03	0.24	0.13	100
Automne	1993			0.04					0.02		0.06			0.06	0.06	0.04	0.14				0.02	0.04		0.08	0.02	0.02	0.26	0.06	50
Printemps	1994	0.02		0.10							0.14				0.02	0.02	0.16				0.06			0.02			0.26	0.08	50
Automne	1994	0.20	0.02	0.22							0.42		0.24	0.10		0.22	0.04		0.04		0.10	0.02		0.28		0.06	0.08	0.36	50
Printemps	1995		0.02	0.08							0.24			0.02	0.08	0.04	0.24		0.02		0.08			0.04	0.02		0.10		50
Automne	1995	0.04		0.22							0.24	0.02	0.06	0.26	0.10	0.04	0.36	0.02			0.06	0.04		0.02		0.02	0.20	0.10	50
Printemps	1996	0.02		0.14					0.02		0.12	0.02		0.12	0.02		0.44		0.02					0.04		0.02	0.32		50
Automne	1996			0.16					0.04		0.28	0.02	0.06	0.10	0.02	0.14	0.44		0.02		0.02		0.06	0.02		0.34	0.06	50	
Printemps	1997	0.01		0.19		0.01	0.01				0.20	0.07	0.01	0.06	0.01	0.05	0.35		0.05		0.02	0.01		0.05		0.07	0.28	0.02	100
Automne	1997	0.02		0.20							0.24	0.02		0.02	0.04	0.08	0.44		0.06		0.02	0.04		0.14		0.04	0.30		50
Printemps	1998			0.26							0.30			0.10			0.28		0.06		0.02					0.06	0.26		50
Automne	1998	0.02		0.08				0.02	0.02		0.20	0.04	0.02	0.24	0.02	0.10	0.36		0.06					0.10		0.08	0.40	0.02	50
Automne	1999	0.23		0.43		0.02	0.00	0.06	0.01		0.35	0.04	0.56	0.20	0.02	0.03	0.40		0.03		0.05	0.02	0.00	0.14	0.00	0.06	0.57	0.05	243
Printemps	2000	0.03	0.01	0.13	0.01	0.01			0.01		0.23	0.04	0.06	0.07	0.03	0.04	0.41		0.09		0.03			0.03		0.02	0.30		200
Automne	2000	0.08		0.21					0.01	0.01	0.54	0.09	0.43	0.14	0.06	0.14	0.58		0.15		0.03			0.06			0.55	0.04	100
Printemps	2001			0.06				0.01	0.01		0.15	0.02	0.01	0.01	0.04	0.06	0.27		0.03		0.04			0.01		0.01	0.21	0.02	100
Printemps	2002			0.16				0.01			0.18	0.02		0.05	0.06		0.35		0.03					0.01		0.04	0.26	0.01	100
Printemps	2003	0.02	0.01	0.08	0.01			0.01	0.01		0.17	0.16	0.02	0.08	0.03	0.07	0.39		0.01		0.01	0.01		0.03	0.04	0.02	0.23	0.04	182
Automne	2003	0.14		0.23	0.02	0.04	0.04	0.05	0.01		0.65	0.19	0.33	0.28	0.06	0.19	0.47		0.04		0.14	0.03		0.06	0.03		0.48	0.28	100
Fréquence totale		0.06	0.00	0.21	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.30	0.04	0.14	0.12	0.03	0.12	0.33	0.00	0.04	0.00	0.05	0.01	0.00	0.07	0.01	0.03	0.34	0.10	2075

annexe XVII : Abondances des différentes espèces de poissons calculées pour 100 E.P.A. et nombre d'espèces par campagne de pêche (1989 à 2003)

Saison	Année	ABL	ANG	BAF	BLN	BOU	BRB	BRE	BRO	CAA	CHE	EPI	GAR	GOU	GRE	HOT	LOF	LOT	OBR	PCH	PER	PES	ROT	SPI	TAN	TRF	VAI	VAN	Total	Nb espèces
Printemps	1989			42	2						64		2	8		422	56		2		82			86	2	18	288	40	1114	14
Automne	1989	8		216	18	2	2				666		44	82	8	182	76		14		44			70		22	280	290	2024	17
Printemps	1990	2	1	96							36			5	3	39	36		14	1	9			12		1	91	28	374	15
Automne	1990	72		22	4					4	532		22	66		220	58		2		6			26		6	188	32	1260	15
Automne	1991	36		264	2	6	2				702		240	284	2	438	124		4			2		150	2	8	448	140	2854	18
Automne	1992	12		54	2	4					236	6	34	304		294	8		28		8			82	2	8	712	198	1992	17
Printemps	1993			86		2					83	1		3	6	43	96		4	2	7	2		26	4	3	265	31	664	17
Automne	1993			4						2	10			6	14	4	30				26	4		20	2	4	74	6	206	14
Printemps	1994	2		18							18				4	2	74				12			2			64	8	204	10
Automne	1994	60	2	110							122		80	12		42	4		4		12	2		88		6	14	108	666	15
Printemps	1995		2	16							28			4	10	4	50		4		20			22	2		20		182	12
Automne	1995	6		92							156	2	48	188	36	112	94	2			10	10		14		8	200	22	1000	16
Printemps	1996	2		44						2	26	2		36	4		148		2					6		2	476		750	12
Automne	1996			30						6	124	2	40	18	2	24	132		2			2		42	2		472	6	904	15
Printemps	1997	1		35		2	1				67	36	1	21	1	8	148		10		2	1		13		12	249	2	610	18
Automne	1997	2		60							88	22		6	4	14	156		10		2	4		34		4	156		562	14
Printemps	1998			182							152			20			140		6		2					8	106		616	8
Automne	1998	16		16				6	2		84	28	4	36	2	20	122		8					92		8	928	2	1374	16
Automne	1999	164		498		7	0	18	1		165	4	1400	67	3	11	212		5		7	5	2	61	0	8	539	7	3185	22
Printemps	2000	11	1	32	1	1			1		93	7	35	18	3	4	217		22		3			7		2	282		735	18
Automne	2000	24		67						1	887	28	639	45	8	51	817		38		3			26			786	10	3431	16
Printemps	2001			15				2	1		47	2	1	10	11	39	132		6		4			1		1	118	2	392	16
Printemps	2002			46				2			26	4		7	12		175		4					1		5	117	2	401	12
Printemps	2003	8	1	27	3			1	2		84	59	3	33	4	116	185		1		2	1		11	5	4	376	6	931	21
Automne	2003	42		60	3	5	5	6	1		1150	47	270	298	9	114	232		4		28	4		6	3		237	103	2627	21
Abond. Moyenne pour 100EPA		29	0	111	1	2	0	3	1	0	219	13	224	57	5	69	171	0	9	0	9	2	0	31	1	5	320	31		
Abondance totale		467	7	2132	34	28	10	34	22	1	5645	249	2864	1577	146	2203	3522	2	193	3	290	36	2	898	25	138	7486	1043		

# annexe XVIII : observation du battement de la nappe par les différents piézomètres

