



HAL
open science

Suivi scientifique du programme décennal de restauration écologique et hydraulique du Rhône. Vieux Rhône et îles de Belley. Caractérisation de l'état initial. Années 2003-2004.

Jean-Michel Olivier, Nicolas Lamouroux, Sylvie Méricoux, Sylvain Dolédec, Emmanuel Castella, Amael Paillex, Gilles Carron, Gudrun Bornette, Hervé Piégay, Julien Levrat, et al.

► **To cite this version:**

Jean-Michel Olivier, Nicolas Lamouroux, Sylvie Méricoux, Sylvain Dolédec, Emmanuel Castella, et al.. Suivi scientifique du programme décennal de restauration écologique et hydraulique du Rhône. Vieux Rhône et îles de Belley. Caractérisation de l'état initial. Années 2003-2004.. [Rapport de recherche] CEMAGREF; Université Lyon 1; CNRS; Université de Genève; Université Lyon 3; EZUS - Université Lyon 1. 2004. halshs-04557723

HAL Id: halshs-04557723

<https://shs.hal.science/halshs-04557723>

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 :



Réalisation :



Laboratoire d'écologie des hydrosystèmes fluviaux
UMR CNRS 5023 - Université Lyon 1



Département Gestion des milieux aquatiques
UR Biologie des Ecosystèmes aquatiques
Groupement de Lyon

et :

- UMR 5600 Université Lyon 2
- Laboratoire d'écologie et de biologie aquatique de l'Université de Genève

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



Vieux Rhône et îlons de Belley Caractérisation de l'état initial

Années 2003-2004

date de rédaction : décembre 2004

Contrat de prestations n°DPE-F 03-0093
CNR / EZUS-Université Lyon1



RÉALISATION DU RAPPORT

- Partie Poissons chenal et lônes : **Jean-Michel OLIVIER** : UMR CNRS 5023 – Université Lyon 1 et **Nicolas LAMOUREUX** (CEMAGREF – Lyon)
- Partie Invertébrés chenal : **Sylvie MERIGOUX** et **Sylvain DOLEDEC** : UMR CNRS 5023 – Université Lyon 1.
- Partie Invertébrés Lônes : **Emmanuel CASTELLA** (responsable scientifique), **Amael PAILLEX**, **Gilles CARRON**(rédacteurs) : Laboratoire d'écologie et de biologie aquatique de l'Université de Genève.
- Partie Végétation et Physico-chimie : **Gudrun BORNETTE** : UMR CNRS 5023 – Université Lyon 1
- Partie géomorphologie (sédimentation et granulométrie) : **Hervé PIEGAY** (responsable scientifique) et **Julien LEVRAT** (rédacteur) : UMR CNRS 5600 – Université Lyon 3.
- Partie hydrogéologie : **Simon ANDRE** : EZUS-université Lyon 1

Coordination scientifique générale : **Jean-Michel OLIVIER** : UMR CNRS 5023 – Université Lyon 1

Coordination technique, Mise en forme du rapport et conception cartographique : **Simon ANDRE** : EZUS-université Lyon 1

Les données de physico-chimie des lônes , des synthèses de débits et de niveau piezométrique sont fournies par la CNR.

TABLE DES MATIÈRES

1	RÉSUMÉ	6
1.1	Peuplement piscicole :	6
1.2	Peuplement d'invertébrés du chenal :	7
1.3	Peuplement d'invertébrés des lônes :	8
1.4	Végétation aquatique et physico-chimie des lônes	9
1.5	Géomorphologie	10
2	CONTEXTE GÉNÉRAL DU SUIVI DU PROGRAMME DECENNAL RHONE	11
3	PEUPLEMENT PISCICOLE	18
3.1	Rappel du contexte et des objectifs	18
3.2	Stratégie d'échantillonnage	18
3.2.1	Stations d'étude	18
3.2.2	Protocole et effort d'échantillonnage	20
3.3	Résultats	20
3.3.1	Liste Faunistique et composition du peuplement	20
3.3.2	Caractérisation du peuplement du RCC dans le chenal et dans les lônes	23
3.3.3	Simulation de la qualité de l'habitat. Attendus pour le vieux Rhône de Belley	28
3.3.4	Indicateurs hydrauliques synthétiques et comparaisons entre vieux Rhône.	30
3.4	Bilan et Perspectives	32
4	PEUPLEMENT D'INVERTÉBRÉS DU CHENAL	33
4.1	Contexte	33
4.2	Méthodologie	34
4.2.1	Modèle d'habitat statistique	35
4.2.2	Protocole d'échantillonnage de terrain	35
4.3	Etat de référence pour les invertébrés du chenal du RCC de Belley	37
4.3.1	Données faunistiques	37
4.3.2	Données hydrauliques à l'échelle locale	39
4.3.3	Données hydrauliques à l'échelle du tronçon	44
4.3.4	Couplage des données faunistiques et hydrauliques	44
4.4	Discussion sur l'état de référence actuel	48
4.5	Bilan et Perspectives	50
5	PEUPLEMENT D'INVERTÉBRÉS DES LÔNES	51
5.1	Contexte	51
5.2	Stratégie d'échantillonnage.	51
5.2.1	Localisation des sites.	51

- Table des matières -

5.2.2	Description de l'habitat	52
5.2.3	Echantillonnage de la macrofaune	52
5.2.4	Calcul des métriques	53
5.2.5	Analyse des données.	55
5.3	2. Résultats.	55
5.3.1	Abondance des macroinvertébrés.	55
5.3.2	Diversité des peuplements à l'échelle des sites et des lônes.	56
5.3.3	Métriques basées sur les richesses taxonomiques.	59
5.3.4	Métriques basées sur le statut des espèces.	63
5.3.5	Métriques basées sur les caractéristiques fonctionnelles des taxons.	64
5.3.6	Affinité potamique des communautés.	66
5.4	Synthèse et conclusions.	67
6	VÉGÉTATION AQUATIQUE ET PHYSICOCHIMIE DES LÔNES	70
6.1	Rappel du contexte et des objectifs	70
6.2	Stratégie d'échantillonnage	71
6.2.1	Stations d'étude	71
6.2.2	Protocole et effort d'échantillonnage	71
6.3	Résultats	72
6.3.1	Caractéristiques physico-chimiques des zones humides restaurées	72
6.3.2	Diagnostic écologique de chaque zone humide	74
6.4	Conclusion	90
7	GÉOMORPHOLOGIE DES LÔNES	91
7.1	Rappel du contexte et des objectifs	91
7.2	Méthodologie (méthode d'échantillonnage, méthode d'analyse des données)	91
7.2.1	Espérance de vie des lônes restaurées	91
7.2.2	Caractéristiques granulométriques de la lône	92
7.3	Résultats	92
7.3.1	Espérance de vie des lônes restaurées / présentation des données brutes acquises	92
7.3.2	Patron granulométrique des lônes restaurées / présentation des données brutes acquises	93
7.4	Bilan et perspectives	94
8	NIVEAU DE LA NAPPE ALLUVIALE	96
9	RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES CITÉES	98
ANNEXES		102
Annexe I	Distributions en classes de tailles centimétriques des principales espèces de poissons échantillonnées dans le Vieux –Rhône de Belley en mai et en octobre 2004	103
Annexe II	Modèle d'habitat statistique FSTress appliqué aux invertébrés	113
Annexe III	Correspondances entre les tailles granulométriques du substrat et l'échelle Phi (d'après Gordon et al. 1992 : p.192)	114
Annexe IV	Description et calcul des variables hydrauliques	115
Annexe V	Protocole de mesures des paramètres physiques du modèle FSTress à l'échelle du tronçon	116
Annexe VI	Abondance par taxon pour les 3 campagnes d'échantillonnage	117
Annexe VII	Détails de la représentation graphique en box plots	119

- Table des matières -

Annexe VIII	nombre d'individus en fonction des HFST (campagne de printemps)	120
Annexe IX	nombre d'individus en fonction des HFST (campagne d'été)	122
Annexe X	nombre d'individus en fonction des HFST (campagne d'hiver)	124
Annexe XI	Physicochimie des lônes : données et analyse	125
Annexe XII	Végétation aquatique et physicochimie : localisation des stations	126
Annexe XIII	Position et valeurs des sondages de hauteur de sédiments	132
Annexe XIV	Position et valeurs des prélèvements granulométriques	139
Annexe XV	observation du battement de la nappe par les différents piézomètres	141

1 RÉSUMÉ

Le site de Belley fera l'objet de travaux de réhabilitation de lônes en 2005. Le débit réservé dans le Vieux-Rhône, actuellement de 25 m³.s⁻¹ de décembre à mars, de 28 m³.s⁻¹ en avril-mai-juin et en octobre-novembre, et de 60 m³.s⁻¹ en juillet-août-septembre- sera augmenté au cours de l'année 2005 comme suit :

Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
60 m ³ .s ⁻¹	60	90	100	90	80	80	80	60	60	60	60

Parmi les neuf lônes faisant l'objet d'un projet de réhabilitation (Anse de Chanaz, Lône d'Orgeval, Lône des Luisettes, Lône Moiroud, Lône de l'Île Béard, Lône Fournier, Lône de Lucey, Anse de Yenne Lône d'en l'île, Lône de Virignin) cinq sont intégrées au suivi écologique du programme de restauration (Lône des Luisettes, Lône Moiroud, Lône de l'Île Béard, Lône Fournier, Anse de Yenne Lône d'En l'Île). La description de l'état initial porte donc sur le Vieux-Rhône *sensu-stricto* (chenal actif) et les 5 annexes retenues. Les thématiques retenues dans le Vieux Rhône concernent les poissons et les macro-invertébrés ; dans les lônes, elles concernent la géomorphologie, la végétation aquatique et les macro-invertébrés.

Le chenal présente des caractéristiques typiques des grandes rivières de piémont avec une dominance des substrats grossiers et une mosaïque d'habitats offrant aussi bien des faciès très courants que des faciès calmes. La faune (poissons et invertébrés benthiques) rencontrée est donc tout à fait caractéristique de ces habitats. La faune d'invertébrés témoigne d'une eutrophisation modérée du Vieux-Rhône (malgré une légère accumulation de matière organique et le développement d'algues filamenteuses).

Parmi les lônes suivies, seule la Lône Moiroud subit un processus de comblement par les sédiments fins, les autres sont encore très actives lors des épisodes de crue. L'ensemble de ces annexes fluviales présente des caractéristiques de milieu eutrophe. D'un point de vue faunistique, la Lône Moiroud abrite des espèces de poissons caractéristiques de ce type de milieu. Les communautés d'invertébrés aquatiques étudiées dans ces lônes traduisent, par les variations de leur composition taxonomique, une organisation le long d'un gradient d'influence par le fleuve. A l'intérieur de chaque lône, une diversification s'opère entre l'amont, généralement caractérisé par des "mouilles" plus ou moins isolées (Fournier, Luisettes, Moiroud, Béard) et pouvant accueillir des taxons typiques de petits milieux stagnants, et l'aval, ouvert sur le fleuve et présentant classiquement une affinité faunistique plus forte avec lui (Fournier, Moiroud, Béard).

Le suivi mis en place a pour objectif de mesurer l'influence de l'augmentation de débit réservé sur les communautés de poissons et d'invertébrés du chenal et des travaux de réhabilitation des lônes sur les taux de sédimentation et les communautés aquatiques des 5 lônes choisies.

1.1 Peuplement piscicole :

- 30 espèces de poissons ont été échantillonnées lors des deux campagnes de pêches réalisées en 2004, dont 2 espèces de salmonidés (truite fario et ombre commun) et

17 espèces de cyprinidés ; ces espèces sont pour la plupart très commune dans le Haut Rhône. Le Vieux-Rhône de Belley se distingue des autres secteurs par la présence de la blennie fluviatile et de la loche, deux espèces qui témoignent de la proximité du Lac du Bourget. Le *Pseudorasbora* (espèce introduite à la fin des années 1980 dans le bassin du Rhône) a été trouvé pour la première fois à Belley lors de ces pêches.

- Les espèces les plus fréquemment capturées dans le RCC de Belley sont : le barbeau fluviatile, le chevaine et le goujon.
- Certaines espèces ont des fréquences d'occurrence relativement élevées : la loche franche, la grémille, la vandoise, le vairon, le hotu et le spirilin et peuvent être considérées comme caractéristiques de ce tronçon court-circuité.
- Les données collectées en 2004 n'ont pas révélé de différences fondamentales au sein du peuplement entre l'amont et l'aval du seuil de Lucey.
- Le R.C.C. de Belley constitue un milieu riche en habitats pour la faune piscicole, ce qui se traduit dans la structure de peuplement par la coexistence d'un grand nombre d'espèces dont les exigences écologiques sont variées. La qualité des habitats du chenal avec la présence de seuils naturels très courants avec une granulométrie grossière, de mouilles profondes et de zones de rives naturelles permet la coexistence des espèces les plus exigeantes (truite, ombre, hotu) et des espèces fuyant plus ou moins les zones turbulentes et procure aux différentes espèces les conditions nécessaires à l'accomplissement de leur cycle vital.
- Parmi les 5 lônes prospectées dans le cadre de l'établissement de l'état initial avant restauration (Lône des Luisettes, Lône Moiroud, Lône Béard, Lône Fournier, Anse de Yenne), seule la lône Moiroud présente des caractéristiques typiques d'annexe fluviale « non perturbée » avec une faune piscicole caractéristique. La lône Fournier fonctionne comme un chenal de crue et ne présente pas de caractéristiques piscicoles particulières. Il est actuellement difficile de prévoir le rôle que pourront jouer l'anse de Yenne et la lône Béard pour la faune piscicole après restauration, seul un suivi de ces secteurs pourra le mettre en évidence.
- 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.

1.2 Peuplement d'invertébrés du chenal :

L'état initial du peuplement d'invertébrés benthiques du chenal du Rhône court-circuité de Belley 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).

Au cours de ces campagnes, 91 taxons ont été échantillonnés alors que 120 taxons avaient été récoltés dans le secteur de Chautagne suivant le même protocole.

- Le peuplement **typique d'un épipotamon**¹ présente une faune mixte de taxons spécifiques des grandes rivières (e.g. *Potamanthus luteus*) et de taxons rencontrés sur

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

de plus petits cours d'eau (e.g. *Leuctra*, *Baetis*) **très fortement dominée par les espèces ubiquistes du genre *Gammarus*.**

- 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**² témoignant d'une **assez bonne qualité biologique** du secteur.
- On peut souligner que l'espèce invasive *Dreissena polymorpha* ne présente pas une abondance très forte comme dans d'autres secteurs du Rhône.
- On note des **différences au niveau de la composition du peuplement** des invertébrés de ce secteur par rapport à celui de Chautagne avec notamment **une richesse taxonomique plus faible à Belley** mais les taxons des peuplements de ces deux secteurs présentent globalement **des exigences écologiques très semblables.**
- Comme dans le secteur de Chautagne, les taxons dominants présentent une forte **affinité pour des habitats à substrat grossier recouvert d'algues filamenteuses**, ces types d'habitat étant largement rencontrés dans les deux secteurs. Les taxons dominants de Belley peuvent présenter (e.g. *Gammarus* sp.) en outre, une forte affinité pour des habitats **avec accumulation de matière organique.**
- Comme à Chautagne, 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 RCC de Belley 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.**

1.3 Peuplement d'invertébrés des lônes :

- Les invertébrés aquatiques (mollusques, crustacés, insectes, « vers ») ont été étudiés dans cinq lônes du Rhône dans le secteur de Belley afin de fournir un état de référence sur la diversité biologique de ces milieux avant les opérations de restauration hydraulique et écologique du fleuve.
- Les invertébrés aquatiques ont un rôle crucial dans les chaînes alimentaires (décomposition de la matière organique, proies pour les poissons et certains oiseaux). Ils fournissent des informations sur la qualité, le fonctionnement et les modifications des milieux aquatiques.
- Les lônes retenues (lônes de Chantemerle, Fournier, Luisettes, Moiroud et l'Ile Béard) ont été étudiées au printemps et en été (2003 et 2004). La faune aquatique a été

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

échantillonnée en suivant un protocole standardisé basé sur la répétition d'échantillons réalisés à l'épuisette sur une surface fixée. Dans chaque lône l'échantillonnage a porté sur un site amont et un site aval proche de la connexion avec le Rhône.

- Après tri et dénombrement des invertébrés, les données récoltées ont été analysées pour calculer des indices (appelés métriques) utilisés pour rendre compte de la richesse biologique du milieu (nombres d'espèces présentes, quantités d'espèces potentiellement envahissantes ou rares) et de certains aspects de son fonctionnement (types de ressources à disposition de la faune).
- Les cinq lônes constituent un ensemble diversifié du point de vue de leur composition en espèces. Celle-ci est en grande partie déterminée par le degré de connexion entre la lône et le fleuve. La Lône Béard (la moins connectée) et Chantemerle (la plus connectée) sont ainsi les plus différentes pour la faune. Au delà de ces différences de composition, les indices calculés montrent une homogénéité relative du fonctionnement de ces milieux et des ressources qu'ils offrent pour les poissons. Certains secteurs se singularisent par leur plus forte richesse ou la présence d'espèces plus rares, notamment la lône Béard et sa mouille amont riche en Coléoptères, ou la lône Fournier riche en insectes diversifiés à proximité de sa connexion avec le Rhône. Dans les cinq lônes, des espèces non indigènes sont bien installées, parmi lesquelles plusieurs mollusques. L'étude de leur possible expansion est un objectif du suivi de ces milieux.
- Les informations obtenues à partir des invertébrés aquatiques des cinq lônes fournissent une image instantanée de l'état de ces milieux avant la restauration du Rhône. L'objectif suivant est d'évaluer les modifications de cette image au cours des années qui suivront la restauration afin de mesurer ses impacts quantitatifs et qualitatifs.

1.4 Végétation aquatique et physico-chimie des lônes

Le diagnostic écologique des lônes est basé en partie sur l'analyse des communautés floristiques couplée à des descriptions morphologiques des zones humides fluviales. Cette méthode permet d'identifier les caractéristiques fonctionnelles des zones humides en utilisant :

- la composition et la structure des communautés végétales (végétaux supérieurs),
- la connaissance des exigences écologiques des espèces végétales,
- des descripteurs environnementaux simples (texture du sédiment, degré de recouvrement de la végétation, forme et dimensions du chenal).

Le diagnostic établi sur les 4 lônes échantillonnées en 2004 avant restauration est le suivant :

1. la lône Béard est fortement soumise aux processus d'alluvionnement. Les communautés végétales rencontrées sont caractéristiques des milieux eutrophes (riches en éléments nutritifs). Les apports en eaux souterraines sont nuls dans la partie amont de la lône et très faibles en aval.
2. La lône Fournier présente également des caractéristiques de milieu eutrophe, avec des processus d'érosion élevée (chenal de crue) et de forts apports en eaux souterraines.

3. La lône des Luisettes peut être découpée en 2 zones floristiques :
 - a. une zone aval possédant des conditions d'habitat méso-eutrophes à eutrophes, avec des processus d'érosion élevés et des apports d'eaux souterraines significatifs ;
 - b. une zone amont de type méso-eutrophe subissant des épisodes d'érosion importants et recevant des apports d'eaux souterraines très significatifs.
4. La lône Moiroud est colonisée par des espèces de milieux eutrophes, elle est dominée par une espèce invasive (*Elodea nuttallii*). Cette lône se comble progressivement (fort alluvionnement) et son alimentation par des eaux souterraines est très réduite.

Les bénéfices potentiels de la restauration de ces milieux annexes seront analysés au cours du suivi post-restauration.

1.5 Géomorphologie

Les bras restaurés de Belley sont encore très actifs, fréquemment occupés par le Rhône. Seule la lône Moiroud est effectivement en cours de vieillissement. Elle se remplit progressivement de sables et de limons que les crues du Rhône ne peuvent décaper.

2 CONTEXTE GÉNÉRAL DU SUIVI DU PROGRAMME DECENNAL RHONE

Le programme d'accompagnement scientifique du Programme décennal de restauration hydraulique et écologique du Rhône a été scindé en deux niveaux méthodologiques :

- le niveau 1 est basé sur une **approche descriptive** des effets de la restauration sur les communautés et milieux. Il s'agit d'une proposition de **suites minimum et cohérent** d'un site à l'autre, nécessaire pour mesurer de manière rigoureuse et efficace les effets potentiels des actions de restauration à l'échelle du chenal et des annexes fluviales prises individuellement ou dans un contexte géographique plus vaste. Il s'agit d'un suivi mis en œuvre au **niveau local** (Haut-Rhône, Miribel-Jonage etc...)
- le niveau 2 répond aux critères d'analyse d'une réponse fonctionnelle des systèmes restaurés en fonction :
 - des procédures de restauration appliquées,
 - des milieux concernés (chenal ou annexes fluviales),
 - des thématiques ciblées (hydraulique, géomorphologie, espèces animales et/ou végétales).

Si le niveau 1 vise à répondre strictement aux objectifs d'évaluation du programme décennal, le niveau 2 relève quant à lui de la recherche : le but est **d'exprimer des hypothèses relatives à la réponse des écosystèmes et des communautés aux actions de restauration**, puis **en fonction des résultats** (validation ou non des hypothèses) de **créer des modèles explicatifs et/ou prédictifs pouvant être utilisés comme retour d'expérience pour les actions de restauration futures**.

En effet, le programme décennal de restauration, en raison des moyens mis en œuvre et de son ampleur géographique, constitue une opération de restauration originale, au moins à l'échelle des grands cours d'eau médio-européens. De ce fait, la communauté scientifique n'ayant jusqu'alors abordé ces questions que de manière très partielle, les connaissances scientifiques concernant les effets de telles mesures de restauration sur le fonctionnement des cours d'eau sont assez limitées. Il s'agit donc d'exprimer (de formaliser) les problématiques scientifiques liées aux effets des procédures de restauration sur les écosystèmes concernés, d'aborder les problèmes méthodologiques spécifiques liés à ces problématiques et de proposer *in fine* des métriques et des indicateurs permettant de répondre à cet objectif. Dans un tel cadre, les études entreprises ne seront pas systématiquement réalisées sur l'ensemble des compartiments concernés par la restauration (chenal ou lônes) ni sur l'ensemble des thématiques. Des objectifs particuliers seront sélectionnés et seuls les sites les plus appropriés pour aborder ces questions seront retenus.

Dans le cadre de ce travail les problématiques suivantes ont été retenues :

1. modélisation des réponses des communautés de macroinvertébrés et de poissons aux variations de contraintes hydrauliques dans les chenaux soumis à augmentation du débit réservé,
2. étude de l'effet de l'augmentation des débits réservés et des travaux de réhabilitation des lônes sur des populations de poissons « cibles »,

- Contexte général -

3. modélisation de l'évolution de la biodiversité (macrophytes) dans les îles en relation avec la trophie des milieux, l'intensité des perturbations hydrauliques dans ces milieux et les caractéristiques sédimentaires,
4. essai de prédiction de la durée de vie des bras restaurés et recherche de géométries fluviales particulières qui répondent sur un long terme à des attentes écologiques fixées initialement,
5. établissement de modèles prédictifs de la richesse faunistique (macro-invertébrés) en fonction des caractéristiques écologiques (qualité des eaux, degré de connexion avec le chenal, diversité d'habitats...) des îles,
6. analyse synthétique des relations trophiques dans les annexes fluviales, intégrant les résultats des autres thématiques (en particulier l'analyse de la qualité de l'eau, de la structure des communautés végétales et invertébrés, et de l'abondance et de la diversité des peuplements de juvéniles de poissons),
7. gestion du tableau de bord et la restitution des résultats sous différentes formes.

Sur le plan pratique, la démarche a consisté, en **concertation** étroite avec les **organismes gestionnaires et aménageurs**, à fournir des protocoles et des méthodes permettant d'établir au mieux, et selon des méthodes scientifiques, un état initial du système (structure et fonctionnement) et un tableau de bord du dispositif de suivi à mettre en place. En juillet 2002, une convention a été établie entre la DIREN Délégation de Bassin Rhône-Méditerranée & Corse pour un an et les partenaires scientifiques de la Zone Atelier Bassin du Rhône avec pour objectifs :

- de réaliser un bilan des données disponibles utilisables dans le cadre de la définition des états initiaux des milieux destinés à être restaurés,
- de définir les problématiques majeures liées à l'évaluation des effets des opérations de restauration,
- de définir des plans et des protocoles d'échantillonnage à mettre en œuvre avant et après restauration,
- de définir un ensemble de **métriques** et d'**indicateurs** de la restauration telle qu'elle est envisagée : augmentation de débit réservé dans les sections court-circuitées et réhabilitation des bras latéraux (îles),
- de réaliser une maquette de tableau de bord reposant sur des bases données et l'utilisation d'un Système d'Information Géographique (SIG), ce tableau de bord constituant avant tout un outil de **consultation synthétique** et cartographique à la disposition des chercheurs, gestionnaires et grand public.

L'ensemble du projet est conçu comme une étude pluridisciplinaire dont les objectifs sont regroupés par thématique. Par exemple, plusieurs études concernant les peuplements de macro-invertébrés ou de poissons dans les chenaux court-circuités ont pour objectif d'évaluer l'impact du changement de débit sur les peuplements *via* l'analyse des changements de caractéristiques hydrauliques liées au débit. Dans un autre contexte, l'analyse de l'impact de la réhabilitation des îles sur la biodiversité est abordée à l'aide de plusieurs descripteurs incluant les organismes animaux et végétaux et leurs caractéristiques biologiques.

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

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

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, le **suivi scientifique de niveau 1** 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 Belley, second site restauré (après le site de « Chautagne ») dans le cadre du programme décennal Rhône.

En respect du cahier des charges, la description de l'état initial du R.C.C. de Belley s'inscrit dans le suivi de niveau 1 et est réalisée au travers des compartiments **faune piscicole** et **faune d'invertébrés aquatiques pour le chenal** et **faune piscicole, faune d'invertébrés aquatiques, végétation aquatique, physicochimie et géomorphologie 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.

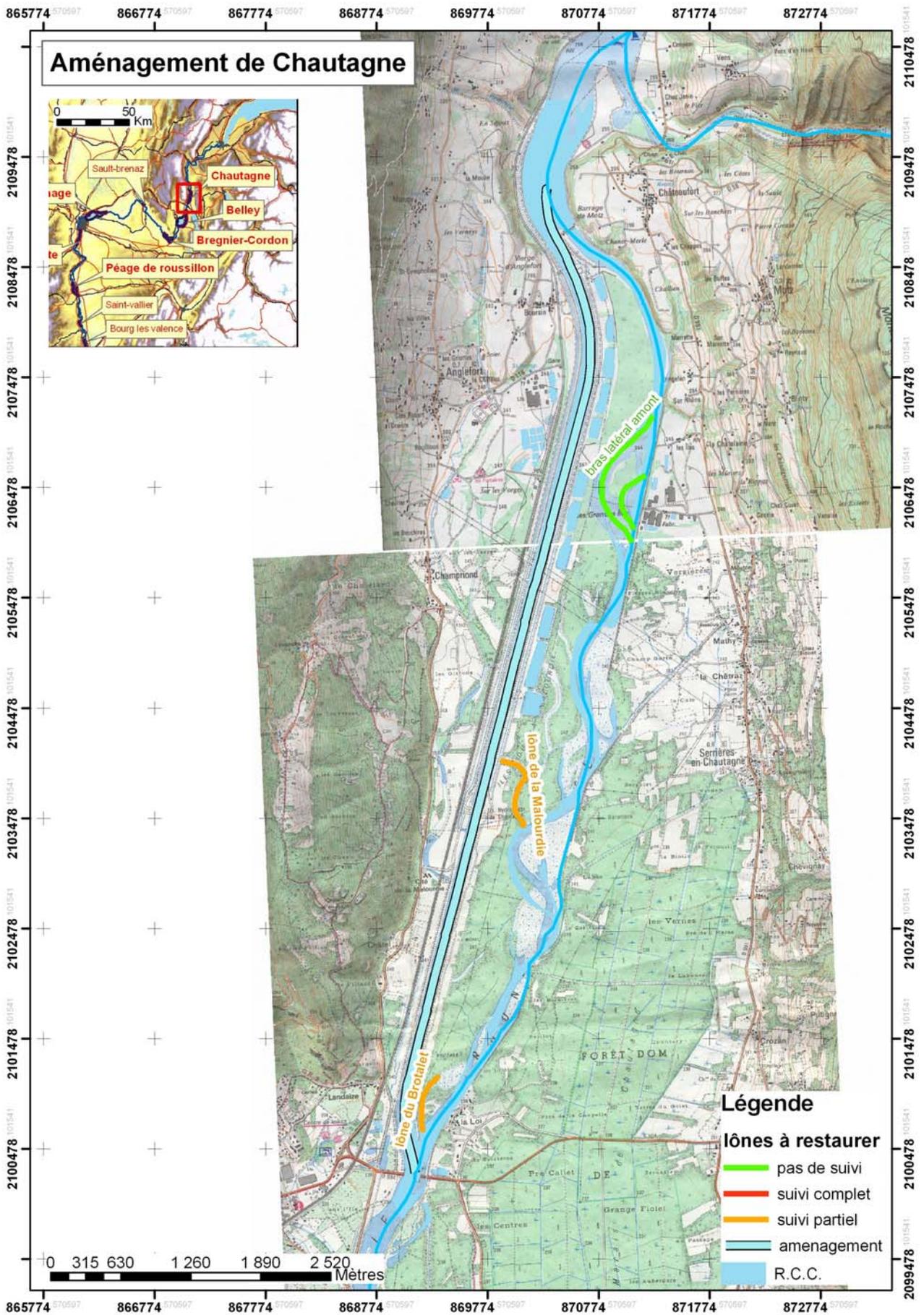
Tableau 1 Contenu du suivi scientifique du Haut-Rhône

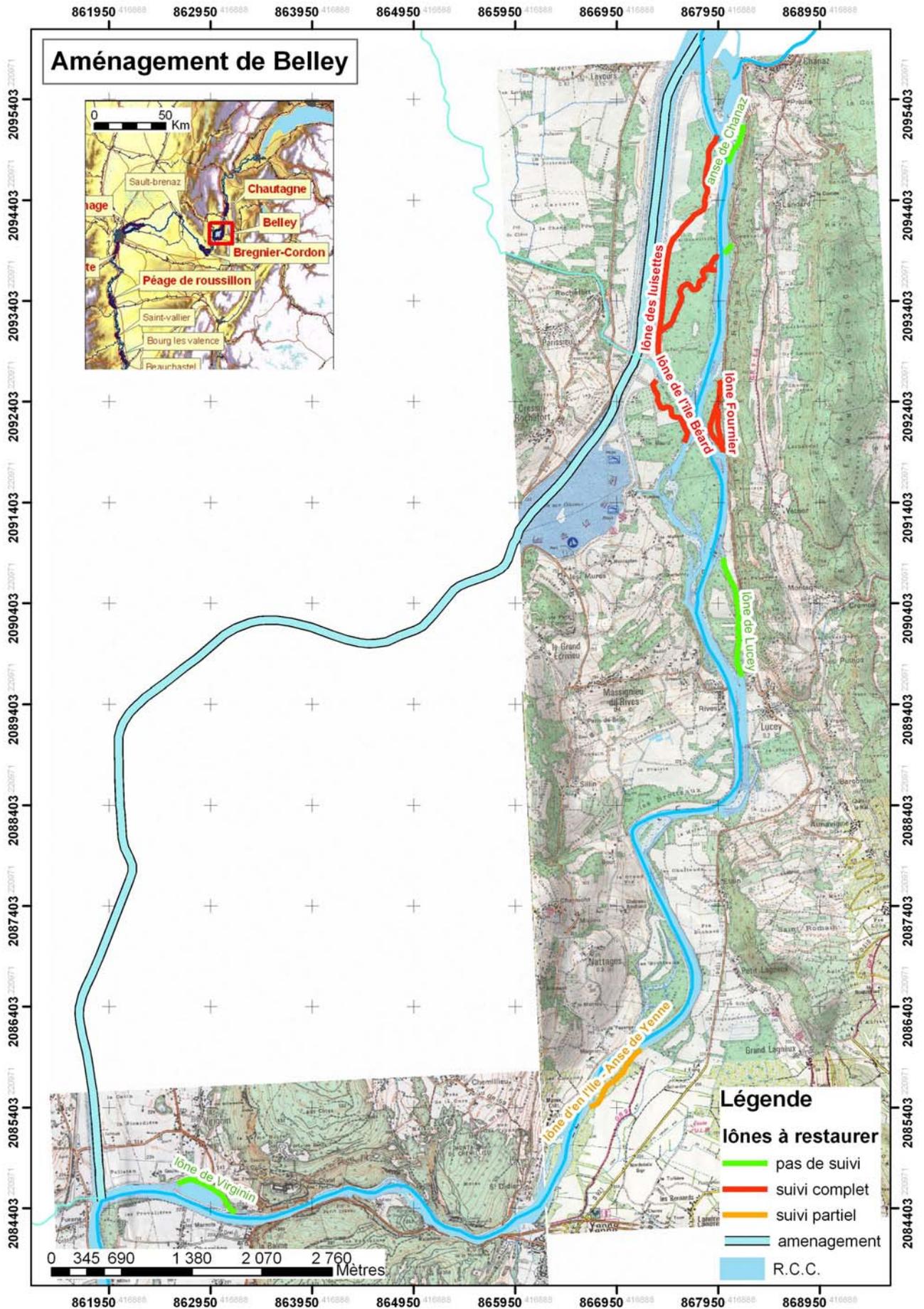
		poissons	invertébrés	végétation	sédimentation
Chautagne	chenal	X	X		
	Lône de la Malourdie	X			
	Lône du Brotalet	X			
Belley	chenal	X	X		
	Lône Luisettes	X	X	X	X
	Lône Moiroud	X	X	X	X
	Lône Béard	X	X	X	X
	Lône Fournier	X	X	X	X
	Lône Chantemerle	X	X	X	X
	Anse de Yenne (lône d'en l'île)	X			
Bregnier - 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			

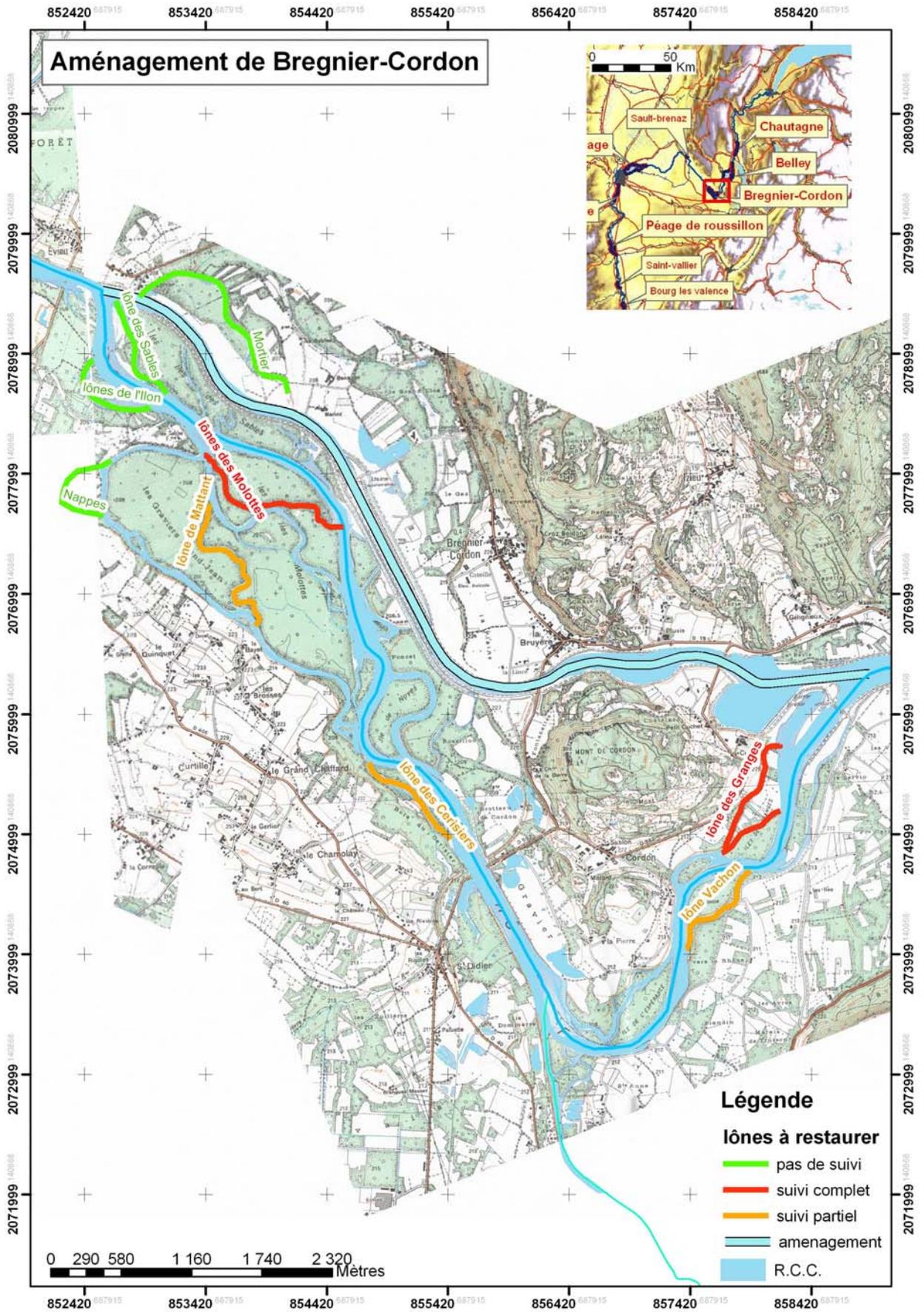
Les données présentées dans ce rapport sont visualisables sur le tableau de bord du suivi scientifique du programme décennal de restauration hydraulique et écologique du Rhône. Il s'agit d'un outil de lecture actualisé et dynamique du suivi scientifique, le tableau de bord permet de consulter les dernières 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/rhone/>







3 PEUPLEMENT PISCICOLE

3.1 Rappel du contexte et des objectifs

Le peuplement de poissons du R.C.C. de Belley a été suivi à la suite de la mise en service de l'aménagement hydro-électrique puis de manière irrégulière. Les pêches réalisées ont alors été effectuées dans le contexte du suivi des effets des chasses triennales du Haut-Rhône. De ce fait, le jeu de données disponible sur ce Vieux-Rhône est plus hétérogène que celui utilisé dans le cadre de la réalisation de l'état initial dans le Vieux-Rhône de Chautagne. Les dernières campagnes de pêches électriques réalisées dans ce R.C.C. datent de 1997. Elles ne permettent pas de dresser un bilan objectif et actuel du fonctionnement du peuplement piscicole du Vieux-Rhône de Belley. Afin de dresser un état du peuplement deux campagnes de pêches électriques ont été effectuées en 2004. 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 des valeurs de débit.

3.2 Stratégie d'échantillonnage

3.2.1 Stations d'étude

Deux stations ont été échantillonnées dans le Vieux – Rhône en 2004 (cf carte *Figure 1*).

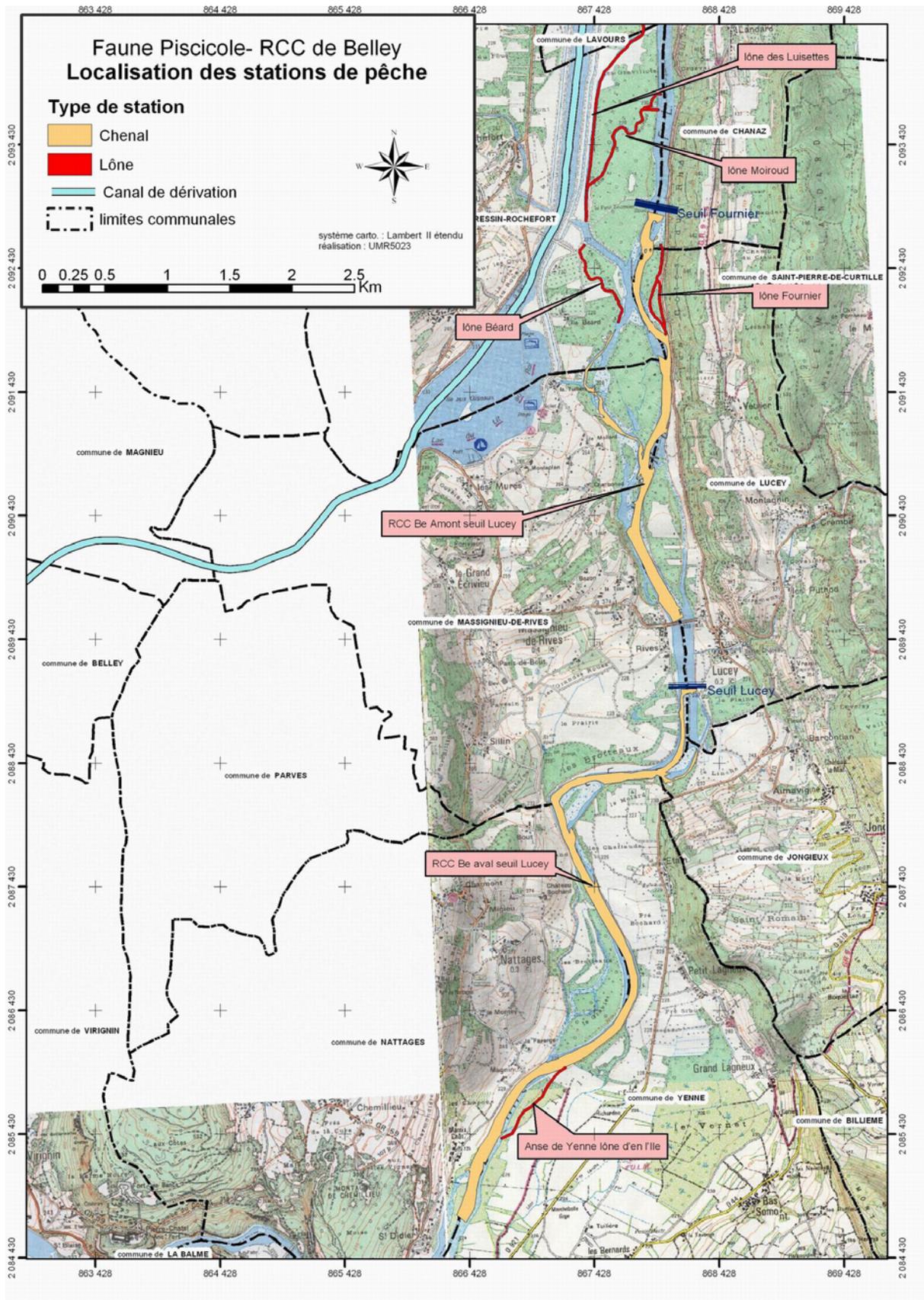


Figure 1 Carte de localisation des stations piscicoles sur le RCC de Belley

- une station située entre le seuil Fournier (à l'amont) et le seuil de Lucey (à l'aval), cette station comporte les deux bras principaux du Rhône et inclut la zone en réserve piscicole en aval de la confluence avec le Sérans ;

- une station située entre et le seuil de Lucey (à l'amont) et le pont de Yenne (à l'aval).

Cinq lônes ont également été prospectées avant restauration :

- la Lône des Luisettes,
- la Lône Moiroud,
- la Lône Fournier,
- la Lône Béard,
- la Lône « Anse de Yenne »

3.2.2 Protocole et effort 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.

Dans le Vieux-Rhône (chenal) 100 E.P.A. ont été effectués dans chacune des deux stations en mai et en octobre 2004, soit un total de 400 E.P.A. Ces deux campagnes de pêches n'étaient pas prévues initialement dans la convention de suivi, elles ont été réalisées à l'initiative de l'UMR CNRS 5023.

Dans les lônes, la configuration, la taille et la disposition des zones en eau diffèrent selon les sites et l'effort d'échantillonnage a été adapté à ces paramètres :

Tableau 2 Effort de pêche sur les stations du RCC de Belley

Station\ dates	Mai 2004	Octobre 2004
Lône des Luisettes	25 E.P.A.	25 E.P.A.
Lône Moiroud	25 E.P.A.	25 E.P.A.
Lône de Fournier	25 E.P.A.	25 E.P.A.
Lône Béard	4 E.P.A.	0
Anse de Yenne	10 E.P.A.	10 E.P.A.

3.3 Résultats

3.3.1 Liste Faunistique et composition du peuplement

Les 30 espèces échantillonnées au cours des deux campagnes de pêches réalisées en 2004 sont répertoriées dans le Tableau 3.

Le peuplement piscicole du R.C.C. de Belley (lônes comprises) renferme un grand nombre d'espèces (30 parmi les 36 répertoriées sur le Haut-Rhône).

Parmi ces 30 espèces, 3 sont absentes dans le chenal *sensu-stricto* : la carpe commune (trouvée dans la lône des Luisettes), le poisson-chat (trouvé dans la lône Moiroud) et le rotengle (trouvé dans la lône des Luisettes et dans la lône Moiroud).

- Peuplement piscicole -

La blennie fluviatile a été rencontrée dans 2 échantillons. La présence de cette espèce, comme celle de la lote (capturée 3 fois) s'explique probablement par la proximité du Lac du Bourget et l'existence du canal de Savières.

Le pseudorasbora a été échantillonné pour la première fois dans ce secteur au cours de ces deux campagnes de pêches (12 individus capturés dont 10 dans l'Anse de Yenne).

La *Figure 2* présente l'abondance relative et la fréquence d'occurrence des 30 espèces (nombre de points d'échantillonnage dans lesquels une espèce a été rencontrée) dans le chenal et dans les îlons.

Le chevaine, le goujon, le barbeau fluviatile et la vandoise sont les espèces les plus abondantes dans le chenal, cependant les valeurs d'abondance sont souvent biaisées par le fait que de nombreux juvéniles de l'année sont capturés lors des pêches d'automne (période post-reproduction et de fin de croissance annuelle pour la plupart des alevins). La fréquence d'occurrence renseigne sur la probabilité de capture des espèces.

Trois espèces ont des fréquences d'occurrence supérieures à 20% : le barbeau fluviatile (28%), le chevaine (25%) et le goujon (24%).

La loche franche (17%), la grémille (13%), la vandoise (11%), le vairon (8%), le hotu (6%) et le spirin (5%) sont les 6 espèces dont la fréquence d'occurrence est comprise entre 5 et 20%.

Les deux espèces de salmonidés, la truite fario et l'ombre commun dont les fréquences d'occurrence sont respectivement de 4 et 1,5% peuvent être considérées comme bien représentées dans le Vieux-Rhône.

L'allure du graphique présentant les fréquences d'occurrence montre une structure de peuplement assez diversifiée.

- Peuplement piscicole -

Tableau 3 liste des espèces échantillonnées en 2004.

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 souffia</i> (Risso, 1826)	BLN
	Vandoise	<i>Leuciscus leuciscus</i> (L., 1758)	VAN
	Chevaine	<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
	Pseudorasbora	<i>Pseudorasbora parva</i> (Chlegel, 1842)	PSR
	Barbeau fluviatile	<i>Barbus barbus</i> (L., 1758)	BAF
	Carpe commune	<i>Cyprinus carpio</i> (L., 1758)	CCO
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
Blenniidés	Blennie fluviatile	<i>Salaria fluviatilis</i> (Asso, 1801)	BLE
Cottidés	Chabot	<i>Cottus gobio</i> (L., 1758)	CHA

- Peuplement piscicole -

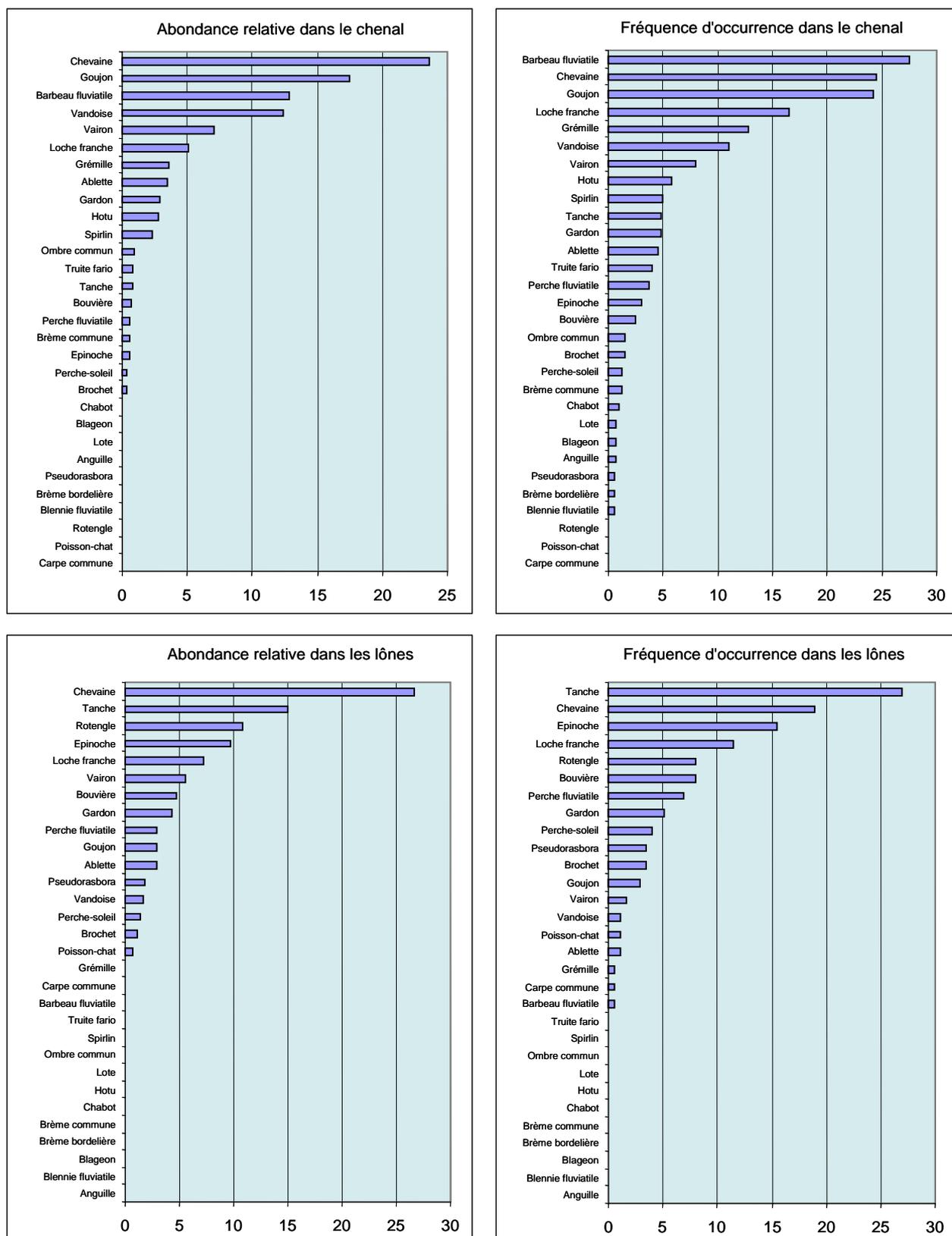


Figure 2 abondances relatives et fréquences d'occurrence des différentes espèces capturées dans le Vieux-Rhône de Belley et dans les lônes en mai et octobre 2004

3.3.2 Caractérisation du peuplement du RCC dans le chenal et dans les lônes

3.3.2.1 Peuplement piscicole du chenal

La *Figure 3* montre l'abondance absolue des différentes espèces dans les deux stations échantillonnées.

Les principaux résultats sont :

- pour un effort d'échantillonnage équivalent, les effectifs capturés sont de 3 (en aval du seuil de Lucey) à 5 fois (en amont du seuil de Lucey) plus importants en automne qu'au printemps. Cet effet saisonnier est principalement dû aux importantes captures de juvéniles de l'année en fin d'été ;
- l'ordre de grandeur des effectifs capturés est le même en amont et en aval du seuil de Lucey (207 poissons échantillonnés en mai en amont du seuil, 321 en aval ; 1078 poissons capturés en octobre en amont du seuil, 1070 en aval) ;
- parmi les 26 espèces rencontrées à l'amont du seuil, l'anguille, la blennie fluviatile et la brème commune n'ont pas été échantillonnées à l'aval ;
- à l'amont comme à l'aval du seuil, les espèces les plus abondantes dans les prélèvements sont le chevaine, le goujon, le barbeau fluviatile et la vandoise, néanmoins la structure du peuplement semble plus équilibrée à l'amont qu'à l'aval du seuil ;
- les espèces rhéophiles sont bien représentées dans les deux stations (hotu, spirilin, truite fario et dans une moindre mesure ombre commun) ;
- les espèces limnophiles (d'eau stagnante) sont également présentes en amont et en aval du seuil ;
- les espèces les mieux représentées dans le chenal du Vieux-Rhône de Belley sont : le chevaine, le goujon, le barbeau fluviatile, la vandoise, le vairon, la loche franche, la grémille, l'ablette, le gardon, le hotu, le spirilin, l'ombre commun, la truite fario, la tanche, la bouvière, la perche fluviatile, la brème commune et l'épinoche (toutes ces espèces ont une fréquence d'occurrence > 1%).

Les données collectées en 2004 montrent que pour la plupart des espèces échantillonnées les populations présentent des structures en classes de tailles mettant en évidence l'existence de structures de populations bien établies (*en annexe I*).

Ces données laissent donc supposer que la majorité des espèces rencontrées se reproduisent et effectuent leur cycle vital dans le Vieux-Rhône, témoignant de la présence des habitats nécessaires à chaque stade de développement. Cependant, pour plusieurs espèces dont le hotu, des effectifs plus importants seraient nécessaires pour conclure de manière fiable sur l'état réel des populations. Néanmoins, le R.C.C. de Belley apparaît comme l'un des plus riches du Haut-Rhône avec une population de truites importante et renfermant de très grands individus. Des données plus approfondies seraient nécessaires pour statuer sur la population d'ombre commun. Les histogrammes de distribution en classes de tailles des poissons capturés montrent une cohabitation entre les juvéniles de l'année issus de reproduction naturelle et des poissons issus de pisciculture (de taille inférieure aux individus sauvages) (*en annexe I*).

- Peuplement piscicole -

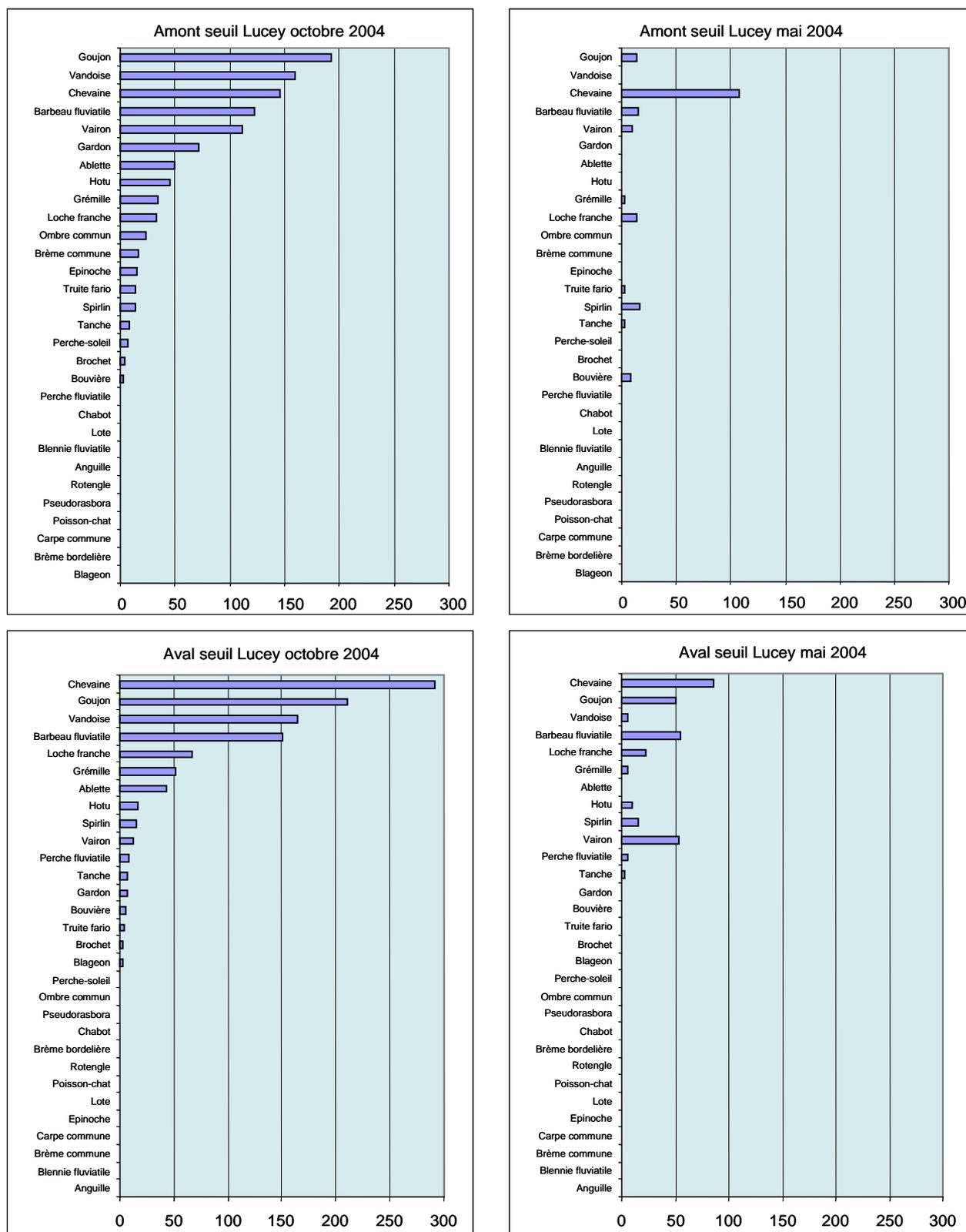


Figure 3 abondance absolue des différentes espèces capturées dans le Vieux-Rhône de Belley en mai et octobre 2004. Dans chacune des deux stations (amont et aval du seuil de Lucey) 100 E.P.A. ont été réalisés en mai et en octobre.

- Peuplement piscicole -

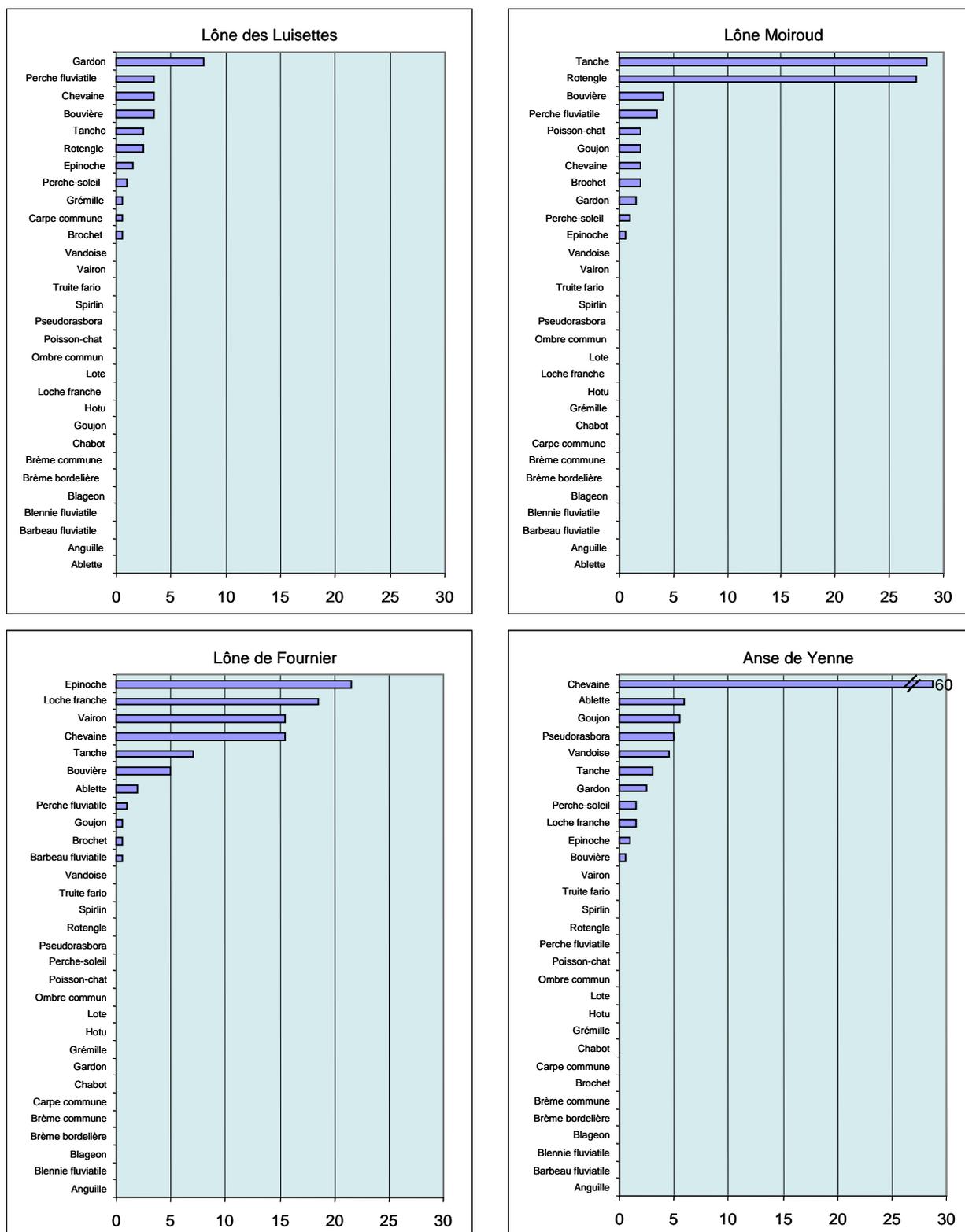


Figure 4 abondance moyenne des différentes espèces capturées dans quatre lônes de Belley en mai et octobre 2004. Effort d'échantillonnage : Lône des Luisettes 50 E.P.A., Lône Moiroud 50 E.P.A., Lône Fournier 50 E.P.A., Lône Anse de Yenne 20 E.P.A.

3.3.2.2 Peuplement piscicole des lônes

Seules 19 espèces ont été échantillonnées dans les lônes et les effectifs capturés sont très faibles (cf Figure 4).

Les résultats des pêches sont consignés dans le *Tableau 4*:

Tableau 4 peuplement piscicole des lônes

	Anse de Yenne	Anse de Yenne	Lône des Luisettes	Lône des Luisettes	Lône Moiroud	Lône Moiroud	Lône Fournier	Lône Fournier	Lône Béard
Espèces	Mai 2004	Octobre 2004	Mai 2004	Octobre 2004	Mai 2004	Octobre 2004	Mai 2004	Octobre 2004	Mai 2004
ABL		12					4		
BAF								1	
BOU		1	1	6	7	1	2	8	
BRO				1	3	1		1	
CCO				1					
CHE	9	97	5	2	3	1	5	26	
EPI		2	2	1	1		13	30	5
GAR		5	3	13	3				
GOU	3	8			4		1		
GRE				1					
LOF	2	1					26	11	
PCH					1	3			
PER			3	4	7			2	
PES	1	2		2	2				1
PSR		10							
ROT				5	51	4			
TAN	4	2	2	3	33	24	5	9	1
VAI							30	1	
VAN	5	4							

Ces 5 lônes possèdent toutes des caractéristiques différentes :

- **la lône des Luisettes** présente dans sa partie aval un vaste plan d'eau tenu par un gué, l'échantillonnage a été réalisé dans cette partie de la lône, les effectifs capturés et le nombre d'espèces trouvées (11 au total) sont très faibles, les poissons échantillonnés sont de petites tailles. Ces résultats sont surprenants dans la mesure où la taille et la profondeur de ce milieu offrent une capacité d'accueil intéressante pour les poissons. Par ailleurs, les pêcheurs à la ligne mentionnent des captures numériquement importantes, notamment en brochets.
- **La lône Moiroud** se présente sous la forme d'un chenal étroit et peu profond, seule la partie aval est en eau et a été prospectée. La végétation aquatique est très dense et la quantité de limons et de vase (anoxique) déposés sur le fond est supérieure à 50 cm. Cette lône se présente donc comme une annexe fluviale en voie d'atterrissement typique et renferme une faune piscicole **caractéristique** composée majoritairement de tanches, de rotengles, de bouvières, le brochet, la perche fluviatile et le poisson-chat sont également présents.
- **La lône fournier** comporte un vaste plan d'eau dans sa partie amont et se poursuit par un chenal étroit et très peu profond (entre 10 et 20 cm), avec une zone d'affouillement au pied d'un arbre dans sa partie aval où la profondeur peut atteindre 60 cm, l'eau s'écoule lentement dans ce chenal. Ce bras latéral qui doit être emprunté lors des crues abrite 11 espèces de poissons dont les caractéristiques écologiques sont variées. Le plan d'eau situé à l'amont renferme des poissons de taille moyenne à grande (un brochet de 80 cm y a été échantillonné en octobre 2004) alors que les poissons capturés dans le chenal en aval sont de très petites tailles, il s'agit soit d'individus appartenant à des espèces de petite taille (bouvière, épineche, vairon, loche franche), soit de juvéniles de l'année d'espèces de grandes tailles (perche, tanche, barbeau, ablette). Cette annexe fluviale présente une capacité d'accueil réduite et abrite des espèces de poissons relativement peu exigeantes et également rencontrées dans le chenal principal (R.C.C.).

- **L'anse de Yenne** est actuellement déconnectée du R.C.C. par l'amont et se trouve perchée par rapport au niveau du Vieux-Rhône. Seules quelques dépressions peu profondes sont en eau et renferment quelques poissons, probablement piégés à la suite d'une augmentation de débit. Seuls 10 E.P.A. ont été réalisés dans ces mares et ont valeur de sondage. Ces milieux aquatiques renferment un mélange d'espèces habituellement rencontrées dans le R.C.C., l'épinoche est la plus abondante des 11 espèces échantillonnées, les poissons capturés sont des juvéniles.
- **La lône Béard** est la lône la plus atterrie des 5 lônes prospectées, présentant quelques trous d'eau de très faibles dimensions.

Parmi les 5 lônes prospectées dans le cadre de l'établissement de l'état initial avant restauration, seule la lône Moiroud présente des caractéristiques typiques d'annexe fluviale « non perturbée » avec une faune piscicole caractéristique. La lône Fournier fonctionne comme un chenal de crue et ne présente pas de caractéristiques piscicoles particulières. Il est actuellement difficile de prévoir le rôle que pourront jouer l'Anse de Yenne et la lône Béard pour la faune piscicole après restauration, seul un suivi de ces secteurs pourra le mettre en évidence.

3.3.3 Simulation de la qualité de l'habitat. Attendus pour le vieux Rhône de Belley

Les simulations de la qualité de l'habitat des poissons sur 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 (logiciels Phabsim, Evha) 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 pour 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.

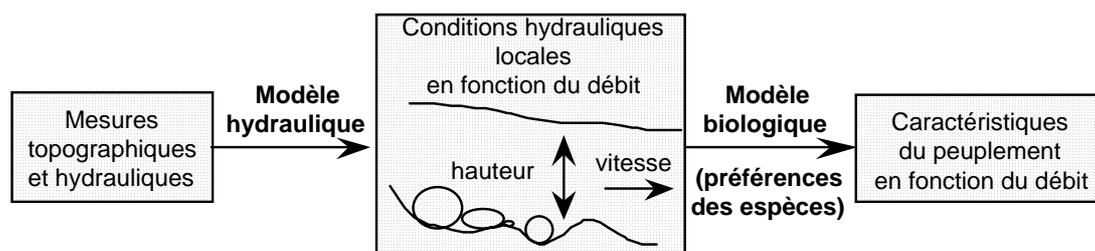


Figure 5 principe des modèles d'habitats

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 :

3.3.3.1 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.

3.3.3.2 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.

3.3.3.3 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).

Sur le vieux Rhône de Belley, les données d'entrée d'Estimhab (lois hauteur-débit et largeur-débit moyennes) ont été estimées par superposition de profils en travers et de lignes d'eau fournies par la Compagnie Nationale du Rhône (cf. Lamouroux et al. 1999). Le tronçon modélisé est un tronçon courant, non influencé hydrauliquement par les seuils en travers du vieux Rhône (station de pêche 'aval du seuil de Lucey' pk 124.2-125.2). 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.

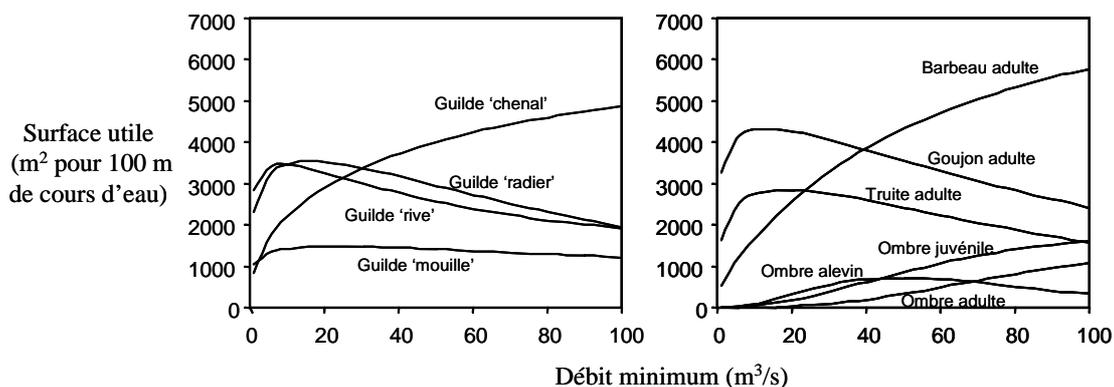


Figure 6 Evolution des surfaces utiles pour des guildes de poissons (groupes d'espèces, à gauche) et quelques espèces (à droite) en fonction du débit minimum sur le vieux Rhône de Belley.

Sur la Figure 6, 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, blageon adulte). Les autres guildes sont : rive (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 augmente d'environ 30% avec le passage du débit minimum de 25 à 50 m³/s. L'ombre et le barbeau, par exemple, devraient bénéficier de l'augmentation du débit minimum. La surface utile des poissons vivant dans les radiers ou le long des berges (ex : goujon) diminue en liaison avec l'augmentation de la profondeur.**

La modélisation de qualité de l'habitat (*Figure 6*) indique que l'augmentation du débit devrait favoriser les espèces vivant dans des conditions rapides et profondes (ombre, barbeau adulte, ablette, hotu, vandoise, blageon adulte) par rapport aux autres. Cette tendance est continue, bien que plus marquée en dessous de 50 m³/s. Elle est cohérente avec les modélisations réalisées en Chautagne et sur l'ensemble des vieux Rhône en général (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'.

3.3.4 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.

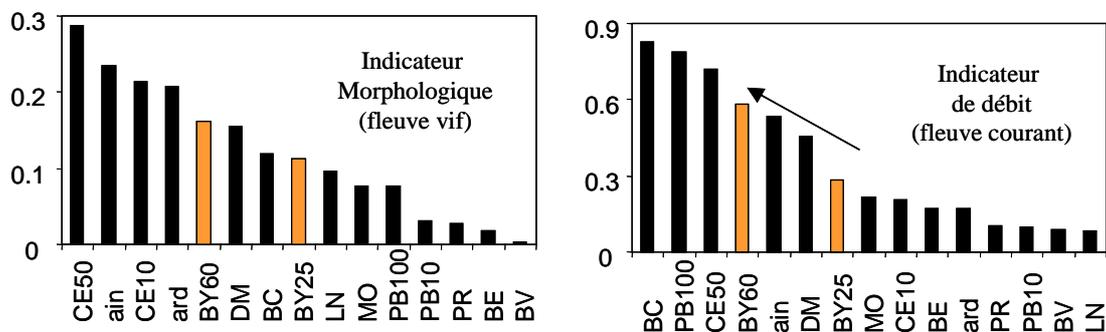


Figure 7 Valeurs de FR50 (indicateur morphologique) et RE (indicateur de débit) sur les différents vieux Rhône du bas Rhône et du haut Rhône, sur l'Ain et l'Ardèche. CE10 et CE50 reflètent respectivement la situation du vieux Rhône de Chautagne avant et après modification du débit minimum. Idem pour 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 à Belley modifiera essentiellement la valeur de RE, l'indice de débit (Figure 7). Cette augmentation restera modérée à Belley en comparaison avec les augmentations de l'indice en Chautagne ou à Pierre-Bénite. L'indice FR50 lié à la morphologie sera assez peu modifié par le changement de débit à Belley. Il restera inférieur aux valeurs du vieux Rhône de Chautagne, qui comporte 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 (exemple de 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.

3.4 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 Belley. Il ressort de cette étude que le R.C.C. de Belley constitue un milieu riche en habitats pour la faune piscicole, ce qui se traduit dans la structure de peuplement par la coexistence d'un grand nombre d'espèces dont les exigences écologiques sont variées. La coexistence de bars latéraux plus ou moins actifs ; de zones protégées du courant, de basses de convexité et de chenaux très courants dans le R.C.C. de Belley permet d'expliquer la richesse faunistique de ce secteur. Le R.C.C. abrite des espèces très exigeantes vis-à-vis des conditions hydrauliques et physico-chimiques comme l'ombre commun, la truite fario et quelques cyprinidés réhophiles et des espèces plus caractéristiques des milieux stagnants comme la tanche ou le gardon. On retrouve dans ce Vieux – Rhône une faune caractéristique du Rhône. L'examen des structures de tailles des poissons capturés montre que pour les espèces pour lesquelles les effectifs échantillonnés sont suffisants, les poissons appartiennent à plusieurs classes d'âge, ce qui témoigne du bon fonctionnement des populations. 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.

4 PEUPLEMENT D'INVERTÉBRÉS DU CHENAL

4.1 Contexte

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 Belley, 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 intégrant l'hydraulique avant l'augmentation des débits des Rhône Court-Circuités (RCC) 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 RCC concernés par la restauration des débits (Chautagne, Belley, Brégnier-Cordon et Miribel). Dans une première phase (niveau 1) notre étude décrira les peuplements d'invertébrés en place dans le chenal de ces 4 RCC et décrira 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 biocénotiques (composition spécifique ou à l'échelle du stade de développement larvaire) en fonction des changements hydrauliques associés aux augmentations de débit dans les RCC 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.

Dans ce rapport, nous nous attachons à décrire les peuplements d'invertébrés du RCC de Belley et leurs relations avec les conditions hydrauliques locales (objectifs de « niveau 1 »). Pour les invertébrés, l'aspect modélisation sera évoqué dans les parties « méthodologie » et « perspectives » mais fera l'objet des travaux futurs du suivi de niveau 2.

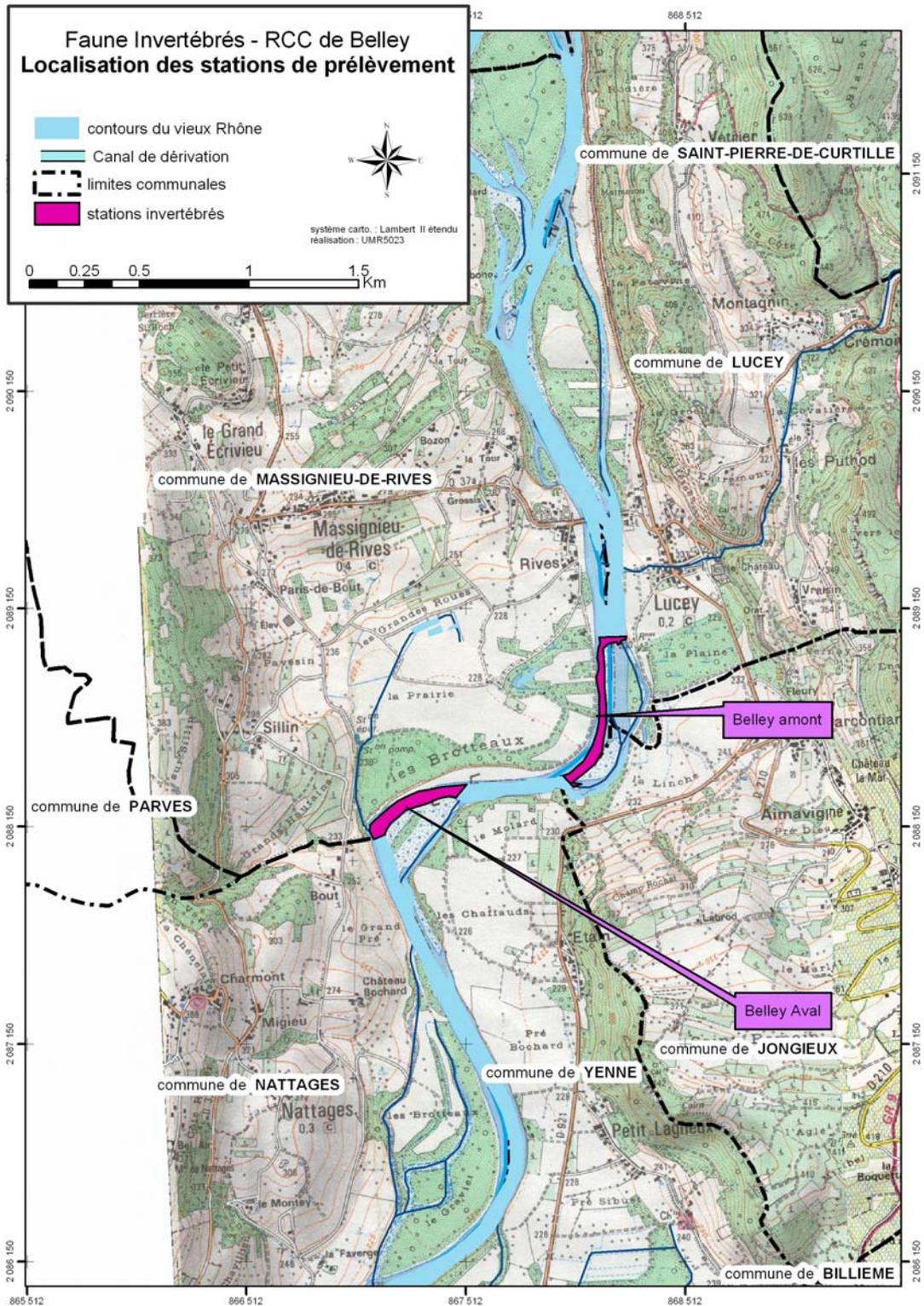


Figure 8 Carte de localisation des stations de prélèvements invertébrés sur le chenal du RCC de Belley

4.2 Méthodologie

La stratégie d'échantillonnage des variables hydrauliques 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 le présent rapport a pour objectif de dresser un état du peuplement des invertébrés

benthiques du RCC de Belley, 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 RCC concernés par les modifications de débits.

4.2.1 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 II*.

4.2.2 Protocole d'échantillonnage de terrain

4.2.2.1 Echantillonnage à l'échelle locale

4.2.2.1.1 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 m².

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/cm² (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.* 4.2.2.1.2).

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 III*). 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).

4.2.2.1.2 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 IV* pour un détail de ces variables et les formules permettant de les calculer).

4.2.2.1.3 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 4.2.2.1.1), 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).

4.2.2.2 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 V* pour le détail des mesures).

4.2.2.3 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 5*).

Tableau 5 Localisation des tronçons échantillonnés

RCC	PK
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 4.2.2.1.1) de ces microhabitats ont été échantillonnés à 3 saisons différentes (Tableau 6). Un total de 180 échantillons a ainsi été obtenu.

Tableau 6 Dates des campagnes d'échantillonnage

RCC	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.

4.3 Etat de référence pour les invertébrés du chenal du RCC de Belley

4.3.1 Données faunistiques

Un total de **90589 individus** a été dénombré et identifié dans le RCC de Belley au cours des 3 campagnes d'échantillonnage, printemps et été 2002 et hiver 2003. A noter qu'une partie de la détermination des Insectes Diptères, des Plathelminthes et des Annélides de la campagne d'hiver n'a pas pu être réalisée à temps pour ce rapport. Cependant, même si le nombre d'individus n'est pas exhaustif pour la campagne d'hiver, 98% des individus sont récoltés au cours des deux premières campagnes (cf Annexe VI). Pour les deux premières campagnes pour lesquelles tous les taxons ont été identifiés, une grande majorité des individus sont représentés par des **Crustacés** (49% du genre *Gammarus*) et des **Insectes** (47% représentés essentiellement par les stades larvaires).

Sur les **91 taxons** rencontrés dans le chenal de Belley, 68 et 88 ont été récoltés au cours des campagnes de printemps et d'été respectivement. Parmi ces taxons, **43 sont identifiés à l'espèce**. A noter que pour les plus petits individus (tamis 200 µm) seuls 8 taxons ont pu être déterminés à l'espèce alors que pour les plus gros individus (tamis 2000 µm) 41 taxons ont été identifiés à ce niveau taxonomique.

Les taxons dominants dans le RCC de Belley pour les deux premières campagnes sont dans un ordre décroissant, les ***Gammarus sp.***, ***Orthocladinae spp.***, ***Gammarus fossarum***,

Baetis spp., *Serratella ignita*, *Esolus* sp., *Dugesia tigrina*, *Baetis fuscatus*, *Tanypodinae* spp. et *Potamanthus luteus*. (cf. Annexe VI). A noter que tous ces taxons présentent une affinité pouvant être forte pour des habitats à substrat grossier recouvert d'algues filamenteuses et/ou avec accumulation de matière organique (Tachet *et al.*, 2000).

Parmi les groupes les mieux représentés, les Crustacés sont rencontrés au cours des 3 campagnes d'échantillonnage. Les Coléoptères, Trichoptères et les Hétéroptères sont essentiellement rencontrés au cours des campagnes de printemps et d'été. La campagne de printemps se démarque par une richesse en taxons de Mollusque plus importante que les autres campagnes. La plupart des Ephéméroptères sont récoltées au printemps et en été à l'exception de *Rhithrogena semicolorata* rencontrée uniquement en hiver. A noter la présence de nombreux individus des *Serratella ignita* très majoritairement récoltés au cours de la campagne de printemps. Parmi les taxons de Plécoptères, les Leuctridae se rencontrent essentiellement au printemps, mais les Perlodidae et les Taeniopterygidae ont été échantillonnés uniquement en hiver (cf. Annexe VI).

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.

Tableau 7 Nombre d'individus et classement des 20 taxons les plus abondants des deux campagnes printemps et été et pour les deux campagnes réunies.

Rang	Taxons	printemps	Taxons	été	Taxons
1	<i>Gammarus</i> spp.	18057	<i>Gammarus</i> spp.	20561	<i>Gammarus</i> spp.
2	Orthoclaadiinae spp.	16450	Orthoclaadiinae spp.	10029	Orthoclaadiinae spp.
3	<i>Gammarus fossarum</i>	2266	<i>Gammarus fossarum</i>	3520	<i>Gammarus fossarum</i>
4	<i>Serratella ignita</i>	2226	<i>Baetis</i> spp.	1865	<i>Baetis</i> spp.
5	Tanypodinae spp.	1132	<i>Dugesia tigrina</i>	1038	<i>Serratella ignita</i>
6	<i>Esolus</i> sp.	1071	<i>Baetis fuscatus</i>	844	<i>Esolus</i> sp.
7	<i>Potamanthus luteus</i>	779	<i>Psychomyia pusilla</i>	767	<i>Dugesia tigrina</i>
8	Tanytarsini spp.	555	<i>Esolus</i> sp.	531	<i>Baetis fuscatus</i>
9	Simuliidae spp.	517	Simuliidae spp.	520	Tanypodinae spp.
10	<i>Baetis</i> spp.	468	<i>Hydroptila</i> spp.	346	<i>Potamanthus luteus</i>
11	<i>Hydropsyche</i> spp.	361	<i>Ancylus fluviatilis</i>	271	Simuliidae spp.
12	<i>Baetis fuscatus</i>	328	<i>Potamanthus luteus</i>	265	<i>Psychomyia pusilla</i>
13	<i>Rhyacophila s. stricto</i> sp.	250	<i>Hydropsyche</i> spp.	141	Tanytarsini spp.
14	<i>Leuctra</i> spp.	214	<i>Baetis lutheri</i>	107	<i>Hydropsyche</i> spp.
15	<i>Heptagenia sulphurea</i>	176	<i>Dendrocoelum lacteum</i>	90	<i>Hydroptila</i> spp.
16	<i>Asellus aquaticus</i>	162	Tanytarsini spp.	82	<i>Ancylus fluviatilis</i>
17	<i>Dugesia tigrina</i>	155	<i>Gammarus pulex</i>	68	<i>Rhyacophila s. stricto</i> :
18	<i>Glossosoma</i> sp.	90	<i>Dugesia polychroa-lugubris</i>	61	<i>Heptagenia sulphurea</i>
19	<i>Esolus</i> sp. adultes	83	<i>Heptagenia sulphurea</i>	61	<i>Leuctra</i> spp.
20	<i>Dreissena polymorpha</i>	82	<i>Hydropsyche exocellata</i>	51	<i>Asellus aquaticus</i>

Plus de 65% des individus rencontrés au cours des deux campagnes d'échantillonnage printemps et été sont de petits individus, c'est à dire retrouvés dans les classes de taille correspondant aux tamis de 200, 400 et 630 µm (cf. Tableau 8).

Si on considère l'ensemble des taxons pour ces deux campagnes séparément, 74% des individus se retrouvent dans les classes de taille correspondant à ces tamis pour la campagne de printemps contre 56% pour la campagne d'été (cf. Tableau 8).

Tableau 8 : Nombre et % d'individus total (pour les 2 premières campagnes) et pour chacune de ces 2 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.

Total pour les 2 campagnes de printemps et d'été						
stade	Tamis					Total
	200	400	630	1000	2000	
A	0	4	89	1	2	96
L	6289	15214	12507	4777	2490	41277
N	0	20	277	176	152	625
I	79	5441	18250	12338	10591	46699
Total	6368	20679	31123	17292	13235	88697
%	7.18	23.31	35.09	19.50	14.92	

Campagne de printemps						
stade	Tamis					Total
	200	400	630	1000	2000	
A	0	4	86	1	1	92
L	5099	9886	6780	1898	1649	25312
N	0	20	192	90	128	430
I	79	2985	9577	4975	3388	21004
Total	5178	12895	16635	6964	5166	46838
%	11.06	27.53	35.52	14.87	11.03	

Campagne d'été						
Stade	Tamis					Total
	200	400	630	1000	2000	
A	0	0	3	0	1	4
L	1190	5328	5727	2879	841	15965
N	0	0	85	86	24	195
I	0	2456	8673	7363	7203	25695
Total	1190	7784	14488	10328	8069	41859
%	2.84	18.60	34.61	24.67	19.28	

4.3.2 Données hydrauliques à l'échelle locale

4.3.2.1 Force de cisaillement

Le gradient hydraulique échantillonné s'étend sur les hémisphères numéro 2 à 15 dans le tronçon du RCC de Belley (cf. *Figure 9*). Ce gradient correspond à des forces de cisaillement minimum de 0.0945 à 3.17 N m⁻² (Statzner *et al.*, 1991). A noter que dans le secteur de Chautagne le gradient hydraulique échantillonné était sensiblement le même (gamme d'hémisphères de 3 à 15, cf. Rapport de Chautagne, Mai 2004).

- Peuplement d'invertébrés du chenal -

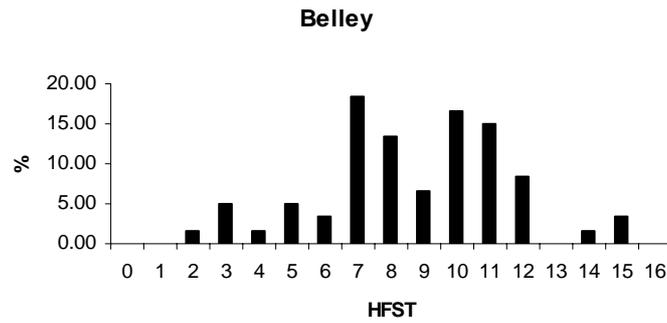


Figure 9 : Pourcentages des différents hémisphères échantillonnés dans le RCC de Belley.

Cette gamme de contraintes au fond est celle prise en compte pour les 2 premières campagnes printemps et été. En hiver, les contraintes échantillonnées au hasard se situent dans une gamme d'hémisphères numéro 6 à 12 correspondant à des forces de cisaillement de 0.218 à 1.09 (cf. Figure 10)

- Peuplement d'invertébrés du chenal -

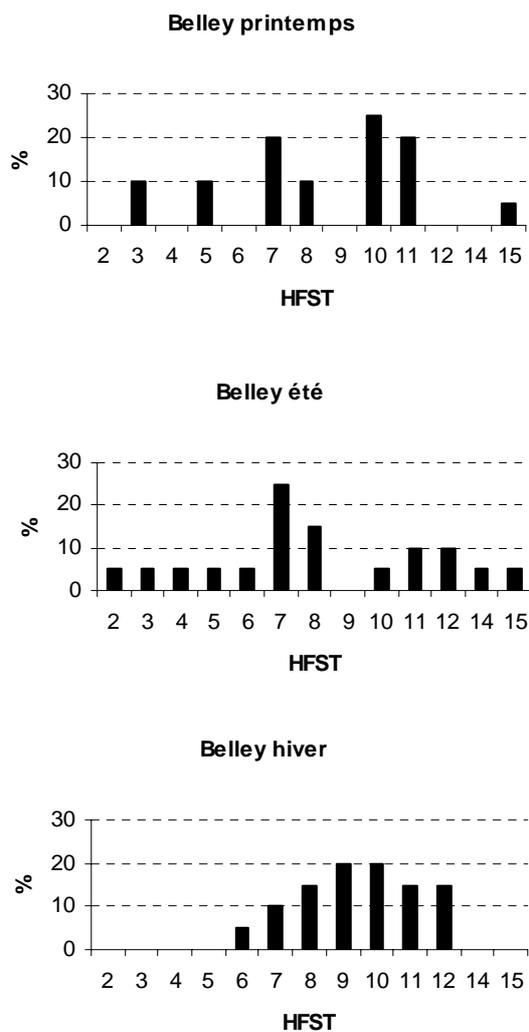


Figure 10: Pourcentages des différents hémisphères échantillonnés à chacune des 3 campagnes de prélèvement dans le RCC de Belley.

4.3.2.2 Vitesse du courant

La gamme de vitesses de courant moyennes dans nos échantillons couvre l'intervalle de 0.04 à 1.6 m.s^{-1} (cf. Figure 11). Cet intervalle était de 0.04 à 2.05 m.s^{-1} pour le secteur de Chautagne.

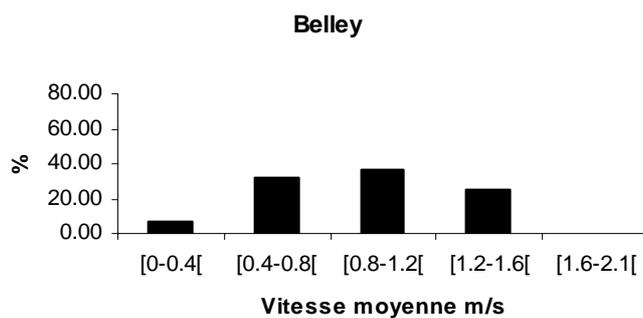


Figure 11 : Pourcentages des 5 classes de vitesses de courant moyennes rencontrées dans le RCC de Belley (n=60).

4.3.2.3 Taille du substrat

Le substrat des 60 échantillons de Belley montre une dominance des graviers grossiers, très grossiers et des petits galets qui représentent à eux seuls près de 75% du total du poids en substrat (cf. Figure 12).

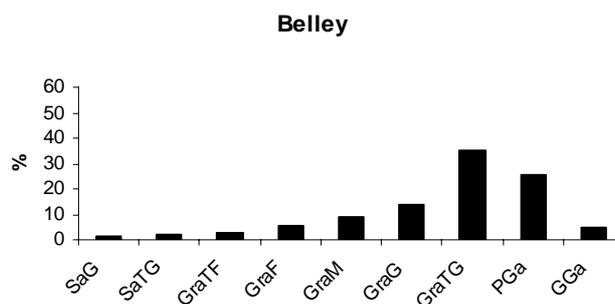


Figure 12 : Pourcentages des différentes catégories de substrat représentées dans les échantillons (n=60) avec SaG : sables grossiers, SaTG : sables très grossiers, GraTF : graviers très fins, GraF : graviers fins, GraM : graviers moyens, GraG : graviers grossiers, GraTG : graviers très grossiers, PGa : 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 (cf. Figure 13) et montre sensiblement les mêmes caractéristiques que les échantillons du secteur de Chautagne.

- Peuplement d'invertébrés du chenal -

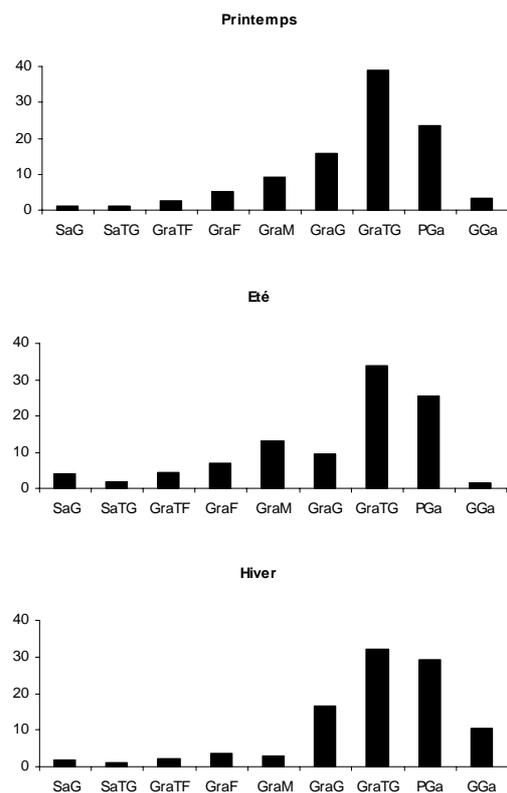


Figure 13: Pourcentages des différentes catégories de substrat représentées dans les échantillons des 3 campagnes d'échantillonnage (n=20) avec SaG : sables grossiers, SaTG : sables très grossiers, GraTF : graviers très fins, GraF : graviers fins, GraM : graviers moyens, GraG : graviers grossiers, GraTG : graviers très grossiers, Pga : petits galets, Gga : gros galets.

4.3.2.4 Profondeur

De même que pour les échantillons du secteur de Chautagne, la profondeur au niveau des microhabitats échantillonnés à Belley n'excède pas 60 cm et la plupart des échantillons se situent dans des profondeurs de 20 à 50 cm (*Figure 14*).

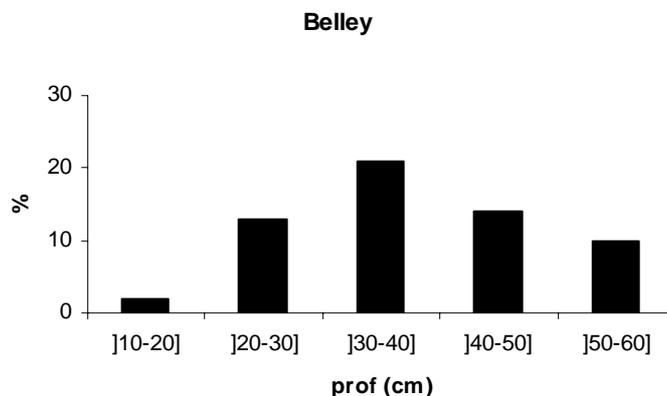


Figure 14 : Pourcentages des différentes catégories de profondeurs représentées dans les 60 échantillons.

→ Ces résultats montrent une très grande similarité des paramètres hydrauliques des échantillons du secteur de Belley avec ceux du secteur de Chautagne.

4.3.3 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. *Tableau 9*).

Tableau 9 Largeurs et profondeurs moyennes pour deux débits dans le tronçon du RCC de Belley étudié.

Débit (m ³ s ⁻¹)	Largeur (m)	Profondeur (cm)
73	59.5	149.4
20	56.7	136.5

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 m³.s⁻¹. Sa validation pour les grands cours d'eau fera l'objet d'une partie du travail du suivi du niveau 2.

4.3.4 Couplage des données faunistiques et hydrauliques

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, Mérigoux & Dolédec, 2004). De plus, cette variable est la variable considérée dans le modèle d'habitat statistique FSTress (cf.4.3.1). Nous avons donc étudié les relations entre l'abondance des taxons dans le RCC de Belley et les forces de cisaillement (exprimées ici par le numéro d'hémisphère HFST). **Les résultats montrent des préférences de contraintes hydrauliques nettes pour certaines espèces** (cf *Annexe VIII*). Au printemps, les espèces du genre *Baetis*, les Coléoptères Elmidae ainsi que les taxons *Hydropsyche* spp., *Hydropsyche exocellata*, *Rhyacophila s. stricto* sp., Simuliidae spp. et Tanypodinae spp. sont par exemple, essentiellement retrouvés dans des contraintes fortes (*Figure 15* pour 4 exemples et *Annexe VIII* pour les autres taxons). Ces taxons sont en effet connus pour être typiquement **rhéophiles**.

- Peuplement d'invertébrés du chenal -

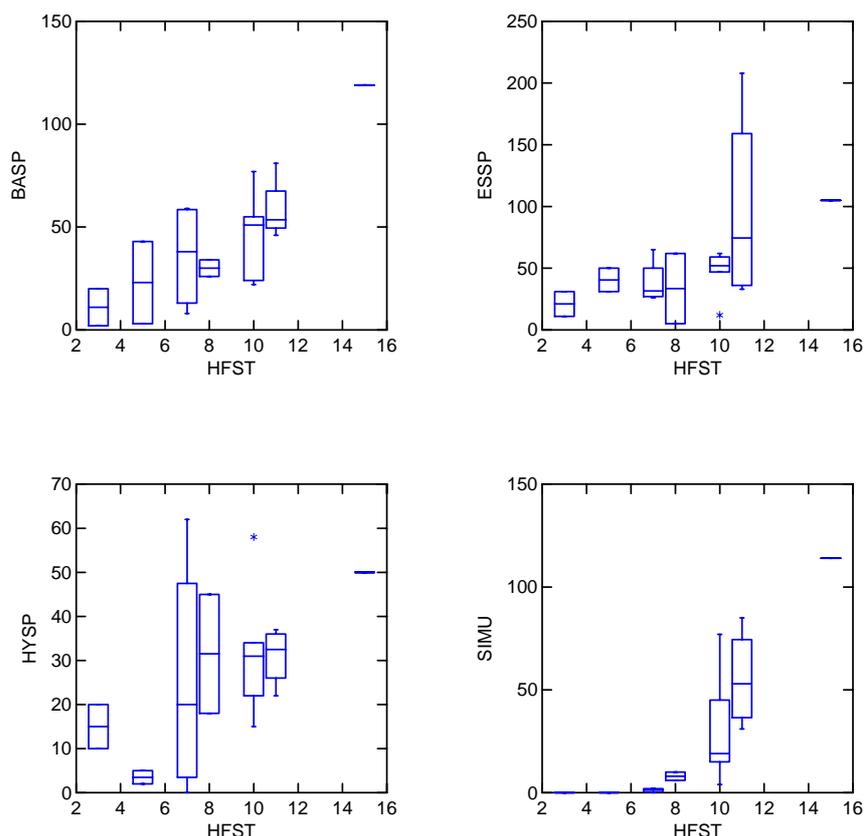


Figure 15 : Représentations graphiques (Box plots) du nombre d'individus en fonction des forces de cisaillement échantillonnées (exprimées par les numéros d'hémisphères, HFST, en abscisse de chaque graphe). Exemples pour 4 taxons inféodés à des contraintes fortes : *Baetis* sp., *Esolus* sp., *Hydropsyche* sp., et *Simuliidae* spp. pour la campagne de printemps. A noter que certains numéros d'HFST n'ont pas été échantillonnés (HFST, 0, 1, 2, 4, 6, 9, 12, 13 & 14) et que d'autres ont été échantillonnés plusieurs fois. Cf. *Annexe VII* pour les détails de cette représentation graphique.

Certaines espèces sont au contraire retrouvées préférentiellement dans des contraintes faibles (exemples au printemps des espèces de Gammares, *Serratella ignita*, *Caenis* spp. et Chironominae spp., cf. *Annexe VIII* et en hiver, *Potamanthus luteus*, cf. *Annexe X*). Ces taxons sont reconnus pour être inféodés préférentiellement à des habitats où les vitesses de courant sont faibles (moins de 25 cm.s^{-1}) mais ils peuvent aussi se retrouver dans des vitesses de courant moyennes (*Figure 16* pour deux exemples).

- Peuplement d'invertébrés du chenal -

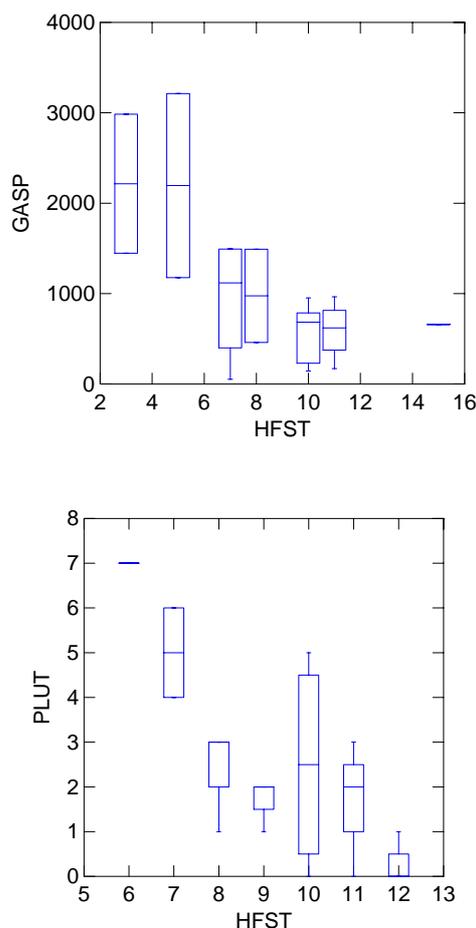


Figure 16 : Représentations graphiques (Box plots) du nombre d'individus en fonction des forces de cisaillement échantillonnées (exprimées par les numéros d'hémisphères, HFST, en abscisse de chaque graphe). Exemples pour 2 taxons inféodés à des contraintes faibles : *Gammarus* spp. pour la campagne de printemps et *Potamanthus luteus* pour la campagne d'hiver. Cf. *Annexe VII* pour les détails de cette représentation graphique.

Parmi les espèces présentes aux deux saisons printemps et été, les préférences hydrauliques suivent soit les mêmes tendances (e.g. *Baetis fuscatus*, *Baetis* sp., *Esolus* sp., Simuliidae spp., *Rhyacophila s. stricto* sp.) soit présentent des préférences contradictoires (*Elmis* sp., *Hydropsyche exocellata*, *Hydropsyche* sp., Orthocladiinae spp., *Leuctra* sp., *Limnius* sp., Tanypodinae spp., cf. *Annexes VIII et IX*).

→ Nos résultats montrent donc que la plupart des taxons rencontrés dans le secteur de Belley présentent des préférences marquées pour les contraintes hydrauliques au fond. On remarque deux groupes de taxons 1) des taxons inféodés à des contraintes faibles (nombre d'individus plus important dans des HFST < 7) et 2) des taxons qu'on retrouve essentiellement dans des contraintes fortes (nombre d'individus plus important dans des HFST ≥ 7).

→ Nos résultats soulignent aussi des variations saisonnières de ces préférences hydrauliques. Ces variations pourraient s'expliquer par des différences d'habitat hydraulique disponible en fonction des débits mais peuvent aussi 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). En effet, si on considère l'exemple de *Potamanthus luteus*, au cours de la campagne de printemps les préférences hydrauliques de cette espèce ne sont pas aussi marquées qu'en hiver (cf *Annexes VIII et X*). Par contre, si on observe les tendances pour chaque classe de taille, les tendances apparaissent bien plus nettement. On remarque alors que les individus les plus grands (Tamis 2000 et 1000 μm) sont inféodés à des habitats à contraintes hydrauliques faibles tandis que les petits individus (tamis 630 et 400 μm) présentent les tendances inverses (cf. *Figure 17*).

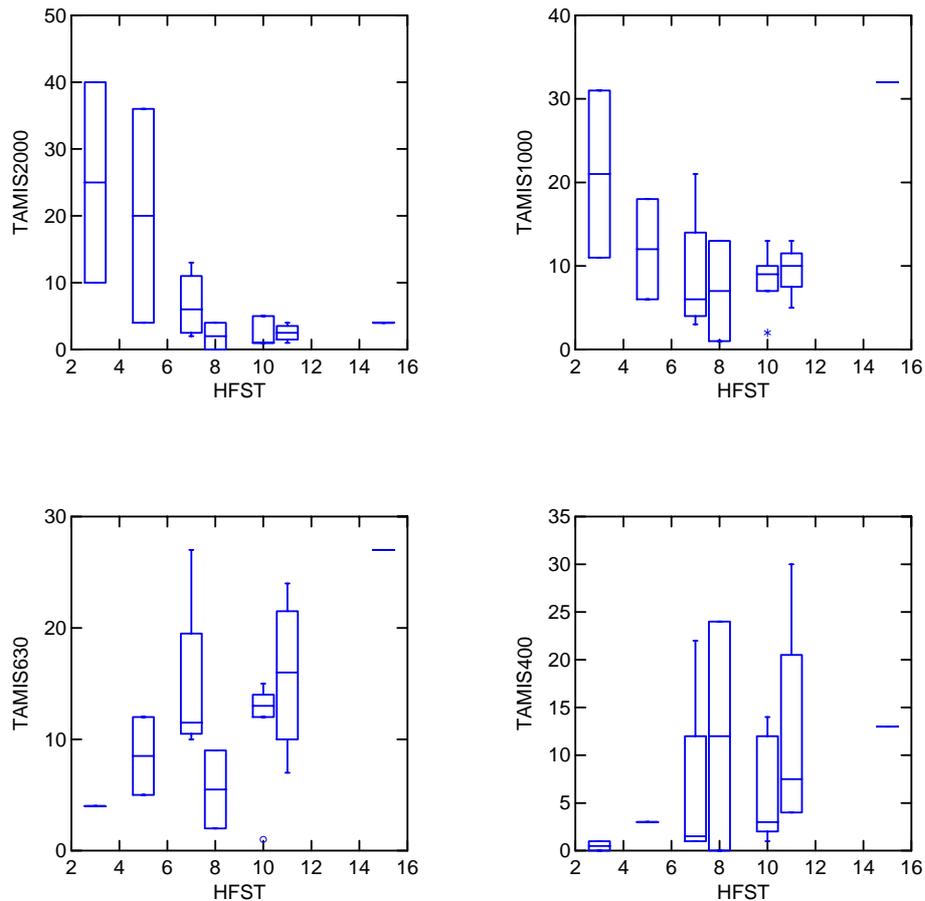


Figure 17 : Représentations graphiques (Box plots) du nombre d'individus de *Potamanthus luteus* au cours de la campagne de printemps en fonction des forces de cisaillement échantillonnées (exprimées par les numéros d'hémisphères, HFST, en abscisse de chaque graphe) pour chaque classe de taille exprimée par la maille des tamis (2000, 1000, 630 et 400 μm). Cf. *Annexe VII* pour les détails de cette représentation graphique.

→ Ces changements de préférence hydraulique au cours de la croissance peuvent donc expliquer les variations saisonnières pour un même taxon et pourraient aussi expliquer les résultats peu clairs ou contradictoire avec les données de la littérature obtenus pour certains taxons (e.g. *Ancylus fluviatilis* et *Serratella ignita* au printemps).

4.4 Discussion sur l'état de référence actuel

Notre échantillonnage a permis d'échantillonner **91 taxons** qui peuvent être comparés aux **120 taxons** récoltés dans le secteur de Chautagne suivant le même protocole (rapport de Chautagne, Mai 2003).

Les Crustacés du genre *Gammarus* dominent fortement le peuplement des campagnes de printemps et d'été avec environ 50% des effectifs totaux. Parmi les Insectes, **34%** du nombre total d'individus du peuplement **sont des Diptères** (essentiellement des Orthocladiinae), **8% des Ephéméroptères** (notamment des Baetidae et Ephemerellidae), **3% des Trichoptères** (Hydropsychidae et Psychomyiidae) 2% des Coléoptères (Elmidae) et 0.25% des Plécoptères (Leuctridae) auxquels on peut adjoindre les Planaires de la famille des Dugesidae (1.6%) et les Mollusques (Ancyliidae) avec 0.5%.

Les taxons dominants dans le RCC de Belley pour les deux campagnes printemps et été sont dans un ordre décroissant, les ***Gammarus sp.*** (44.8%), **Orthocladiinae spp.** (30.7%), ***Gammarus fossarum*** (6.7%), ***Baetis sp.*** (2.7%), ***Serratella ignita*** (2.6%) et ***Esolus sp.*** (1.9%).

Comme dans le secteur de Chautagne, les taxons dominants présentent une forte **affinité pour des habitats à substrat grossier recouvert d'algues filamenteuses**, ces types d'habitat étant largement rencontrés dans les deux secteurs. Les taxons dominants de Belley peuvent présenter (e.g. *Gammarus sp.*) en outre, une forte affinité pour des habitats **avec accumulation de matière organique**.

Les taxons dominants diffèrent fortement dans les deux secteurs de Chautagne et Belley. Les espèces du genre *Gammarus* étaient largement moins bien représentées dans le secteur de Chautagne. Il en est de même pour les *Serratella ignita* et *Esolus sp.* Par contre, dans le secteur de Chautagne, les taxons rhéophiles tels que *Hydropsyche sp.*, *Baetis sp.*, Tanytarsini spp., Simuliidae spp. et *Heptagenia sulphurea*, mais aussi les deux espèces plutôt limnophiles *Psychomyia pusilla* et *Potamanthus luteus* étaient mieux représentées.

La dominance des espèces du genre *Gammarus* peut s'expliquer notamment par le **caractère ubiquiste de ces espèces vis à vis des préférences d'habitat physique mais aussi vis à vis de leur mode d'alimentation.** Ces espèces sont peu exigeantes vis à vis des vitesses de courant et colonisent aussi bien des habitats à granulométrie grossière, des macrophytes, des algues filamenteuses mais aussi des racines ou de la litière. De même, ces broyeurs peuvent aussi bien se nourrir de débris, de plantes ou d'invertébrés vivants. Une fois les populations de gammars en place, **des phénomènes de compétition interspécifique limiteraient l'implantation forte d'autres taxons.** Ceci pourrait donc expliquer **une richesse spécifique plus faible dans le secteur de Belley par rapport au secteur de Chautagne.**

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 *Serratella ignita* au printemps, de *Baetis sp.* ou de *Psychomyia pusilla* en été. De même, on remarque la bonne implantation de l'espèce nord-américaine thermophile *Dugesia tigrina* très bien représentée en été. De plus, certaines espèces telles que *Rhithrogena semicolorata*, espèce très rhéophile, est uniquement rencontrée en hiver.

Le peuplement rencontré à Belley mis à part les taxons très ubiquistes tels que *Gammarus sp.* ou Orthocladiinae spp., est typique d'un épipotamon. D'un point de vue spécifique, l'Ephéméroptère, *Potamanthus luteus* ou de *Serratella ignita* par exemple deux espèces potamiques par excellence prédominent. De même, les Ephéméroptères *Baetis*

fuscatus et *Baetis lutheri* sont fréquemment trouvées en association en épipotamon de bonne qualité biologique (ex. Ardèche).

La plupart des taxons dominants sont **oligotrophes** (e.g. *Gammarus* sp., *Leuctra* sp. et *Glossosoma* sp.) ou **oligo-mésotrophes** (e.g. Orthocladiinae spp., *Esolus* sp., *Asellus aquaticus* et *Psychomyia pusilla*) témoignant d'une **eutrophisation modérée du secteur**.

Parmi les autres taxons moins abondants, on peut souligner dans le groupe des Mollusques, l'espèce *Ancylus fluviatilis* qui prédomine aux côtés de *Dreissena polymorpha*. La première espèce se développe dans les zones de courant et nécessite un substrat stable recouvert de périphyton³. 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.

En terme d'exigence vis à vis des vitesses du courant du milieu, on note deux groupes parmi les taxons dominants **1) un groupe plutôt inféodés à des courants lents à moyens (*Gammarus* sp., *Serratella ignita*, *Potamanthus luteus*, *Esolus* sp. *Psychomyia pusilla*)** et **2) un groupe de taxons inféodés à des courants moyens à forts (*Baetis* sp., *Hydropsyche* sp., *Rhyacophila s. stricto* sp., et les Diptères Orthocladiinae et Simuliidae**.

De plus, 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, deux groupes de taxons :

→ **des taxons inféodés à des contraintes faibles** (les espèces du genre *Gammarus*),

→ **et des taxons qu'on retrouve essentiellement dans des contraintes fortes** (*Baetis fuscatus*, *Baetis* sp., *Elmis* sp., *Hydropsyche* sp., *Leuctra* sp., Orthocladiinae spp., Simuliidae spp. et *Rhyacophila s. stricto* sp.).

Nos résultats soulignent aussi **des variations saisonnières des préférences hydrauliques pour certains taxons (*Potamanthus luteus*) et des résultats peu clairs ou contradictoires avec les données de la littérature** (par exemple *Ancylus fluviatilis* et *Serratella ignita*). 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 hydraulique disponible 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*) très fortement dominée par les espèces ubiquistes du genre *Gammarus***. 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 et/ou avec accumulation de matière organique**. Les taxons ont majoritairement des préférences pour des vitesses faibles (moins

³ Algues fixées sur le substrat

de 25 cm.s⁻¹) à modérées (moins de 50 cm.s⁻¹). Quelques taxons sont fortement rhéophiles (plus de 50 cm.s⁻¹). De plus, la **plupart des taxons échantillonnés présentent des préférences marquées pour des contraintes hydrauliques particulières exercées au fond du cours d'eau.**

Enfin, on note des **différences au niveau de la composition du peuplement** des invertébrés de ce secteur par rapport à celui de Chautagne avec notamment **une richesse taxonomique plus faible à Belley** mais les taxons des peuplements de ces deux secteurs présentent globalement **des exigences écologiques très semblables.**

4.5 Bilan et Perspectives

Les trois campagnes d'échantillonnage réalisées en 2002 et 2003 dans un tronçon représentatif du RCC de Belley ont permis d'établir un état de référence avant restauration à partir de jeux de données faunistiques et hydrauliques solides. Nos résultats, en complément de ceux obtenus dans le secteur de Chautagne, **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, *cf.* Rapport de Chautagne Mai 2004). **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. 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 RCC 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.* 4.3.3) 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.

5 PEUPLEMENT D'INVERTÉBRÉS DES LÔNES

5.1 Contexte

Dans le cadre du suivi scientifique du programme décennal de restauration du Rhône, les macroinvertébrés aquatiques des annexes fluviales (lônes) sont pris en compte pour suivre les conséquences des travaux de restauration en termes de biodiversité (richesse et composition taxonomiques des communautés, diversité des caractéristiques biologiques, ou traits).

Les macroinvertébrés accomplissent des fonctions primordiales (et qui leur sont propres) dans la fragmentation et la décomposition de la matière organique. Par des modifications hydrauliques, ou portant sur la ripisylve, les travaux de restauration projetés sur le Rhône entraînent potentiellement des modifications quantitatives et/ou qualitatives de cette ressource. Les peuplements de macroinvertébrés reflètent en outre la productivité des milieux. Celle-ci prend particulièrement du sens lorsqu'elle est reliée au compartiment poissons, maillon suivant de la chaîne trophique.

Plusieurs groupes parmi les invertébrés aquatiques possèdent des représentants permettant de porter un diagnostic sur la gamme complète d'habitats en contexte alluvial : des habitats lotiques (chenal principal) aux semi-aquatiques. Ils fournissent donc une « vision de site » et permettent entre autre de diagnostiquer les conséquences biotiques de l'évolution des communications entre les lônes et le chenal principal.

L'objectif de ce premier rapport est de présenter l'état avant travaux des communautés d'invertébrés benthiques de cinq lônes du secteur de Belley. Cet état "de référence" devra permettre d'évaluer et de qualifier les changements provoqués par les actions de restauration du fleuve et de ses annexes. L'état initial de ces systèmes sera décrit d'une part à l'aide de métriques basées sur la richesse taxonomique et le statut des communautés, d'autre part à partir de métriques basées sur certaines caractéristiques fonctionnelles des taxons. Ce second groupe de métriques est basé sur les travaux de Merritt & Cummins (1996) et Merritt *et al.* (1999, 2002). Il est rendu possible par la publication de bases de données contenant le codage d'informations écologiques et biologiques relatives aux invertébrés aquatiques (entre autres : Moog, 1995; Colling, 1996; Tachet *et al.*, 2000; De Crespin De Billy & Usseglio-Polatera, 2002).

5.2 Stratégie d'échantillonnage.

5.2.1 Localisation des sites.

Cinq lônes ont été retenues dans cette étude correspondant au premier niveau du programme de suivi: la lône de Chantemerle (CHA), la lône Fournier (FOU), la lône des Luisettes (LUI), la lône Moiroud (MOI) et la lône de l'Ile Béard (BEA) (*Tableau 10*). Deux sites d'échantillonnage ont été sélectionnés à l'intérieur de chaque lône. Ces sites sont des zones géomorphologiquement homogènes et présentant généralement une unité du point de

vue de la végétation aquatique. Ils ont été choisis pour représenter les deux "pôles" classiquement caractéristiques de ces anciens chenaux de type parapotamique : un site amont (abrégé –AM) représentant les secteurs les moins profonds (voire temporaires), déconnectés du Rhône en débit moyen, un site aval (abrégé –AV), représentant les secteurs les plus profonds et généralement connectés au Rhône.

A l'intérieur de chaque site, un tronçon de 30 mètres (selon l'axe amont-aval de la lône) a été choisi pour la réalisation des protocoles de description de l'habitat et d'échantillonnage de la macrofaune aquatique.

Tableau 10 Caractéristiques hydrologiques des cinq lônes (données CNR) et dates de leur échantillonnage faunistique

lône	Fréquence de passage des crues	Ecoulement	Débit de déversement	Echantillonnage faunistique, printemps	Echantillonnage faunistique, été
BEA	faible	stagnant	?	01.04.2004	22.07.2003
CHA	élevée	courant	connexion permanente	29.03.2004	20.07.2004
FOU	élevée	stagnant	300 m ³ /s	01.04.2004	22.07.2003
LUI	moyenne	très lent	110 m ³ /s	01.04.2004	22.07.2003
MOI	moyenne	stagnant	600 m ³ /s	01.04.2004	22.07.2003

5.2.2 Description de l'habitat

A l'intérieur de chaque tronçon de 30 m, 4 points de prélèvement sont tirés au hasard à l'aide d'une table permettant le tirage d'une coordonnée longitudinale parallèlement au chenal (position au mètre sur 30m) et d'une coordonnée transversale perpendiculairement au chenal (parmi 5 possibilités : rive droite, moitié droite, centre, moitié gauche, rive gauche). En chacun des 4 points une description de la structure de l'habitat (profondeur, courant, sédiment, végétation aquatique, ombrage) est effectuée selon un protocole standard à l'intérieur d'un quadrat de 50 x 50cm. Ces données de description d'habitat sont destinées à la phase de modélisation prévue dans le second niveau du programme de suivi scientifique.

5.2.3 Echantillonnage de la macrofaune

A l'intérieur de chacun des 4 points tirés au hasard (quadrat 50 x 50 cm), la macrofaune aquatique est échantillonnée de la façon la plus exhaustive possible à l'épuisette (ouverture 15 x 12cm) à l'intérieur du quadrat. Le vide de maille est 0.5 mm. La limite de profondeur est d'environ 190 cm (manche de l'épuisette). Les échantillons sont effectués à pied ou en bateau gonflable léger selon l'accessibilité et la profondeur d'eau. Le matériel est fixé à l'alcool. Au laboratoire la fraction grossière des prélèvements est triée à vue sur une cuvette blanche, avec l'aide éventuelle d'une loupe de couturière. La fraction fine est triée sous une loupe binoculaire.

Les invertébrés sont déterminés au niveau le plus fin permis par l'ouvrage de Tachet *et al.* (2000), à l'exception des macrocrustacés, gastéropodes et insectes (autres que diptères et hétéroptères) dont la détermination est poussée à l'espèce dans la mesure du possible.

Seuls 3 des 4 échantillons prélevés par site sont exploités dans la présente analyse (niveau 1 du suivi scientifique). L'exploitation du 4ème échantillon de chaque site est prévue dans le cadre du suivi de niveau 2.

L'échantillonnage (habitat et faune) a été répété à deux saisons: au début du Printemps (Mars-Avril) et en été (Juillet). Le calendrier des prélèvements est donné par le *Tableau 10*. Il est à noter que le site BEA-aval a été profondément remanié entre les deux dates de prélèvement, par la crue survenue à la mi-janvier 2004 (dépassement des 2000 m³/s en Chautagne le 14 Janvier 2004).

5.2.4 Calcul des métriques

Douze métriques ont été retenues pour décrire l'état actuel des communautés de macroinvertébrés aquatiques dans les lônes concernées et servir de référence pour le suivi de leurs changements potentiels.

5.2.4.1 Métriques basées sur les richesses taxonomiques et le statut des espèces.

Trois valeurs de richesse taxonomique ont été calculées :

1. la richesse taxonomique totale. Elle est obtenue sur les données brutes déterminées tel qu'indiqué plus haut et donc sur des niveaux taxonomiques hétérogènes
2. la richesse EPTCM. C'est le nombre de taxons (calculé au niveau du genre ou de l'espèce) appartenant aux Ephéméroptères, Plécoptères, Trichoptères, Coléoptères et Mégaloptères pour lesquels un niveau de détermination plus homogène est obtenu. C'est un indicateur de diversité biologique classiquement utilisé dans l'évaluation des systèmes aquatiques.
3. la richesse en mollusques gastéropodes. C'est le nombre d'espèces appartenant à ce groupe. Il diminue avec la permanence et l'intensité du courant s'exerçant dans les milieux.

Du fait de l'hétérogénéité des nombres d'invertébrés récoltés dans chaque prélèvement et du lien entre l'abondance et la richesse taxonomique, des estimations de richesse taxonomique mesurée sur des échantillons égaux du point de vue de l'abondance ont été calculées par la technique dite "de raréfaction" (Heck *et al.*, 1975 ; Krebs, 1999). Cette technique simule le tirage aléatoire d'un nombre fixé d'individus à l'intérieur de chaque échantillon à comparer. Le nombre d'individus est déterminé à partir de l'effectif du moins abondant des échantillons comparés. Le tirage est répété 1000 fois et fournit une médiane et un intervalle de confiance pour la richesse estimée, dite "raréfiée". Les calculs ont été faits avec le logiciel EcoSim (Gotelli & Entsminger, 2001). Les richesses raréfiées ont une valeur comparative entre sites et non une valeur absolue. Elles sont fournies parallèlement aux valeurs de richesse brutes.

Deux métriques ont été consacrées à singulariser parmi les taxons échantillonnés, ceux possédant un statut de protection ou de menace (espèces "patrimoniales") et ceux pouvant être considérés comme exogènes au bassin du Rhône.

4. le pourcentage d'espèces à potentiel "patrimonial" a été calculé par rapport au nombre de taxons déterminés majoritairement à l'espèce ou au genre (macrocrustacés, mollusques, insectes non diptères). Parmi les groupes de macroinvertébrés considérés, seuls les Odonates et les mollusques bivalves

disposent d'une liste d'espèces protégées au niveau français et européen (<http://www.mnhn.fr/mnhn/bimm/protection/fr/main.htm>). Nous avons choisi d'utiliser les informations disponibles pour des territoires proches (la Suisse du Sud : Duelli, 1994 et le Baden-Württemberg : Jedicke, 1997) afin de mettre en évidence l'occurrence dans le secteur d'étude de taxons menacés dans ces pays limitrophes. Ont été considérées comme à potentiel "patrimonial" des espèces rentrant dans les catégories 1 (en danger d'extinction) ou 2 (très menacées) dans l'une ou l'autre des deux listes citées. En l'absence d'informations plus complètes pour la France, ces informations sont à considérer à titre indicatif.

5. le pourcentage d'individus appartenant à des espèces exogènes au bassin rhodanien a été calculé par rapport à l'abondance totale dans les relevés. Ces espèces considérées comme invasives récentes appartiennent pour l'instant exclusivement aux groupes des macrocrustacés (amphipodes, décapodes) et des mollusques, bivalves ou gastéropodes.

5.2.4.2 Métriques basées sur les caractéristiques biologiques et écologiques des taxons (traits).

A la suite des propositions de Merritt *et al.* (2002) pour adapter aux milieux aquatiques alluviaux des métriques développées pour les systèmes d'eau courante, six d'entre elles ont été employées ici :

6. le rapport des broyeurs par rapport aux collecteurs est utilisé pour traduire les formes de stockage de la matière organique (matière grossière/ matière fine).
7. le rapport des collecteurs filtreurs par rapport aux autres collecteurs exprime l'importance relative de la matière organique en suspension.
8. le rapport des prédateurs sur les autres groupes trophiques exprime l'intensité du contrôle des prédateurs sur les proies.
9. le rapport des taxons plurivoltins (pouvant accomplir plus d'un cycle de développement par an) sur les taxons accomplissant un cycle par an ou moins exprime la proportion d'espèces potentiellement pionnières à développement rapide.
10. le rapport des taxons se déplaçant à la surface du substrat sans mode de fixation spécifique ("sprawlers" ou taxons épibenthiques) sur les taxons ayant un autre type de relation au substrat exprime la disponibilité en proies pour les oiseaux et les poissons à alimentation benthique.
11. le rapport des taxons à dérive comportementale par rapport aux taxons à dérive accidentelle exprime la disponibilité en proies pour les poissons se nourrissant dans la colonne d'eau.

Ces six métriques sont calculées à partir des nombres d'individus totaux. Les informations relatives au calcul de ces métriques ont été essentiellement tirées de Tachet *et al.* (2000) (voltinisme), Colling (1996) (groupes trophiques), Merritt & Cummins (1996) (relation au substrat), De Crespin De Billy & Usseglio-Polatera (2002) (mode de dérive) et localement adaptées à l'aide d'autres sources pour certains taxons.

12. le pourcentage d'individus appartenant à des taxons à affinité potamique (fluviale) a été calculé à partir du codage proposé par Colling (1996) de l'affinité des taxons pour les milieux d'eau courante (crénon, rhithron,

potamon) ou stagnante. Ce pourcentage est calculé par rapport au nombre d'individus appartenant à des taxons déterminés majoritairement à l'espèce ou au genre (macrocrustacés, mollusques, insectes non diptères). Cette métrique est destinée à suivre après restauration l'évolution potentielle des communautés vers un caractère plus potamique.

Sauf en cas d'indication contraire, les calculs ont été effectués au niveau des sites ou des lônes (regroupement des deux sites amont et aval par lône) en amalgamant les résultats des deux saisons d'échantillonnage.

5.2.5 Analyse des données.

Des tests non-paramétriques (Wilcoxon, Kruskal-Wallis) ont été utilisés pour comparer des lots de valeurs entre sites, lônes ou dates. Des analyses factorielles des correspondances inter-classes (Dolédec & Chessel, 1987, 1989) ont été utilisées pour décrire les structures faunistiques majeures (similarités entre échantillons) et leurs relations avec le plan d'expérience (différences inter-lônes, inter-sites, inter-dates). La majorité des calculs et représentations graphiques ont été effectués avec les logiciels Splus 6.2 (Insightful Corp. 2002) et ADE-4 (Thioulouse *et al.*, 1997).

5.3 2. Résultats.

5.3.1 Abondance des macroinvertébrés.

Les valeurs médianes de densité d'invertébrés par lônes se situent entre 1000 et 2500 individus/m². CHA (2356 ind/m²) est significativement plus dense que BEA, FOU et LUI (Kruskal-Wallis $p < 0.05$). Dans deux cas (FOU et MOI), une hétérogénéité des densités entre les zones amont et aval est notable, les densités étant plus élevées à l'aval (Kruskal-Wallis $p < 0.05$). La densité médiane est maximale à MOI-aval (3'072 ind/m²). Les différences de densité entre les deux dates d'échantillonnage ne sont globalement pas significatives (Wilcoxon $Z=1.68$, $p=0.093$). La seule différence significative (Wilcoxon $Z=-2.48$, $p=0.007$) étant la chute de densité observée au printemps 2004 en BEA après la crue de janvier (densité médiane en été 2003 : 2002 ind/m², au printemps 2004 : 528 ind/m²).

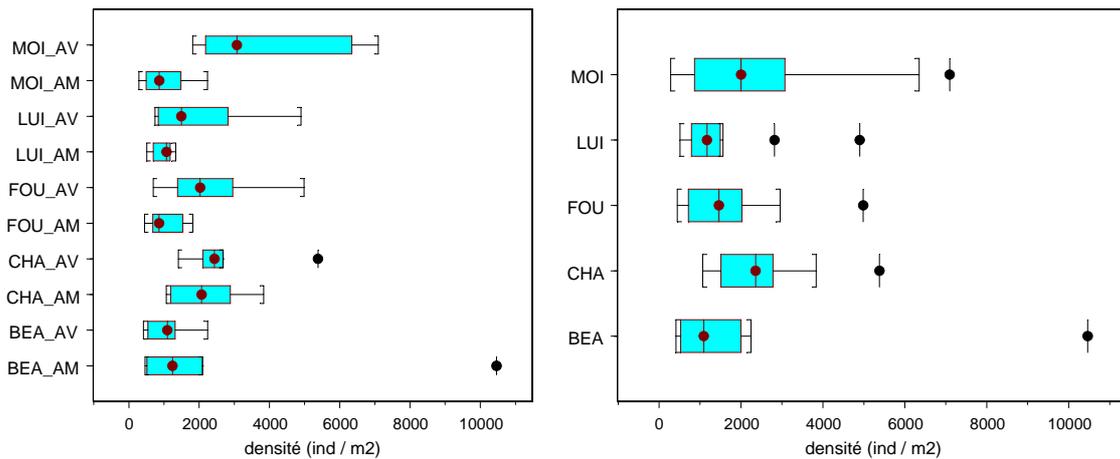


Figure 18 Densités de macroinvertébrés (nombres d'individus par m²) par site (à gauche) et par lône (à droite). Les boîtes horizontales représentent l'intervalle inter-quartile (Q25-Q75) autour de la médiane des valeurs individuelles par quadrat. Les moustaches supérieures et inférieures indiquent les valeurs Q75+1.5 (Q75+Q25) et Q25-1.5 (Q75-Q25) au delà desquelles se situent les valeurs marginales.

5.3.2 Diversité des peuplements à l'échelle des sites et des lônes.

L'analyse de la similarité des 60 échantillons de macrofaune (5 lônes x 2 sites x 2 dates x 3 quadrats) par des analyses factorielles des correspondances inter-classes montre une structuration significative des données par rapport au plan d'expérience (*Figure 19*) :

- 33 % de la variabilité faunistique est associée aux différences entre sites ($p=0$),
- 20 % de la variabilité faunistique est associée aux différences entre lônes ($p=0$),
- 7 % de la variabilité faunistique est associée aux différences entre dates ($p=0$).

La lône CHA, la plus connectée au Rhône, est fortement singularisée par ces analyses. Elle se trouve positionnée par sa composition faunistique à l'extrémité d'un gradient correspondant globalement au gradient de connexion au cours actif et d'influence par les crues. A l'opposé de CHA, BEA et MOI ont des compositions faunistiques très similaires et correspondent aux milieux les plus stagnants et les moins influencés par le cours actif. A l'intérieur de chaque lône, les différences entre sites amont et aval sont bien marquées et d'un ordre de grandeur comparable entre lônes.

Le *Tableau 11* où les sites et les taxons sont réordonnés en fonction de leurs coordonnées sur le premier axe factoriel de l'analyse inter-sites, fait apparaître les taxons responsables du gradient décrit ci-dessus. Le gradient d'influence décroissante du cours actif est traduit par des taxons à tendance rhéophile ou potamophile dont l'abondance diminue (*Potamopyrgus antipodarum*, *Hydropsyche contubernalis*, *Gammarus* sp, *Potamanthus luteus*) et par l'augmentation concomitante de taxons plus lénitophiles (*Cloeon dipterum*, Coenagrionidae). A l'extrémité potamique du gradient, CHA est caractérisée par des taxons rhéophiles ou potamophiles absents des quatre autres lônes (*Theodoxus fluviatilis*, *Ephemerella ignita*, *Sialis fuliginosa*, *Dreissena polymorpha*, *Heptagenia sulphurea*). A l'extrémité plus isolée, BEA-amont se distingue avec un cortège de coléoptères de milieu stagnant.

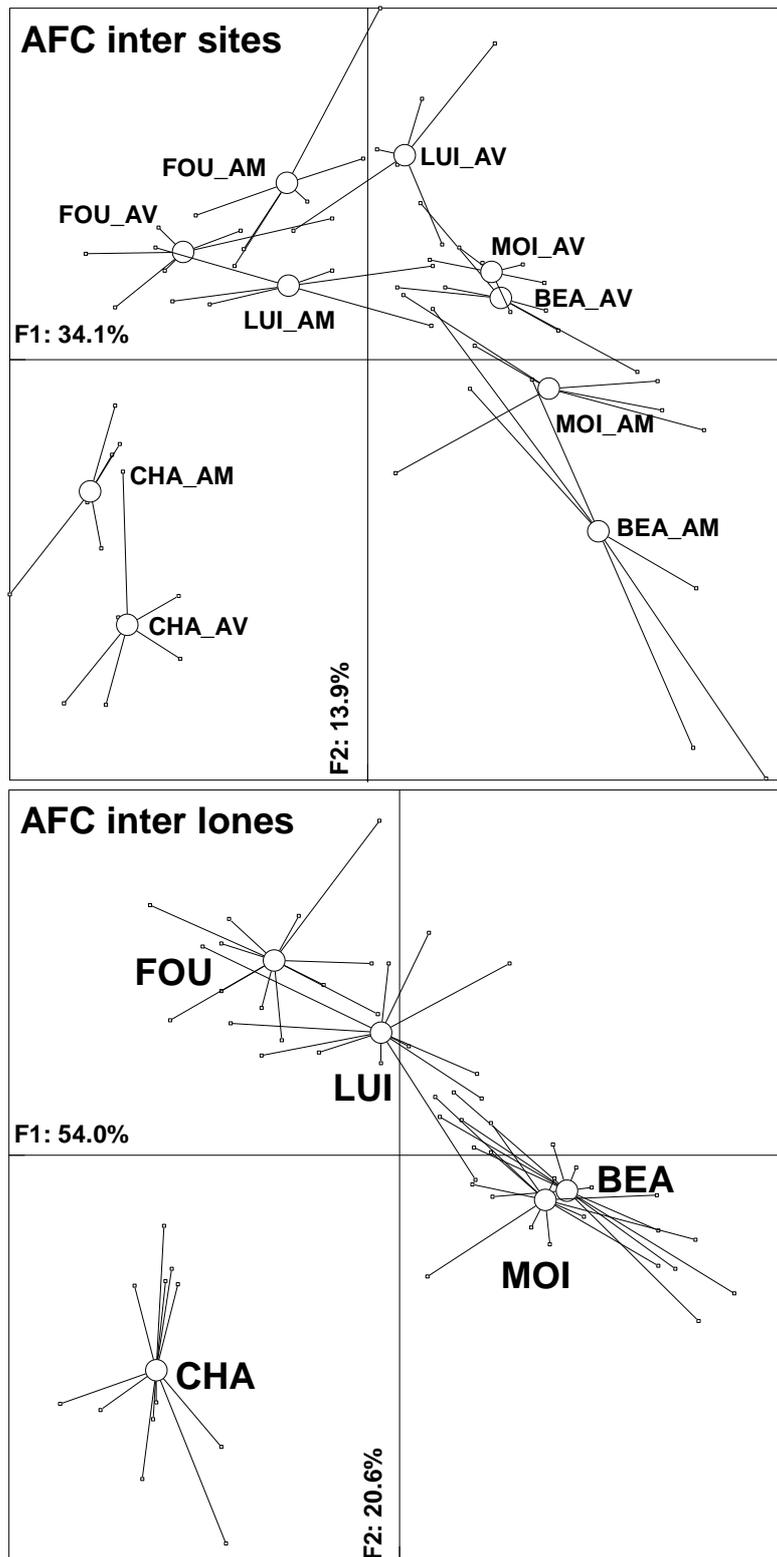


Figure 19 Ordination des échantillons de macrofaune de cinq lômes du secteur de Belley par des analyses factorielles des correspondances inter-sites et inter-lômes (94 taxons représentés par plus de 2 individus, 60 échantillons, logarithme des valeurs d'abondance).

- Peuplement d'invertébrés du lône -

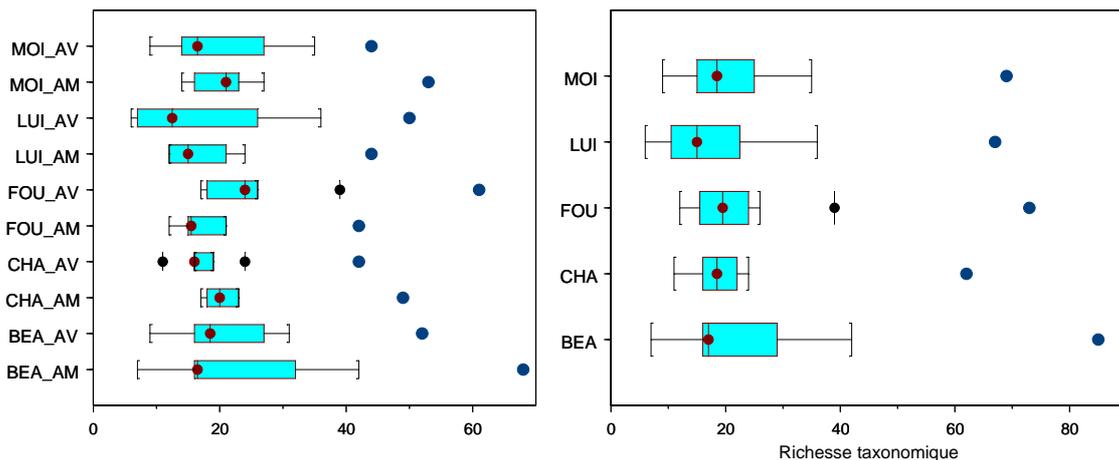
Tableau 11 Tableau faunistique réorganisé en fonction des coordonnées factorielles des taxons et des sites sur l'axe F1 de l'analyse factorielle des correspondances inter-sites. Taxons représentés par plus de 2 individus. Les valeurs sont les sommes des abondances dans les six échantillons prélevés par site.

		CHA_AM	CHA_AV	FOU_AV	FOU_AM	LUL_AM	LUL_AV	MOL_AV	BEA_AV	MOL_AM	BEA_AM
Neritidae	<i>Theodoxus fluviatilis</i>	7	1								
Ephemeroidea	<i>Ephemerella ignita</i>	5	2								
Sialidae	<i>Sialis fuliginosa</i>	2	1								
Dreissenidae	<i>Dreissena polymorpha</i>	15	11								
Ancylidae	<i>Ancylus fluviatilis</i>	9		2							
Heptageniidae	<i>Heptagenia sulphurea</i>	3	6								
Limoniidae	Gen. sp.	5	41								
Corbiculidae	<i>Corbicula fluminea</i>		43								
Hydropsychidae	<i>Hydropsyche exocellata/modesta</i>		6	1							
Dugesidae	<i>Dugesia sp.</i>	6	2	3	1						
Hydrobiidae	<i>Potamopyrgus antipodarum</i>	169	52	326	10	2	1		1		
Leptoceridae	<i>Oecetis notata</i>	3	5	5			1				
Hydroptilidae	<i>Hydroptila sp.</i>	19	18	16	3	4	2				
Goeridae	<i>Goera pilosa</i>		17								
Planariidae	<i>Polycelis sp.</i>		6								
Empididae	Gen. sp.	2		5	2						
Hydropsychidae	<i>Hydropsyche contubernalis</i>	9	3	64	12	3					
Psychomyiidae	<i>Psychomyia pusilla</i>	3	8	14	2	6					
Elmidae	<i>Elmis sp.</i>	1		4	1	2					
Tabanidae	Gen. sp.	11	8	2	1	1	1	1	1		
Corixidae	<i>Micronecta sp.</i>	825	456	173	8	119	7	22	2	4	1
Gammaridae	<i>Gammarus fossarum / pulex</i>	267	297	267	309	107			3	30	1
Limnephilidae	<i>Limephilus gr. lunatus</i>	1		6			1	1			
Athericidae	<i>Atrichops crassipes</i>		4	3	6					1	
Potamanthidae	<i>Potamanthus luteus</i>	69	42	327	40	96	28	8		10	2
Valvatidae	<i>Valvata piscinalis</i>	11	3	6			4		1	11	
Platycnemididae	<i>Platycnemis sp.</i>	2		6		2		1		1	
Leptoceridae	<i>Mystacides azurea</i>	4		41	1	22	4	8			
Glossiphoniidae	Gen. sp. (autres sp.)	1	3	3	7				4		
Physidae	<i>Physella heterostropha / acuta</i>	42	4			6	1	17	25		
Elmidae	<i>Esolus sp.</i>	2		1	6	1		2			
Caenidae	<i>Caenis macrura</i>	20	15	784	89	174	68	26	1	12	8
Lymnaeidae	<i>Radix balthica</i>	2		1	22		9				
Nepidae	<i>Nepa sp.</i>					3					
Gerridae	<i>Gerris sp.</i>			6			2			1	
Dytiscidae	<i>Stictotarsus duodecimpustulatus</i>				6		3				
Elmidae	<i>Oulimnius sp.</i>	2					1				1
Sphaeriidae	<i>Pisidium sp.</i>	19	14	143	5	21	27	33	79	4	22
Chironomidae	Gen. sp.	1309	1293	867	491	493	1932	3208	236	267	402
Bithyniidae	<i>Bithynia tentaculata</i>	4		3			12	4			3
Velidae	<i>Microvelia sp.</i>			1				2			
Oligochaeta	Oligochaeta	349	1682	167	365	151	499	1227	633	134	2417
Ephemeridae	<i>Ephemera vulgata</i>		4					12		1	
Caenidae	<i>Caenis horaria</i>			1	2	8	4		4		1
Tipulidae	Gen. sp.					2			1		
Leptoceridae	<i>Mystacides longicornis / nigra</i>	1	1	1				10	1	1	
Siphonuridae	<i>Siphonurus lacustris</i>	1		2		5	1		3	3	
Glossiphoniidae	<i>Helobdella stagnalis</i>		1	4	1			1	9		1
Hydrachnidia	Hydrachnidia	27	8	88	36	35	43	79	19	51	117
Sphaeriidae	<i>Sphaerium sp.</i>	1		29		13	2	5	2	1	26
Ceratopogonidae	Gen. sp.	18	49	6	10	11	14	609	24	6	149
Corixidae	<i>Corixinae</i> Gen. sp.	2			1	37	7	15	4	1	7
Lymnaeidae	<i>Lymnaeidae juveniles</i>						6				
Sericostomatidae	<i>Notidobia ciliaris</i>						3				
Planorbidae	<i>Planorbis carinatus</i>			2	2		46	8	8		
Halipidae	<i>Halipus sp.</i>	2		44	71	18	61	34	66	60	68
Sialidae	<i>Sialis lutaria</i>		8	1		9	26	15	23		4
Limnephilidae	<i>Anabolia nervosa</i>			3			4	2	1		3
Asellidae	<i>Asellus aquaticus</i>	7		1	17		112		48	84	3
Leptoceridae	<i>Athripsodes sp.</i>			3	8	1	53	129	7	2	6
Erpobdellidae	Gen. sp.		8					1	5	8	5
Ephydriidae	Gen. sp.			1		3					3
Lymnaeidae	<i>Radix auncularia</i>				1		1	10			
Aeshnidae	<i>Aeshnidae</i> gen. Sp.				3	2	1	1	3	3	5
Dytiscidae	<i>Laccophilus sp.</i>			1		3	2	3	2	7	5
Baetidae	<i>Cloeon dipterum</i>		1	21		41	46	42	320	206	178
Crambidae	<i>Parapoynx stratiotata</i>							5			
Libellulidae	<i>Libellula depressa</i>					1			5	1	
Valvatidae	<i>Valvata cristata</i>		1						1		5
Sphaeriidae	<i>Musculium lacustre</i>						1	43	3	2	
Dytiscidae	<i>Hydroporus sp.</i>			3			5		2	3	25
Dytiscidae	<i>Agabus sp.</i>						3			3	
Hydraenidae	<i>Hydraena riparia / assimilis</i>	1								8	2
Planorbidae	<i>Gyraulus parvus</i>					2		85	1	68	
Coenagrionidae	<i>Coenagrionidae</i> Gen. Sp.			2		46	11	175	33	414	124
Planorbidae	<i>Gyraulus albus</i>	1	1					11	8	1	47
Planorbidae	<i>Hippeutis complanatus</i>			4		1	9	9	13	19	49
Culicidae	Gen. sp.					1	4	2	4	34	2
Naucoridae	<i>Ilyocoris cimicoides</i>							5	6	4	9
Pleidae	<i>Plea leachi</i>					1		7	50	22	89
Stratiomyidae	Gen. sp.					1	1	18	3	42	73
Dryopidae	<i>Dryops sp.</i>			1						1	9
Physidae	<i>Physa fontinalis</i>									3	
Lymnaeidae	<i>Lymnaea stagnalis</i>							1			2
Chaoboridae	<i>Chaoborus sp.</i>									13	10
Dytiscidae	<i>Hyphydrus cf ovatus</i>									2	1
Hydrophilidae	<i>Helochares sp.</i>						1				44
Hydrophilidae	<i>Anacaena bipustulata</i>								1	1	18
Noteridae	<i>Noterus sp.</i>								1		16
Dytiscidae	<i>Hydroglyphus geminus</i>										7
Dytiscidae	<i>Hygrotus inaequalis</i>										3
Dytiscidae	<i>Ilybius fuliginosus</i>										3
Halipidae	<i>Peltodytes caesus</i>										3
Hydraenidae	<i>Hydraena testacea</i>										6

5.3.3 Métriques basées sur les richesses taxonomiques.

Les valeurs de richesse taxonomique totale par quadrat sont homogènes (*Figure 20*) : les médianes par lônes sont comprises entre 15 (LUI) et 19.5 (FOU) taxons par quadrat et ne présentent pas de différences significatives (Kruskall-Wallis, $\chi^2=2.90$, $p=0.57$). Entre sites, les différences de richesse taxonomique par quadrat sont également globalement inexistantes (Kruskall-Wallis, $\chi^2=9.13$, $p=0.43$), seul FOU-aval est significativement plus riche que FOU-amont (Wilcoxon, $Z=2.17$, $p=0.015$) et que CHA-aval (Wilcoxon, $Z=2.03$, $p=0.02$).

Figure 20 Richesses taxonomiques totales par sites (à gauche) et par lônes (à droite). Les boîtes horizontales représentent l'intervalle inter-quartile (Q25-Q75) autour de la médiane des valeurs individuelles par quadrat. Les moustaches supérieures et inférieures indiquent les valeurs $Q75+1.5$ ($Q75-Q25$) et $Q25-1.5$ ($Q75-Q25$) au delà desquelles se situent les valeurs marginales. Les points non traversés par une barre verticale indiquent les valeurs de richesse cumulées par site ou par lône.



Les richesses taxonomiques totales cumulées par sites (médiane 49.5 taxons) et par lônes (médiane 69 taxons) montrent également une assez forte homogénéité qui permet cependant de distinguer les sites FOU-aval (61 taxons) et BEA-amont (68 taxons), ainsi que la lône BEA (85 taxons) comme étant les plus riches du point de vue des richesses totales observées (*Figure 20*).

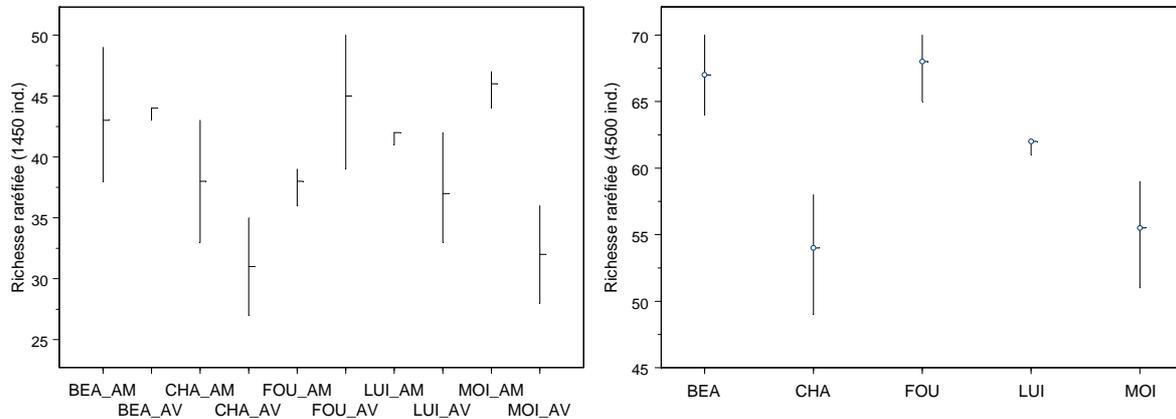
Il n'existe pas de différence globale de richesse taxonomique entre le printemps et l'été (Wilcoxon, $Z=1.08$, $p=0.28$). Au niveau des sites seul BEA montre une différence significative entre les deux saisons (été : médiane 29 taxons/quadrats ; printemps : médiane 16 taxons/quadrats, Wilcoxon, $Z=2.1$, $p=0.02$).

L'examen des richesses taxonomiques totales raréfiées et de leur intervalle de confiance à 95% (*Figure 21*) permet de distinguer trois groupes de lônes à richesse croissante : CHA et MOI / LUI / BEA et FOU. Au sein des lônes, les différences de richesse entre sites amont et aval ne sont significatives que pour FOU et MOI.

Les richesses EPTCM (*Figure 22*) sont fortement corrélées aux richesses taxonomiques totales, tant au niveau des quadrats (Spearman $r=0.75$, $p=0$), que des sites

(Spearman $r=0.77$, $p=0.02$). L'examen des richesses EPTCM fournit donc des informations proches des richesses totales. Les richesses par quadrats (médiane 7 taxons/quadrat)

Figure 21 Médianes des richesses taxonomiques totales raréfiées par sites (sur 1450 individus à gauche) et par lônes (sur 4500 individus à droite) accompagnées de leur intervalle de confiance à 95%.



sont homogènes au niveau des lônes (Kruskal-Wallis, $\chi^2=2.69$, $p=0.61$) et des sites (Kruskal-Wallis, $\chi^2=6.51$, $p=0.69$). Seul le site FOU-aval (médiane 11 taxons par quadrats) est significativement plus riche que FOU-amont, MOI-amont, MOI-aval et CHA-aval (Wilcoxon, $p<0.05$). Les richesses cumulées par site (médiane 19.5 taxons par site) et par lônes (médiane 39 taxons par lône) font ressortir les valeurs plus élevées de la lône BEA (52 taxons) et des sites BEA-amont (37 taxons) et FOU-aval (32 taxons). Les richesses par quadrat sont significativement plus élevées au printemps (médiane 8 taxons/quadrat) qu'en été (médiane 5.5 taxons/quadrat) (Wilcoxon, $Z=-1.85$, $p=0.03$).

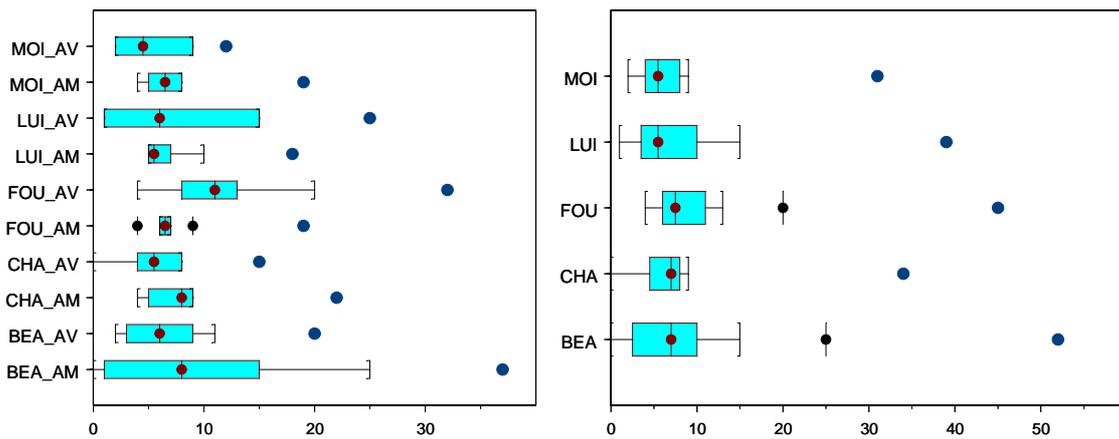


Figure 22 – Richesses taxonomiques des groupes EPTCM par sites (à gauche) et par lônes (à droite). Les boîtes horizontales représentent l'intervalle inter-quartile (Q25-Q75) autour de la médiane des valeurs individuelles par quadrat. Les moustaches supérieures et inférieures indiquent les valeurs Q75+1.5 (Q75-Q25) et Q25-1.5 (Q75-Q25) au delà desquelles se situent les valeurs marginales. Les points non traversés par une barre verticale indiquent les valeurs de richesse cumulées par site ou par lône.

Les richesses EPTCM raréfiées (*Figure 23*) ne sont quant à elles pas corrélées aux richesses raréfiées totales (Spearman $r=-0.45$, $p=0.17$). Leur examen montre la forte homogénéité des richesses EPTCM par lônes et par sites. CHA se distingue des quatre autres lônes grâce à la richesse du site CHA-amont. Ce dernier est comparable au site BEA-amont qui est très significativement plus riche que BEA-aval, appauvri par l'effet de la crue de décembre 2003 mentionnée plus haut.

Les richesses en mollusques gastéropodes (*Figure 24*) ne sont que faiblement corrélées aux richesses totales (Spearman $r=0.49$, $p=0.0002$ au niveau des quadrats) et non corrélées aux richesses EPTCM (Spearman $r=0.07$, $p=0.6$). Les richesses par quadrat (médiane 2 sp/quadrat) sont homogènes entre lônes (*Figure 24*) (Kruskall-Wallis, $\chi^2=6.59$, $p=0.16$), seule LUI (médiane 1 sp/quadrat) est significativement plus pauvre que MOI (2.5 sp/quadrat) et CHA (3 sp/quadrat) (Wilcoxon, $p<0.05$). Au niveau des sites, les différences de richesse sont globalement significatives (Kruskall-Wallis, $\chi^2=17.48$, $p=0.04$), particulièrement MOI-aval (médiane 4.5 sp/quadrat) est plus riche que l'ensemble des autres sites (Wilcoxon, $p<0.05$), à l'exception de CHA-amont (4 sp/quadrat).

- Peuplement d'invertébrés du lône -

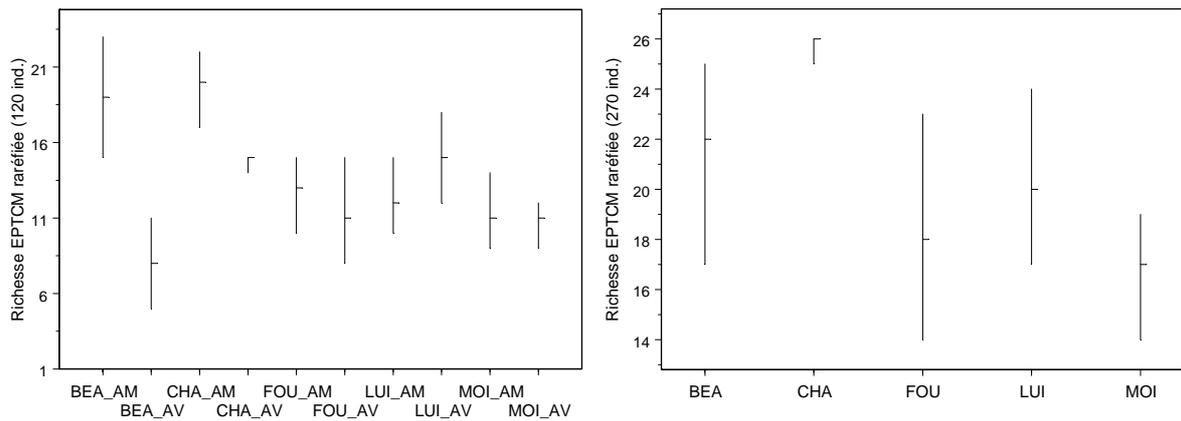


Figure 23 Médiannes des richesses rarifiées des taxons EPTC, par sites (sur 120 individus à gauche) et par lômes (sur 270 individus à droite) accompagnées de leur intervalle de confiance à 95%.

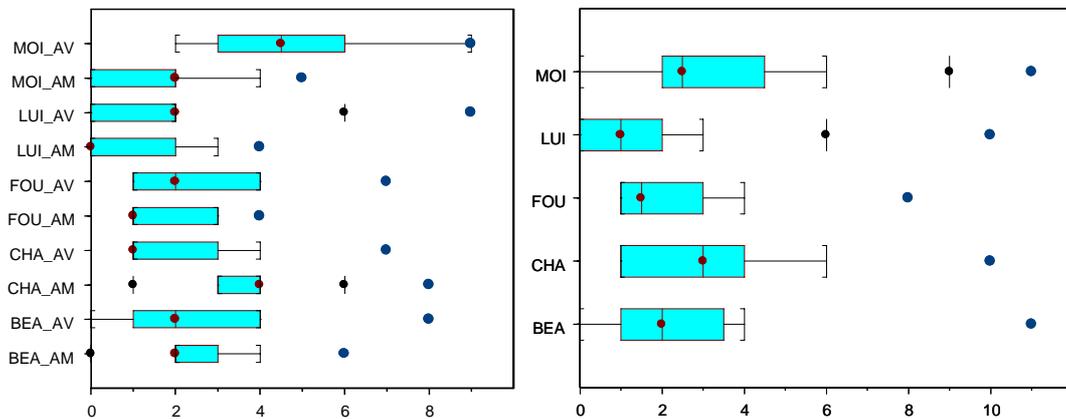


Figure 24 Richesses taxonomiques des gastéropodes par sites (à gauche) et par lômes (à droite). Les boîtes horizontales représentent l'intervalle inter-quartile (Q25-Q75) autour de la médiane des valeurs individuelles par quadrat. Les moustaches supérieures et inférieures indiquent les valeurs $Q75+1.5$ ($Q75-Q25$) et $Q25-1.5$ ($Q75-Q25$) au delà desquelles se situent les valeurs marginales. Les points non traversés par une barre verticale indiquent les valeurs de richesse cumulées par site ou par lôme.

La raréfaction des richesses en gastéropodes (*Figure 25*) montre une forte homogénéité entre sites. Entre lômes LUI et MOI présentent des richesses significativement plus élevées que CHA et FOU.

- Peuplement d'invertébrés du lônes -

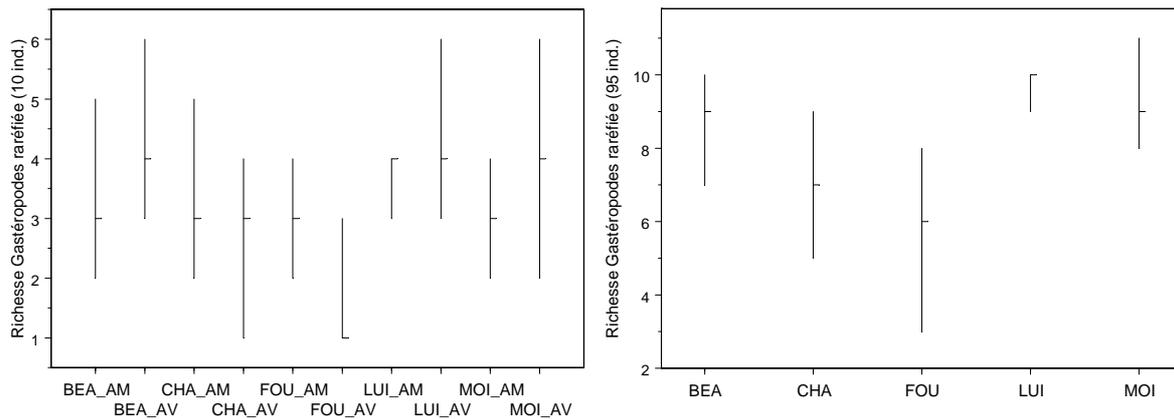


Figure 25 Médianes des richesses rarifiées des mollusques gastéropodes, par sites (sur 10 individus à gauche) et par lônes (sur 95 individus à droite) accompagnées de leur intervalle de confiance à 95%.

5.3.4 Métriques basées sur le statut des espèces.

Parmi les taxons récoltés, 10 espèces ont été considérées comme potentiellement "patrimoniales" au sens défini plus haut et 6 sont des espèces exogènes (Tableau 12).

Tableau 12 Espèces exogènes et potentiellement patrimoniales échantillonnées dans 5 lônes du secteur de Belley. Les valeurs sont les sommes des abondances dans les six échantillons prélevés par site.

			BEA_AV	BEA_AM	CHA_AV	CHA_AM	FOU_AV	FOU_AM	LUI_AV	LUI_AM	MOI_AV	MOI_AM
Espèces exogènes												
Bivalvia	Corbiculidae	<i>Corbicula fluminea</i>			43							
Bivalvia	Dreissenidae	<i>Dreissena polymorpha</i>		11	15							
Gastropoda	Hydrobiidae	<i>Potamopyrgus antipodarum</i>	1	52	169	326	10		1	2		
Gastropoda	Physidae	<i>Physella heterostropha / acuta</i>	25	4	42				1	6	17	
Gastropoda	Planorbidae	<i>Gyraulus parvus</i>	1							2	85	68
Decapoda	Cambaridae	<i>Orconectes limosus</i>								2		
Espèces potentiellement "patrimoniales"												
Bivalvia	Unionidae	<i>Anodonta anatina</i>	1									
Gastropoda	Neritidae	<i>Theodoxus fluviatilis</i>			1	7						
Gastropoda	Physidae	<i>Physa fontinalis</i>										3
Gastropoda	Planorbidae	<i>Planorbis carinatus</i>	8				2	2	46		8	
Coleoptera	Dytiscidae	<i>Stictotarsus duodecimpustulatus</i>						4				
Coleoptera	Halpiidae	<i>Halipius fluviatilis</i>	15	2			1	6	4	1		9
Ephemeroptera	Ephemeridae	<i>Ephemera vulgata</i>			4						12	1
Ephemeroptera	Potamanthidae	<i>Potamanthus luteus</i>		2	42	69	327	40	28	96	8	10
Lepidoptera	Crambidae	<i>Nymphula stagnata</i>		1								
Odonata	Gomphidae	<i>Gomphus vulgatissimus</i>				1						1

5. Les pourcentages d'abondance d'espèces exogènes par site varient de 0% (BEA-amont) à 9.3% (FOU-aval) (moyenne : 2.8%). Les pourcentages de richesse d'espèces potentiellement patrimoniales varient de 5.4% (BEA-amont) à 13.8% (FOU-amont) (moyenne 8.4%). Ces valeurs permettent de distinguer 3 groupes de sites (Figure 26) :

- CHA-amont et FOU-aval avec les plus fortes valeurs en espèces exogènes (>5%) et des valeurs faibles en espèces patrimoniales (<10%),
- FOU-amont et MOI-aval avec la situation inverse (exogènes <5%, patrimoniales >10%),

- le reste des sites avec des valeurs faibles à moyennes pour les deux groupes d'espèces.

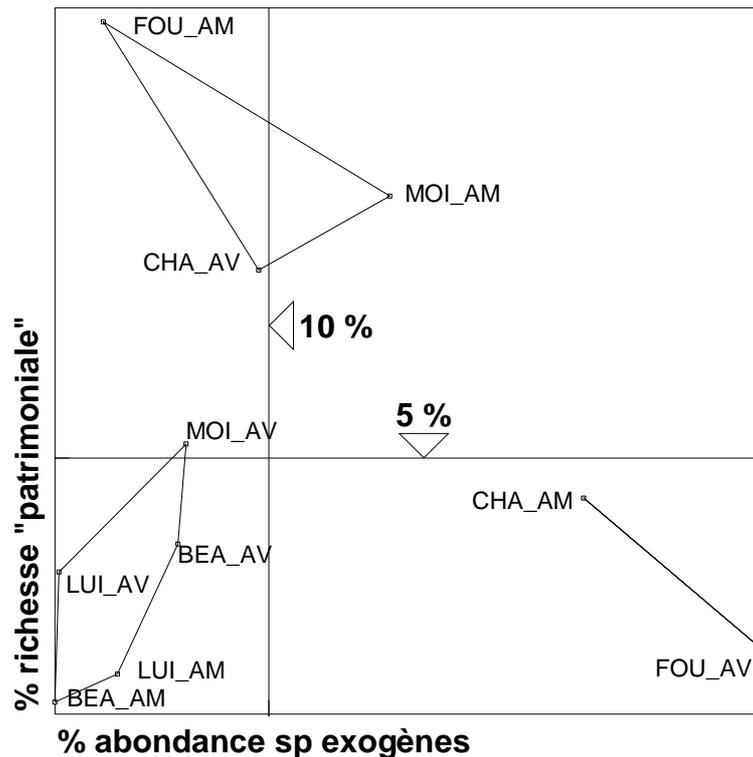


Figure 26 Positionnement des 10 sites d'étude en fonction de la richesse en espèces potentiellement patrimoniales et de l'abondance en espèces exogènes. L'origine du graphique correspond à la moyenne des valeurs.

A l'exception d'*Orconectes limosus*, toutes les espèces exogènes rencontrées sont des mollusques. Leur distribution dans les sites est relativement hétérogène (Tableau 12) mais elle est clairement maximale dans les sites les plus connectés au Rhône. Les densités observées peuvent être très élevées (jusqu'à 616 individus/m² à FOU-aval au printemps 2004). Le site CHA-aval est remarquable avec la coexistence de 4 des 5 espèces de mollusques exogènes. Il convient également de noter que ces espèces ne sont pas toutes à tendance rhéophile, ainsi la présence du planorbidae lénitophile invasif *Gyraulus parvus*, qui avait été mentionné par Pellaud (2004) dans des lônes isolées du secteur de Brégner-Cordon, se trouve ici confirmée dans des sites relativement isolés.

5.3.5 Métriques basées sur les caractéristiques fonctionnelles des taxons.

Les six métriques basées sur les caractéristiques biologiques des espèces et calculées d'après Merritt *et al.* (2002) sont représentées à la Figure 27. Les valeurs seuils données par ces auteurs pour interpréter les métriques sont également représentées à titre indicatif.

Le rapport "broyeurs / collecteurs", indicateur de la disponibilité relative en matière organique grossière (exploitée par les broyeurs) et fine (exploitée par les collecteurs), ne dépasse pas 0.15 (moyenne 0.13) sauf en FOU-amont et MOI-amont. Les valeurs se situent donc majoritairement en dessous, ou à la limite inférieure des seuils de 0.25 (saison humide) ou 0.50 (saison sèche), indiquant donc, d'après les auteurs, une prédominance de la matière fine et un faible impact de la matière organique grossière provenant de la ripisylve.

- Peuplement d'invertébrés du lônes -

Le rapport "filtreurs / autres collecteurs" témoigne de la contribution relative de la matière organique fine en suspension. Il est ici globalement compris entre 0.1 et 0.3 (moyenne 0.20), inférieur au seuil de 0.5 proposé par les auteurs. Il indique la prédominance de la forme benthique de la matière organique fine.

Le rapport "prédateurs / autres groupes trophiques" indique l'intensité du contrôle prédateurs / proies (parmi les macroinvertébrés). Il fluctue ici entre 0.07 et 0.20 (moyenne 0.17) et est donc parfaitement cohérent avec le seuil de 0.15 indiqué par les auteurs, en dessous duquel le contrôle est considéré comme "normal". Seul le site MOI-amont (0.58) présente une valeur extrême associée à une abondance relative très élevée de jeunes larves de *Coenagrionidae* (Odonates).

La proportion d'invertébrés à cycle plurivoltin (pouvant généralement produire deux générations par saison) indique une dominance de ces derniers (rapport > 0.75) et donc une communauté caractérisée par des capacités élevées de colonisation rapide.

Les rapports "invertébrés épibenthiques / autres" et "à dérive comportementale / autres" renseignent sur les potentialités trophiques offertes par les macroinvertébrés pour les poissons ou les oiseaux. Les valeurs observées ici se situent en dessous des seuils proposés par Merritt et al. (2002). Toutefois, les lônes FOU et BEA offrent la meilleure disponibilité en invertébrés épibenthiques (rapport > 0.2), et les milieux les plus connectés au Rhône (particulièrement FOU et LUI) en invertébrés à dérive comportementale (rapport > 0.3).

- Peuplement d'invertébrés du lônes -

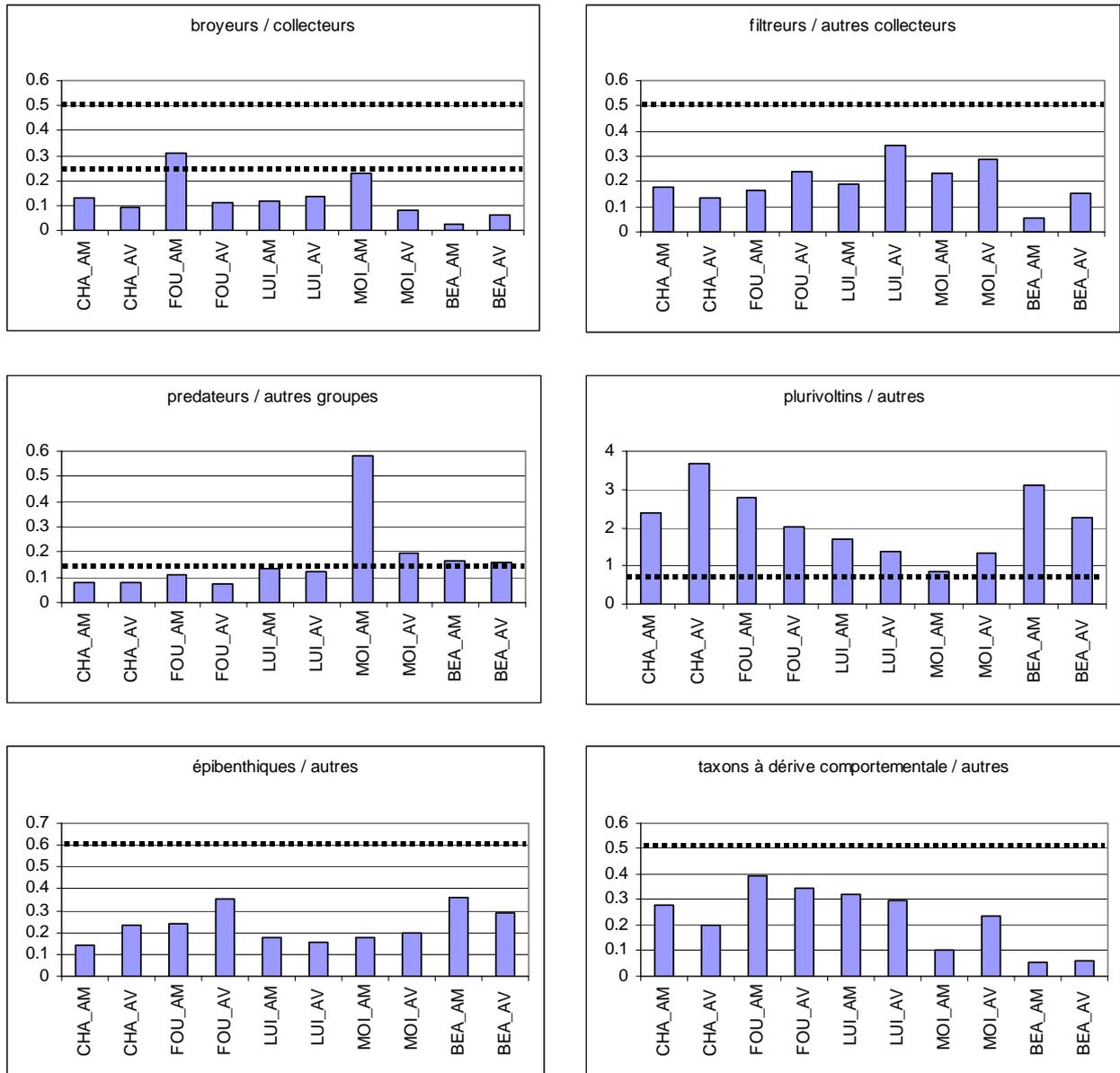


Figure 27 Métriques basées sur les caractéristiques fonctionnelles des taxons : groupes fonctionnels trophiques, relation avec le substrat, nombre de cycles de reproduction et aptitude à la dérive comportementale. Les rapports sont calculés à partir des nombres totaux d'individus par station. Les lignes horizontales pointillées indiquent les valeurs seuil proposées par Merritt et al. (2002) pour l'interprétation de ces rapports.

5.3.6 Affinité potamique des communautés.

Le calcul du pourcentage d'individus ayant une affinité potamique (Figure 28) varie de 16% (BEA-amont) à 46 % (FOU-aval). Il conduit à des valeurs cohérentes avec le gradient de composition faunistique décrit dans l'ordination des relevés (Figure 19) à l'exception de la lône CHA où les taxons potamiques typiques présents n'atteignent pas une abondance relative suffisante par rapport à des taxons dominants numériquement et ayant une affinité potamique moins caractérisée (*Potamopyrgus antipodarum*, *Micronecta* sp.).

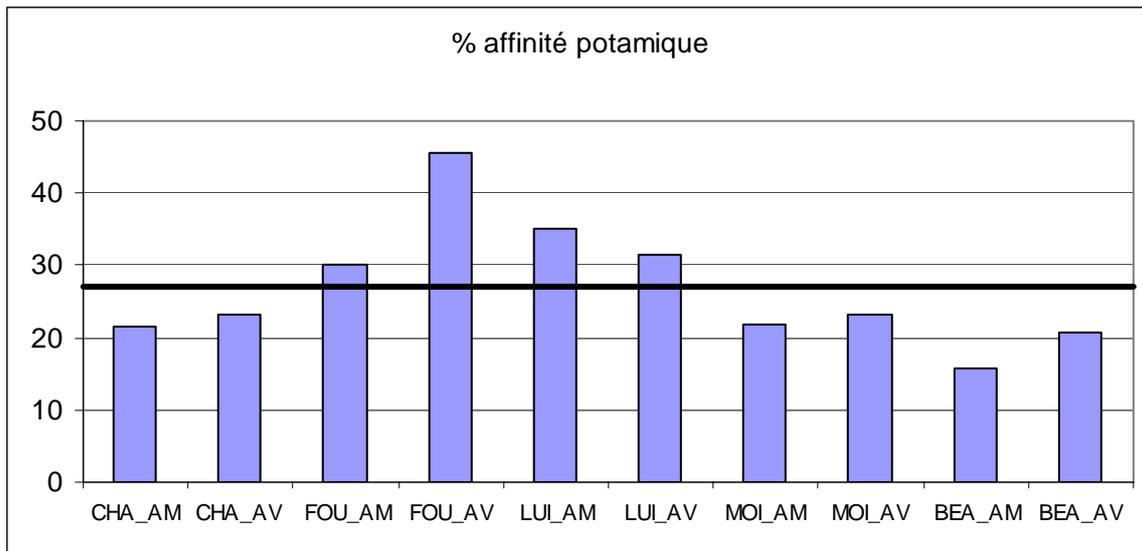


Figure 28 d'individus à affinité potamique dans les 10 sites d'étude. Les pourcentages sont exprimés par rapport à l'ensemble des macrocrustacés, mollusques et insectes non-diptères. La ligne horizontale épaisse indique la moyenne des valeurs (26.9%).

5.4 Synthèse et conclusions.

Les communautés d'invertébrés aquatiques étudiées dans cinq lônes du Rhône dans le secteur de Belley traduisent, par les variations de leur composition taxonomique, une organisation le long d'un gradient d'influence par le fleuve. Les extrémités de ce gradient étant d'une part la lône de Chantemerle (CHA) la plus connectée au fleuve, d'autre part les lônes de l'île Béard (BEA) et Moiroud (MOI), relativement moins influencées par lui. A l'intérieur de chaque lône, une diversification s'opère entre l'amont, généralement caractérisé par des "mouilles" plus ou moins isolées (FOU, LUI, MOI, BEA) et pouvant accueillir des taxons typiques de petits milieux stagnants, et l'aval, ouvert sur le fleuve et présentant classiquement une affinité faunistique plus forte avec lui (FOU, MOI, BEA).

Les métriques calculées à partir de ces données faunistiques (*Tableau 13* et *Tableau 14*) constituent un ensemble d'indicateurs de l'état actuel de ces lônes, destiné à mesurer les changements potentiellement entraînés par les opérations de restauration.

Dans l'état actuel ces métriques tendent à décrire un ensemble relativement homogène de lônes. Cette observation est à mettre en relation avec le fait que ces milieux - à l'échelle de l'ensemble des anciens chenaux fluviaux rhodaniens - peuvent être considérés comme assez homogènes du point de vue géomorphologique et hydrologique (parapotamons globalement très influencés par le Rhône). D'un point de vue fonctionnel, les communautés échantillonnées sont composées en moyenne d'un tiers d'individus appartenant à des taxons à affinité potamique. Elles sont dominées par des invertébrés utilisant de la matière organique benthique fine et pouvant accomplir plus d'un cycle de développement annuel. Le contrôle prédateurs / proies y est équilibré.

Les métriques basées sur les richesses taxonomiques et le statut des espèces permettent de singulariser certains sites et lônes. Les lônes Béard et Fournier (et particulièrement BEA-amont et FOU-aval) sont ainsi mises en évidence par plusieurs métriques pour leur richesse taxonomique élevée. La "mouille" BEA-amont est remarquable par son cortège de coléoptères aquatiques de milieux stagnants, le site FOU-aval, connecté au Rhône, par son cortège de

- Peuplement d'invertébrés du lônes -

trichoptères et d'éphéméroptères. FOU-amont est également le site proportionnellement le plus riche en espèces potentiellement "patrimoniales".

Les espèces exogènes, essentiellement des mollusques, sont présentes dans toutes les lônes et atteignent leur abondance relative maximale dans les lônes les plus influencées par le fleuve (Chantemerle, Fournier). Elles sont absentes de BEA-amont.

Tableau 13 Valeurs de 12 métriques calculées à l'échelle des sites pour 5 lônes du secteur de Belley (2003-2004) partir des peuplements de macroinvertébrés aquatiques. (1) : métriques calculées à partir des macrocrustacés, mollusques et insectes non diptères uniquement.

	BEA_AM	BEA_AV	CHA_AM	CHA_AV	FOU_AM	FOU_AV	LUI_AM	LUI_AV	MOI_AM	MOI_AV	MIN	MOY	MAX
richesse totale	68	52	49	42	42	61	44	50	53	44	42	50.5	68
richesse totale raréfiée (1450 ind.)	43	44	38	31	38	45	42	37	46	32	31	39.6	46
richesse EPTCM	37	20	22	15	19	32	18	25	19	12	12	21.9	37
richesse EPTCM raréfiée (120 ind.)	19	8	20	15	13	11	12	15	11	11	8	13.5	20
richesse Gastéropodes	6	8	8	7	4	7	4	9	5	9	4	6.7	9
richesse Gastéropodes raréfiée (10 ind.)	3	4	3	3	3	1	4	4	3	4	1	3.2	4
% richesse sp "patrimoniales" (1)	5.4	7.3	7.9	10.7	13.8	6	5.7	7	11.6	8.6	5.4	8.4	13.8
% abondance des sp exogènes	0	1.6	6.9	2.7	0.7	9.3	0.8	0.07	4.4	1.7	0	2.8	9.3
broyeurs/collecteurs	0.03	0.06	0.13	0.09	0.31	0.11	0.11	0.13	0.23	0.08	0.03	0.12	0.31
filtreurs/autres collecteurs	0.05	0.15	0.18	0.13	0.17	0.24	0.19	0.34	0.23	0.29	0.05	0.18	0.34
prédateurs/autres	0.17	0.16	0.08	0.08	0.11	0.07	0.13	0.12	0.58	0.19	0.07	0.16	0.58
plurivoltins/autres	3.12	2.25	2.38	3.68	2.77	2.01	1.69	1.37	0.85	1.32	0.85	2.03	3.68
épibenthiques/autres	0.36	0.29	0.14	0.23	0.24	0.36	0.18	0.15	0.18	0.2	0.14	0.22	0.36
taxons à dérive comportementale/autres	0.05	0.06	0.28	0.2	0.39	0.34	0.32	0.29	0.11	0.24	0.05	0.21	0.39
% individus à affinité potamique (1)	15.8	20.6	21.6	23.2	30	45.6	35.2	31.4	21.9	23.3	15.8	26.9	45.6

Tableau 14 Valeurs de 12 métriques calculées pour 5 lônes du secteur de Belley (2003-2004) partir des peuplements de macroinvertébrés aquatiques. (1) : métriques calculées à partir des macrocrustacés, mollusques et insectes non diptères uniquement.

	BEA	CHA	FOU	LUI	MOI	MIN	MOY	MAX
richesse totale	85	62	73	67	69	62	71.2	85
richesse totale raréfiée (4500 ind.)	67	54	68	62	55.5	54	61.3	68
richesse EPTCM	52	34	45	39	31	31	40.2	52
richesse EPTCM raréfiée (270 ind.)	22	26	18	20	17	17	20.6	26
richesse Gastéropodes	11	10	8	10	11	8	10	11
richesse Gastéropodes raréfiée (95 ind.)	9	7	6	10	9	6	8.2	10
% richesse sp "patrimoniales" (1)	7.3	8.3	6.3	5.5	10.5	5.5	7.6	10.5
% abondance des sp exogènes	0.5	4.6	6.6	0.3	2.3	0.3	2.9	6.6
broyeurs/collecteurs	0.04	0.11	0.16	0.13	0.1	0.04	0.11	0.16
filtreurs/autres collecteurs	0.08	0.15	0.22	0.29	0.28	0.08	0.2	0.29
prédateurs/autres	0.16	0.08	0.08	0.12	0.26	0.08	0.14	0.26
plurivoltins/autres	2.82	3	2.21	1.47	1.2	1.2	2.14	3
épibenthiques/autres	0.34	0.19	0.32	0.16	0.19	0.16	0.24	0.34
taxons à dérive comportementale/autres	0.06	0.23	0.36	0.3	0.21	0.06	0.23	0.36
% individus à affinité potamique (1)	18.1	22.2	42.3	33.5	22.5	18.1	27.7	42.3

Les métriques présentées ici fournissent une photographie de l'état des communautés d'invertébrés aquatiques des cinq lônes étudiées en 2003-2004 dans le secteur de Belley. Elles devront permettre de mesurer les changements qualitatifs et fonctionnels qui pourront affecter les milieux après les opérations de restauration du Rhône et de sa zone alluviale. Une attention particulière devra être portée à l'expansion éventuelle des espèces exogènes dans les systèmes dont le degré de connexion au Rhône sera augmenté. Il est ainsi à noter que, en marge de cette étude, nous avons pu noter la présence de *Dikerogammarus villosus* dans le Rhône court-circuité vers l'amont de la lône Luisette le 4 octobre 2004. Cette observation semble être la première de l'espèce entre Genève et Lyon (Bollache *et al.*, 2004). Cette occurrence, peu étonnante compte tenu de la présence massive de l'espèce dans le Léman, nécessitera le suivi de l'arrivée possible de ce compétiteur actif dans les lônes connectées. Par ailleurs, le devenir après restauration de certaines "mouilles" (amonts de Béard, Moiroud, Fournier), caractérisées par des cortèges d'insectes remarquables et riches en espèces à "potentiel patrimonial", représente un enjeu important du suivi post-restauration.

Remerciements relatifs à la partie invertébrés lônes

Agathe Schutzle et Fabrice Play ont trié la majorité des échantillons faunistiques. Ils ont participé aux campagnes de terrain en compagnie de Lionel Sager. Jeanne Dessaix a contrôlé la détermination de certains gammares et Hydropsyche.

6 VÉGÉTATION AQUATIQUE ET PHYSICOCHIMIE DES LÔNES

6.1 Rappel du contexte et des objectifs

Le diagnostic écologique des lônes est basé en partie sur l'analyse des communautés floristiques couplée à des descriptions morphologiques des zones humides fluviales. Cette méthode permet d'identifier les caractéristiques fonctionnelles des zones humides en utilisant :

1. la composition et la structure des communautés végétales (végétaux supérieurs),
2. la connaissance des exigences écologiques des espèces végétales
3. des descripteurs environnementaux simples (texture du sédiment, degré de recouvrement de la végétation, forme et dimensions du chenal).

La méthode permet de classer chaque zone humide selon 5 classes d'influence de la dynamique fluviale, de « non perturbé » à « perturbé » de façon intense lors des crues.

Elle fournit également une estimation du degré d'eutrophisation de l'écosystème selon 3 classes (oligotrophe, ie. très pauvre en phosphates et ammoniac ; mésotrophe, et eutrophe). Il est possible que la présente étude nous amène à distinguer une 4^{ème} classe « hyper-eutrophe ».

Enfin, la présence de certaines espèces peut permettre de démontrer l'existence de connexions avec les eaux souterraines.

Appliqué aux données floristiques collectées à chaque étape de la restauration, ce diagnostic devrait permettre :

- d'identifier, au travers des variations de la structure et de la composition des communautés végétales, une modification de la dynamique fluviale et de la trophie des eaux (dans le cas où l'amélioration de la qualité des eaux est suffisamment marquée), et par conséquent, de repérer des modifications du fonctionnement écologique des anciens bras induites par les procédés de restauration.
- de détecter une « reconnexion » aux aquifères induite par la restauration (résultant par exemple du surcreusement du lit)

L'intérêt de cette méthode est de fournir un diagnostic intégré du fonctionnement des zones humides, qui permettra de mesurer l'efficacité de la restauration à modifier les caractéristiques écologiques de l'écosystème dans le sens d'une action plus significative de la dynamique fluviale, et/ou d'une meilleure qualité des eaux. Les classes de large amplitude permettent de limiter les erreurs de diagnostic dues à une connaissance incomplète de la valence écologique des espèces. Un changement de type fonctionnel pourra donc être considéré comme une modification très significative du fonctionnement écologique du système. L'absence de changement ne permettra pas, par contre, de conclure à une absence d'effet de la restauration. Elle pourra être la résultante de la largeur des classes, de la connaissance incomplète de l'exigence des espèces, ou d'un effet décalé dans le temps de la

restauration (du par exemple à une mauvaise dispersion des plantes jusqu'au site restauré, ou à la prolifération d'une espèce invasive).

Le présent rapport porte sur la description des caractéristiques physico-chimiques et floristiques de quatre bras secondaire du secteur de Belley et est structuré en deux parties. Une première partie concerne l'analyse comparée et l'interprétation des caractéristiques physico-chimiques des zones humides destinées à être le siège d'une opération de restauration. La deuxième partie regroupe les fiches-diagnostic des 4 zones humides de Belley restaurées fin 2004.

Dans chaque fiche, on trouvera les éléments suivants :

- Le diagnostic écologique réalisé sur chaque zone humide grâce aux données collectées en 2003,
- La confrontation de ce diagnostic à celui de 1996 ou de 1998 selon les cas,
- L'analyse des conséquences probables de la restauration sur le fonctionnement et la biodiversité de la zone humide.

Le diagnostic écologique est élaboré à partir des données floristiques et environnementales collectées sur la zone humide en 2003, et utilise la méthode mise au point par Bornette *et al.* (1996).

6.2 Stratégie d'échantillonnage

6.2.1 Stations d'étude

Les 4 lînes étudiées sont : la Lîne des Luisettes, la Lîne Moiroud, la Lîne Béard et la Lîne Fournier.

6.2.2 Protocole et effort d'échantillonnage

Les étapes successives de sa mise en œuvre sont les suivantes :

- Les relevés floristiques collectés sur l'ensemble de la zone humide permettent de la découper éventuellement en zones floristiques. Cette zonation est réalisée à l'aide d'analyses statistiques de type ACP centrée (analyse en composantes principales), qui discriminent au mieux les relevés sur la base de leur contenu floristique, les relevés présentant des contenus floristiques proches ayant des coordonnées factorielles proches sur les premiers axes de l'analyse.
- Les espèces dominantes de chacune des zones floristiques de l'écosystème sont ensuite recherchées dans les tables des exigences écologiques des espèces (Bornette *et al.* rapport non publié, 1996, Amoros *et al.* 2000). Les critères pris en compte sont la **tolérance des espèces végétales à la charge des eaux en phosphates et ammoniacque, leur tolérance au décapage ou au dépôt de sédiments lors des crues** (degré de perturbation), et **leur association aux milieux alimentés par les eaux souterraines**. L'abondance relative d'hélophytes dans le peuplement (plantes ripariales, ou tolérantes aux exondations) permet d'évaluer le degré de permanence des eaux. Les deux premiers critères permettent de définir les types fonctionnels, les

deux derniers interviennent plutôt dans l'estimation de la durée de vie des chenaux et de leurs potentialités de restauration.

Des informations complémentaires concernant l'écosystème (sinuosité, physico-chimie, existence d'obstacles à l'écoulement) sont également nécessaires pour l'établissement d'un diagnostic pertinent. La sinuosité nous informe indirectement sur la pente relative et par conséquent sur la potentialité de décapage par les eaux fluviales en cas de débordement du fleuve dans le milieu. Le substrat dominant dans la partie la plus profonde des transects informe sur les vitesses atteintes en temps de crue dans le milieu, les substrats grossiers témoignant de vitesses élevées, capables d'éliminer les sédiments fins.

Le suivi de la qualité des eaux concerne les paramètres suivants à raison de 4 campagnes de relevés annuels dans chaque zone humide :

Température : des eaux stables thermiquement indiquent l'existence d'une bonne alimentation phréatique

Oxygène : permet de déceler d'éventuels phénomènes d'anoxie saisonnière, et de mesurer l'effet éventuel des apports d'eau souterraine sur l'oxygénation des eaux.

Conductivité : caractérise l'origine des eaux souterraines (une forte conductivité est habituellement indicatrice des aquifères de versant calcaire)

pH : indique une influence des eaux superficielles fluviales, à pH généralement plus élevé que les eaux des lînes.

Nitrates : indiquent soit des apports anthropiques importants localement, soit l'influence d'une aquifère de versant plus contaminée que les aquifères alluviales. Sa mesure peut également permettre d'identifier une aquifère issue d'un versant peu calcaire.

Orthophosphates : indicateurs du degré d'eutrophisation des eaux, ils permettent de compléter la gamme couverte par les communautés végétales, qui perdent leur caractère descripteur au delà de 60-80 µg/l.

Ammoniac : issu en particulier de la nitrification des nitrates dans le cycle de l'azote, son accumulation est favorisée par des conditions anoxiques et un substrat riche en carbone organique. Phytotoxique, il inhibe la germination des diaspores, provoque des lésions de l'appareil végétatif chez les espèces sensibles, et augmente la demande en oxygène des racines, provoquant à terme leur mort. Il constitue un paramètre essentiel de l'eutrophisation et de la dégradation des systèmes aquatiques, et conduit à la disparition de la végétation aquatique en cas de fortes accumulations, même temporaires.

6.3 Résultats

6.3.1 Caractéristiques physico-chimiques des zones humides restaurées

Les données physico-chimiques collectées durant l'année 2003 sont résumées dans le *Tableau 41 (Annexe XI)*.

Ce tableau a été analysé par une analyse en composantes principales normée. L'expression graphique des résultats est présentée en *Annexe XI*.

Les principales conclusions de l'analyse sont les suivantes :

- les eaux du fleuve sont caractérisées par de fortes teneurs en sulfates et un pH élevé (8), les concentrations en nitrates et en oxygène dissous sont généralement plus élevées que dans les lônes déconnectées du fleuve à l'amont, la conductivité électrique de l'eau est généralement plus faible que dans les lônes ;
- les lônes Fournier et Luisettes possèdent des caractéristiques physico-chimiques qui se rapprochent de celle du chenal vif ;
- la lône Fournier se caractérise par des températures moyennes plus élevées que dans la lône des Luisettes (valeurs négatives sur F2 qui contribue à hauteur de 21 % à l'inertie du tableau de données). Ces températures plus élevées (à dates d'échantillonnage analogues) peuvent être dues à un taux de renouvellement des eaux plus faible dans cette zone humide que dans la lône des Luisettes.
- La lône Moiroud présente des caractéristiques qui se distinguent encore plus sensiblement de celles du fleuve. Cette position peut être attribuée à des sous-écoulements parcourant un trajet plus important dans le sédiment avant d'atteindre la zone humide, ou à un isolement partiel de la zone humide de l'aquifère alluvial. Le pH dans la station reste relativement élevé, mais la teneur en sulfates est plus faible que dans les stations précédentes.
- La lône Béard est la plus éloignée du fleuve en termes de caractéristiques physico-chimiques. Ce contraste peut être attribué au colmatage et à la stagnation importante de la zone humide, qui sont susceptibles d'entraîner des fortes fluctuations physico-chimiques (périodes de chaleurs estivales, favorisant les pics d'ammoniac et les phases d'anoxie), et une forte conductivité lors de la mise en solution des ions en milieu peu profond. Compte-tenu de la situation géographique de la zone humide, il est peu probable que la forte conductivité soit due à une alimentation par une aquifère de versant. Cependant, en l'absence de données physico-chimiques sur cette aquifère, il n'est pas possible de conclure de manière définitive.

6.3.2 Diagnostic écologique de chaque zone humide

6.3.2.1 Lône Béard

6.3.2.1.1 Données

Tableau 15 **Données floristiques (2003)**

distance depuis l'aval (m)	0	25	70	75	100	125	150	435	515	720	770
<i>Alisma plantago-aquatica</i>				1.1							
<i>Berula erecta</i>	1.1										
<i>Ceratophyllum demersum</i>			1.1	1.2	1.1	5.5	5.5		5.5		
<i>Eleocharis palustris</i>				1.3							
<i>Elodea nuttallii</i>	1.1		5.5	3.5		1.1				5.5	5.5
<i>Leersia oryzoides</i>				1.1							
<i>Lemna minor</i>			1.1	1.2	1.2	5.5	5.5		5.5	5.5	1.1
<i>Lemna trisulca</i>					1.1	1.1					
<i>Myriophyllum spicatum</i>	1.2										
<i>Myriophyllum verticillatum</i>				1.2	1.1						
<i>Phalaris arundinacea</i>	1.2								1.2	1.3	
<i>Phragmites australis</i>									1.2		1.2
<i>Potamogeton natans</i>			1.2	1.3							
<i>Potamogeton pectinatus</i>				1.1		1.2					
<i>Potamogeton pusillus</i>							1.1				
<i>Sparganium emersum</i>		1.1	1.2	1.1		1.1				2.3	
<i>Typha latifolia</i>											1.2
<i>Utricularia vulgaris</i>					1.1	2.2					
<i>Veronica beccabunga</i>				2.4							

Tableau 16 **Données environnementales (2003)**

distance depuis l'aval (m)	0	25	70	75	100	125	150	435	515	720	770
profondeur (m)	0,80	1,10	0,10	0,55	1,50	1,10	0,50	0,05	0,15	0,15	0,45
largeur (m)	20	15	10	15	10	6	2	1	2	3	4
vit. courant	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
galets, grav. (%)	50										
sable (%)											
limon (%)	50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
vase (%)											
tourbe (%)											
transparence (m)	0,80	0,80	>0,10	0,50	0,80	0,80	>0,50	>0,05	>0,15	>0,15	>0,45
ombre projetée (%)	>25	>25	>5	>5	>75	<5	>75	>75	<5	>75	>5
haut. ripisylve (m)	>16	>16	>16	>16	>16	<2	>16	>16	>16	>16	>16

- Sinuosité 1,24
- Substrat : 95% de limon et 5% de graviers

6.3.2.1.2 Diagnostic fonctionnel

L'analyse en composantes principales centrées décompose la zone humide en 3 zones.

6.3.2.1.2.1 Zone aval

La zone floristique située la plus à l'aval (relevés 0 à 75) correspond à la partie destinée à être curée. Sa richesse spécifique est intermédiaire (14 espèces), avec une richesse moyenne de $5,25 \pm 3,5$ espèces par relevé. La zone est dominée par *Elodea nuttallii*, espèce invasive associée aux conditions méso-eutrophes. Le peuplement dominant témoigne de conditions plutôt eutrophes, et la présence sporadique de certaines espèces indique l'occurrence d'apports d'eau souterraine (*Berula erecta*, *Potamogeton natans*, *Myriophyllum verticillatum*). Les espèces témoignent d'un niveau de perturbation non nul, et la présence de *Elodea nuttallii* suggère l'existence de processus d'alluvionnement. Il est probable que l'action combinée des reflux et des débordements du Séran contribue à ces processus. La dominance d'un substrat limoneux, pauvre en matière organique, tend à confirmer ce processus (98 % de limon sur l'ensemble des relevés). On note la présence de *Sparganium emersum*, espèce protégée en région Rhône-Alpes.

Tableau 17 Diagnostic floristique

Peuplement dominant	Ab. moy	trophie	perturbations	H2O sout.
<i>Elodea nuttallii</i>	2,25	BC	34'	
<i>Eleocharis palustris</i>	0,75			
<i>Sparganium emersum</i>	0,75	ABC	(1)234	
<i>Ceratophyllum demersum</i>	0,5	C	12344'	
<i>Lemna minor</i>	0,5	BC	12344'	
<i>Potamogeton natans</i>	0,5	AB(C)	23	1
<i>Veronica beccabunga</i>	0,5	BC	34	
RS moyenne par relevé	5,2±3,5			
nombre d'espèces protégées	1			
Nombre d'espèces invasives	1			

Lorsque l'on compare les données floristiques recueillies en 2003 à celle de 1998 (*Tableau 18*), on constate que la richesse spécifique moyenne par relevé a diminué fortement (-3 espèces en moyenne). Certaines espèces, qui témoignent d'eau courante eutrophe, ont disparu de la zone (e.g. *Ranunculus fluitans*, *Potamogeton crispus*). La régression de *Phalaris arundinacea* combinée avec la progression de *Eleocharis palustris*, peut signifier que les conditions d'habitat ont évolué dans le sens d'une diminution des écoulements superficiels. Plusieurs espèces, qui constituaient le peuplement dominant en 1998, ont nettement régressé ou disparu (e.g. *Potamogeton pusillus*, *Elodea canadensis*, *Callitriche sp.*, *Chara sp.*). Ces espèces sont généralement associées à une alimentation phréatique. Ce patron tend donc à démontrer que le colmatage de la zone a progressé très significativement depuis 1998, diminuant la vitesse du courant et la connectivité avec les aquifères.

Tableau 18 **abondances moyennes**

Abondances moyennes			
	1998		2003
<i>Elodea canadensis</i>	2,25	<i>Elodea nuttallii</i>	2,25
<i>Myriophyllum spicatum</i>	2,25	<i>Eleocharis palustris</i>	0,75
<i>Myriophyllum verticillatum</i>	2	<i>Sparganium emersum</i>	0,75
<i>Sparganium emersum</i>	1,75	<i>Ceratophyllum demersum</i>	0,5
<i>Callitriche sp.</i>	1,25	<i>Lemna minor</i>	0,5
<i>Chara sp.</i>	1	<i>Potamogeton natans</i>	0,5
<i>Potamogeton pusillus</i>	1	<i>Veronica beccabunga</i>	0,5
<i>Elodea nuttallii</i>	0,75	<i>Alisma plantago-aquatica</i>	0,25
<i>Phalaris arundinacea</i>	0,75	<i>Berula erecta</i>	0,25
<i>Potamogeton crispus</i>	0,5	<i>Leersia oryzoides</i>	0,25
<i>Berula erecta</i>	0,25	<i>Myriophyllum spicatum</i>	0,25
<i>Ceratophyllum demersum</i>	0,25	<i>Myriophyllum verticillatum</i>	0,25
<i>Eleocharis palustris</i>	0,25	<i>Phalaris arundinacea</i>	0,25
<i>Potamogeton natans</i>	0,25	<i>Potamogeton pectinatus</i>	0,25
<i>Ranunculus fluitans</i>	0,25		
<i>Veronica beccabunga</i>	0,25		
RS moyenne par relevé	8,25±3,4		5,25±3,5
Nombre d'espèces protégées	1		1
Nombre d'espèces invasives	2		1

Diagnostic zone aval :

- | | |
|---|--|
| ➤ | Trophie : eutrophe |
| ➤ | Perturbations : processus d'alluvionnement dominants, peu de processus d'érosion |
| ➤ | Apports d'eaux souterraines : faibles, en nette régression depuis 1998. |

6.3.2.1.2.2 Zone médiane

La zone floristique médiane (relevés 100 à 515) est également destinée à être curée. La zone est fortement dominée par des espèces flottantes d'eau eutrophe (*Ceratophyllum demersum*, *Lemna minor*). La richesse spécifique par relevé est par conséquent faible (4,6±1,5 espèces par relevé). De même, la richesse spécifique de la zone est relativement faible (11 espèces). Les espèces dominantes témoignent de conditions perturbées, probablement par des processus d'alluvionnement, comme en témoigne la présence de *Elodea nuttallii* et de *Phragmites australis*. On note la présence d'indicateurs d'apports d'eau souterraine (*Lemna trisulca*, *Myriophyllum verticillatum*), et ce malgré la dominance d'un substrat limoneux, peu favorable aux infiltrations. Deux espèces protégées en Rhône-Alpes, *Sparganium emersum* et *Utricularia vulgaris*, sont présentes dans cette zone.

Tableau 19 Diagnostic floristique

Peuplement	Ab. moy.	trophie	perturbations	H2O sout.
<i>Ceratophyllum demersum</i>	3,2	C	12344'	
<i>Lemna minor</i>	3,2	BC	12344'	
<i>Utricularia vulgaris</i>	0,6	BC	123	1
<i>Lemna trisulca</i>	0,4	BC	123	1
<i>Elodea nuttallii</i>	0,2	BC	34'	
<i>Myriophyllum verticillatum</i>	0,2	ABC	(1)234	1
<i>Phalaris arundinacea</i>	0,2	ABC	1234	
<i>Phragmites australis</i>	0,2	ABC	1234'	
<i>Potamogeton pectinatus</i>	0,2	C	12344'	
<i>Potamogeton pusillus</i>	0,2	BC	234	
<i>Sparganium emersum</i>	0,2	ABC	(1)234	
RS moyenne par relevé	4,6±1,5			
nombre d'espèces protégées	2			
Nombre d'espèces invasives	1			

Lorsque l'on compare ces résultats avec ceux de 1998 (Henry & Amoros, 1998), on constate la progression de *Ceratophyllum demersum* qui reste l'espèce dominante en 2003 (Tableau 20). La progression de *Lemna minor*, associée à la régression de *Callitriche* sp., de *Myriophyllum verticillatum* et de *Elodea canadensis*, milite dans le sens d'une eutrophisation et d'une diminution marquée de l'influence des eaux souterraines dans cette zone entre 1998 et 2003.

Tableau 20 Abondances moyennes

	Abondances moyennes	
	1998	2003
<i>Ceratophyllum demersum</i>	2	<i>Ceratophyllum demersum</i> 3,2
<i>Sparganium emersum</i>	1,75	<i>Lemna minor</i> 3,2
<i>Elodea canadensis</i>	1,5	<i>Utricularia vulgaris</i> 0,6
<i>Myriophyllum verticillatum</i>	1,5	<i>Lemna trisulca</i> 0,4
<i>Callitriche</i> sp.	0,75	<i>Elodea nuttallii</i> 0,2
<i>Lemna minor</i>	0,75	<i>Myriophyllum verticillatum</i> 0,2
<i>Myriophyllum spicatum</i>	0,75	<i>Phalaris arundinacea</i> 0,2
<i>Potamogeton pusillus</i>	0,75	<i>Phragmites australis</i> 0,2
<i>Leersia oryzoides</i>	0,5	<i>Potamogeton pectinatus</i> 0,2
<i>Potamogeton pectinatus</i>	0,5	<i>Potamogeton pusillus</i> 0,2
		<i>Sparganium emersum</i> 0,2
RS	6,2±3,4	4,6±1,5
Nombre d'espèces protégées	1	1
Nombre d'espèces invasives	1	1

Diagnostic zone médiane:

- Trophie : eutrophe
- Perturbations : processus d'alluvionnement dominants
- Apports d'eaux souterraines : faibles, en nette régression depuis 1998.

6.3.2.1.2.3 Zone amont

Cette zone (relevés 720 et 770) doit être surcreusée en trois points, afin de recréer 3 plans d'eau

Tableau 21 Diagnostic floristique

Peuplement	Ab. moy.	trophie	perturbations	H2O sout.
<i>Elodea nuttallii</i>	5	BC	34'	
<i>Lemna minor</i>	3	BC	12344'	
<i>Sparganium emersum</i>	1	ABC	(1)234	
<i>Phalaris arundinacea</i>	0,5	ABC	1234	
<i>Phragmites australis</i>	0,5	ABC	1234'	
<i>Typha latifolia</i>	0,5			
RS moyenne par relevé	4±0			
Nombre d'espèces protégées	1			
Nombre d'espèces invasives	1			

Elle est proche floristiquement de la zone aval. *Elodea nuttallii*, qui témoigne de processus d'alluvionnement, est très abondante. L'abondance de *Lemna minor* témoigne de la situation eutrophe de la zone floristique. Aucune espèce ne permet de conclure à l'existence d'apports d'eau souterraine dans cette zone, qui est probablement très colmatée.

Tableau 22 abondances moyennes

	Abondances moyennes	
	1998	2003
<i>Ceratophyllum demersum</i>	5	<i>Elodea nuttallii</i> 5
<i>Lemna minor</i>	4,5	<i>Lemna minor</i> 3
<i>Elodea canadensis</i>	0,5	<i>Sparganium emersum</i> 1
<i>Phragmites australis</i>	0,5	<i>Phalaris arundinacea</i> 0,5
		<i>Phragmites australis</i> 0,5
		<i>Typha latifolia</i> 0,5
RS moyenne par relevé	3±0 i	4±0
Nombre d'espèces protégées	0	1
Nombre d'espèces invasives	1	1

Lorsque l'on confronte les données collectées en 1998 à celles de 2003, on constate la prolifération de *Elodea nuttallii*, espèce qui est parvenue à exclure *Ceratophyllum demersum* de ces deux plans d'eau. A part ce changement de dominance, la zone ne présente pas de modification du statut trophique entre ces deux dates.

Diagnostic zone amont:

- Trophie : eutrophe
- Perturbations : processus d'alluvionnement dominants
- Apports d'eaux souterraines : non apparents

L'ensemble de la zone humide est apparemment fortement soumis aux processus d'alluvionnement. Ces processus conduisent à une nette progression du colmatage entre 1998 et 2003. Il n'est pas possible de fournir une estimation des vitesses de comblement, car nous ne disposons pour aucune des deux dates de l'épaisseur de sédiments accumulés au centre des relevés. On peut considérer que la zone humide est encore en eau permanente dans la zone aval, car *Ceratophyllum demersum* est présent, parfois en abondance, dans les deux zones aval. Il est possible que le remplacement de cette espèce par *Elodea nuttallii* dans les mouilles amont soit une conséquence d'un assèchement temporaire. Ces processus conduisent à l'établissement de communautés de plus en plus eutrophes, et à la disparition des espèces liées aux connexions avec les aquifères. L'évolution rapide de la situation entre 1998 et 2003 permet de conclure à une durée de vie faible de cette zone humide. Les processus

d'alluvionnement étant probablement dus aux reflux (et ou débordements) du Séran, ils sont difficilement réversibles. Par conséquent, les potentialités de restauration de cette zone humide sont probablement faibles si l'hydrologie de surface n'est pas modifiée.

6.3.2.2 Lône Fournier

6.3.2.2.1 Données

Tableau 23 Données floristiques (2003)

distance depuis l'aval (m)	0	50	100D	140D	100G	150G	200G	250G	300G	350G	400G	450	500	550	600	650	700
<i>Berula erecta</i>																	1.1
Characées					1.1												
<i>Elodea nuttallii</i>							1.2				1.2						
<i>Impatiens glandulifera</i>									1.1	1.1	1.1	1.1					
<i>Lemna minor</i>									1.1								
<i>Myriophyllum spicatum</i>	2.2	1.1				1.1						1.1					
<i>Nasturtium officinale</i>						1.1											
<i>Phalaris arundinacea</i>	1.3	1.2	1.1	1.2	1.1		1.3	1.2	1.1	1.1	1.1				1.2	1.1	1.1
<i>Phragmites australis</i>	1.2																
<i>Polygonum hydropiper</i>	1.2	1.2		1.1	1.1	1.2			1.2	1.1	1.1						
<i>Potamogeton nodosus</i>	1.1																
<i>Veronica beccabunga</i>								1.1			1.1						
<i>Zannichellia palustris</i>						1.1											

Tableau 24 Données environnementales (2003)

distance depuis l'aval (m)	0	50	100D	140D	100G	150G	200G	250G	300G	350G	400G	450	500	550	600	650	700
profondeur (m)	0,70	0,70	0,60	0,40	0,50	0,45	0,25	0,10	0,20	0,25	0,80	0,90	1,00	1,30	0,55	0,45	0,85
largeur (m)	40	30	20	3	8	10	5	6	3,5	4	10	30	30	30	25	15	15
vit. courant	moy	0	0	0	faible	faible	faible	faible	moy	faible	0	0	0	0	0	0	0
galets, grav. (%)	85	90	80	90	80	70	60	80	90	90	80	70	70	70	60	60	60
sable (%)	10		10	5	10	15	20	10	5	5	10	10	10	10	15	15	15
limon (%)	5	10	10	5	10	15	20	10	5	5	10	20	20	20	25	25	25
vase (%)																	
tourbe (%)																	
transparence (m)	0,70	>0,70	>0,60	>0,40	>0,50	>0,45	>0,25	>0,10	>0,20	>0,25	>0,80	>0,90	>1,00	>1,30	>0,55	>0,45	>0,85
ombre projetée (%)	<5	<5	<5	<5	>5	>5	>75	>75	>75	>75	>5	<5	<5	<5	>5	<5	<5
haut. ripisylve (m)	>16	>16	>2	<2	>16	>16	>16	>16	>16	>16	>16	>16	>16	>16	>16	>16	>16

- Sinuosité : 1,01
- Substrat : 76 % de substrat graveleux, 10% de sable, et 14% de limon.

6.3.2.2.2 Diagnostic fonctionnel

Les données collectées le long de la zone humide en 2003 ne permettent pas de distinguer de zones floristiques, mais plutôt des relevés qui s'individualisent floristiquement. Par conséquent, il n'est pas apparu nécessaire de partitionner la zone humide avant de procéder à l'établissement du diagnostic. La richesse spécifique par relevé et le recouvrement de la végétation aquatique sont très faibles (*Tableau 25*). Le substrat est dominé par les particules de granulométrie élevée. La zone humide possède une richesse spécifique totale relativement faible (13 espèces dont 6 espèces submergées).

Tableau 25 Diagnostic floristique

	ab. Moy.	trophie	perturbations	H2O sout.
<i>Phalaris arundinacea</i>	0,76	ABC	1234	
<i>Polygonum hydropiper</i>	0,47	BC	234	
<i>Myriophyllum spicatum</i>	0,29	BC	2344'	
<i>Impatiens glandulifera</i>	0,24			
<i>Elodea nuttallii</i>	0,12	BC	34'	
<i>Veronica beccabunga</i>	0,12	BC	34	
<i>Berula erecta</i>	0,06			
Characées	0,06			
<i>Lemna minor</i>	0,06			
<i>Nasturtium officinale</i>	0,06			
<i>Phragmites australis</i>	0,06			
<i>Potamogeton nodosus</i>	0,06			
<i>Zannichellia palustris</i>	0,06			
RS moyenne par relevé	2,3±1,5			
Nombre d'espèces protégées	0			
Nombre d'espèces invasives	1			

La lône est colonisée par des espèces témoignant d'une forte influence des crues, et associées à des conditions mésotrophes à eutrophes. Le très faible recouvrement de la végétation submergée, la granulométrie grossière, et la très faible sinuosité, orientent le diagnostic dans le sens d'un niveau de perturbation élevé. Les espèces constituant le peuplement dominant ne témoignent pas d'apports d'eau souterraine, mais la présence de *Berula erecta*, *Nasturtium officinale* et de Characées de manière sporadique, allié au renouvellement perceptible des eaux dans la zone humide, militent dans le sens d'une alimentation phréatique, issue probablement des infiltrations fluviales.

Tableau 26 Abondances moyennes

Abondances moyennes			
	1998		2003
<i>Phalaris arundinacea</i>	1	<i>Phalaris arundinacea</i>	0,76
<i>Impatiens glandulifera</i>	0,57	<i>Polygonum hydropiper</i>	0,47
algues filamenteuses (bent.)	0,43	<i>Myriophyllum spicatum</i>	0,29
<i>Elodea canadensis</i>	0,39	<i>Impatiens glandulifera</i>	0,23
<i>Polygonum hydropiper</i>	0,30	<i>Elodea nuttallii</i>	0,12
<i>Veronica anagallis-aquatica</i>	0,22	<i>Veronica beccabunga</i>	0,12
<i>Myriophyllum verticillatum</i>	0,13	<i>Berula erecta</i>	0,06
<i>Zannichellia palustris</i>	0,13	Characées	0,06
<i>Potamogeton crispus</i>	0,09	<i>Lemna minor</i>	0,06
<i>Digitaria paspaloides</i>	0,09	<i>Nasturtium officinale</i>	0,06
<i>Equisetum limosum</i>	0,04	<i>Phragmites australis</i>	0,06
<i>Myriophyllum spicatum</i>	0,04	<i>Potamogeton nodosus</i>	0,06
<i>Potamogeton pectinatus</i>	0,04	<i>Zannichellia palustris</i>	0,06
<i>Potamogeton pusillus</i>	0,04		
<i>Ranunculus fluitans</i>	0,04		
<i>Veronica beccabunga</i>	0,04		
RS moy par relevé	3,3±1,8		2,3±1,5
Nbre esp. invasives	3		2

Lorsque l'on compare ces résultats à ceux de 1998 (Tableau 26), on constate que la richesse spécifique moyenne a diminué. Les espèces témoignant de conditions perturbées sont toujours présentes et dominantes (*Phalaris arundinacea*, *Polygonum hydropiper*). Les espèces dominantes témoignent dans les deux cas de conditions de trophie élevées, et par conséquent,

les conditions de trophie n'ont probablement pas évolué entre 1998 et 2003. Le fonctionnement de la zone humide n'a donc pas évolué de manière significative au cours de cette période. La granulométrie du site reste également identique, avec 80% de graviers, 12% de sable, et 8% de limon en 1998, et 76% de graviers, 10% de sable, et 14% de limon en 2003. Les crues sont probablement responsables d'un auto-entretien de la zone humide, qui empêche la colonisation par la végétation.

Diagnostic Zone humide Fournier:

- | | |
|---|---|
| ➤ | Trophie : eutrophe |
| ➤ | Perturbations : processus d'érosion élevés |
| ➤ | Apports d'eaux souterraines : infiltrations fluviales |

6.3.2.3 Lône des Luisettes

6.3.2.3.1 Données

- végétation aquatique et physicochimie des lînes -

Tableau 27 Données floristiques (2003)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
algues filamenteuses							2.5	1.2	1.3		1.1	1.2	1.2							
<i>Alisma plantago-aquatica</i>																				
<i>Berula erecta</i>																				1.1
<i>Callitriche</i> sp.																				
<i>Carex</i> sp.																				
<i>Ceratophyllum demersum</i>			1.1	1.1			1.1	1.1												
Characées																1.1	2.3	2.5	4.4	2.5
<i>Eleocharis acicularis</i>																				
<i>Eleocharis palustris</i>																				
<i>Elodea nuttallii</i>	1.3	1.3	1.3	4.5	2.5	3.5	2.5	1.3	1.3			1.2	1.3		1.2	1.2	2.2	3.3	2.5	2.5
<i>Groenlandia densa</i>															1.1	1.1			1.1	
<i>Lemna minor</i>			1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1					1.1							
<i>Mentha aquatica</i>																				
<i>Myriophyllum spicatum</i>	1.1			1.1	1.1									1.1		1.1	1.1			1.1
<i>Myriophyllum verticillatum</i>	1.2			1.1			1.1	1.1												
<i>Nasturtium officinale</i>																				
<i>Phalaris arundinacea</i>				1.1																
<i>Phragmites australis</i>				1.1																
<i>Potamogeton crispus</i>																				
<i>Potamogeton nodosus</i>	1.3	2.5	3.5	4.4	3.5	3.4	3.4	2.5	1.2	1.1	1.1	1.1	1.2	1.2	2.4	1.2	2.2	2.4	2.3	2.5
<i>Potamogeton pectinatus</i>	1.1	4.4	5.5	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1		1.1	1.2	1.2	1.1	1.1		1.1	3.3	1.1	1.2
<i>Potamogeton perfoliatus</i>	2.4																			
<i>Potamogeton pusillus</i>																				
<i>Ranunculus trichophyllus</i>																				
<i>Typha latifolia</i>																				
<i>Veronica beccabunga</i>							1.2													
<i>Zannichellia palustris</i>																				

	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	
algues filamenteuses																				4.4	4.5	
<i>Alisma plantago-aquatica</i>												1.1	1.1		1.1		1.1					
<i>Berula erecta</i>																						
<i>Callitriche</i> sp.										1.1	1.1											
<i>Carex</i> sp.							1.1															
<i>Ceratophyllum demersum</i>																						
Characées				2.2			1.1	1.1	1.3	4.1	1.1	1.1	3.5	3.5	2.4	3.3		4.5		2.2		
<i>Eleocharis acicularis</i>																1.1		3.5				
<i>Eleocharis palustris</i>						1.1																
<i>Elodea nuttallii</i>		2.5	1.1	1.1			1.3	1.1	1.1	1.1		1.1	1.3	5.2	4.4			2.5		2.2	3.4	
<i>Groenlandia densa</i>			1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1			1.1	1.1	2.3	1.1	1.1		1.2			1.1	
<i>Lemna minor</i>												1.1	1.1								1.1	
<i>Mentha aquatica</i>																					1.1	
<i>Myriophyllum spicatum</i>	1.1						1.1															
<i>Myriophyllum verticillatum</i>					1.1																	
<i>Nasturtium officinale</i>											1.1									1.1		
<i>Phalaris arundinacea</i>																		1.1	1.1	1.1	1.3	1.1
<i>Phragmites australis</i>					1.1																	
<i>Potamogeton crispus</i>								1.1	1.1	1.1		1.1		1.1								
<i>Potamogeton nodosus</i>	2.5	1.2			1.1																	
<i>Potamogeton pectinatus</i>	2.3	1.1	1.1	1.1	1.1		1.3					4.4										
<i>Potamogeton perfoliatus</i>																						
<i>Potamogeton pusillus</i>				1.2	1.1	1.2	1.1				1.1				1.1							
<i>Ranunculus trichophyllus</i>														1.2				1.2				
<i>Typha latifolia</i>							1.1															
<i>Veronica beccabunga</i>												1.1										
<i>Zannichellia palustris</i>												1.1										

Tableau 28 **Données environnementales (2003)**

distance depuis l'aval (m)	55	55	105	155	205	255	305	355	405	455	505	555	605	655	705	755	805	855
profondeur (m)	1,20	3,00	2,80	2,30	2,70	2,50	2,90	1,80	1,40	1,30	1,35	1,35	1,45	1,35	1,20	1,25	1,30	1,15
largeur (m)	30	30	30	30	30	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
vit. courant	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
galets, grav. (%)	70		20	10	10	20	20	70	80	90	90	90	90	90	90	90	90	70
sable (%)	20																	
limon (%)	10	50	40	45	45	40	40	15	10	5	5	5	5	5	5	5	5	15
vase (%)		50	40	45	45	40	40	15	10	5	5	5	5	5	5	5	5	15
tourbe (%)																		
transparence (m)	>1,2	1,30	1,30	2,00	2,50	2,00	2,50	>1,80	>1,40	>1,30	>1,35	>1,35	>1,45	>1,35	>1,20	>1,25	>1,30	>1,15
ombre projetée (%)	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	>5	<5	>5	>5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
haut. ripisylve (m)	>8	>8	0	>16	>16	>16	>8	>16	>16	>16	>16	>16	>16	>16	>16	>16	>16	>16

distance depuis l'aval (m)	905	955	1005	1055	1105	1155	1205	1255	1305	1355	1405	1455	1505	1555
profondeur (m)	1,20	1,15	0,80	0,30	0,75	0,35	0,60	0,55	0,45	1,45	0,95	0,45	0,40	0,45
largeur (m)	25	25	25	25	25	25	20	20	15	10	8	4	5	10
vit. courant	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
galets, grav. (%)	70	70	70	90	90	95	100	95	95	95	100	100	100	80
sable (%)														
limon (%)	15	15	15	5	5	2,5		2,5	2,5	2,5				10
vase (%)	15	15	15	5	5	2,5		2,5	2,5	2,5				10
tourbe (%)														
transparence (m)	>1,20	>1,15	>0,80	>0,30	>0,75	>0,35	>0,60	>0,55	>0,45	>1,45	>0,95	>0,45	>0,40	>0,45
ombre projetée (%)	<5	<5	<5	<5	>5	>5	<5	<5	<5	>5	>25	<5	>75	>5
haut. ripisylve (m)	>16	>16	>16	>16	>16	>16	>16	>16	>16	>16	>16	>16	>16	>16

distance depuis l'aval (m)	1605	1655	1705	1755	1805	1855	1895	2005	2155	1605
profondeur (m)	1,10	0,90	0,65	0,55	1,40	0,15	0,10	0,90	0,50	1,10
largeur (m)	20	20	15	8	15	4	3	15	10	20
vit. courant	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
galets, grav. (%)	80	80	80	90	20	100	100	90	80	80
sable (%)					40					
limon (%)	10	10	10	5	40			5	10	10
vase (%)	10	10	10	5				5	10	10
tourbe (%)										
transparence (m)	>1,10	>0,90	>0,65	>0,55	>1,40	>0,15	>0,10	>0,90	>0,50	>1,10
ombre projetée (%)	>5	>25	<5	>5	<5	>75	<5	>50	>5	>5
haut. ripisylve (m)	>16	>16	>16	>16	>16	>16	>16	>16	>16	>16

➤ Sinuosité : 1,06

➤ Profil granulométrique global : 75% de graviers/galets, 2% de sable, 12% de limon, et 11% de vase.

6.3.2.3.2 Diagnostic fonctionnel

L'ACP centrée découpe la zone humide en 2 zones floristiques, une zone aval, regroupant les 1100 premiers mètres, et une zone amont. Le diagnostic porte sur chacune de ces deux zones.

6.3.2.3.2.1 Zone aval

Les données floristiques collectées dans la zone aval sont regroupées dans le *Tableau 29*. Cette zone regroupe les 22 premiers transects de la zone humide.

La partie aval de la zone humide des Luisettes possède une richesse floristique intermédiaire, et se caractérise par la dominance d'espèces liées à des conditions d'habitat méso-eutrophes à eutrophes. Elle est colonisée par une espèce invasive (*Elodea nuttallii*). Certaines espèces témoignent de l'influence d'apports d'eau souterraine (e.g. Charophytes, *Berula erecta*). Les espèces dominantes témoignent d'une influence élevée du cours actif, qui peut résulter de phénomènes de décapage ou d'alluvionnement important. La présence d'*Elodea nuttallii* et la coexistence de *Phalaris arundinacea* et de *Phragmites australis* le long des berges militeraient en faveur de l'existence de processus d'alluvionnement, qui sont probablement contrebalancés par des crues érosives maintenant une bonne connectivité avec les aquifères. Les processus d'alluvionnement sont effectifs dans la partie aval et le long des berges de cette zone, mais le profil granulométrique (64% de granulats grossiers et de sable, 18% de limon et 18 % de vase), témoigne de processus d'érosion significatifs, probablement à même de stabiliser les successions dans cette partie de chenal.

Tableau 29 Diagnostic floristique

	ab. Moy.	trophie	perturbations	H2O sout.
<i>Potamogeton nodosus</i>	1,8	AB(C)	23	1
<i>Elodea nuttallii</i>	1,4	BC	34'	
<i>Potamogeton pectinatus</i>	1,4	C	12344'	
Characées	0,6			1
<i>Myriophyllum spicatum</i>	0,34	(A)BC	(1)2344'	
<i>Lemna minor</i>	0,3	BC	12344'	
<i>Ceratophyllum demersum</i>	0,2	C	12344'	
<i>Groenlandia densa</i>	0,2	B	344'	1
<i>Myriophyllum verticillatum</i>	0,2	ABC	(1)234	1
<i>Potamogeton perfoliatus</i>	0,1	BC	234	1
<i>Berula erecta</i>	0,04			
<i>Phalaris arundinacea</i>	0,04			
<i>Phragmites australis</i>	0,04			
<i>Veronica beccabunga</i>	0,04			
RS par relevé	4,5±1,6			
Nombre d'espèces protégées	0			
Nombre d'espèces invasives	1			

Lorsque l'on confronte ces résultats à ceux collectés en 1998 le long de ce chenal (Henry & Amoros 1998), on constate un changement de dominance dans la partie aval de la zone humide, avec un remplacement de *Potamogeton pectinatus* par *Potamogeton nodosus* et de *Elodea canadensis* par *Elodea nuttallii*. Même si le diagnostic de 1996 ne faisait pas explicitement mention de processus d'alluvionnement dans l'aval de la zone humide, ce remplacement d'espèces ne modifie pas sensiblement le diagnostic entre 1996 et 2003, puisque les processus d'alluvionnement semblent compensés par la dynamique fluviale. En effet, le profil granulométrique reste comparable entre ces deux dates, avec même une diminution de la part relative des éléments fins dans la zone (64% de granulats grossiers et de sable, 18% de limon et 18 % de vase en 1996, contre 69% graviers, 11% sable 12% limon et 12% vase en 2003). Ceci tend à confirmer la stabilité de la zone humide aval, et la non-progression (voire la régression) des processus d'alluvionnement. Il convient de noter la forte progression de *Elodea nuttallii* dans la zone humide, qui a entraîné la disparition de *Elodea canadensis* en 6 ans.

Tableau 30 Abondances moyennes

Abondances moyennes			
	1996		2003
<i>Potamogeton pectinatus</i>	2,1	<i>Potamogeton nodosus</i>	1,9
<i>Elodea canadensis</i>	1,1	<i>Elodea nuttallii</i>	1,5
<i>Chara vulgaris</i> var. <i>vulgaris</i>	1	<i>Potamogeton pectinatus</i>	1,4
<i>Myriophyllum verticillatum</i>	0,6	Characées	0,6
<i>Myriophyllum spicatum</i>	0,5	<i>Myriophyllum spicatum</i>	0,4
<i>Potamogeton natans</i>	0,4	<i>Lemna minor</i>	0,3
<i>Phalaris arundinacea</i>	0,3	<i>Ceratophyllum demersum</i>	0,3
<i>Callitriche platycarpa</i>	0,3	<i>Groenlandia densa</i>	0,2
<i>Ranunculus circinatus</i>	0,3	<i>Myriophyllum verticillatum</i>	0,2
<i>Groenlandia densa</i>	0,1	<i>Potamogeton perfoliatus</i>	0,2
<i>Ceratophyllum demersum</i>	0,1	<i>Berula erecta</i>	0,1
<i>Phragmites australis</i>	0,1	<i>Phalaris arundinacea</i>	0,05
<i>Potamogeton crispus</i>	0,1	<i>Phragmites australis</i>	0,05
<i>Alisma plantago-aquatica</i>	0,05	<i>Veronica beccabunga</i>	0,05
<i>Berula erecta</i>	0,05		
RS moyenne par relevé	5,3±1,9		4,5±1,5
Nombre d'espèces protégées	0		0
Nombre d'espèces invasives	1		1

Diagnostic zone aval Lône des Luisettes:

- Trophie : méso-eutrophe à eutrophe
- Perturbations : processus d'érosion élevés, alluvionnement probablement stabilisé à la confluence.
- Apports d'eaux souterraines : significatifs.

6.3.2.3.2.2 Zone amont

La zone amont (transects 1100 à 2155) est caractérisée par la dominance de *Chara vulgaris*, en association avec *Elodea nuttallii*, *Groenlandia densa* et *Potamogeton pectinatus*. *Groenlandia densa* et *Chara vulgaris* témoignent de la connexion de la zone humide avec les aquifères.

Tableau 31 Diagnostic floristique

Espèces dominantes	Ab. Moy.	trophie	perturbations	H2O sout.
<i>Chara vulgaris</i>	1,3	AB	234	1
<i>Elodea nuttallii</i>	0,9	BC	34'	
<i>Groenlandia densa</i>	0,6	B	344'	1
<i>Potamogeton pectinatus</i>	0,4	C	12344'	
<i>Potamogeton pusillus</i>	0,3	BC	234	
<i>Phalaris arundinacea</i>	0,3	ABC	1234	
<i>Alisma plantago-aquatica</i>	0,2	BC	1234	
<i>Eleocharis acicularis</i>	0,2	ABC	2344'	1
<i>Potamogeton crispus</i>	0,2	C		
<i>Lemna minor</i>	0,2	BC	12344'	
RS par relevé	4±2,2			
Nombre d'espèces protégées	0			
Nombre d'espèces invasives	1			

La plupart des espèces composant le peuplement dominant sont associées à des niveaux de perturbation élevés à très élevés. La sinuosité faible et la dominance de substrat graveleux (88% grossier, 2% sable, 6% de limon et 4% de vase), confirment l'existence de processus d'érosion élevés. Cette partie de la zone humide est colonisée par une espèce invasive, et ne présente pas d'espèces protégées.

Lorsque l'on compare ces données à celles de 1996, on constate que la zone reste dominée par *Chara vulgaris* et *Groenlandia densa*, mais qu'*Elodea nuttallii* est apparue depuis 1996, et qu'elle a pris la seconde place en termes d'abondance dans la zone, devant *Groenlandia densa*.

Tableau 32 Abondances moyennes

Abondances moyennes			
	1996		2003
<i>Chara vulgaris</i> var. <i>vulgaris</i>	1,42	<i>Chara vulgaris</i>	1,3
<i>Groenlandia densa</i>	1,34	<i>Elodea nuttallii</i>	0,9
<i>Myriophyllum spicatum</i>	0,89	<i>Groenlandia densa</i>	0,6
<i>Phalaris arundinacea</i>	0,38	<i>Potamogeton pectinatus</i>	0,4
<i>Potamogeton pectinatus</i>	0,62	<i>Potamogeton pusillus</i>	0,3
<i>Alisma plantago-aquatica</i>	0,53	<i>Phalaris arundinacea</i>	0,3
<i>Callitriche platycarpa</i>	0,37	<i>Alisma plantago-aquatica</i>	0,2
<i>Elodea canadensis</i>	0,37	<i>Eleocharis acicularis</i>	0,2
<i>Phragmites australis</i>	0,11	<i>Potamogeton crispus</i>	0,2
<i>Carex</i> sp.	0,02	<i>Lemna minor</i>	0,2
<i>Lysimachia vulgaris</i>	0,02	<i>Callitriche</i> sp.	0,1
<i>Potamogeton crispus</i>	0,1	<i>Nasturtium officinale</i>	0,1
<i>Ranunculus circinatus</i>	0,1	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	0,1
<i>Typha latifolia</i>	0,02	<i>Carex</i> sp.	0,1
		<i>Eleocharis palustris</i>	0,1
		<i>Mentha aquatica</i>	0,1
		<i>Myriophyllum spicatum</i>	0,1
		<i>Myriophyllum verticillatum</i>	0,1
		<i>Phragmites australis</i>	0,1
		<i>Potamogeton nodosus</i>	0,1
		<i>Typha latifolia</i>	0,1
		<i>Veronica beccabunga</i>	0,1
		<i>Zannichellia palustris</i>	0,1
RS moyenne par relevé	3±0,5		4±2,2
Nombre d'espèces rares	0		0
Nombre d'espèces invasives	1		1

La richesse floristique totale de la zone a augmenté, ainsi que la richesse moyenne par relevé, mais sans que cela ne corresponde à une modification des caractéristiques sédimentaires de la zone, qui était déjà dominée par un substrat très graveleux (91,5% de granulats grossiers, 2% de sable, 5% de limon et 2% de vase) en 1996. En conséquence, les données de 1996 ne permettent pas de conclure à un changement de fonctionnement significatif entre les deux dates.

Diagnostic zone amont Lône des Luisettes:

- Trophie : méso-eutrophe
- Perturbations : processus d'érosion élevés
- Apports d'eaux souterraines : très significatifs.

6.3.2.4 Lône Moiroud

6.3.2.4.1 Données

Tableau 33 Données floristiques (2003)

	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	475	510	525	550
<i>Alisma plantago-aquatica</i>							1.1	1.1	1.1	1.1			1.1	
<i>Callitriche</i> sp.			1.1											
<i>Carex</i> sp.					1.2	1.1								
<i>Ceratophyllum demersum</i>	2.2	1.1	1.1	1.1	1.2								1.1	
<i>Echinochloa crus-galli</i>					1.1		1.2	1.1						
<i>Eleocharis palustris</i>						1.2								
<i>Elodea nuttallii</i>	3.5	3.5	4.5	5.5	5.5	4.5	5.5	5.5	3.5	2.2	2.5		5.5	5.5
<i>Groenlandia densa</i>									1.1					
<i>Lemna minor</i>	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1	1.1	2.2	1.1	1.1	2.3	1.2
<i>Myriophyllum verticillatum</i>	2.3	1.1	1.1					1.1	2.3		1.1			
<i>Phalaris arundinacea</i>						1.1		1.1	1.2		1.1		1.1	1.1
<i>Phragmites australis</i>			1.1		1.1					3.3			1.1	
<i>Potamogeton natans</i>	1.1				1.2									
<i>Potamogeton pectinatus</i>				1.1				1.1						

Tableau 34 Données environnementales (2003)

distance depuis l'aval (m)	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	475	510	525	550
profondeur (m)	0,70	0,95	0,65	0,85	0,55	0,85	0,55	0,50	0,70	0,30	0,60	0,25	0,50	0,70
largeur (m)	10	7	6	8	4	6	6	5	7	2	6	2	4	5
vit. courant	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
galets, grav. (%)			10								50	50	60	60
sable (%)			10		10									
limon (%)	100	100	80	100	90	100	100	100	100	100	50		40	40
vase (%)												50		
tourbe (%)														
transparence (m)	>0,70	>0,95	>0,65	>0,85	>0,55	>0,85	>0,55	>0,50	>0,70	>0,30	>0,60	>0,25	>0,50	>0,70
ombre projetée (%)	>5	>25	>25	>50	>5	<5	>25	<5	>75	>75	>25	>75	>25	>25
haut. ripisylve (m)	>16	>16	>16	>16	>16	>16	>16	>16	>16	<2	>16	>16	>16	>4

- Sinuosité : 1,16
- Substrat : 16,4% de granulats grossiers, 2% de sable, 78% de limon et 4% de vase.

6.3.2.4.2 Diagnostic fonctionnel

La petite dimension et le faible contraste floristique entre les différents transects réalisés le long de la zone humide rendent la distinction de zones floristiques inutile. La zone humide est colonisée par des espèces caractéristiques de milieux eutrophes (*Lemna minor*, *Ceratophyllum demersum*). Elle est dominée par l'espèce invasive *Elodea nuttallii*.

Tableau 35 Diagnostic floristique

	Ab. Moy.	SD	trophie	perturbations	H2O sout.
<i>Elodea nuttallii</i>	3,64	1,6	BC	34'	
<i>Lemna minor</i>	1,14	0,4	BC	12344'	
<i>Myriophyllum verticillatum</i>	0,57	0,7	ABC	(1)234	1
<i>Ceratophyllum demersum</i>	0,5	0,7	C	12344'	
<i>Phalaris arundinacea</i>	0,43	0,5	ABC	1234	
<i>Phragmites australis</i>	0,43	0,8	ABC	1234'	
<i>Alisma plantago-aquatica</i>	0,36	0,5	BC	1234	
<i>Echinochloa crus-galli</i>	0,21	0,4			
<i>Carex</i> sp.	0,14	0,4			
<i>Potamogeton natans</i>	0,14	0,4			
<i>Potamogeton pectinatus</i>	0,14	0,4			
<i>Callitriche</i> sp.	0,07	0,3			
<i>Eleocharis palustris</i>	0,07	0,3			
<i>Groenlandia densa</i>	0,07	0,3			
RS moyenne par relevé	4,7±1,7				
Nombre d'espèces rares	0				
Nombre d'espèces invasives	1				

Les apports d'eaux souterraines sont probablement peu importants, en raison de la faible représentation des espèces indicatrices de ce type de connexion. En termes de perturbations, les espèces sont liées à des niveaux de perturbation variables. Cependant, la dominance de *Elodea nuttallii*, combinée avec 1) l'absence d'espèces tolérantes aux perturbations ; 2) l'abondance d'espèces non fixées, 3) la coexistence de *Phalaris arundinacea* et de *Phragmites australis*, suggère l'existence de processus d'alluvionnement. Le profil granulométrique de la zone humide (16% de graviers, 2% de sable, 78% de limon et 4% de vase) confirme ce diagnostic.

Tableau 36 Abondances moyennes

	Abondances moyenne	
	1996	2003
<i>Lemna minor</i>	3,1	<i>Elodea nuttallii</i> 3,6
<i>Callitriche platycarpa</i>	3	<i>Lemna minor</i> 1,1
<i>Elodea canadensis</i> 2,8	<i>Myriophyllum verticillatum</i> 0,6	
<i>Potamogeton pusillus</i> 2,4	<i>Ceratophyllum demersum</i> 0,5	
<i>Chara globularis</i> 1,2	<i>Phalaris arundinacea</i> 0,4	
<i>Myriophyllum verticillatum</i> 0,9	<i>Phragmites australis</i> 0,4	
<i>Ceratophyllum demersum</i> 0,4	<i>Alisma plantago-aquatica</i> 0,4	
<i>Phalaris arundinacea</i> 0,3	<i>Echinochloa crus-galli</i> 0,2	
<i>Potamogeton crispus</i> 0,3	<i>Carex</i> sp. 0,1	
<i>Groenlandia densa</i> 0,2	<i>Potamogeton natans</i> 0,1	
<i>Alisma plantago-aquatica</i> 0,1	<i>Potamogeton pectinatus</i> 0,1	
<i>Alopecurus geniculatus</i> 0,1	<i>Callitriche</i> sp. 0,1	
<i>Nasturtium officinale</i> 0,1	<i>Eleocharis palustris</i> 0,1	
<i>Phragmites australis</i> 0,1	<i>Groenlandia densa</i> 0,1	
RS moyenne par relevé	6,4±1,8	4,7±1,7
Nombre d'espèces protégées	0	0
Nombre d'espèces invasives	1	1

Lorsque l'on compare ces résultats à ceux obtenus en 1996 par Henry & Amoros (1998), on constate (Tableau 36) que la richesse floristique par relevé a sensiblement diminué dans cette zone humide (moins deux espèces en moyenne). En parallèle, on assiste à une progression très significative des espèces polluo-tolérantes entre les deux dates. Les espèces dominantes, qui témoignaient d'une dynamique fluviale significative (*Potamogeton pusillus*,

Elodea canadensis), et celles qui témoignaient d'apports d'eau souterraine (*Chara globularis*) ont régressé ou disparu. La granulométrie de la zone humide semble avoir évolué vers un substrat plus limoneux, alors qu'en 1996, la composante sableuse semblait importante (24% granulats grossiers, 38 % de sable et 38% de limon). Cette zone humide présente donc un fonctionnement qui s'oriente vers les processus d'alluvionnement. Les processus d'érosion et le niveau de connexion aux aquifères étaient plus significatifs en 1996. Dans ces circonstances, **il est probable que la durée de vie de cette zone humide soit intermédiaire à faible**, avec des potentialités de restauration faibles.

Diagnostic Lône Moiroud :

- | | |
|---|--|
| ➤ | Trophie : eutrophe |
| ➤ | Perturbations : processus d'alluvionnement |
| ➤ | Apports d'eaux souterraines : faibles. |

6.4 Conclusion

Les conséquences des projets de restauration envisagés seront analysées lors du suivi programmé.

Dans deux cas (Luisettes, Fournier), la restauration peut devenir une cause de déstabilisation de la zone humide, et risque d'entraîner sa reconnexion à la rivière.

Dans les deux autres cas, il est important d'évaluer avec rigueur le bénéfice 1) écologique, 2) en termes de stabilisation des successions, que pourra apporter la restauration. Par conséquent, il aurait été préférable dans une première étape, de conduire une réflexion sur la mise en œuvre de procédés destinés à diminuer les processus d'alluvionnement (élimination des éventuels goulots d'étranglement aval constituant des freins à l'écoulement, par exemple). En l'absence de telles solutions, le curage risque d'être peu pérenne, et potentiellement néfaste pour la biodiversité (risque d'invasion de *Elodea nuttallii*).

7 GÉOMORPHOLOGIE DES LÔNES

7.1 Rappel du contexte et des objectifs

En terme de sédimentation dans les lônes, le programme décennal pose deux questions majeures:

- **Quelle est l'espérance de vie d'une lône restaurée?** En d'autres termes, y a-t-il un comblement du bras par sédimentation? Existe-t-il des phénomènes de décapage ralentissant le processus, voire l'inversant? Cette espérance est-elle modifiée par la restauration ? Ce premier ensemble de questions est abordé en confrontant le taux de sédimentation (épaisseur des sédiments déposés sur une période de temps donnée) et la hauteur d'eau moyenne de la lône (disponible par ailleurs) qui est susceptible d'enregistrer le comblement.
- **La restauration modifie-t-elle les conditions d'habitat dans la lône?** Ces conditions d'habitat dépendent de l'écoulement et des caractéristiques granulométriques du lit. L'objectif est ici de déterminer si les conditions d'habitat sont modifiées par rapport aux conditions initiales et si ces nouvelles conditions vont se maintenir durablement. Ce travail doit être réalisé en étroite relation avec l'étude de la végétation. Pour caractériser cette évolution, un suivi de la granulométrie moyenne et de la variabilité granulométrique intra-lône est réalisé.

7.2 Méthodologie (méthode d'échantillonnage, méthode d'analyse des données)

7.2.1 Espérance de vie des lônes restaurées

Il s'agit de comparer l'état restauré avec l'état avant restauration afin d'évaluer l'impact des travaux réalisés en terme de durée. Deux opérations successives sont donc réalisées :

- **Evaluation de l'espérance de vie avant restauration.** La connaissance de l'accumulation des sédiments (sables et limons de débordement) à l'origine du comblement à T-1 est indispensable. Cinq à dix points de mesures (selon la longueur de la lône) sont distribués longitudinalement afin de mesurer l'épaisseur des sédiments fins déposés. La sédimentation moyenne annuelle sera calculée comme le rapport entre l'épaisseur moyenne observée et l'âge de la lône (période de temps séparant la date de recoupement d'aujourd'hui). En faisant le produit de la profondeur moyenne de la zone en eau par ce taux de sédimentation, on dispose de son espérance de vie.
- **Evaluer le comblement et l'espérance de vie après la restauration.** Sur chaque lône, trois à cinq placettes minimum sont positionnées de manière à prendre en compte la variabilité spatiale des dépôts. Une campagne de prélèvements sera alors réalisée tous les 5 ans avec une mesure de l'épaisseur de sédiments et un prélèvement massif pour une analyse granulométrique plus fine. Là encore, La sédimentation

moyenne annuelle sera calculée comme le rapport entre l'épaisseur moyenne observée et la durée de l'observation (5 ans). En faisant le produit de la profondeur moyenne de la zone en eau par ce taux de sédimentation, on disposera de son espérance de vie.

Pour cette campagne, conformément au protocole indiqué ci-avant, dix points d'observation par lône ont été réalisés en avril et mai 2004 afin de déterminer la hauteur d'eau et l'épaisseur des sédiments fins (leurs localisations figurent sur les cartes en *Annexe XIII*).

7.2.2 Caractéristiques granulométriques de la lône

Afin de suivre la variabilité longitudinale des conditions granulométriques au cours du temps et évaluer la modification des conditions d'habitat suite aux travaux de restauration, 5 prélèvements de sédiments sont réalisés sur chacun des sites à position fixe et à T-1, T+1, T+3, T+6, T+9 (en années, T0 étant l'année de la restauration). La position de ces prélèvements est établie à T-1, leur localisation devra rendre compte des conditions sur l'ensemble du linéaire et des ensembles floristiques. Les prélèvements sont effectués dans le fond du lit sur les 5 premiers cm. Une courbe granulométrique classée est calculée pour chacun d'eux afin de disposer des centiles suivants : D50, D16, D84 permettant de rendre compte des conditions médianes et de la dispersion.

Concernant cette campagne avant restauration réalisée sur Belley, la granulométrie a été réalisée en même temps que les relevés de végétation par le bureau d'étude Asconit (localisation en *Annexe XIV*).

7.3 Résultats

7.3.1 Espérance de vie des lônes restaurées / présentation des données brutes acquises

Les hauteurs d'eau sont très variables d'une lône à l'autre. Certaines sont quasiment asséchées, c'est le cas de l'Anse de Yenne et de l'Ile Béard au sein desquelles ne subsistent que quelques trous d'eau peu profonds. D'autres, comme Luisettes ou Lucey enregistrent des hauteurs d'eau d'un mètre en moyenne avec localement des profondeurs voisines de 1,5 à 2 m (*Tableau 37*).

Tableau 37 Répartition longitudinale de la hauteur d'eau (cm)

Hauteur d'eau (cm)	N1	N1	N1	N1	N2	N2
	Luisettes amont	Moiroud	Ile Béard	Fournier	Lucey	Anse de Yenne
T1 / Amont	130	61	35	114	52	0
T2	90	67	1	43	80	0
T3	220	60	0	114	71	0
T4	70	59	37	20	74	0
T5	162	80	0	15	85	0
T6	148	58	0	35	144	0
T7	93	73	0	12	143	0
T8	98	60	0	50	105	0
T9	60	76	0	49	112	30
T10 / Aval	34	78	0	0	122	0
Moyenne	110,5	67,2	7,3	45,2	98,8	3

Les épaisseurs de sédiments sont également très variables d'une lône à l'autre (Tableau 38). Quatre lônes sur 6 n'ont pas de sédiments fins, indiquant de fait qu'elles fonctionnent comme des bras secondaires épisodiques, et non véritablement comme des « bras morts ». Seules la lône Moiroud et l'île Béard ont enregistré effectivement depuis leur abandon une véritable dynamique de vieillissement avec des dépôts moyens respectifs de 30 et 15 cm. Le patron de sédimentation présente une grande variabilité longitudinale sur Moiroud alors que sur l'île Béard il oppose une partie amont en cours de sédimentation (dans des zones en eau résiduelles) et une partie médiane et aval caractérisée par un fond de galets sans sédimentation (Figure 29).

Tableau 38 Répartition longitudinale de l'épaisseur des sédiments fins (cm)

Epaisseur de sédiments fins (cm)	N1	N1	N1	N1	N2	N2
	Luisettes amont	Moiroud	Ile Béard	Fournier	Lucey	Anse de Yenne
T1	0	35	40	0	13	0
T2	0	5	50	0	0	0
T3	0	39	50	0	0	0
T4	0	71	20	0	0	0
T5	0	15	0	0	0	0
T6	0	0	0	0	0	0
T7	0	38	0	0	0	0
T8	0	39	0	0	0	0
T9	0	13	0	0	0	0
T10	0	26	0	0	0	0
Moyenne	0	28,1	16	0	1,3	0

Il convient encore d'analyser les cartes et des photographies aériennes anciennes afin de déterminer la date de l'abandon du bras et calculer ainsi le taux annuel moyen de sédimentation sur la période et l'espérance de vie avant travaux de ces deux bras.

7.3.2 Patron granulométrique des lônes restaurées / présentation des données brutes acquises

Parmi les 4 lônes intégrées au suivi de niveau 1, seules l'île Béard et la lône Moiroud enregistrent une sédimentation fine et ont fait l'objet d'analyse granulométrique. Dans les deux cas, le sédiment est plutôt limoneux (D_{50} voisin de 20-25 μm) (Tableau 39). Leur patron

granulométrique est cependant assez différent avec pour l'île Béard une sédimentation plus nettement sableuse à son extrémité aval et pour la lône Moiroud une granulométrie plus uniforme tout au long du linéaire (Figure 30). Dans les deux cas, les teneurs en matière organique sont relativement faibles (2,5 à 7%) indiquant des écoulements relativement fréquents, renouvelant le sédiment.

Tableau 39 Granulométrie et part de la matière organique dans les sédiments fins déposés dans les lônes de l'île Béard et Moiroud

Lône	Prélèvement	distance depuis l'aval (m)	Matières Organiques (%)		Matières Minérales (%)		D16 (µm)	D50 (µm)	D84 (µm)
			sur brut	sur sec	sur brut	sur sec			
Béard	BE1	75	1,86	3,17	56,71	96,83	11,874	132,518	409,163
	BE2	125	2,01	2,89	67,58	97,11	9,302	111,880	320,535
	BE3	515	2,55	5,39	44,68	94,61	5,053	22,025	106,852
	BE4	720	3,12	5,90	49,80	94,10	4,472	22,921	94,574
	BE5	770	3,04	6,49	43,74	93,51	5,709	25,638	106,852
Moiroud	MO1	0	2,44	3,72	63,15	96,28	6,450	38,171	196,714
	MO2	150	1,75	2,65	64,46	97,35	3,503	16,592	58,041
	MO3	300	2,18	3,31	63,52	96,69	6,450	39,745	174,110
	MO4	510	3,43	6,72	47,66	93,28	5,709	27,197	94,574
	MO5	525	3,04	5,20	55,44	94,80	7,287	34,850	154,104

Données collectées le 19 sept. 2003

Figure 29 Épaisseur des sédiments (Répartition longitudinale des sédiments depuis le Rhône aval)

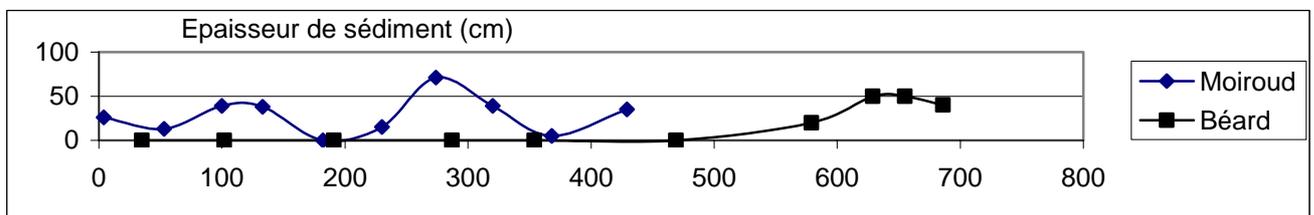
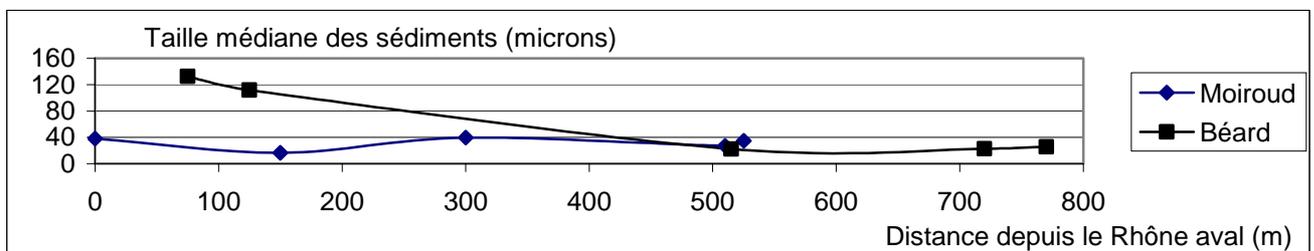


Figure 30 Granulométrie (Répartition longitudinale des sédiments depuis le Rhône aval)



7.4 Bilan et perspectives

Les bras restaurés de Belley sont encore très actifs, fréquemment occupés par le Rhône. Seule la lône Moiroud est effectivement en cours de vieillissement par comblement ;

des écoulements fréquents la parcourent limitant un fonctionnement purement autogène. Elle se remplit progressivement de sables et de limons que les crues du Rhône ne peuvent décaper.

Les travaux de restauration vont ainsi toucher des lônes qui sont des milieux graveleux relativement dynamiques, sans sédimentation fine. Il est peu probable que les conditions de substrat soient véritablement modifiées à l'exception de la lône Moiroud qui est très sédimentée et de l'île Béard, dont la plus grande partie du linéaire est terrestre à ce jour.

Plusieurs actions sont programmées à l'issue des travaux de restauration :

- un suivi post-travaux de la hauteur d'eau et de l'épaisseur de la sédimentation avec installation des placettes de suivi du comblement (juin 2005)
- un suivi post-travaux de la granulométrie des 5 bras au moment des relevés de végétation
- l'installation de capteurs de hauteur d'eau (pour le suivi de niveau 2)

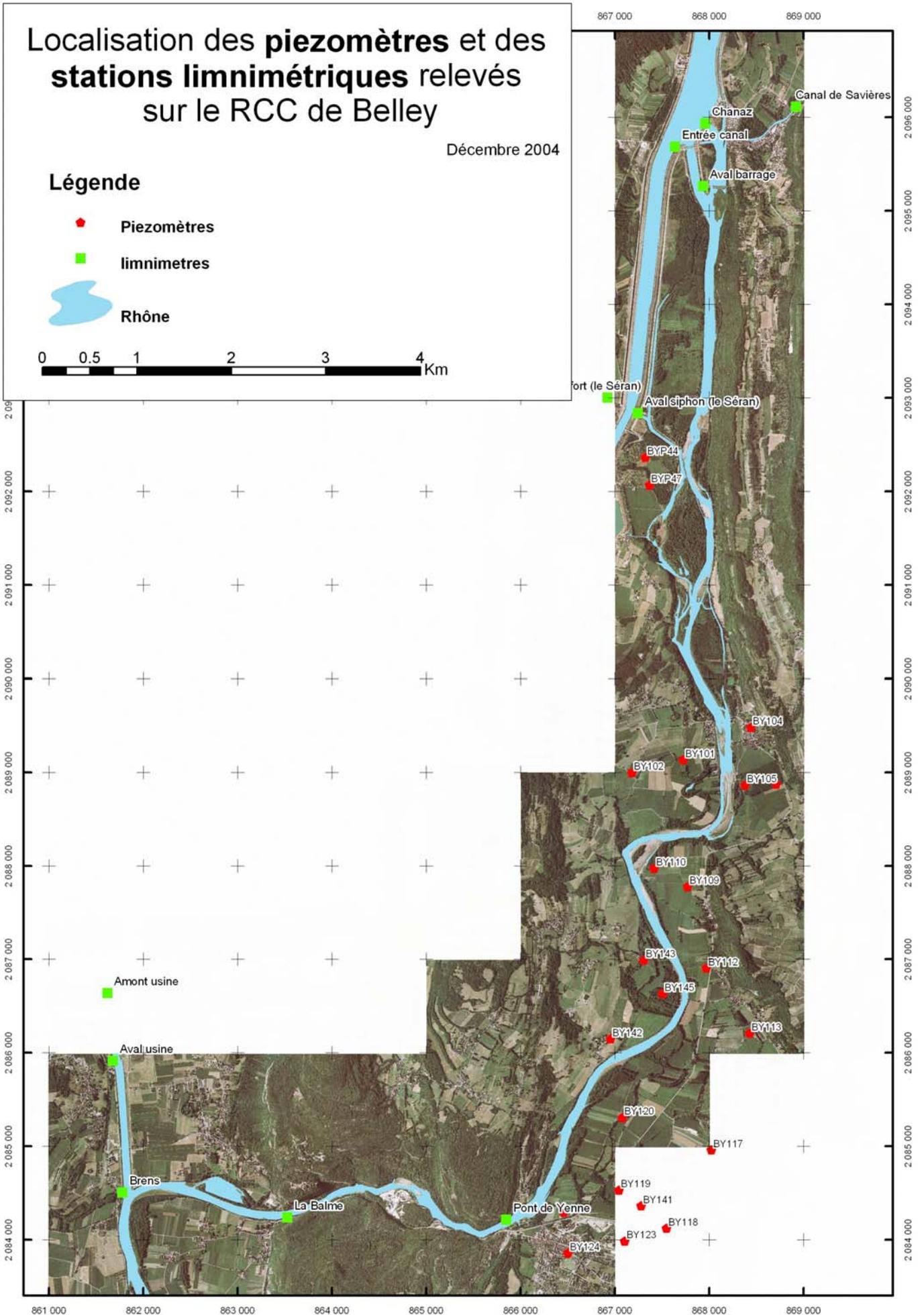
Une analyse de données complémentaires sera effectuée également au printemps 2005 (cartes anciennes, photographies aériennes, enquête auprès des élus) afin de déterminer la date d'abandon des bras et déterminer ainsi l'espérance de vie des lônes avant restauration.

8 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 du R.C.C. de Belley 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. au cours des 6 dernières années.

Aucun limnimètre fiable n'étant présent sur le vieux Rhône de Belley, nous avons calculé le débit du R.C.C. comme étant la somme du débit mesuré à l'aval du barrage de Lavours (amont du R.C.C.) et du débit du Séran, principal affluent du R.C.C. Le débit du Séran est mesuré à la station limnimétrique du pont de la Thuillière. Les valeurs de débit affichées sont à titre indicatif.

Les graphiques de tous les piézomètres retenus figurent en *Annexe XV*. L'interprétation de ces graphiques est rendue très difficile par le fait que le pas de temps des mesures des niveaux piézométriques est très long (généralement une mesure par trimestre). Dans de telles conditions, aucune corrélation avec les valeurs de débit dans le Vieux-Rhône n'est envisageable. Ces graphiques ont donc pour principale vocation d'illustrer la disponibilité des données.



9 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES CITÉES

- Amoros, C., Bornette, G. et Henry, C.P. 2000 A vegetation-based method for the ecological diagnosis of riverine wetlands. *Environmental Management* 25: 211-227.
- Bollache L., Devin S., Wattier R., Chovet M., Beisel J.N., Moreteau J.C., Rigaud T. (2004). Rapid range extension of the Ponto-Caspian amphipod *Dikerogammarus villosus* in France: potential consequences. *Archiv für Hydrobiologie*. 160: 57-66.
- Bornette, G., Amoros, C. et Collilieux, G. 1994. Role of seepage supply in the aquatic vegetation dynamics in former river channels : prediction testing using a hydroelectric construction. *Environmental Management* 18(2) : 223-234.
- Bornette, G., Amoros, C., Henry, C. & Chiarello, E. 1996. Diagnostic des potentialités évolutives des zones humides fluviales du Rhône. Rapport final de la première phase: Méthode de diagnostic fonctionnel. Rapport à la Compagnie Nationale du Rhône et à l'Agence de l'Eau. 50 p. + tables et exemples de cartographie.
- Colling, M. (1996). Ökologische Typisierung der aquatischen Makrofauna - Inf.-Ber. bayer. Landesamt Wasserwirtsch., 543 pp. München.
- De Crespin De Billy V. & Usseglio-Polatera P. (2002). Traits of brown trout prey in relation to habitat characteristics and benthic invertebrate communities. *Journal of Fish Biology*. 60 : 687-714.
- 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. (1987) Rythmes saisonniers et composantes stationnelles en milieu aquatique I- Description d'un plan d'observations complet par projection de variables. *Acta Œcologica, Œcologia Generalis*, 8: 403-426.
- Dolédec, S. & Chessel, D. (1989) Rythmes saisonniers et composantes stationnelles en milieu aquatique II- Prise en compte et élimination d'effets dans un tableau faunistique. - *Acta Œcologica, Œcologia Generalis*, 10: 207-232.
- 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.
- Duelli P. (Ed.) (1994). Liste rouge des espèces animales menacées de Suisse. Office Fédéral de l'Environnement des Forêts et du Paysage, Berne. 97p.
- Gordon, N.D., McMahon T.A. & Finlayson B.L. (1992) *Stream hydrology*, John Wiley, New York, 526 pp.
- Gotelli, N.J. & G.L. Entsminger. (2001). *EcoSim: Null models software for ecology*. Version 7.0. Acquired Intelligence Inc. & Kesey-Bear.

<http://homepages.together.net/~gentsmin/ecosim.htm>.

- Heck, K.L., Jr., G. van Belle and D. Simberloff. (1975). Explicit calculation of the rarefaction diversity measurement and the determination of sufficient sample size. *Ecology* 56: 1459-1461.
- Henry, C. & Amoros, C. 1997. Diagnostic écologique des zones humides dans le secteur de Belley : potentialités évolutives et possibilités de restauration. Rapport à la compagnie nationale du Rhône.
- Henry, C. & Amoros, C. 1998. Diagnostic écologique des zones humides dans le secteur de Belley : potentialités évolutives et possibilités de restauration. Rapport à la compagnie nationale du Rhône.
- Jedicke E. (Ed.) (1997). Die roten Listen. Gefährdete Pflanzen, Tiere, Pflanzengesellschaften und Biotoptypen in Bund und Ländern. Ulmer. 581p.
- 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.
- Krebs, C.J. (1999). *Ecological methodology*. Addison Wesley Longman, Inc. 620p.
- 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.
- Merritt R.W. & Cummins K.W. (1996). Trophic relations of macroinvertebrates. In F.R. Hauer & G.A. Lamberti. *Methods in Stream Ecology*. Academic Press. 453-474.
- Merritt R.W., Higgins M.J., Cummins K.W. & Vandeneeden B. (1999). The Kissimmee river-riparian marsh ecosystem, Florida. Seasonal differences in invertebrate functional

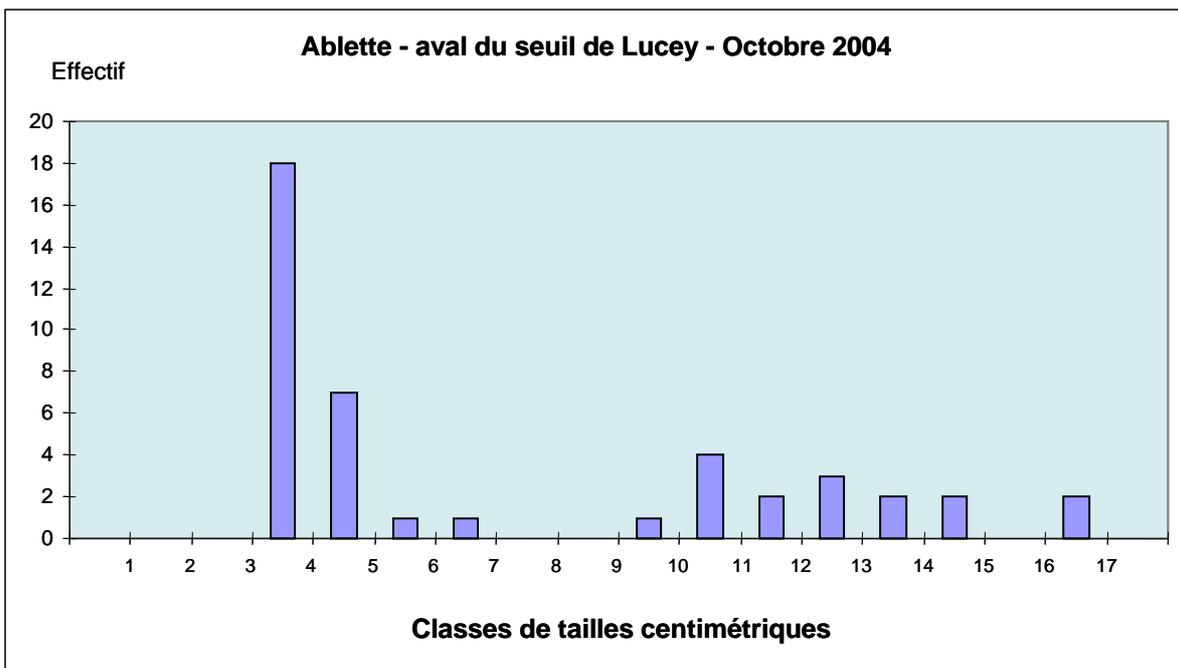
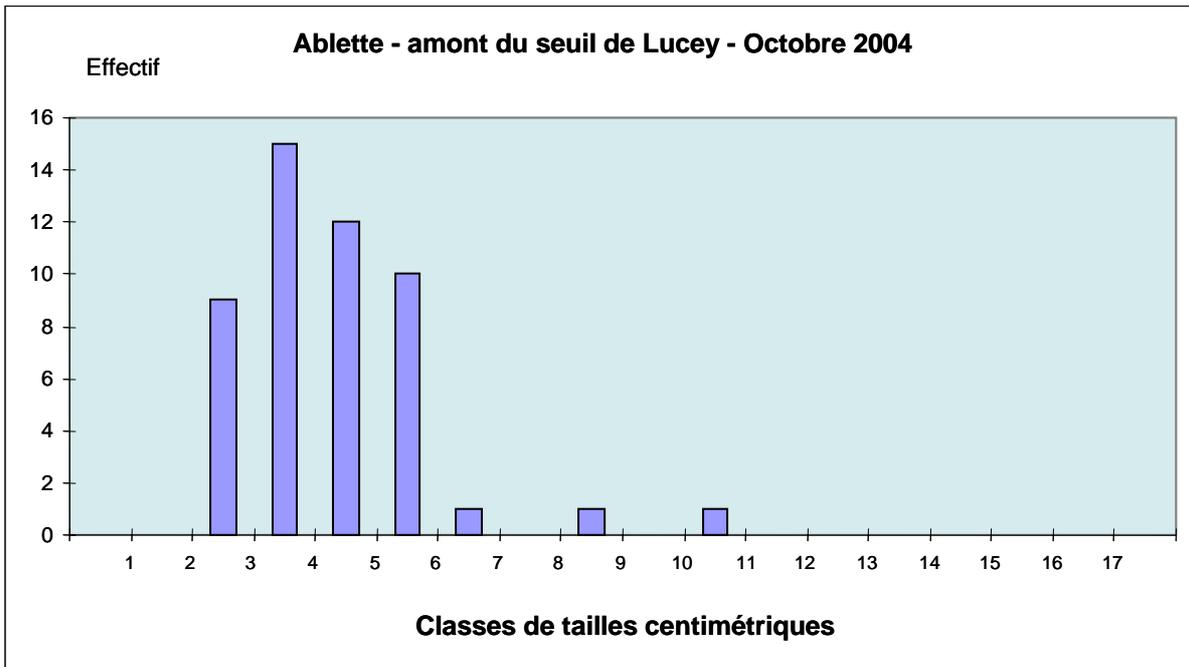
- feeding group relationships. In D.P. Batzer, R.B. Rader & S.A. Wissinger (Eds) *Invertebrates in freshwater wetlands of North America : ecology and management*. John Wiley & Sons. 55-79.
- Merritt, R.W., Cummins K.W., Berg M.B., Novak J.A., Higgins M.J., Wessell K.J. & Lessard J.L. (2002). Deveopment and application of a macroinvertebrate functional-group approach in the bioassessment of remnant river oxbows in southwest Florida. *J.N. Am. Benthol. Soc.* 21(2): 290-310.
- Moog, O. (ed.) (1995). *Fauna Aquatica Austriaca. Katalog zur autökologischen Einstufung aquatischer Organismen Österreichs*. Wasserwirtschaftskataster, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wien.
- 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. Étude 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. Étude 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. Étude pour la Compagnie Nationale du Rhône. 25 pages + annexes.
- Pellaud, M. (2004) *Diversité des macroinvertébrés aquatiques dans la plaine alluviale du Haut-Rhône (Brégnier-Cordon, France)*. Diplôme en Sciences Naturelles de l'Environnement n°102, Université de Genève. 110p.
- 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.

- Références bibliographiques -

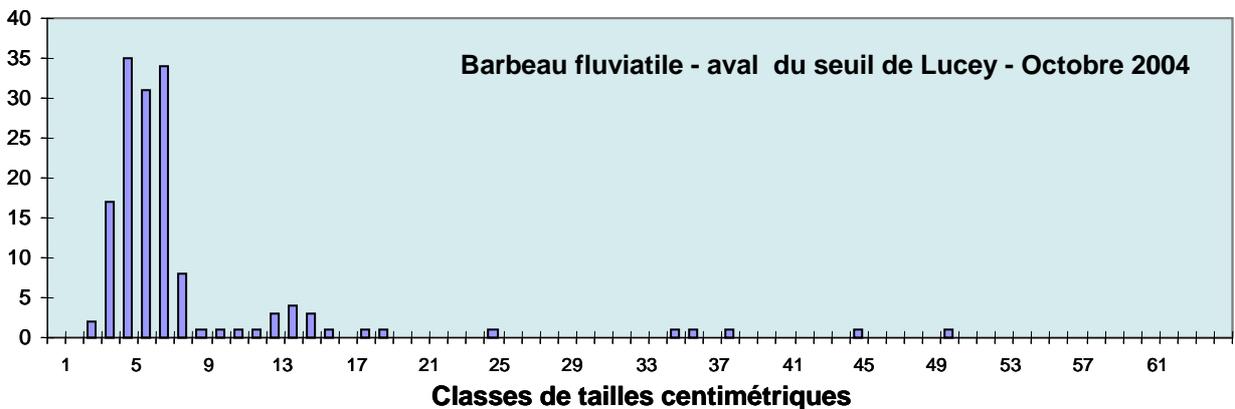
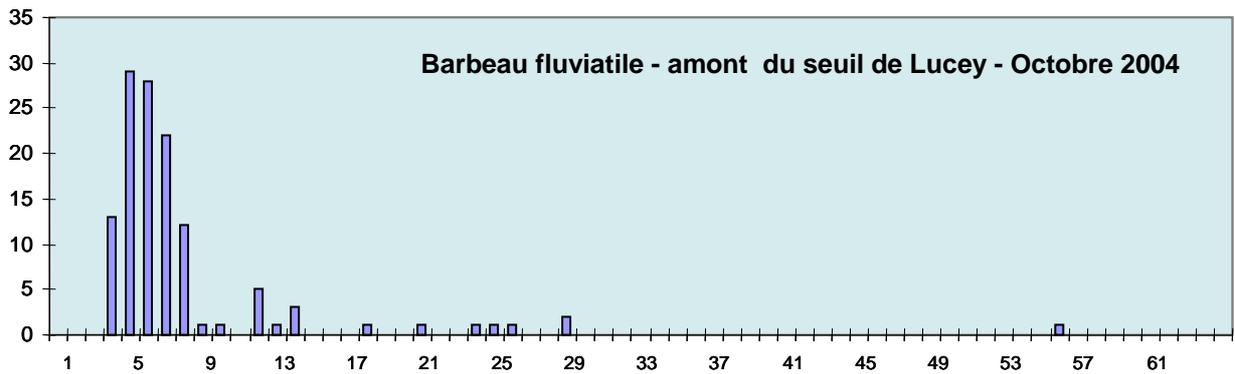
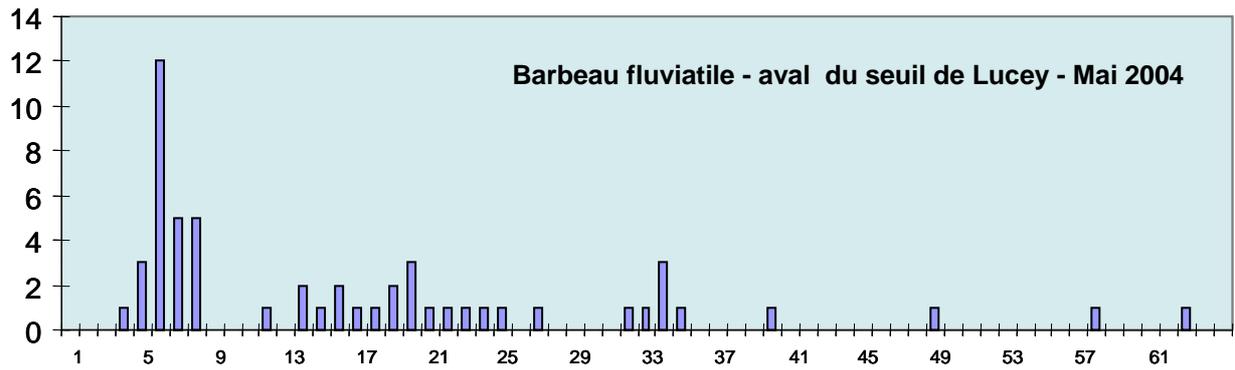
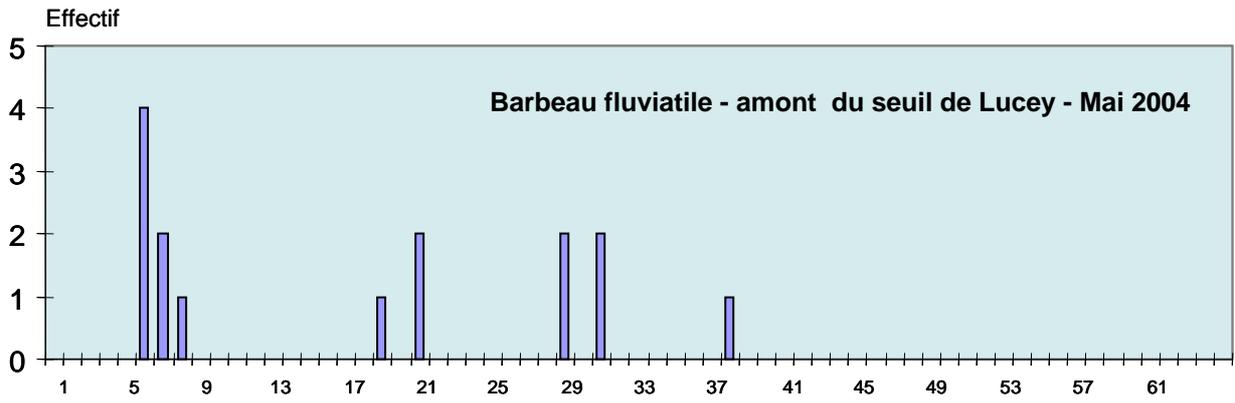
- Thioulouse J., Chessel D., Dolédec S., & Olivier J.M., 1997 - ADE-4: a multivariate analysis and graphical display software. *Statistics and Computing*, 7 (1) 75-83. (<http://pbil.univ-lyon1.fr/ADE-4/ADE-4F.html>)
- Townsend, C.R., Scarsbrook, M.R. & Dolédec, S. (1997). Quantifying disturbance in streams: alternative measures of disturbance in relation to macroinvertebrate species traits and species richness. *J. N. Am. Benthol. Soc.*, 16, 531-544.

Annexes

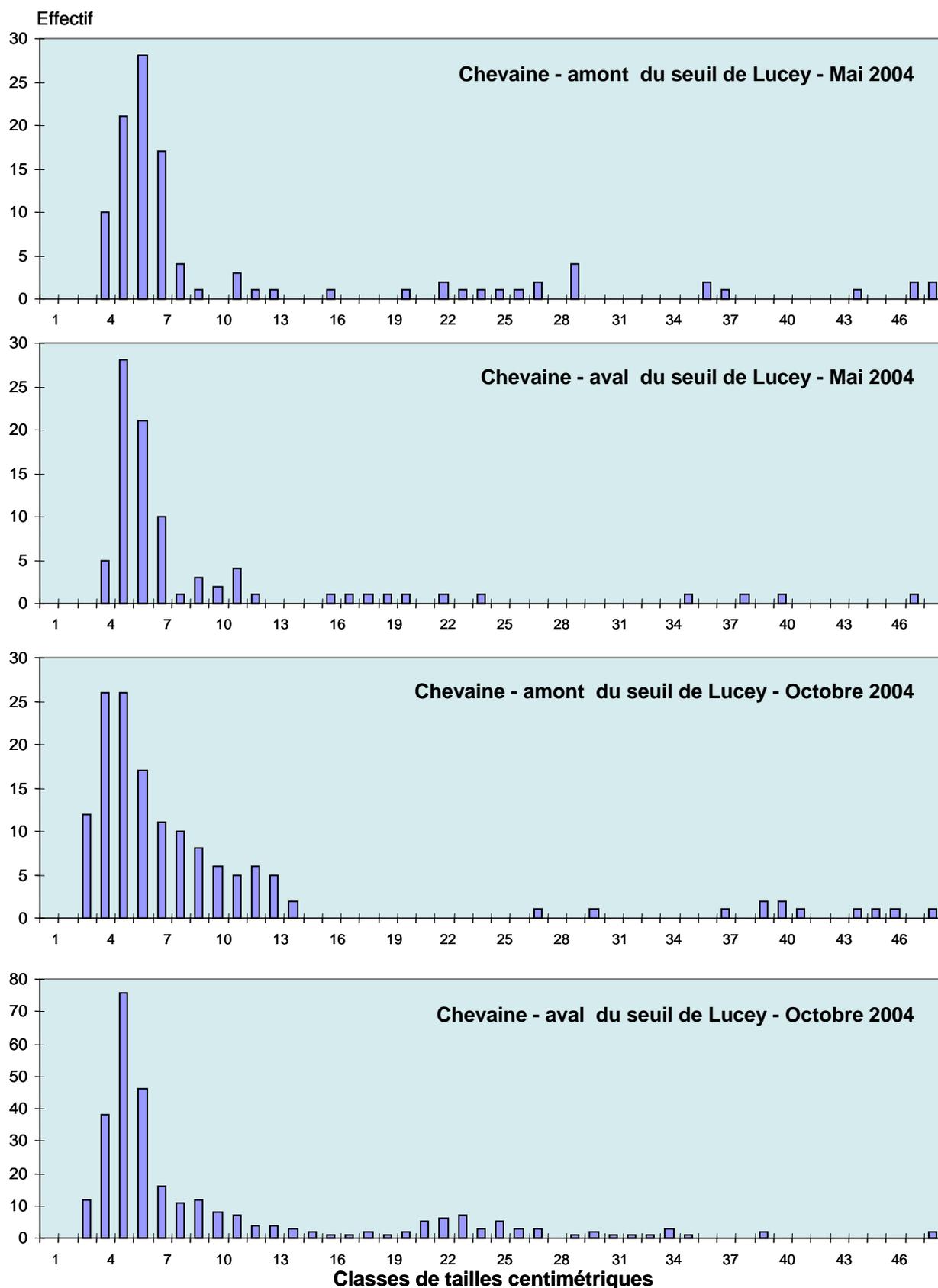
Annexe I Distributions en classes de tailles centimétriques des principales espèces de poissons échantillonnées dans le Vieux – Rhône de Belley en mai et en octobre 2004



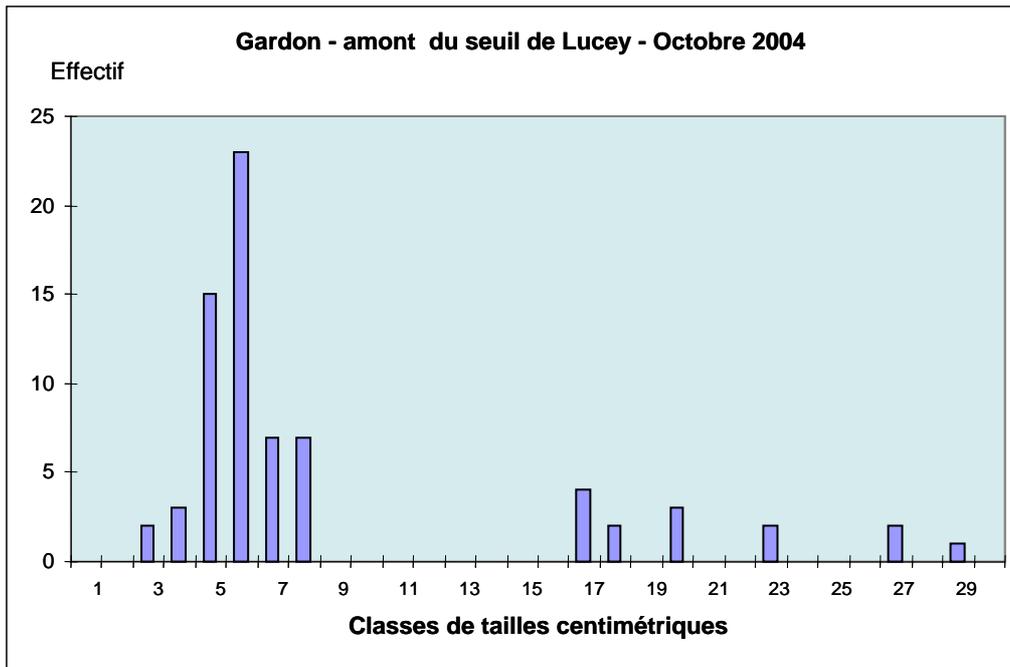
Distribution en classes de tailles centimétriques des ablettes capturées dans le Vieux-Rhône de Belley en octobre 2004.



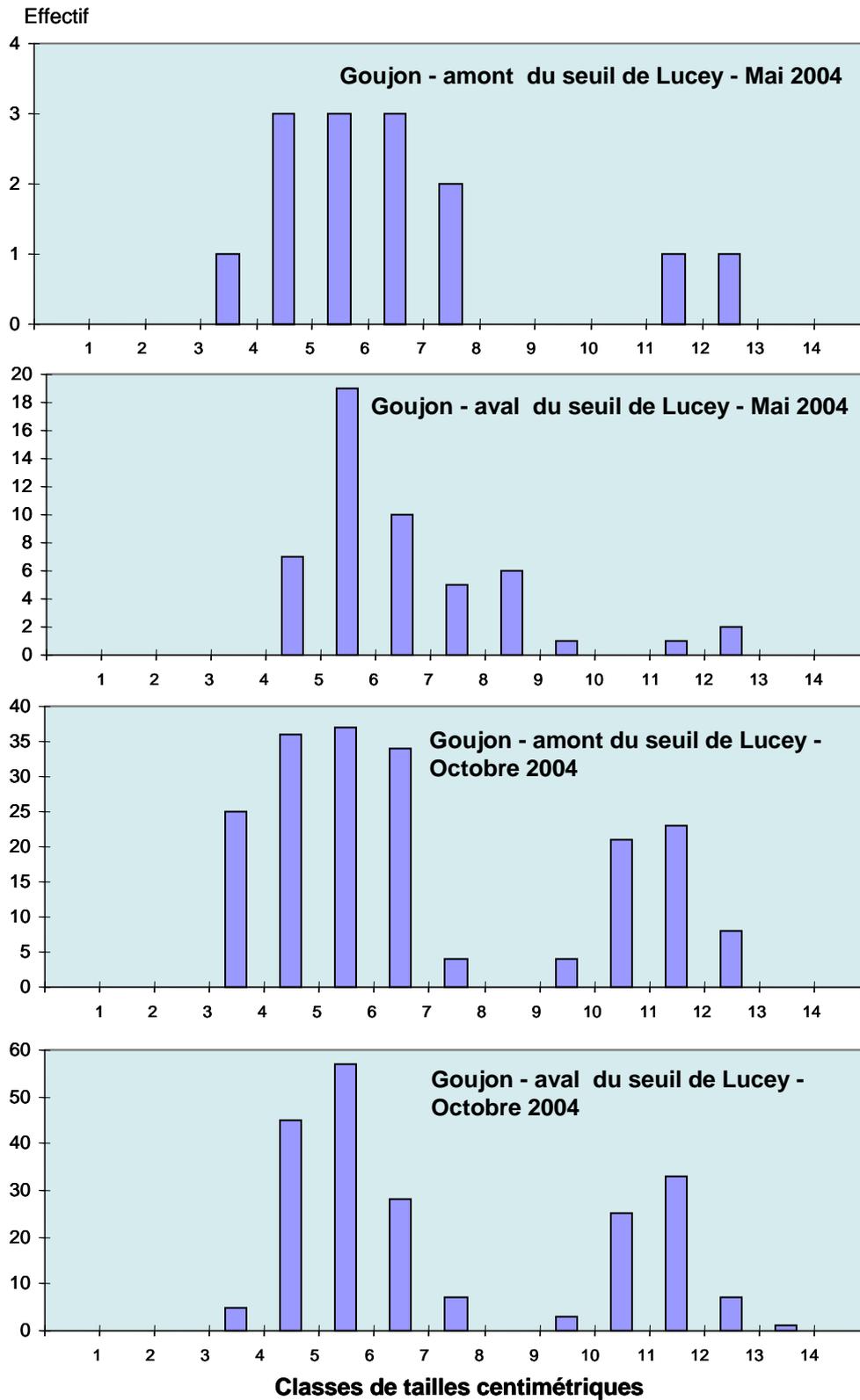
Distribution en classes de tailles centimétriques des barbeaux capturés dans le Vieux-Rhône de Belley en mai et octobre 2004.



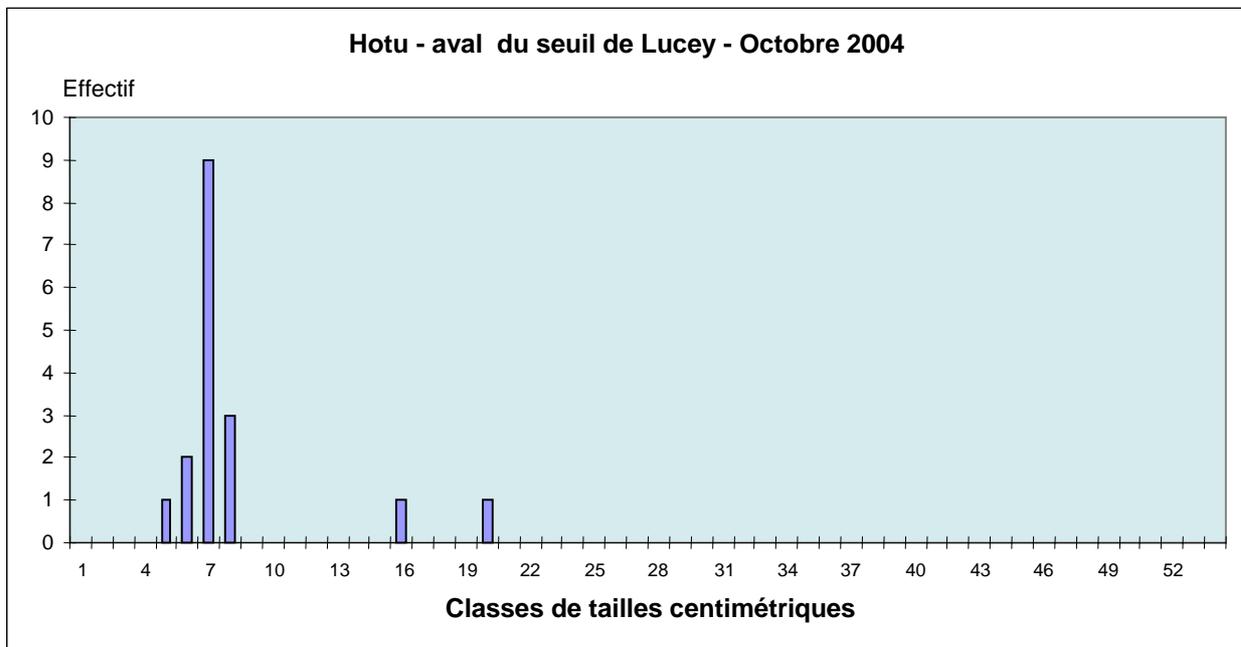
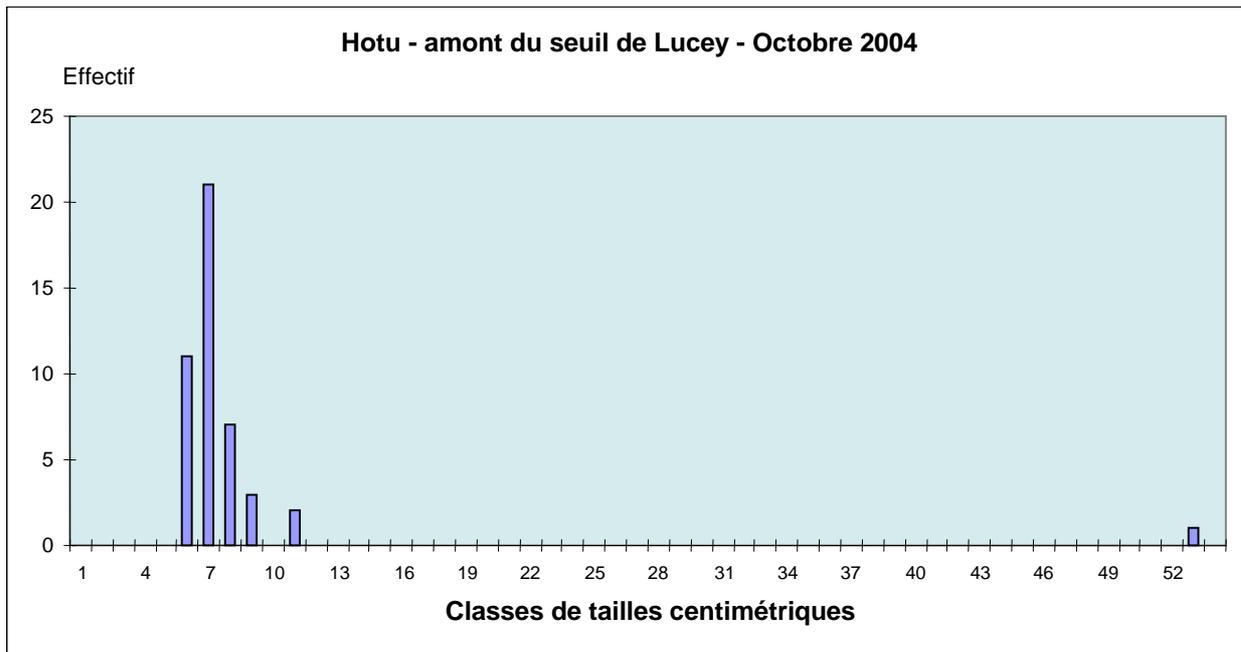
Distribution en classes de tailles centimétriques des chevaines capturés dans le Vieux-Rhône de Belley en mai et octobre 2004.



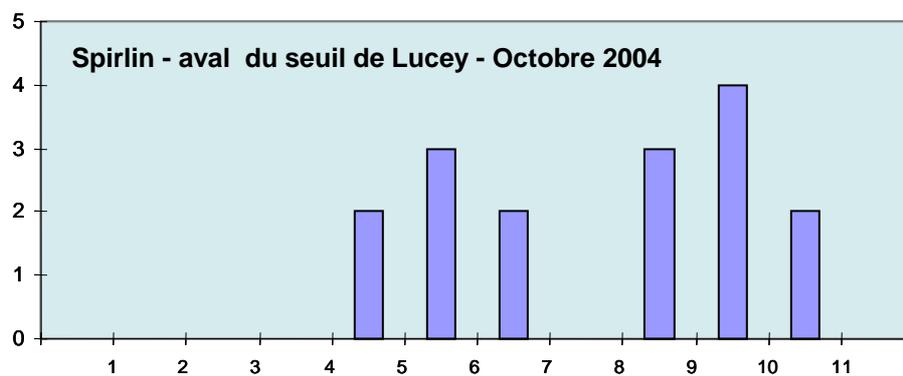
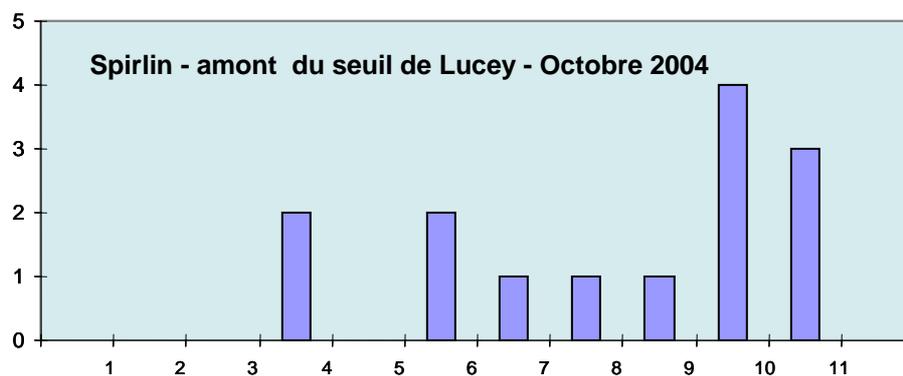
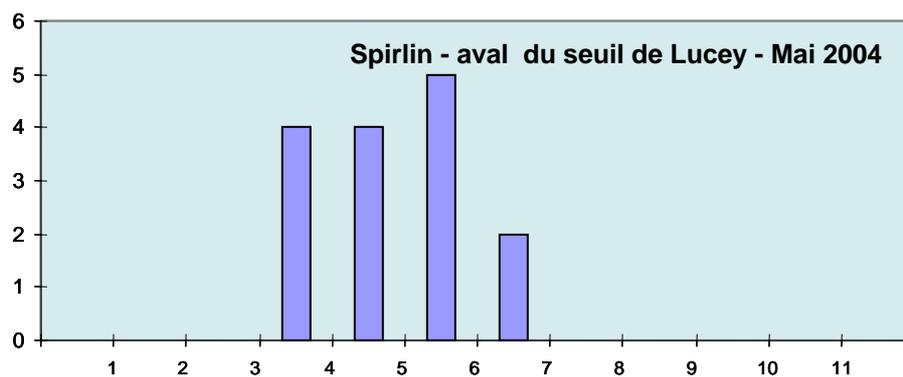
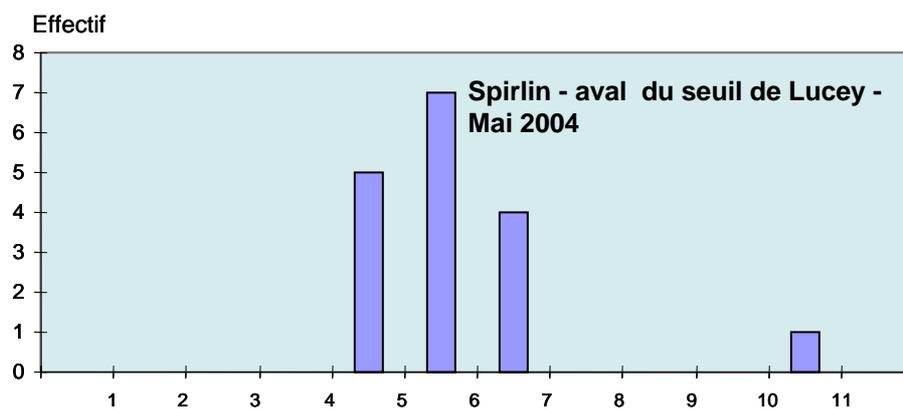
Distribution en classes de tailles centimétriques des gardons capturés dans le Vieux-Rhône de Belley en amont du seuil de Lucey en octobre 2004.



Distribution en classes de tailles centimétriques des goujons capturés dans le Vieux-Rhône de Belley en mai et octobre 2004.

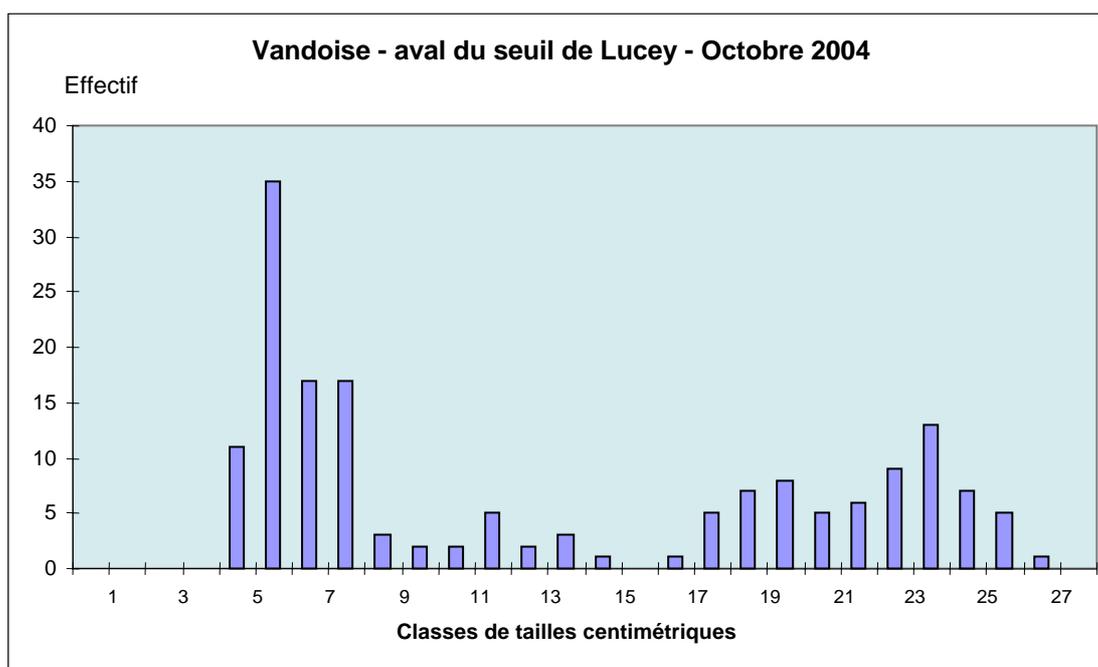
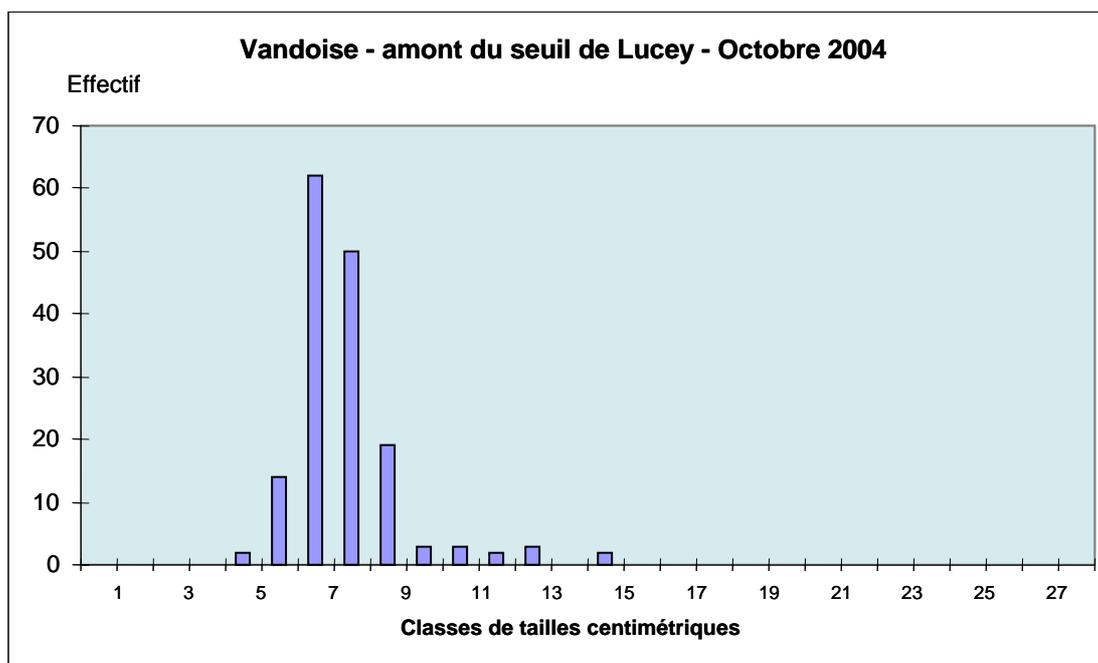


Distribution en classes de tailles centimétriques des hotus capturés dans le Vieux-Rhône de Belley en octobre 2004.

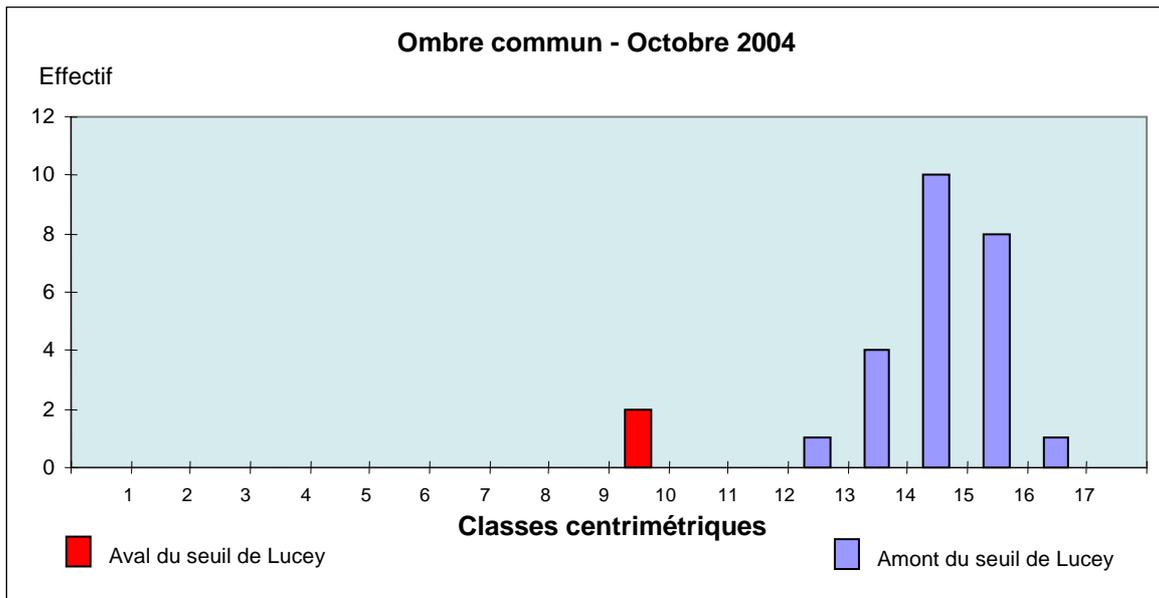


Classes de tailles centimétriques

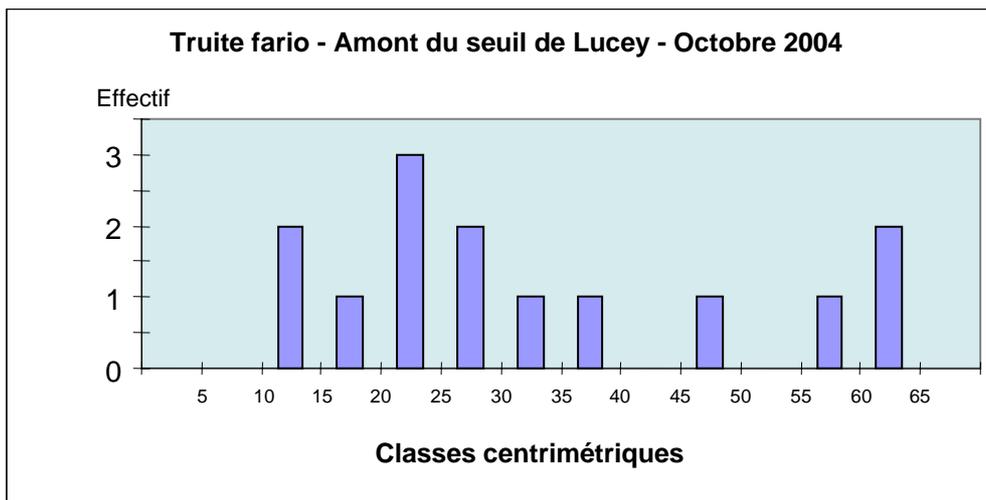
Distribution en classes de tailles centimétriques des spirilins capturés dans le Vieux-Rhône de Belley en mai et octobre 2004.



Distribution en classes de tailles centimétriques des vandoises capturées dans le Vieux-Rhône de Belley en octobre 2004.



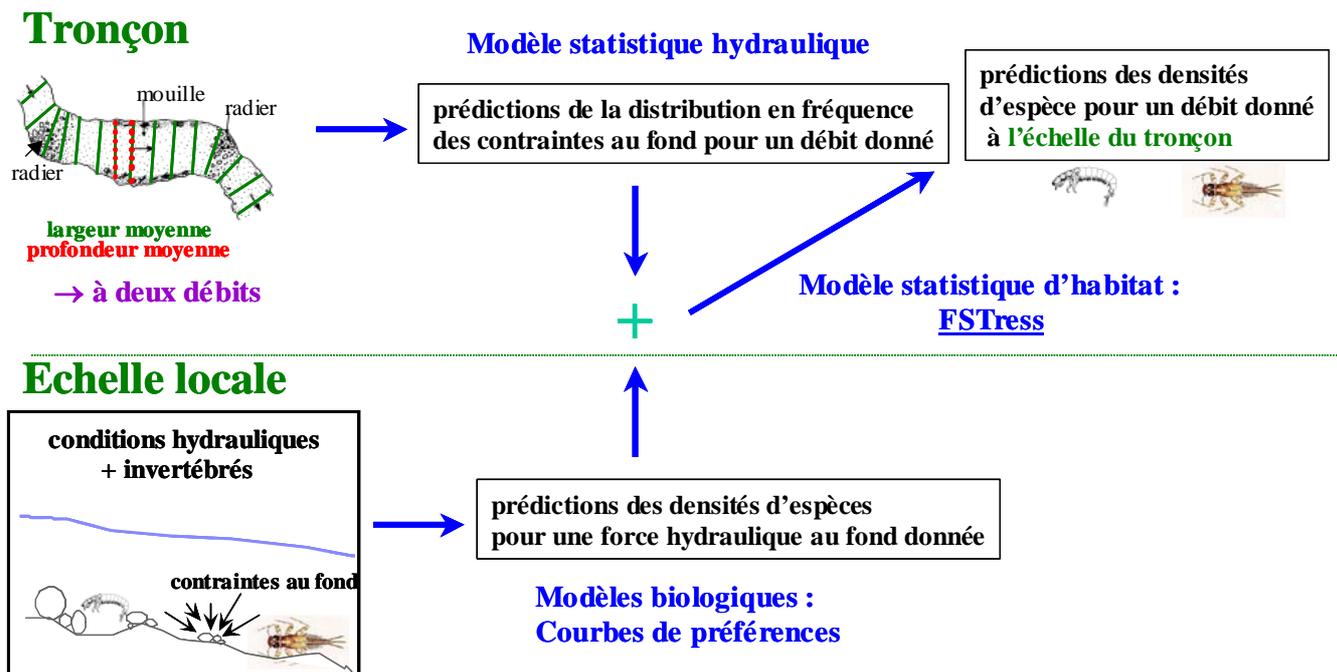
Distribution en classes de tailles centimétriques des ombres communs capturés dans le Vieux-Rhône de Belley en octobre 2004.



Distribution en classes de tailles centimétriques des truites capturées dans le Vieux-Rhône de Belley en amont du seuil de Lucey en octobre 2004.

Annexe II 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 III 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 IV 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 :

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

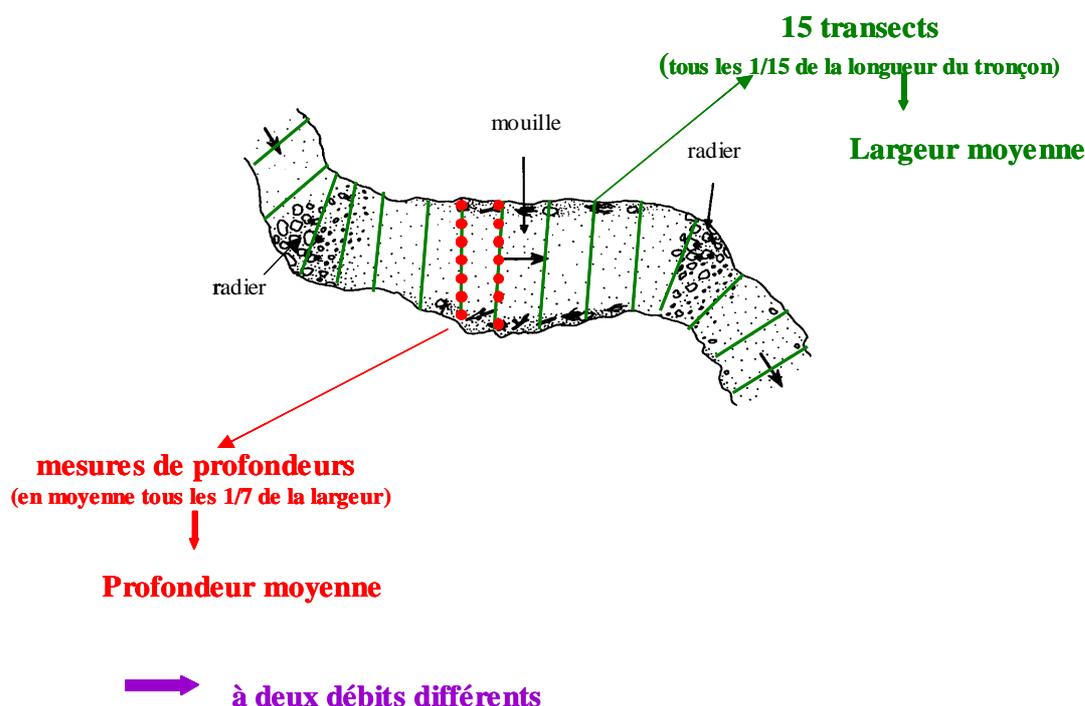
avec U , la vitesse moyenne mesurée à 40% de la profondeur, D , la profondeur et k_v , la rugosité du substrat.

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 (ν).

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

Annexe V **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 VI Abondance par taxon pour les 3 campagnes d'échantillonnage

Tableau 40 avec Camp1 : printemps 2002, Camp2 : été 2002 et Camp3 : hiver 2003., code suivi d'un « a » pour les individus au stade adulte et d'un « n » pour les individus au stade nymphal, DàF : détermination à finir.

E/CI/sCI/O	Famille	Taxon	Code	Camp1	Camp2	Camp3
Plathelminthes						
Turbellaria						
Tricladida	Dendrocoelidae	<i>Dendrocoelum lacteum</i>	DLAC	17	90	(DàF)
		<i>Dugesia polychroa-lugubris</i>	DUPL	30	61	(DàF)
	Dugesidae	<i>Dugesia tigrina</i>	DTIG	155	1038	(DàF)
		<i>Polycelis nigra-tenuis</i>	PONT	13	24	(DàF)
Annelida						
Hirudinea						
Arhynchobdellida	Erpobdellidae	<i>Erpobdella octoculata</i>	EOCT	3	5	(DàF)
		<i>Erpobdella sp.</i>	ERSP		3	(DàF)
Rhynchobdellida	Glossiphoniidae	<i>Glossiphonia sp.</i>	GLSP		3	(DàF)
		<i>Hemiclepsis marginata</i>	HMAR	1		(DàF)
Mollusca						
Gastropoda						
Ectobranchia	Valvatidae	<i>Valvata piscinalis</i>	VPIS	2		
		<i>Valvata sp.</i>	VASP	9		
Neotaenioglossa	Bithyniidae	<i>Bithynia sp.</i>	BITH	1		3
	Hydrobiidae	<i>Potamopyrgus antipodarum</i>	PANT	9		
Neritopsina	Neritidae	<i>Theodoxus fluviatilis</i>	TFLU	9	12	2
Pulmonata	Ancyliidae	<i>Ancylus fluviatilis</i>	AFLU	43	271	
		<i>Radix balthica-labiata</i>	RABL	2		
	Lymnaeidae	<i>Radix sp.</i>	RASP	3	1	
		<i>Physella acuta</i>	PACU	1	1	
		Physidae spp.	PHSP	2	1	
	Planorbidae	<i>Gyraulus sp.</i>	GYSP	3		
		Planorbidae ind.	PLAN	7		
Gastropoda ind.		GAST	4		2	
Bivalvia						
Veneroidea	Dreissenidae	<i>Dreissena polymorpha</i>	DPOL	82	14	1
	Sphaeriidae	<i>Pisidium sp.</i>	PISP	4		
		Sphaeriidae ind.	SPHA		3	5
Arthropoda						
1.1.1.1. Arachnida						
Acaria		Hydracarina spp.	ACAR	8	1	
1.1.1.1.1. Crustacea						
Amphipoda	Gammaridae	<i>Gammarus fossarum</i>	GFOS	2266	3520	101
		<i>Gammarus pulex</i>	GPUL	67	68	10
		<i>Gammarus spp.</i>	GASP	18057	20561	646
Isopoda	Asellidae	Asellidae spp.	ASEL	34		
		<i>Asellus aquaticus</i>	AAQU	162	7	
1.1.1.1.2. Insecta						
Coleoptera	Dryopidae	Dryops spp.	DRSP	1	2	
			DRSPa	1		
	Dytiscidae	<i>Bidessus spp.</i>	BIDEa	6		
			ELSP	38	26	3
	Elmidae	<i>Elmis spp.</i>	ELSPa	2	1	
			ESSP	1071	531	31
	Gyrinidae	<i>Orectochilus villosus</i>	ESSPa	83	1	
			LISP	64	35	
			RISP	4	1	
			OVIL		48	
Haliplidae	<i>Haliplus sp.</i>	HASPa		1		
Hydraenidae	<i>Hydraena sp.</i>	HYDRAa		1		
Diptera	Athericidae	<i>Atrichops crassipes</i>	ACRA	1	1	(DàF)
	Ceratopogonidae	Ceratopogoninae spp.	CERA	12	4	(DàF)
	Chironomidae	Chironomini spp.	CHSP	38	38	(DàF)
(DàF)	26480	Orthoclaadiinae spp.	ORTH	16450	10029	1

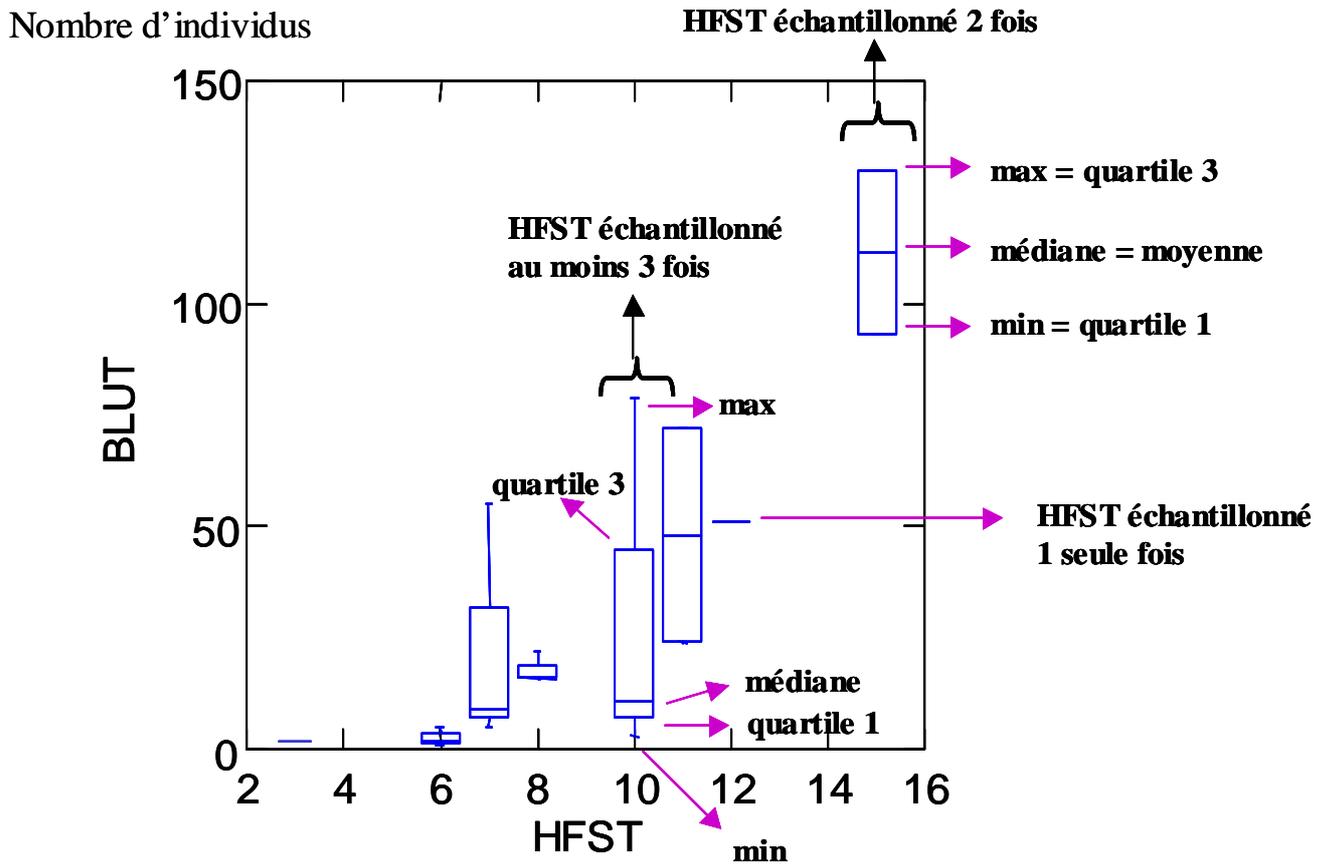
- Annexes -

Annexe V (suite)

Diptera ind. (DàF)	Tipulidae	Tipulidae spp.	TIPU DIPTh	5 297	4 180	(Dà) 2
Ephemeroptera	Baetidae	Baetidae spp.	BAET	4		
		<i>Baetis fuscatus</i>	BFUS	328	844	1
		<i>Baetis lutheri</i>	BLUT	36	107	2
		<i>Baetis rhodani</i>	BRHO	21	3	10
		<i>Baetis</i> spp.	BASP	468	1865	26
		<i>Cloeon dipterum</i>	CDIP		2	
	Caenidae	<i>Caenis luctuosa</i>	CLUC	24	1	1
		<i>Caenis rivulorum</i>	CRIV	7		
		<i>Caenis</i> spp.	CASP	43	8	1
	Ephemerellidae	<i>Serratella ignita</i>	SIGN	2226	2	28
	Heptageniidae	<i>Ecdyonurus</i> sp. <i>helveticus</i>	EHEL			1
		<i>Heptagenia</i> spp.	HESP		21	
		<i>Heptagenia sulphurea</i>	HSUL	176	61	2
		Heptageniidae spp.	HEPT		3	2
		<i>Rhithrogena semicolorata</i>	RSEM			18
		<i>Rhithrogena</i> sp.	RHPS		1	
	Potamanthidae	<i>Potamanthus luteus</i>	PLUT	779	265	47
Ephemeroptera ind.			EPHE		2	6
Heteroptera	Corixidae	<i>Micronecta</i> sp.	MISP	9	10	
	Gerridae	<i>Gerris</i> sp.	GESP		1	
	Mesoveliidae	<i>Mesovelia</i> sp.	MESP	1		
Odonata	Coenagrionidae	Coenagrionidae spp.	COEN		2	
Plecoptera	Leuctridae	<i>Leuctra</i> spp.	LESP	214	2	
	Nemouridae	<i>Nemoura</i> sp.	NESP			1
		Nemouridae spp.	NEMO	2		
	Perlodidae	<i>Isoperla</i> sp.	ISSP			1
	Taeniopterygidae	<i>Brachyptera risi</i>	BRIS			1
		<i>Brachyptera</i> sp.	BRSP			4
Plecoptera ind.			PLEC	2		3
Trichoptera	Glossosomatidae	<i>Glossosoma boltoni</i>	GBOL	12	1	1
		<i>Glossosoma</i> sp.	GLSP	90	1	
	Hydropsychidae	<i>Hydropsyche contubernalis</i>	HCON	69	43	
		<i>Hydropsyche exocellata</i>	HEXO	63	51	3
		<i>Hydropsyche incognita</i>	HINC	1	1	1
		<i>Hydropsyche modesta</i>	HMOD	30	17	
		<i>Hydropsyche sitalai</i>	HSIL	12	1	1
		<i>Hydropsyche</i> spp.	HYSP	361	141	2
	Hydroptilidae	<i>Hydroptila vectis</i>	HVEC		14	
		<i>Hydroptila</i> spp.	HDSP	14	346	
			HDSPn	6		
	Leptoceridae	<i>Athripsodes albifrons</i>	AALB	20		
		<i>Athripsodes cinereus</i>	ACIN	1		
		<i>Athripsodes</i> spp.	ATSP	1		1
		<i>Ceraclea dissimilis</i>	CDIS	33		
			CDISn	2		
		<i>Ceraclea</i> spp.	CESP	5	2	
		Leptoceridae spp.	LEPT	2	5	
	Polycentropodidae	<i>Polycentropus flavomaculatus</i>	PFLA		1	1
		<i>Polycentropus</i> sp.	POSP		1	
	Psychomyiidae	<i>Psychomyia pusilla</i>	PPUS	42	767	2
	Rhyacophilidae	<i>Rhyacophila s. stricto</i> sp.	RHSP	250	44	1
		Trichoptera ind.	TRIC	39	1	
		Trichoptera ind.	TRICn	125	15	
Abondance totale				46838	41859	189
Richesse taxonomique				68	65	

Annexe VII Détails de la représentation graphique en box plots

Figure 31 Représentations en Box plots du nombre d'individus d'un taxon en fonction des forces de cisaillement échantillonnées (exprimées par les numéros d'hémisphère, 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 (secteur de Chautagne).



Annexe VIII nombre d'individus en fonction des HFST (campagne de printemps)

Figure 32 Représentations graphiques (Box plots) du nombre d'individus pour les taxons présentant au moins 30 individus pour la campagne de printemps en fonction des forces de cisaillement échantillonnées (exprimées par les numéros d'hémisphères, HFST, en abscisse de chaque graphe). Etant donné que l'échantillonnage était aléatoire, certains numéros d'HFST n'ont pas été échantillonnés (HFST, 0, 1, 2, 4, 6, 9, 12, 13 & 14) et d'autres ont été échantillonnés plusieurs fois. Cf. Annexe IX pour les détails de cette représentation graphique et Annexe V pour le code des taxons.

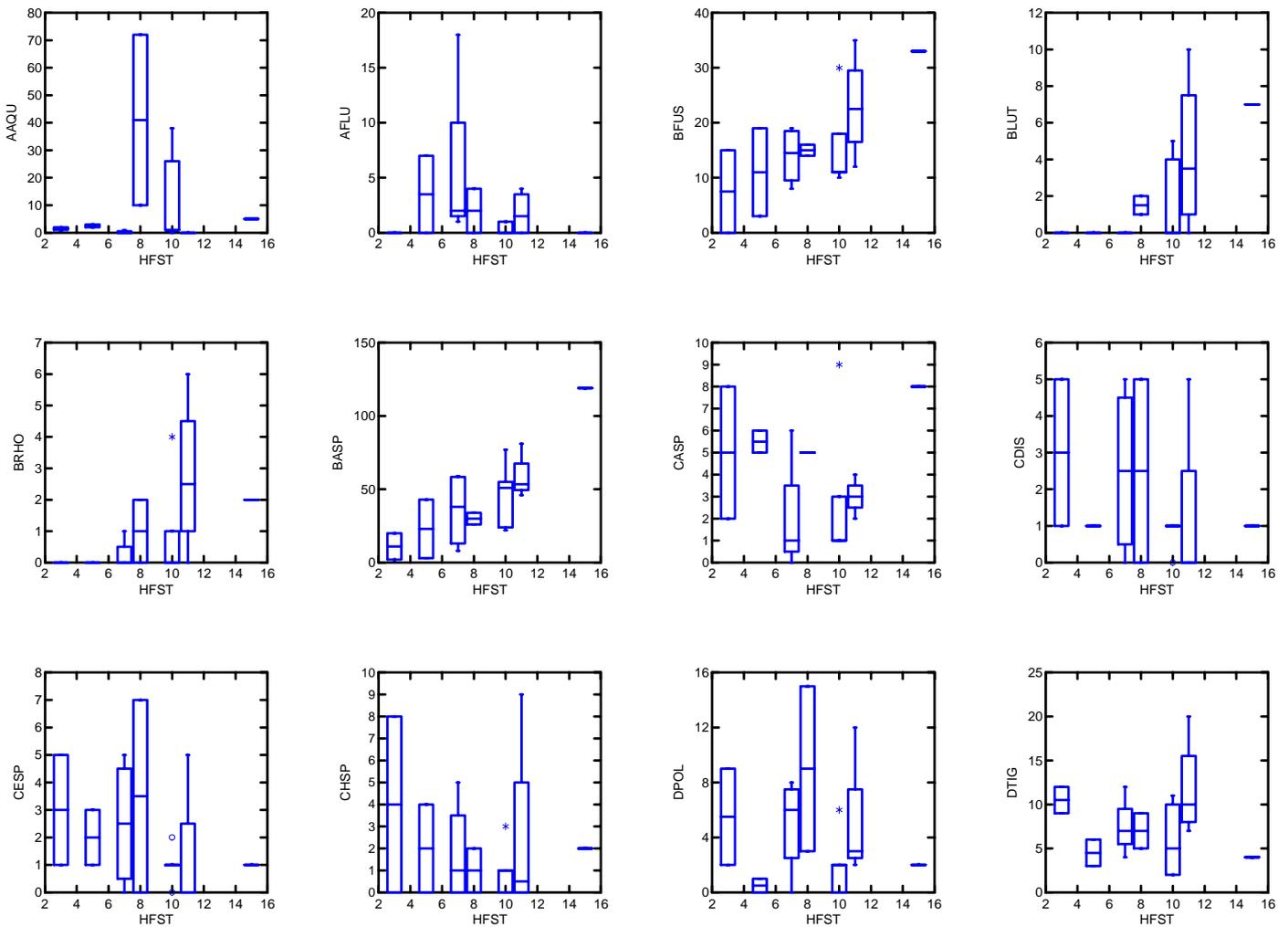
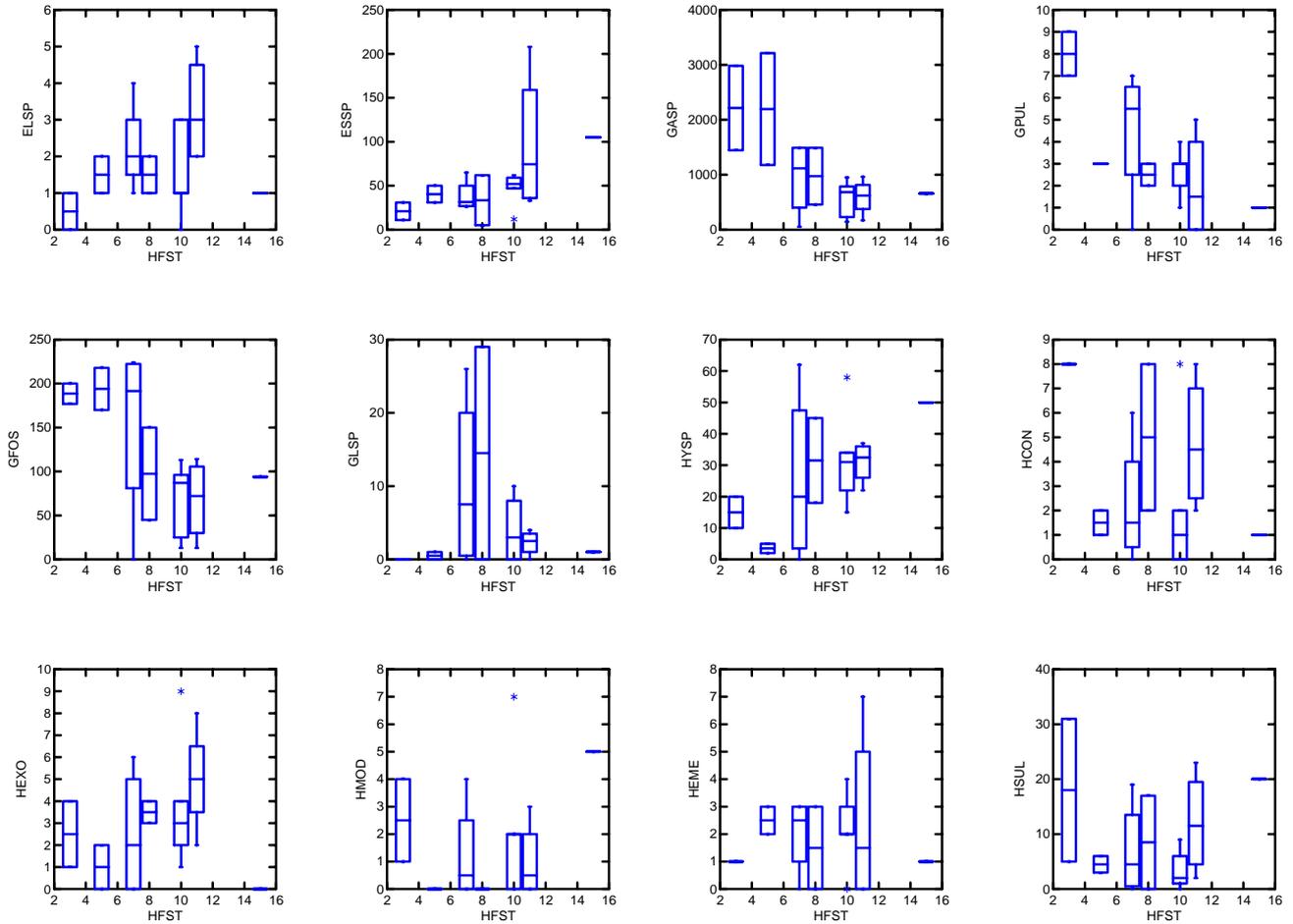


Figure 33 Représentations graphiques (Box plots) du nombre d'individus pour les taxons présentant au moins 30 individus pour la campagne de printemps en fonction des forces de cisaillement échantillonnées (exprimées par les numéros d'hémisphères, HFST, en abscisse de chaque graphe). Etant donné que l'échantillonnage était aléatoire, certains numéros d'HFST n'ont pas été échantillonnés (HFST, 0, 1, 2, 4, 6, 9, 12, 13 & 14) et d'autres ont été échantillonnés plusieurs fois. Cf. Annexe IX pour les détails de cette représentation graphique et Annexe V pour le code des taxons.



Annexe IX nombre d'individus en fonction des HFST (campagne d'été)

Figure 34 Représentations graphiques (Box plots) du nombre d'individus pour les taxons présentant au moins 30 individus pour la campagne d'été en fonction des forces de cisaillement échantillonnées (exprimées par les numéros d'hémisphères, HFST, en abscisse de chaque graphe). Etant donné que l'échantillonnage était aléatoire, certains numéros d'HFST n'ont pas été échantillonnés (HFST, 0, 1, 9 & 13) et d'autres ont été échantillonnés plusieurs fois. Cf. Annexe IX pour les détails de cette représentation graphique et Annexe V pour le code des taxons.

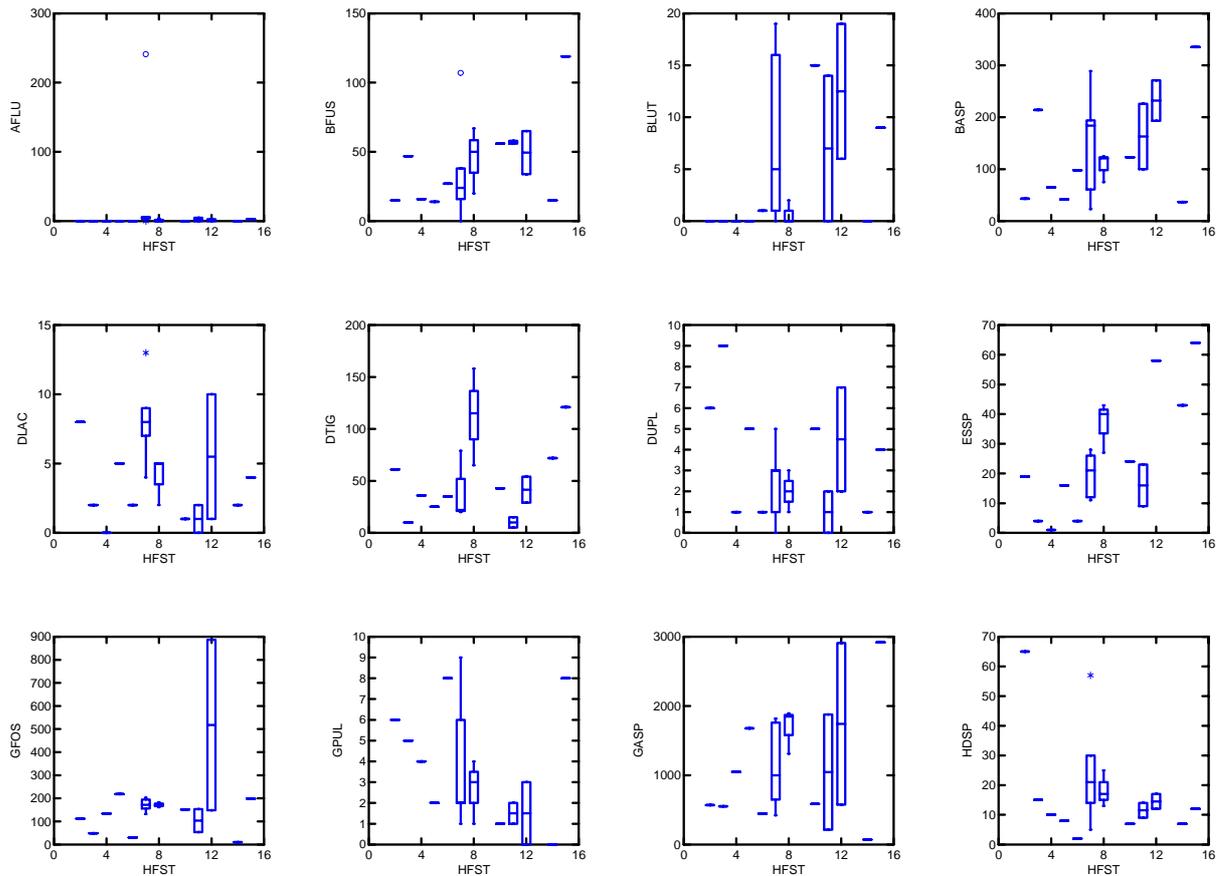
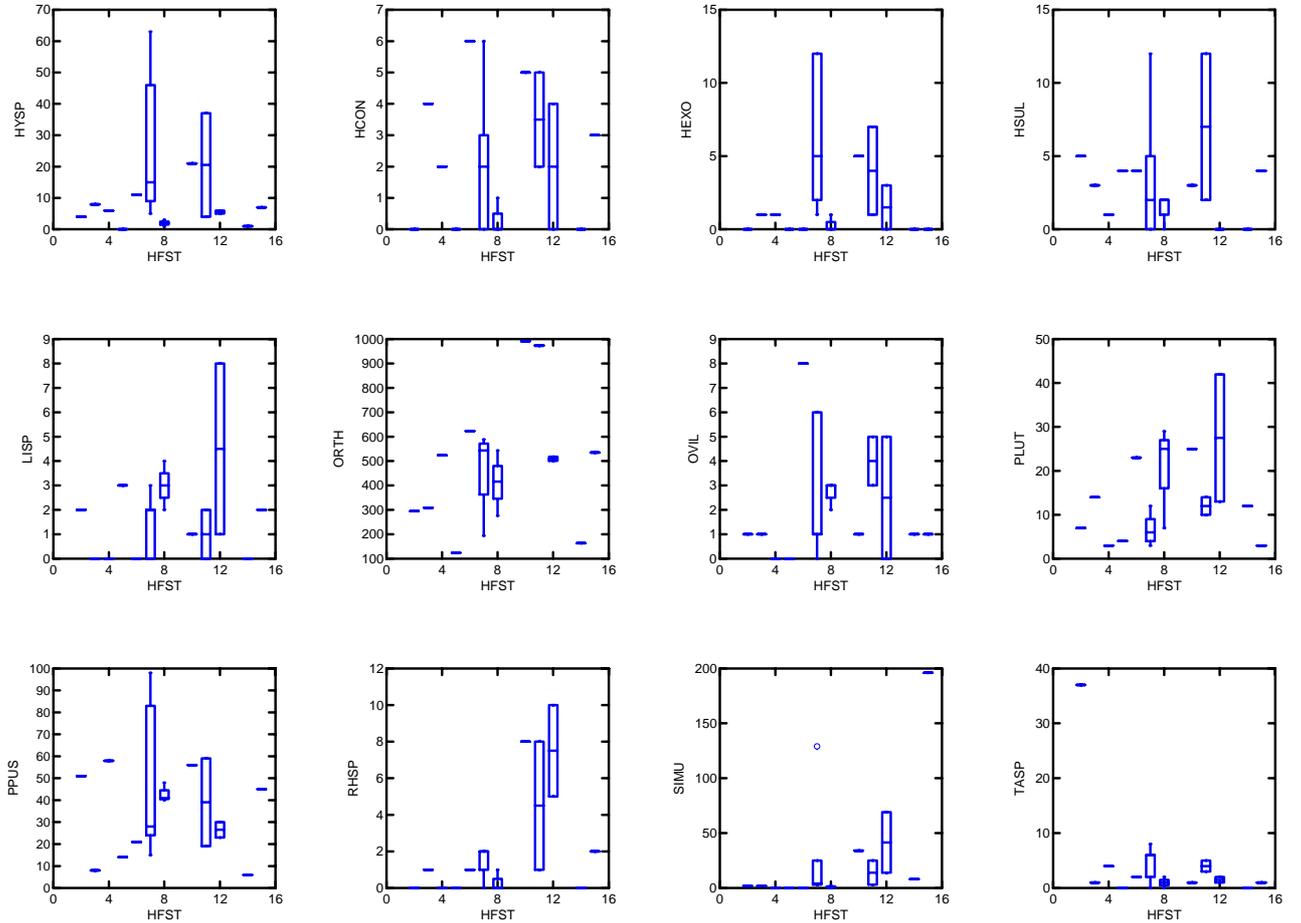
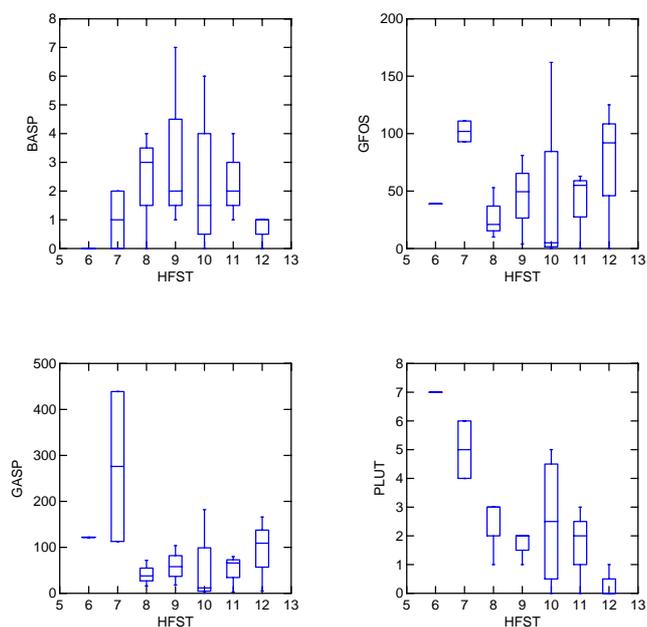


Figure 35 Représentations graphiques (Box plots) du nombre d'individus pour les taxons présentant au moins 30 individus pour la campagne d'été en fonction des forces de cisaillement échantillonnées (exprimées par les numéros d'hémisphères, HFST, en abscisse de chaque graphe). Étant donné que l'échantillonnage était aléatoire, certains numéros d'HFST n'ont pas été échantillonnés (HFST, 0, 1, 9 & 13) et d'autres ont été échantillonnés plusieurs fois. Cf. Annexe IX pour les détails de cette représentation graphique et Annexe V pour le code des taxons.



Annexe X nombre d'individus en fonction des HFST (campagne d'hiver)

Figure 36 Représentations graphiques (Box plots) du nombre d'individus pour les taxons présentant au moins 30 individus pour la campagne d'été en fonction des forces de cisaillement échantillonnées (exprimées par les numéros d'hémisphères, HFST, en abscisse de chaque graphe). Etant donné que l'échantillonnage était aléatoire, certains numéros d'HFST n'ont pas été échantillonnés (HFST de 0 à 5 et supérieurs à 12) et d'autres ont été échantillonnés plusieurs fois. Cf. Annexe IX pour les détails de cette représentation graphique et Annexe V pour le code des taxons.



Annexe XI Physicochimie des lînes : données et analyse

Tableau 41 données physico-chimiques collectées par la CNR durant l'année 2003.

	temp °C	Cd µS.cm ⁻¹	O2 mg.l ⁻¹	pH	NO ₃ ⁻ mg.l ⁻¹	PO ₄ ²⁻ mg.l ⁻¹	NH ₄ ⁻ mg.l ⁻¹	SO ₄ ⁻ mg.l ⁻¹	HCO ₃ ⁻ mg.l ⁻¹
Béard	11,1±6,8	609±62	2,15±1,3	7,5±0,2	0,2±0,2	0,06±0,07	0,13±0,23	7±5,5	247,5±67,5
Chantemerle	11,1±6,7	345±43	10,3±1	8,1±0,2	2,3±1	0,04±0,06	0,1±0,08	27±17	115±25,4
Fournier	11,7±3,7	381±20	5,25±0,7	7,6±0,2	2±1,5	0,01±0,02	0,03±0,02	30±8,6	125±9,4
Luisettes	9,6±7	345±50	10,1±5,9	7,9±0,5	0,1±0,2	0,02±0,04	0,05±0,05	14±14	142,5±21
Moiroud	8,6±6,4	418±180	5±3,7	7,9±0,5	0,3±0,2	0,02±0,03	0,04±0,19	9,3±15	179±64
Rhône 1	10,8±5,5	329±36	11,1±0,8	8,1±0,2	1,3±0,9	0,03±0,06	0,08±0,08	30±18	116,5±22
Rhône 2	10,9±5,8	333±37	10,6±1,3	8±0,5	2,8±1,3	0,04±0,04	0,12±0,1	38±7	116±19

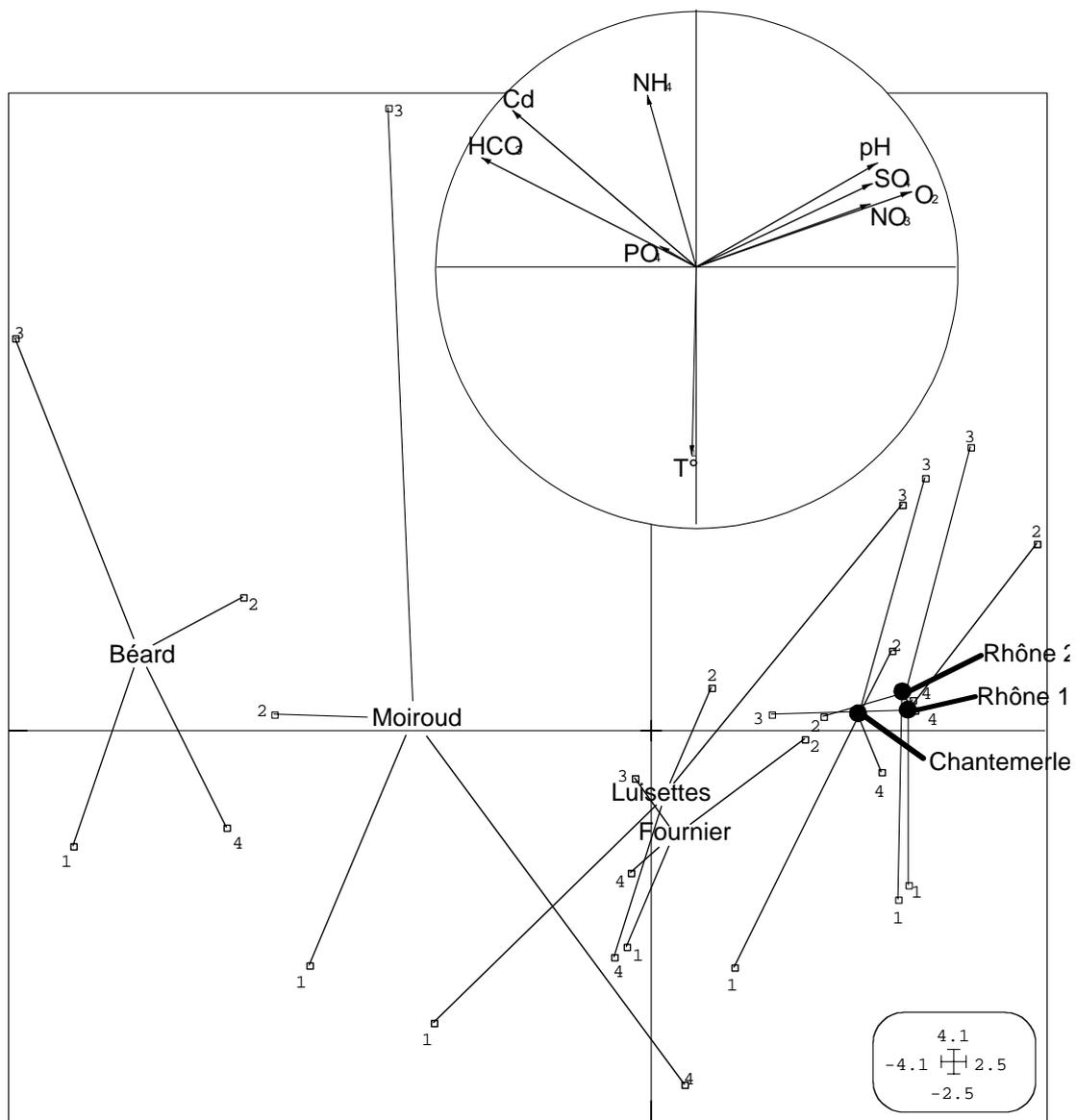
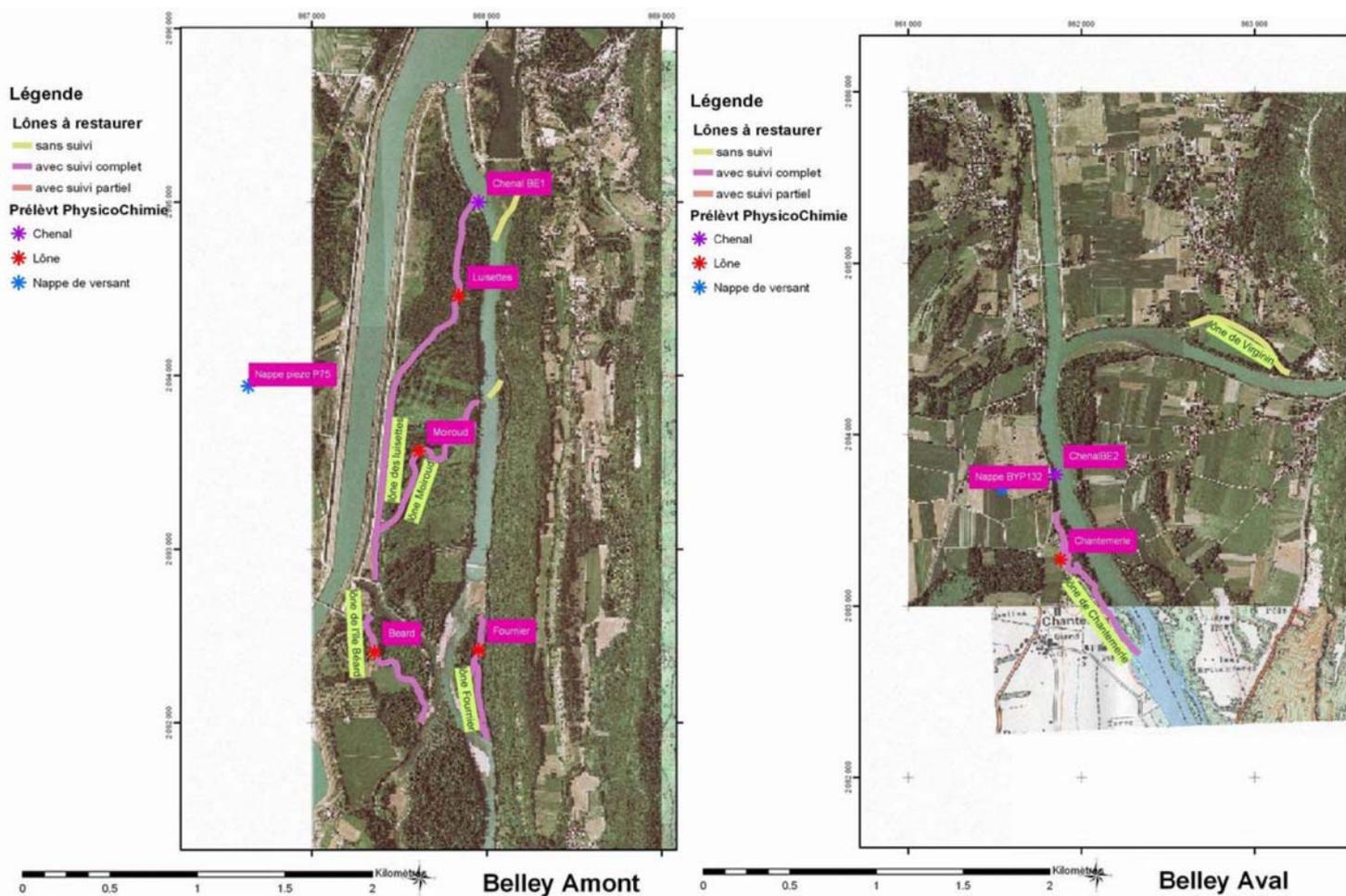


Figure 37 ACPn des données physico-chimiques collectées sur les zones humides du secteur de Belley et sur le cours principal. Les positions des stations correspondent au barycentre des 4 dates d'échantillonnage (numérotées de 1 à 4).

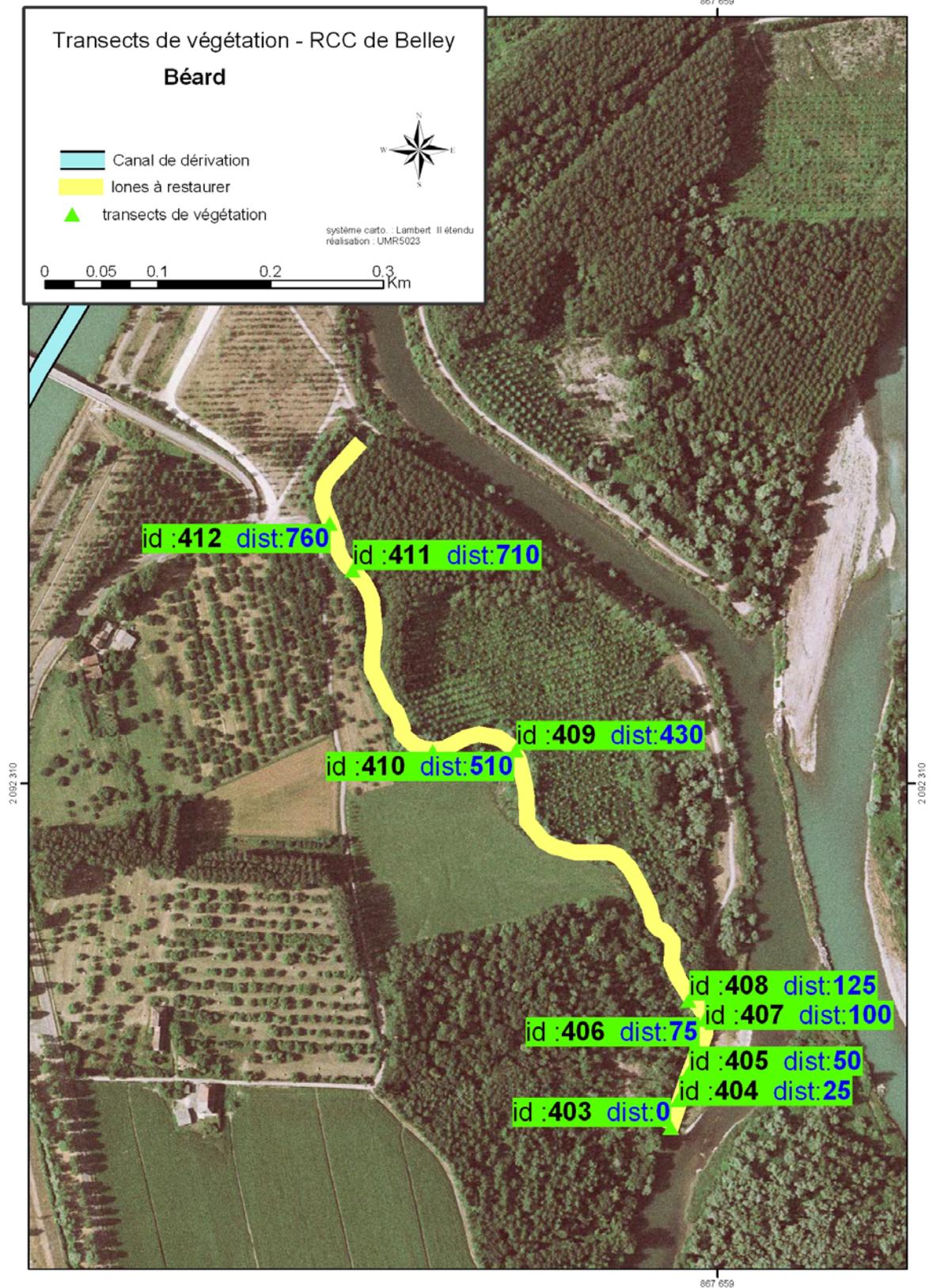
Annexe XII Végétation aquatique et physicochimie : localisation des stations

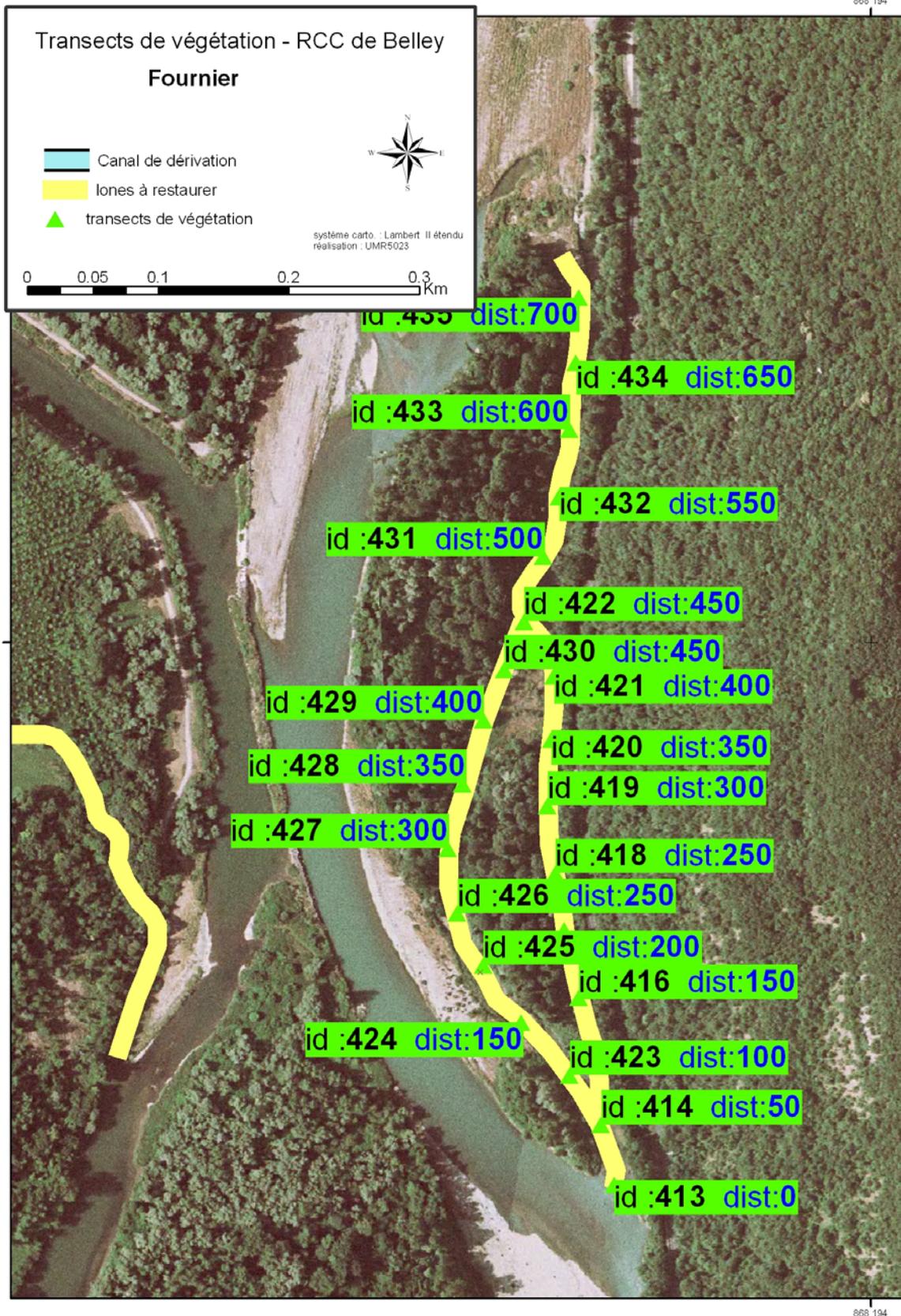
Stations de prélèvements physico-chimiques de l'eau

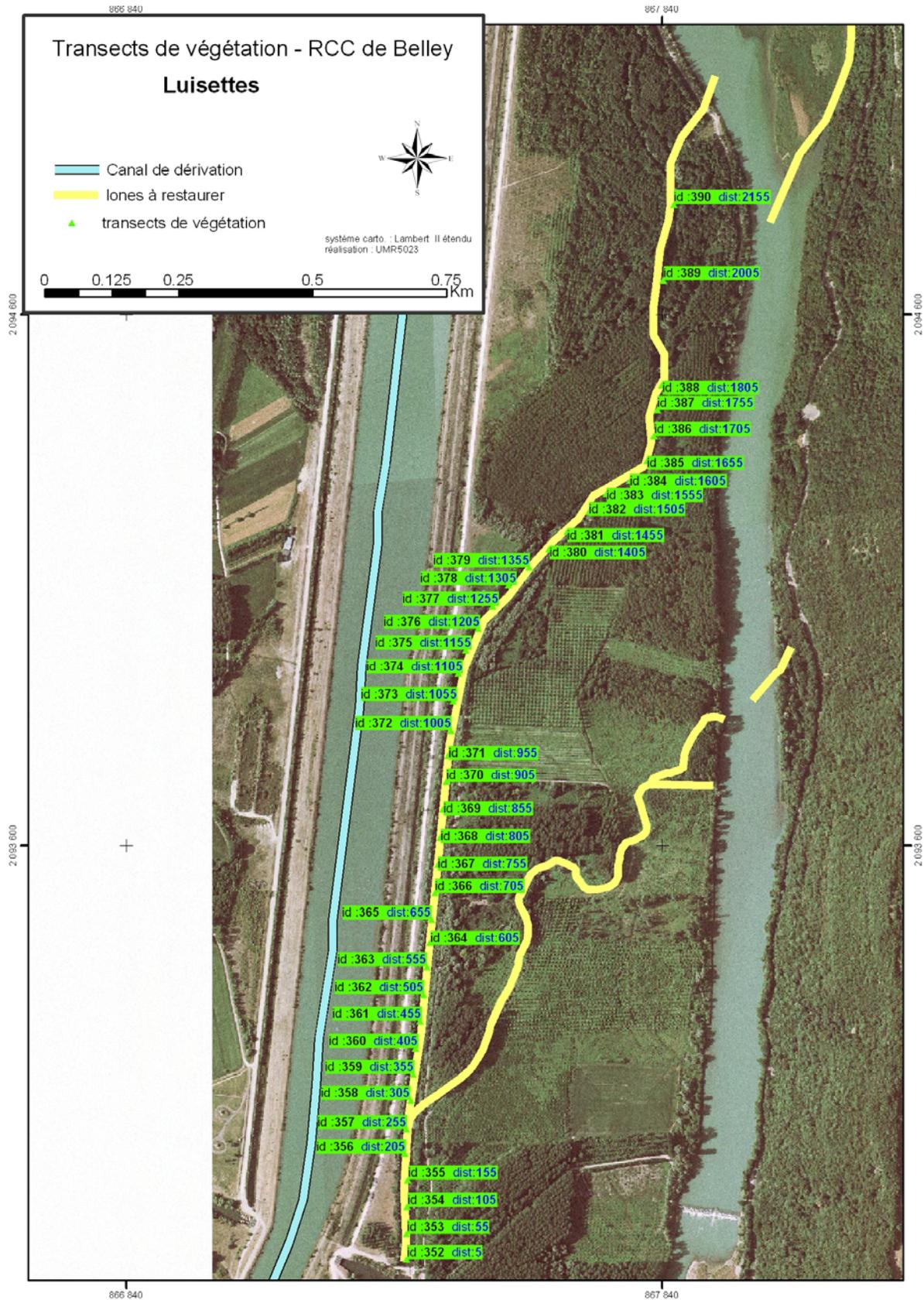
Ces stations sont relevées par les équipes de la C.N.R.

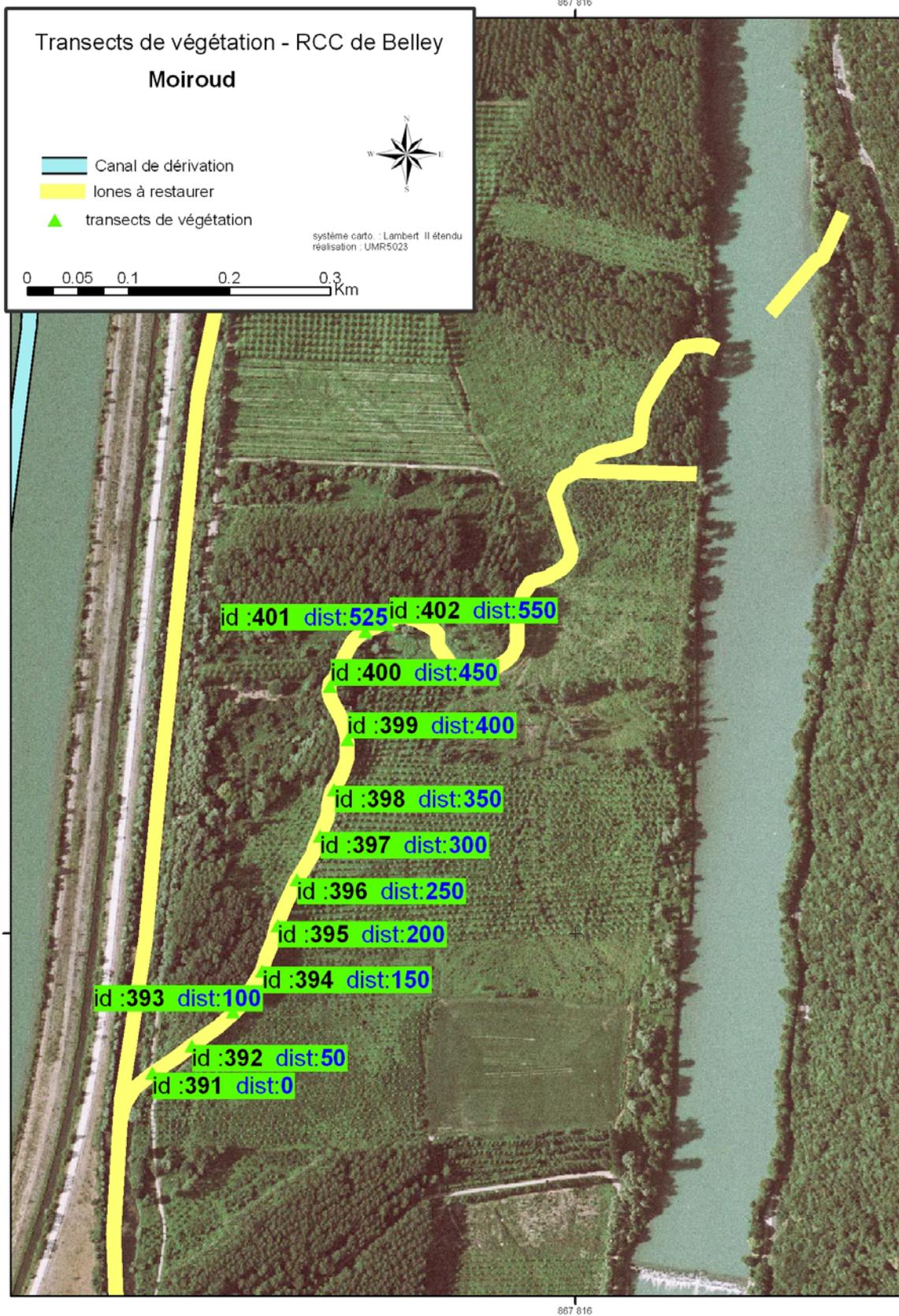


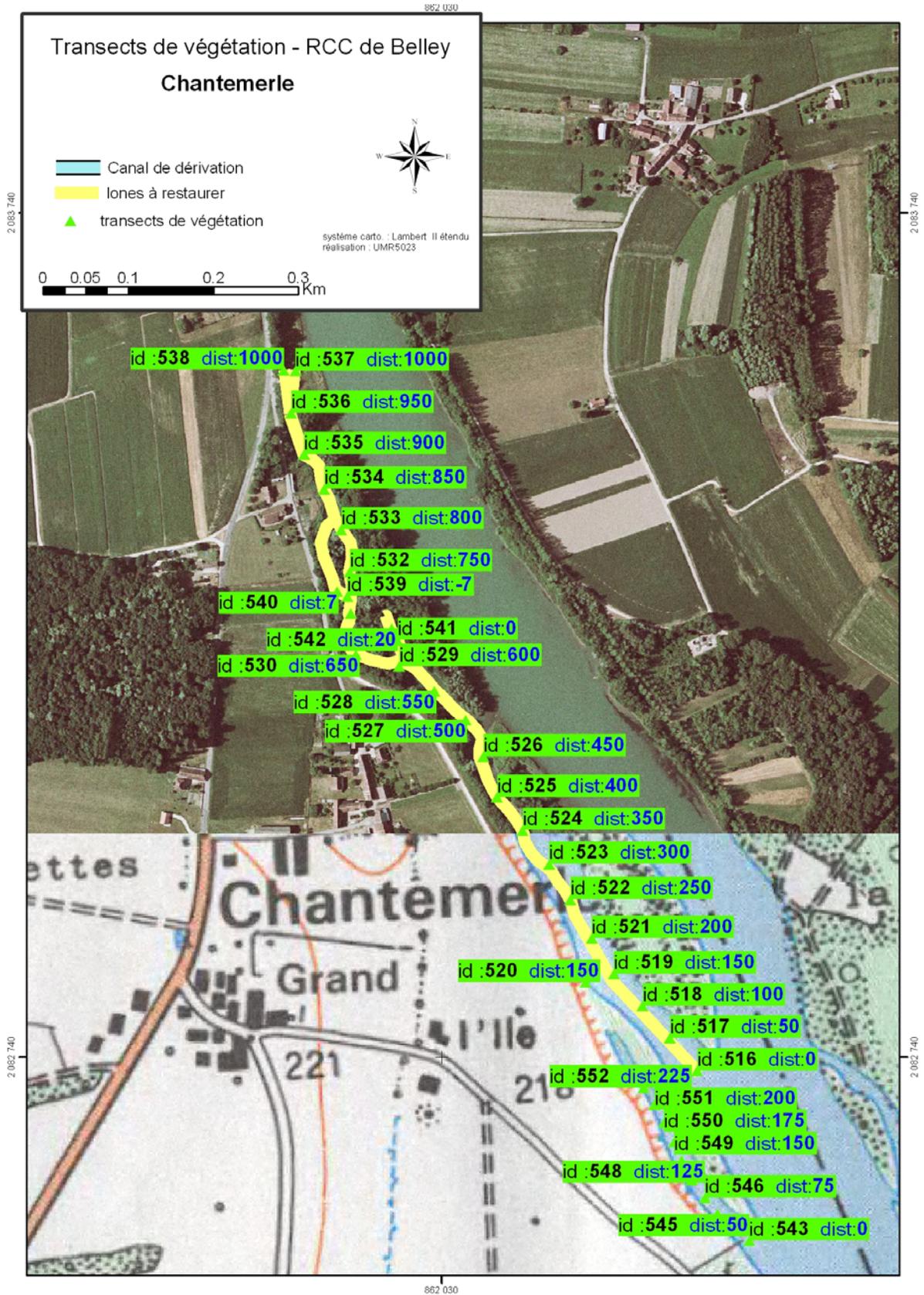
Transects de végétation



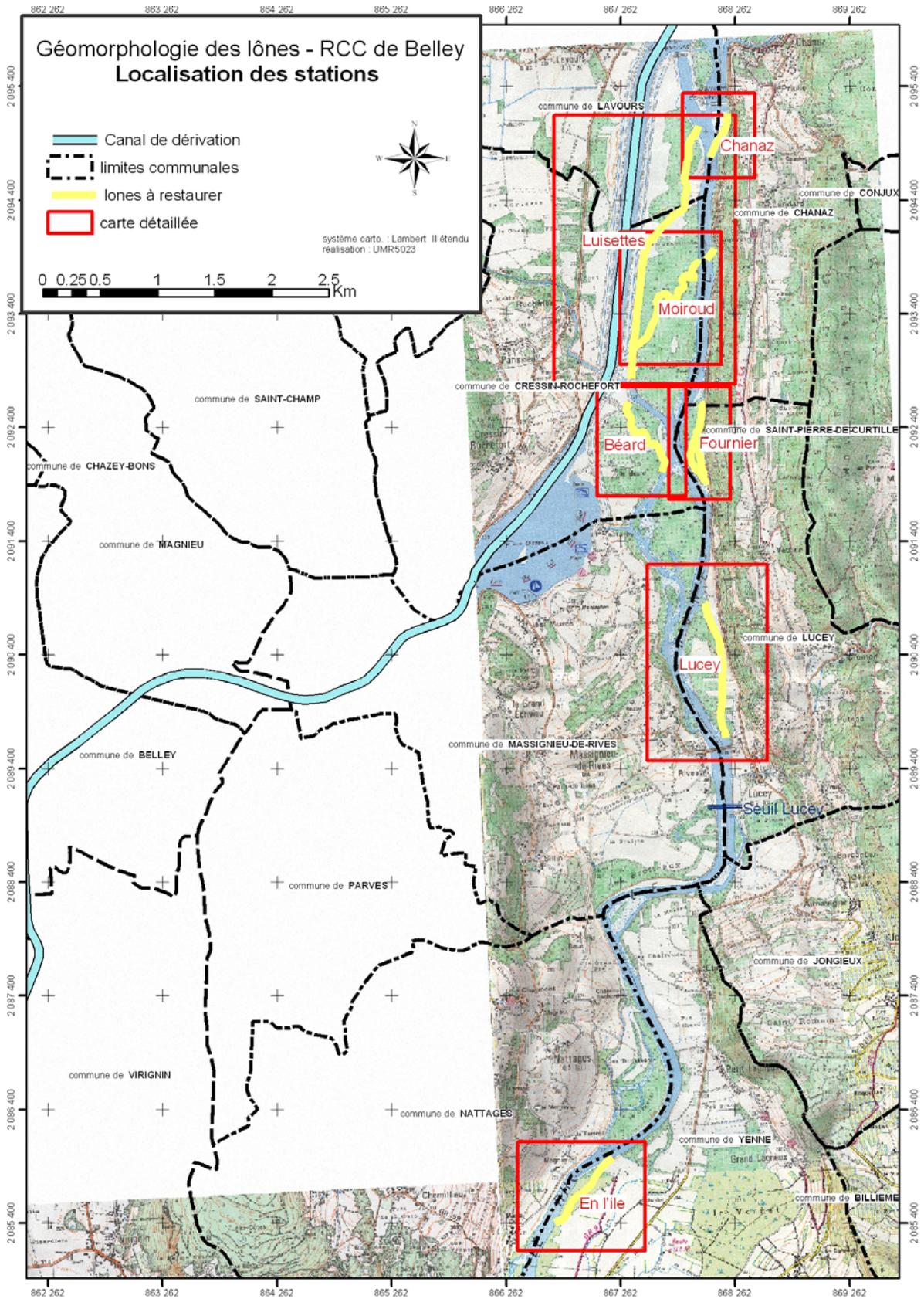


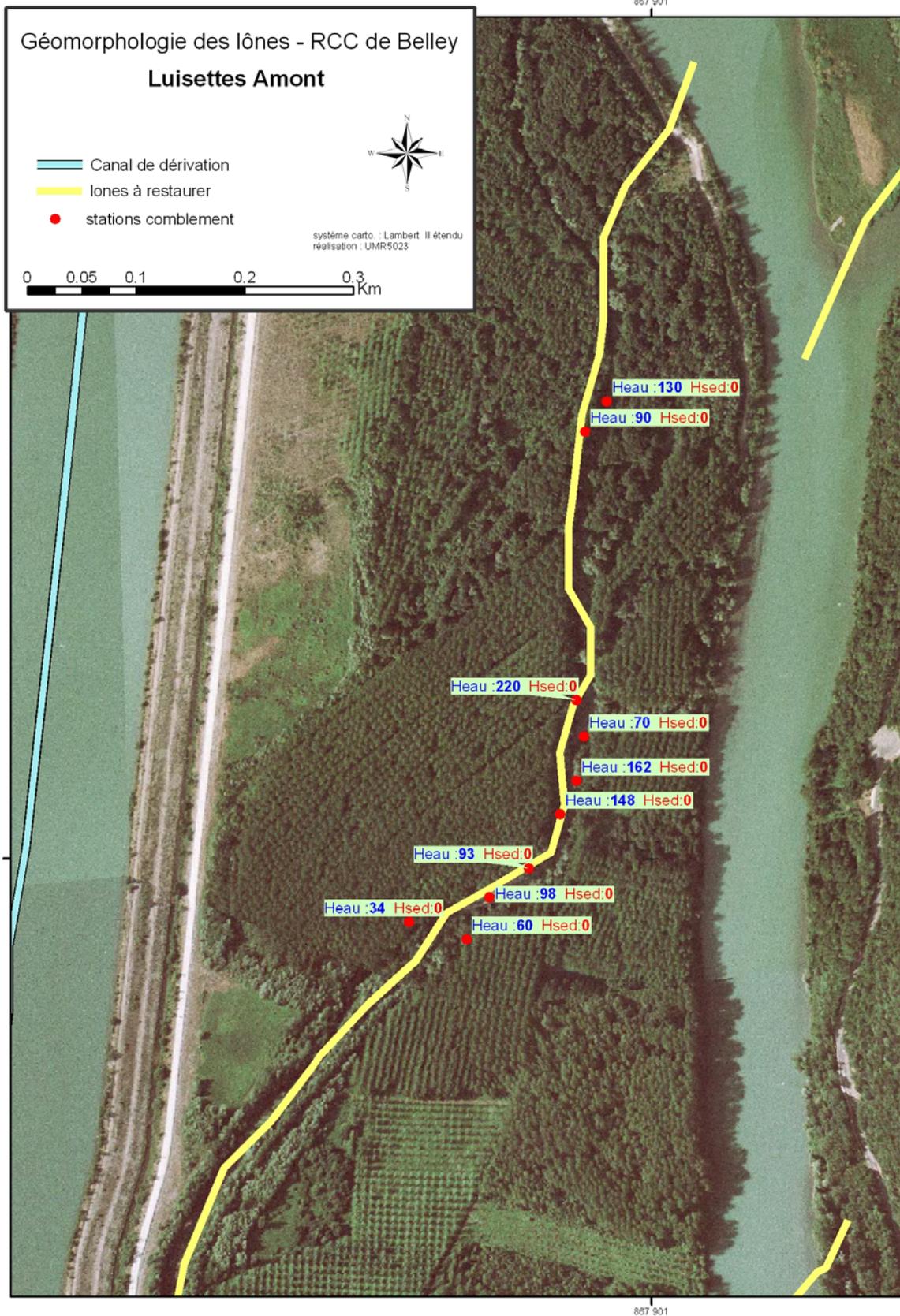


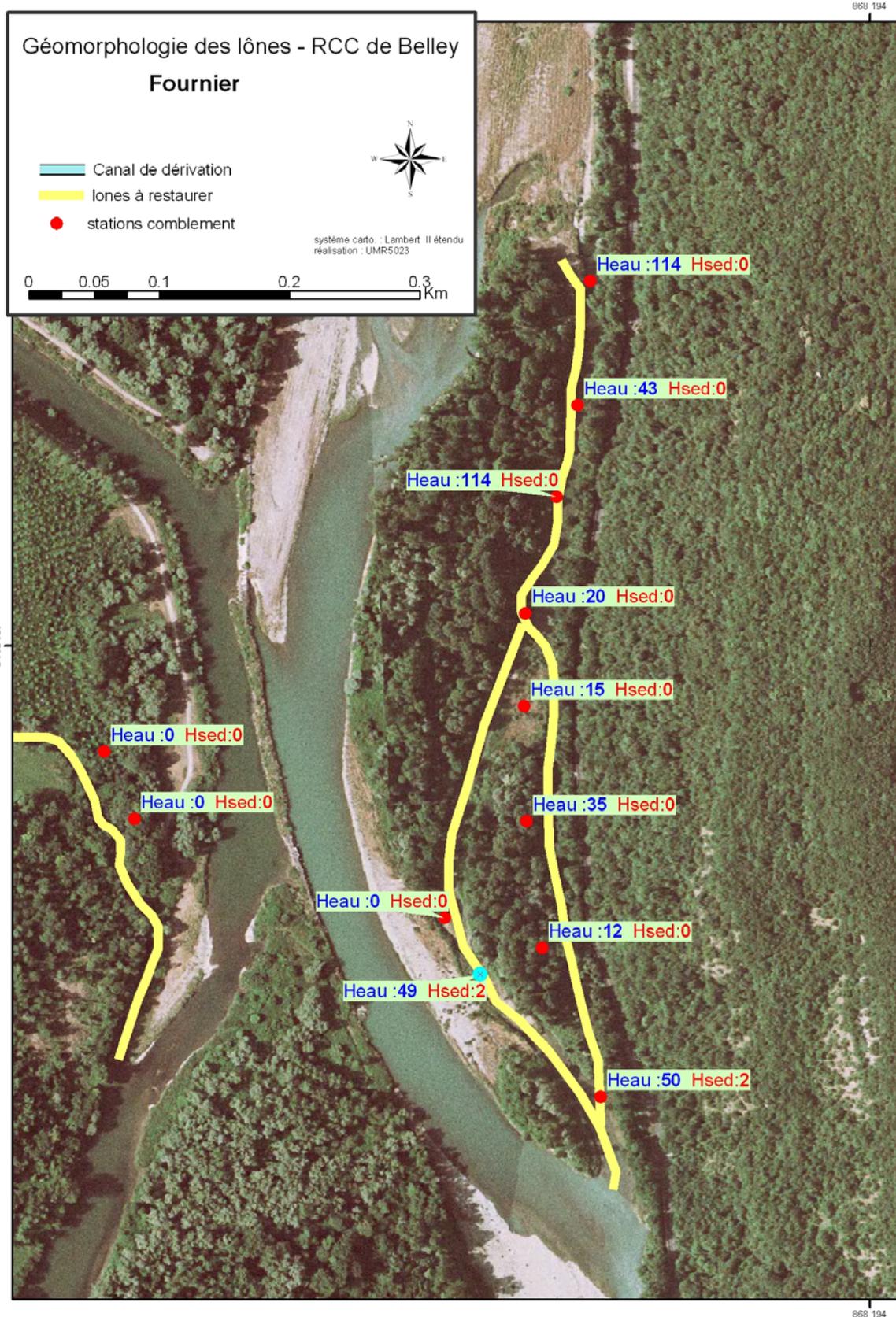


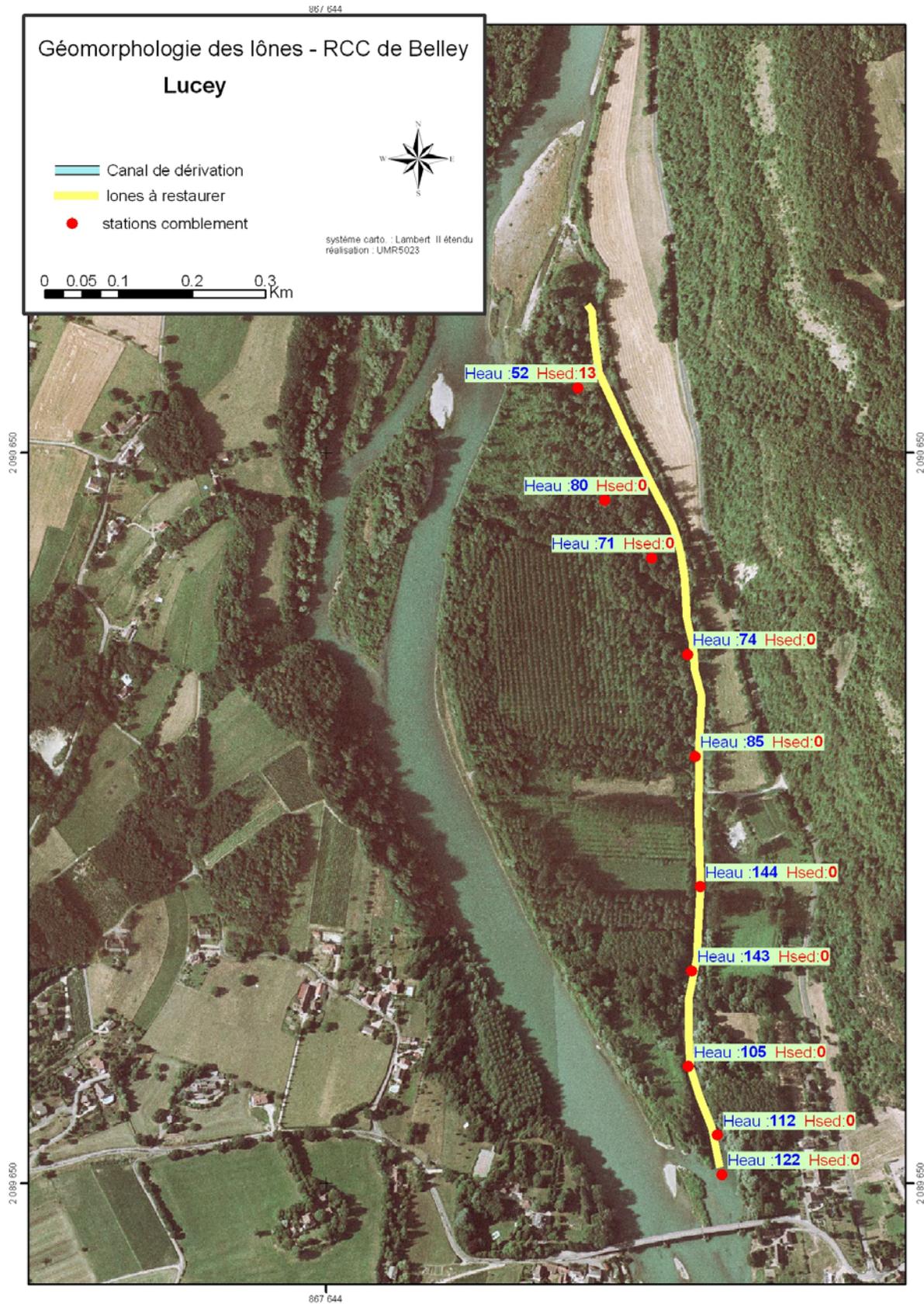


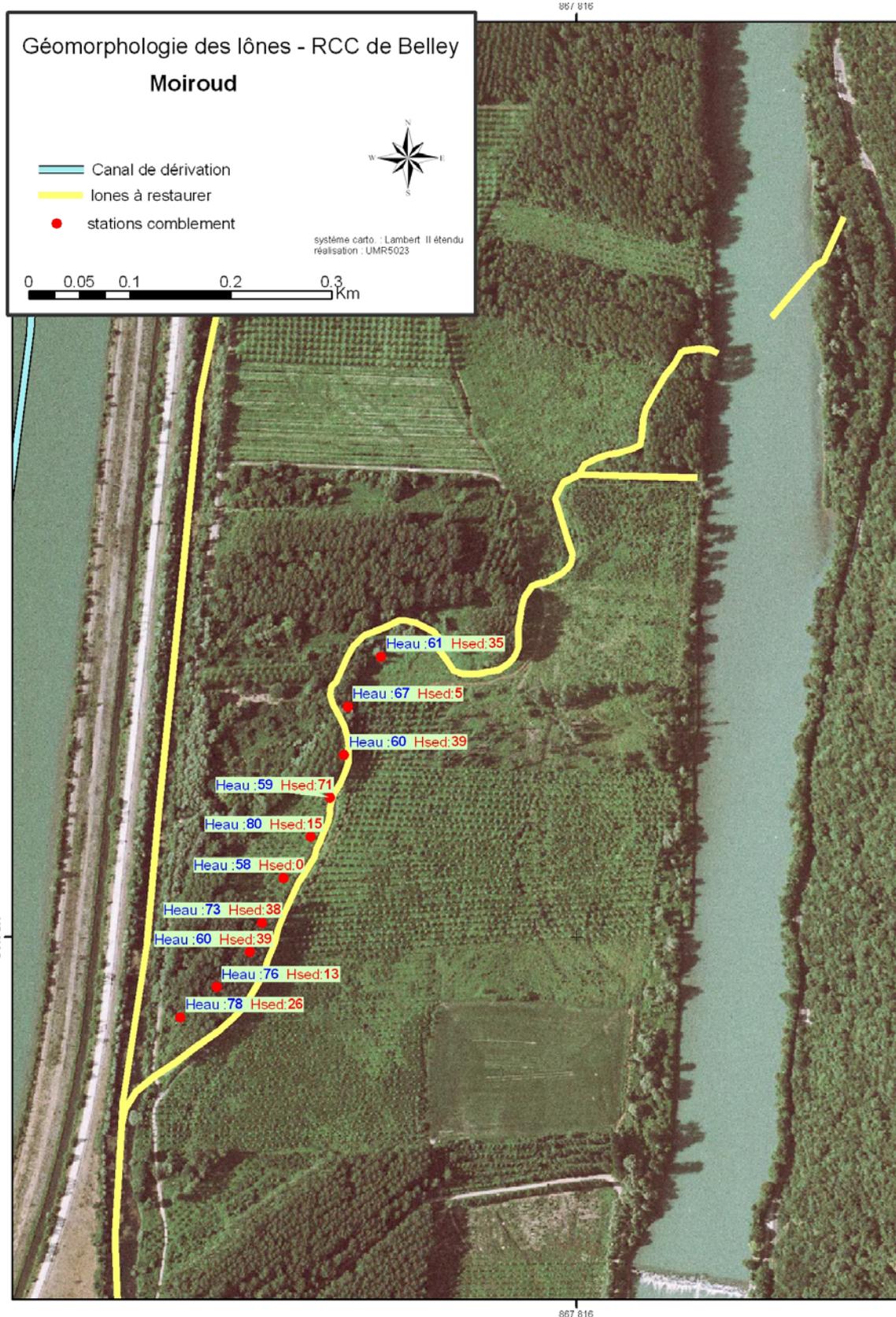
Annexe XIII Position et valeurs des sondages de hauteur de sédiments

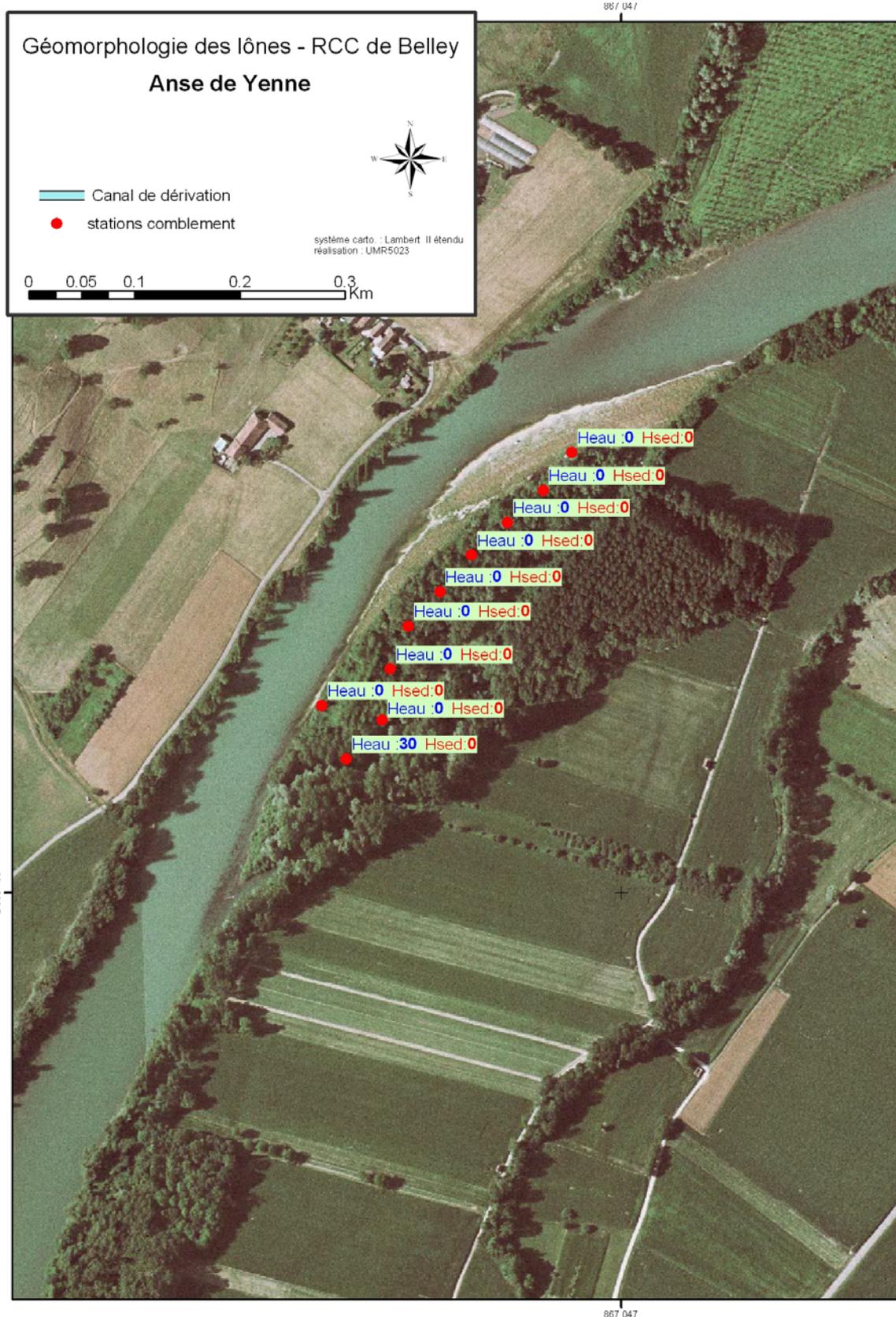


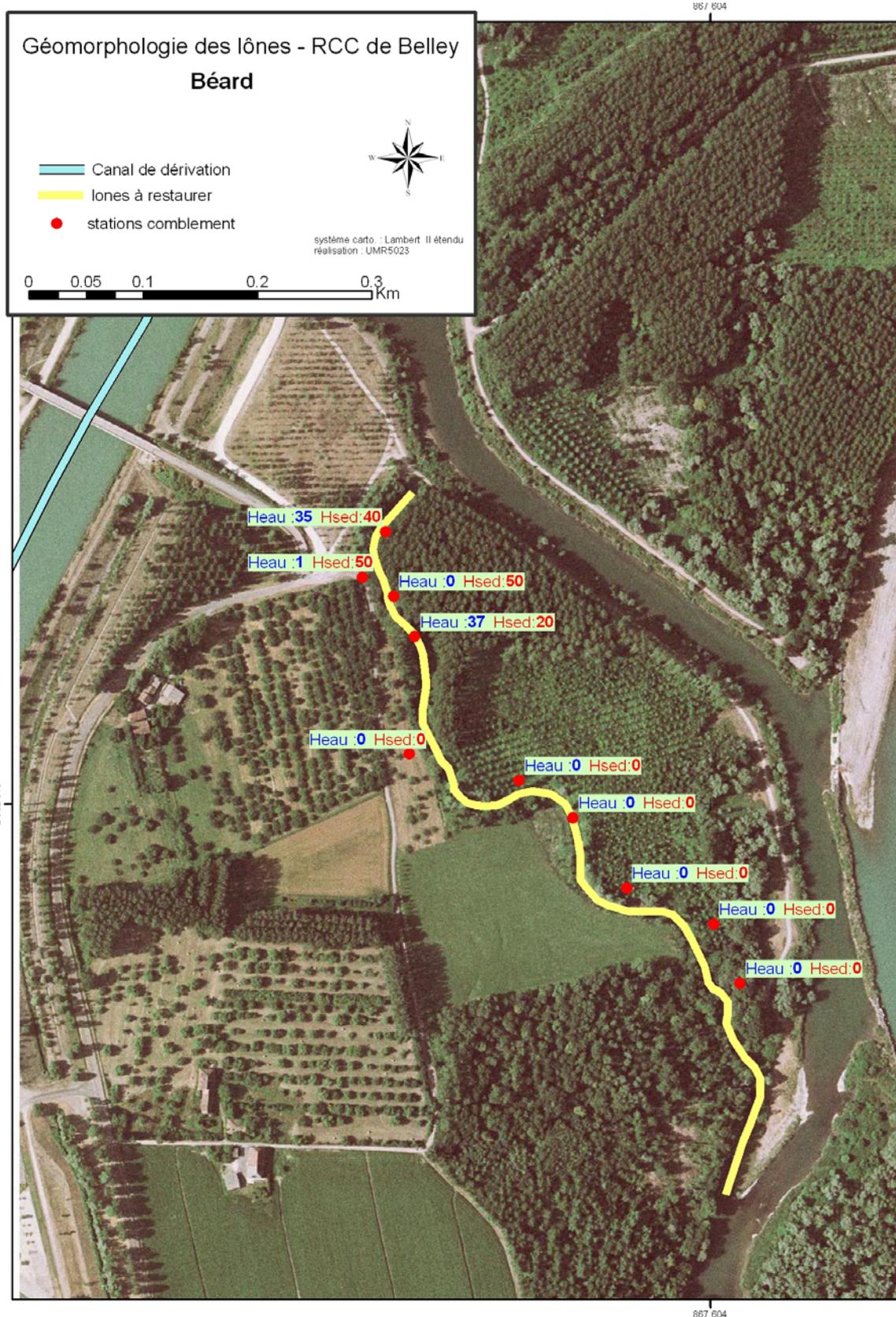






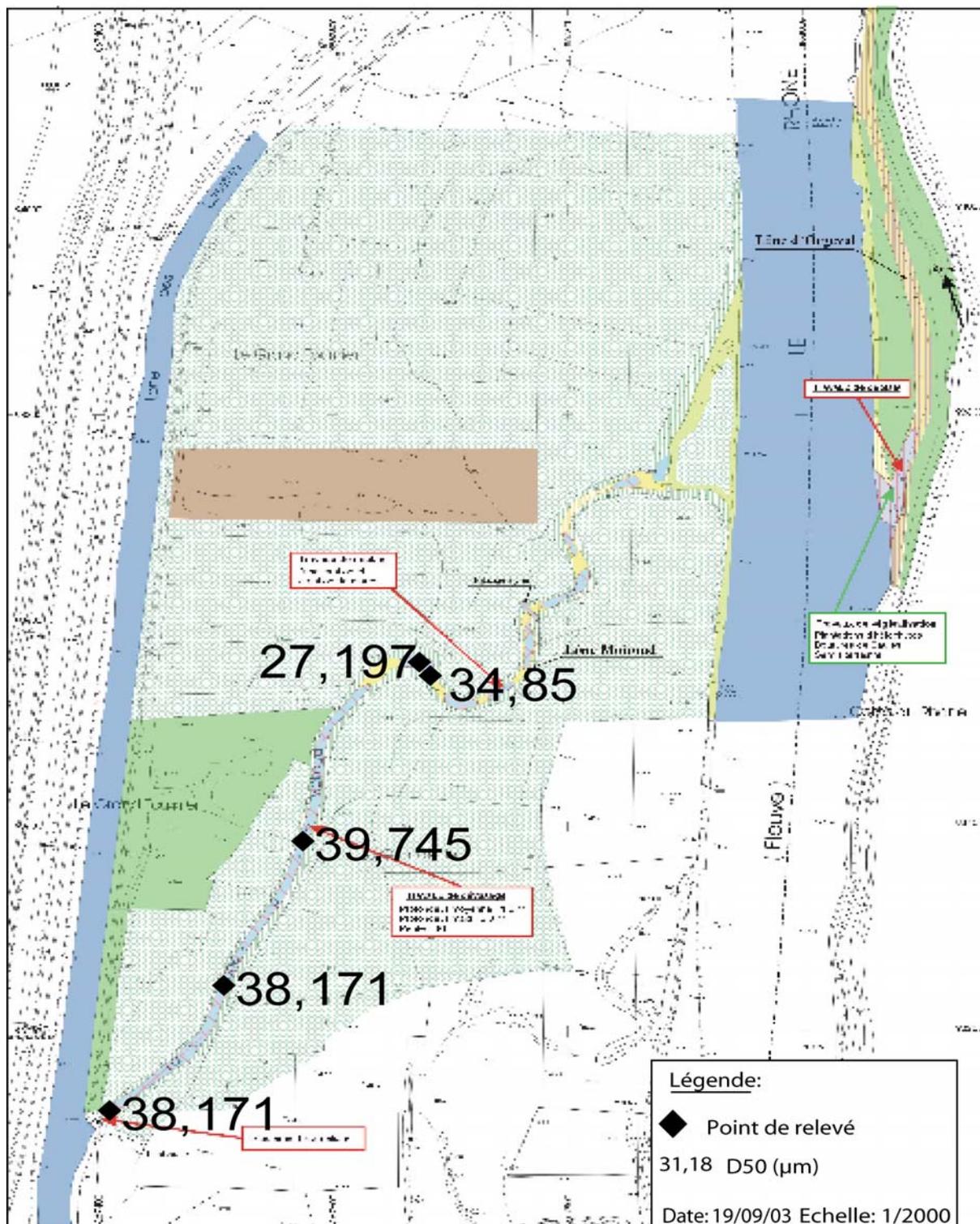




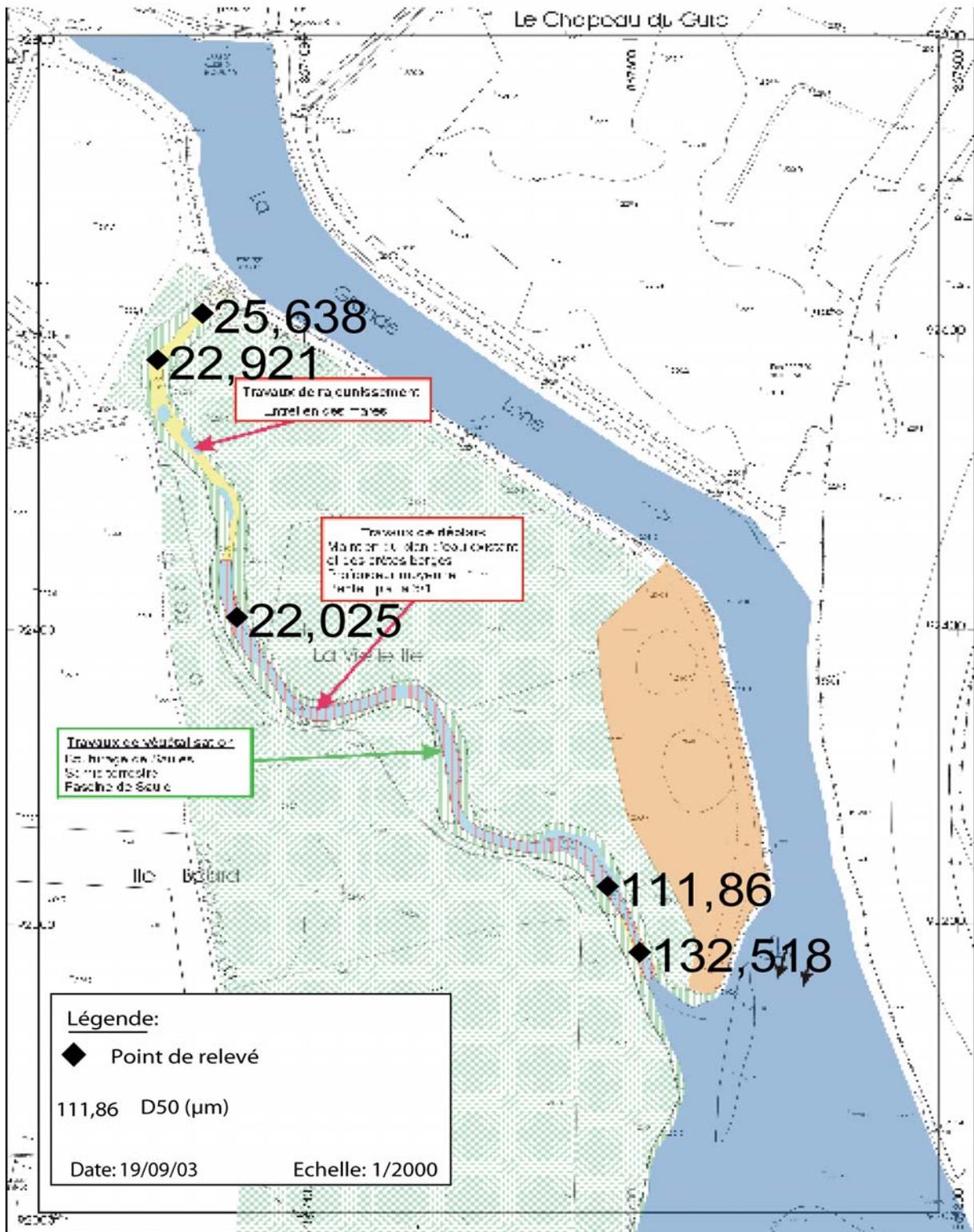


Annexe XIV Position et valeurs des prélèvements granulométriques

LONE MOIROUD (niveau 1)
SECTEUR DE BELLEY



LONE DE L ILE BEARD (niveau 1) SECTEUR DE BELLEY



Annexe XV observation du battement de la nappe par les différents piézomètres

