



**Fédération Départementale pour la Pêche et la
Protection du Milieu Aquatique**
« Le Villard »
2092, route des Diacquenods
74370 SAINT-MARTIN BELLEVUE
www.pechehautesavoie.com



Université de Franche-Comté
Place Leclerc
25030 BESANCON Cedex



MASTER 2 PROFESSIONNEL
Qualité et Traitement des Eaux et des Bassins Versants
Systèmes aquatiques et Bassins Versants



Diagnose écologique et recherche des causes de perturbation du peuplement piscicole du Foron de Reignier



Laure VIGIER

(Réf rapport FDP74.06/04)
Année 2006

Membres du Jury:

Responsable de la formation :
Directeurs des stages :

Tuteurs universitaires :

Maître de stage :

Mr. P.M. BADOT
Mr. J.L. BLONDE
Mr. F. DEGIORGI
Mr. H. DECOURCIERE
Mr. E. LUCOT
Mr. A. CAUDRON

Professeur
Maître de conférence associé
Maître de conférence associé

Maître de conférence
Chargé de mission, FDP 74

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont fait que ce stage, au sein de la Fédération de Haute-Savoie pour la Pêche et la Protection des Milieu Aquatiques, se déroule dans les meilleures conditions. Je remercie plus particulièrement :

M. Olivier FREGOLENT, président de la Fédération pour m'avoir accueilli au sein de cette structure.

M. Arnaud CAUDRON, chargé de mission, pour m'avoir proposé ce sujet ainsi que pour sa disponibilité pour m'accompagner sur le terrain comme pour répondre à mes interrogations.

M. Philippe HUCHET (chargé de mission) et Julie BELLANGER (stagiaire), pour leur aide lors des relevés cartographiques et des détermination de macrobenthos.

M. Alain TAIRRAZ, secrétaire de la Fédération, pour son accueil sympathique.

Je tiens également à remercier les gardes de pêche professionnels de l'AAPPMA du Chablais Genevois : M. Denis LYONNAZ-PERROUX, M. Guillaume BINI et M. Bernard RIVA, pour leur sympathie et pour leur aide sur les pêches électrique et particulièrement M.Emmanuel. MOLLARD pour sa grande disponibilité ainsi que pour les informations qu'il m'a fourni.

Merci, enfin, à toutes les personnes qui ont suivi ce travail avec intérêt.

RÉSUMÉ

De récentes pêches d'inventaires et de sondage réalisées sur le Foron de Reignier ont révélé la présence d'une population de truite estimée comme faible. Afin de rechercher l'origine des facteurs de perturbations et leurs impacts sur le peuplement piscicole, et principalement de la population de truite du fait de son intérêt halieutique, nous avons réalisé un diagnostic écologique de ce cours d'eau salmonicole de Haute-Savoie. La présente étude a été effectuée par l'intermédiaire d'une approche par échelles emboîtées à l'échelle du bassin versant. Les descripteurs étudiés aux trois échelles du bassin versant, du tronçon (T1, T2, T3, T4 et T5) et de la station (CHE, SOU, COL, MdV, ARC, ssCOL, PF) sont rassemblés et présentés sous quatre aspects.

Les usages et contraintes liés aux activités humaines sont évalués par l'intermédiaire d'un état des lieux de la répartition de la population, des activités représentées et de leur quantification à l'échelle du bassin versant ainsi que par un recensement des impacts directs relevés au niveau du tronçon.

La qualité du milieu est, quand à elle, évaluée par l'intermédiaire de l'étude de paramètres caractérisant la qualité physico-chimique de l'eau par l'intermédiaire de deux campagnes, une printanière sur 31 points de prélèvement et une estivale uniquement sur les sept stations d'études. Une recherche de toxiques dans les sédiments a également été réalisée sur 4 stations (CHE, SOU, ARC et PF). Cet aspect inclus aussi le suivi annuel des variables thermiques étudiées vis-à-vis des exigences écologiques de la truite commune (*Salmo trutta*) qui a été réalisé sur les deux affluents principaux du Foron de Reignier et sur 4 stations du cours principal (COL, MdV, Méran, PF).

Le peuplement macrobenthique est approché par des méthodes indicielles ainsi que par une étude approfondie du peuplement par l'intermédiaire d'une approche semi-quantitative basée sur une détermination au genre sur 20 placettes.

La qualité de l'habitat vis-à-vis du poisson est étudiée à l'échelle du tronçon et à celle de la station par l'intermédiaire de scores et de descripteurs simples de la diversité de l'habitat (proportion des faciès, des substrats et des différentes classes de hauteurs d'eau, vitesse de courant).

Enfin, l'abondance du peuplement piscicole est estimée par la réalisation de pêches électriques d'inventaires sur les sept stations d'étude. L'étude de la population de truite commune est approfondie par l'intermédiaire des descripteurs suivants : approche de la structure de la population ; évaluation de la contribution du recrutement naturel et du repeuplement sur le Quavilly et les stations CHE, COL, MdV et PF ; l'analyse des métaux dans la chair et les viscères des individus adultes des stations SOU et PF, le recensement des frayères de cette espèce sur le linéaire.

La confrontation des résultats obtenus par les différents descripteurs à ces trois échelles aboutit aux conclusions suivantes :

- L'évolution longitudinale de nombreux descripteurs de la qualité du milieu montre peu de variations qualitatives et quantitatives.

- La gestion piscicole et l'activité halieutique ne semblent pas influencer le peuplement piscicole.

- La qualité physique médiocre observée au niveau du tronçon semble expliquer les faibles abondances trouvées sur l'ensemble des stations alors que les variations interstationnelles du peuplement piscicole observées semblent directement liées aux caractéristiques stationnelles de l'habitat.

Ces résultats nous amènent à proposer un moratoire des actions de repeuplement et la mise en place d'un suivi du peuplement piscicole sur les stations étudiées.

Liste des figures

| | |
|---|----|
| Figure 1 : Localisation géographique et présentation topographique du bassin versant du Foron de Reignier. .. | 3 |
| Figure 2 : Carte structurale des Alpes (www.geo'alp.com) et carte géologique du bassin versant du Foron de Reignier. | 3 |
| Figure 3 : Histogramme des précipitations mensuelles moyennes à Contamines sur Arve (Atlas climatique de Haute-Savoie, 1991 in Alp'géosciences, 2006). | 4 |
| Figure 4: illustration de l'approche BV par « échelles emboîtées » réalisées sur le Foron de Reignier. | 6 |
| Figure 5 : Situation des tronçons homogènes et des stations d'étude sur le profil en long du Foron de Reignier. | 7 |
| Figure 6 : Répartition de la population et des activités agricole et forestière sur le bassin versant du Foron de Reignier. | 20 |
| Figure 7 : Répartition et zonage des contraintes liées aux activités humaines sur le bassin versant du Foron de Reignier. | 21 |
| Figure 8 : Synthèses des résultats physico-chimiques obtenus sur l'eau et les sédiments des stations d'étude du Foron de Reignier..... | 25 |
| Figure 9 : Synthèse des résultats relatifs aux peuplements macrobenthiques obtenus sur les sept stations d'études du Foron de Reignier..... | 29 |
| Figure 10 : Synthèse des résultats relatifs à l'habitat obtenus sur les cinq tronçons et les sept stations d'études du Foron de Reignier..... | 31 |
| Figure 11 : Synthèse des résultats obtenus sur les variables thermiques étudiées sur quatre stations du Foron de Reignier et ses deux affluents..... | 35 |
| Figure 12 : Synthèse des résultats relatifs au peuplement obtenu sur le Foron de Reignier..... | 37 |

Liste de tableaux

| | |
|--|----|
| Tableau 1 : Distribution surfacique des 5 communes présentes sur le bassin versant du Foron de Reignier. | 2 |
| Tableau 2 : Caractéristiques et critères de délimitation des tronçons homogènes constitutifs du Foron de Reignier. | 6 |
| Tableau 3 : Classes de hauteurs d'eau et de vitesses de courant utilisées dans la méthode de description de la qualité physique à l'échelle du tronçon..... | 10 |
| Tableau 4 : Codification des classes de hauteurs d'eau et de vitesses de courant utilisées pour la méthode IAM. | 12 |
| Tableau 5 : Hiérarchisation de l'attractivité des différents substrats..... | 13 |
| Tableau 6: variables utilisées pour caractériser la qualité thermique du Foron de Reignier vis-à-vis des exigences écologique de la truite commune (d'après CAUDRON et al., 2006a). | 14 |
| Tableau 7 : Codification directive de l'habitat pour échantillonner les biocénoses benthiques. | 16 |
| Tableau 8 : Bilan des investigations menées sur les sept stations du Foron de Reignier. | 18 |
| Tableau 9 : Bilan des descripteurs utilisés dans l'étude du Foron de Reignier aux diverses échelles. | 19 |
| Tableau 10 : Résultats des calculs du niveau typologique théorique des stations du Foron de Reignier..... | 27 |

Liste des Annexes

A. Qualité physico-chimique :

Annexe 1 : Résultats bruts et localisation des 31 points de prélèvement de la campagne de physico-chimie de printemps.

B. Peuplement macrobenthique :

Annexe 2 : listes faunistiques des 7 stations d'études du Foron de Reignier.

Annexe 3 : Synthèse des indices calculés sur le macrobenthos.

C. Qualité de l'habitat :

Annexe 4 : Résultats bruts de la description de l'habitat à l'échelle du tronçon.

Annexe 5 : Cartographies relatives à l'IAM.

Annexe 6 : IAM théorique en fonction de la largeur du cours d'eau : abaque.

D. Peuplement piscicole:

Annexe 7 : Fiche récapitulative des résultats des pêches électriques réalisées sur les 7 stations d'études du Foron de Reignier.

Annexe 8 : Abaque utilisé pour la détermination du peuplement piscicole théorique en fonction du niveau typologique calculé.

SOMMAIRE

| | |
|--|-----------|
| INTRODUCTION..... | 1 |
| Partie 1 - Matériel et Méthodes..... | 2 |
| I - Présentation générale du bassin versant du Foron de Reignier | 2 |
| 1 - Contexte physique : Situation géographique et administrative..... | 2 |
| 2 - Contexte géologique | 3 |
| 3 - Contexte climatologique | 4 |
| 4 - Régime hydrologique..... | 5 |
| II - Présentation de la démarche globale | 5 |
| III - Présentation des sites d'étude | 6 |
| IV - Récolte et traitement des données..... | 7 |
| 1 - A l'échelle du bassin versant | 7 |
| 2 - A l'échelle du tronçon..... | 8 |
| 3 - A l'échelle de la station..... | 11 |
| 4 - Synthèse des investigations menées et descripteurs étudiés | 18 |
| Partie 2 - Résultats..... | 20 |
| I - Evaluation de la qualité globale du milieu | 20 |
| 1 - Bilan de l'occupation du sol : usages et contraintes. | 20 |
| 2 - Qualité physico-chimique du milieu | 24 |
| 3 - Qualité des sédiments | 26 |
| II - Détermination du niveaux typologique théorique | 27 |
| III - Evolution longitudinale du peuplement macrobenthique sur le Foron de Reignier | 27 |
| 1 - Caractérisation indicielle du peuplement..... | 27 |
| 2 - Etude approfondie du peuplement macrobenthique..... | 28 |
| IV - Le peuplement piscicole et son habitat | 30 |
| 1 - Qualité habitationnelle vis-à-vis du poisson | 30 |
| 2 - Variables thermiques et potentialité piscicole | 34 |
| 3 - Caractérisation du peuplement piscicole du Foron de Reignier. | 36 |
| Partie 3 - Discussion..... | 40 |
| - Evolution longitudinale qualitativement et quantitativement peu variable des différents descripteurs de la qualité physique..... | 40 |
| - Influence de la gestion piscicole et de l'activité halieutique sur le peuplement piscicole | 42 |
| - Décalage entre les peuplements pisciaires observés et théoriques..... | 43 |
| - La qualité de l'habitat physique conditionne les différences interstationnelles des peuplements piscicoles..... | 44 |
| - Intérêt d'une étude à échelles emboîtées utilisant différents descripteurs..... | 46 |
| CONCLUSION ET PERSPECTIVES..... | 47 |
| BIBLIOGRAPHIE..... | 48 |

INTRODUCTION

Actuellement, la majorité des cours d'eau ont soumis à des facteurs de perturbations généralisés issus de l'activité humaine. Le couple de pollutions de natures domestiques et agricoles est une problématique récurrente sur le territoire français hors agglomération. Le Foron de Reignier, situé dans un secteur rural à semi-rural est l'illustration de ce type de contexte classique où résidences et agriculture sont à priori les principaux pourvoyeurs de pollutions potentielles.

Deux pêches électriques d'inventaire et des pêches de sondage ont révélées la présence d'une population de truite estimée comme faible pour un tel cours d'eau. Les perturbations connues ne paraissant pas en mesure d'expliquer ce déficit apparent, la Fédération de la Haute-Savoie pour la Pêche et la Protection des Milieux Aquatiques a proposé la réalisation d'un diagnostic écologique sur ce bassin versant. L'absence de causes de perturbations évidentes sur le bassin versant du Foron de Reignier a nécessité l'utilisation d'une approche méthodique réalisée à plusieurs échelles à l'aide de nombreux descripteurs.

La recherche des causes de perturbations du peuplement piscicole du Foron de Reignier est appréhendée selon trois aspects principaux, rassemblant les divers descripteurs étudiés à ces trois échelles, qui sont la qualité du milieu, l'étude du peuplement macrobenthique et l'étude du peuplement piscicole et son habitat.

La confrontation des résultats obtenus par les différents descripteurs alimente une discussion axée sur l'identification des causes potentielles et leurs mécanismes d'influence sur le peuplement piscicole et plus particulièrement sur les populations d'intérêt halieutique représentées par la truite commune. En ce sens, l'objectif final est de fournir aux gestionnaires du milieu (AAPPMA Chablais - Genevois) d'une part, des éléments explicatifs de l'état du peuplement piscicole et d'autre part, d'envisager des propositions permettant d'orienter un mode de gestion halieutique répondant aux problématiques du bassin versant du Foron de Reignier

Partie 1 - Matériel et Méthodes

1 - Présentation générale du bassin versant du Foron de Reignier

1 - Contexte physique : Situation géographique et administrative

Le Foron de Reignier est un affluent rive gauche de l'Arve. Il prend sa source au niveau d'une petite zone humide sur le plateau des Bornes, à une altitude de 910 m. Sur son linéaire de 12,8 km il reçoit deux affluents principaux, successivement le Quavilly et le Vuarapan. Il s'écoule selon une pente moyenne de 41,1‰ entre des berges souvent abruptes creusées dans un terrain meuble. Son bassin versant topographique, d'environ 25 km², s'étend sur 5 communes (de l'amont vers l'aval) : Evires, la Chapelle-Rambaud, Arbusigny, Pers-Jussy et Reignier (tableau 1):

| Communes | Surface totale des communes (ha) | Surface concernée par le bassin versant (ha) |
|---------------------|----------------------------------|--|
| Evires | 1949 | 69 |
| La Chapelle-Rambaud | 4145 | 245 |
| Arbusigny | 1225 | 691 |
| Pers-Jussy | 9635 | 1082 |
| Reignier-Esery | 2508 | 457 |

Tableau 1 : Distribution surfacique des 5 communes présentes sur le bassin versant du Foron de Reignier.

Sur le plan topographique, le bassin versant peut être découpé en trois zones :

- à l'amont, une zone de plateau où se concentrent les petits affluents de tête de bassin. C'est la zone la plus riche en zones humides.
- la zone intermédiaire, concernant la majeure partie du bassin versant, est plus accidentée. A ce niveau, la vallée du Foron de Reignier est relativement étroite et encaissée et passe parfois par une configuration de gorges.
- à l'aval, la confluence avec le Vuarapan est concomitante à une ouverture de la vallée et à une diminution de pente au niveau de la plaine de la Rocaille (figure 1).

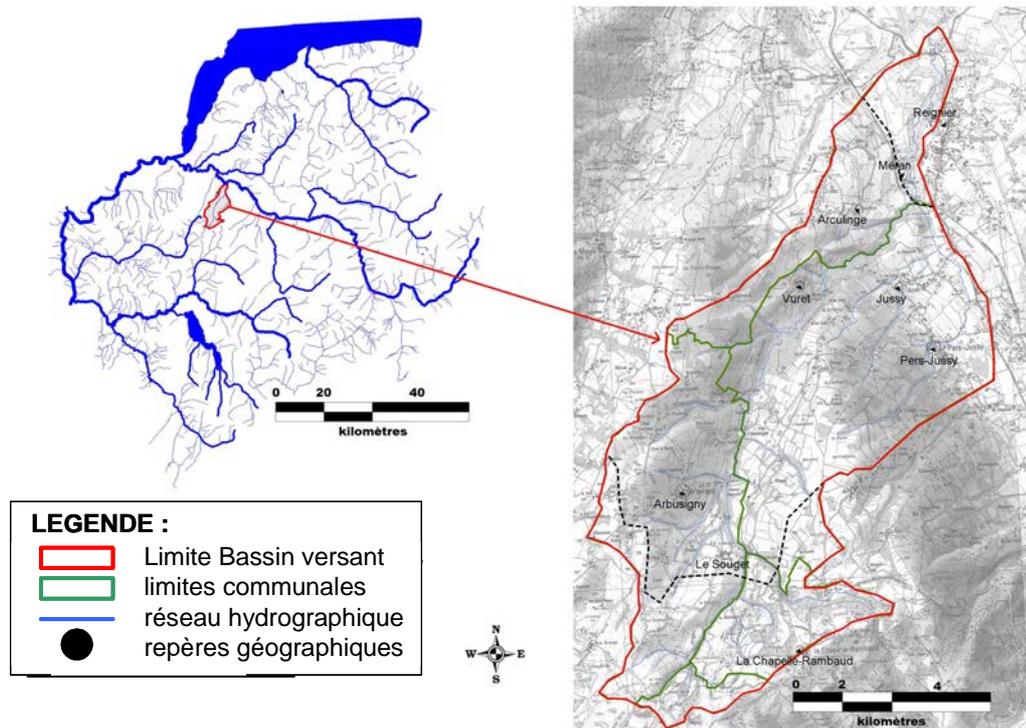


Figure 1 : Localisation géographique et présentation topographique du bassin versant du Foron de Reignier.

2 - Contexte géologique

Le bassin versant est situé dans le sillon molassique entre la région des chaînons jurassiens (Mont Salève et montagne de Balme) et la zone subalpine que constitue le massif des Bornes et la chaîne des Aravis (figure 2).

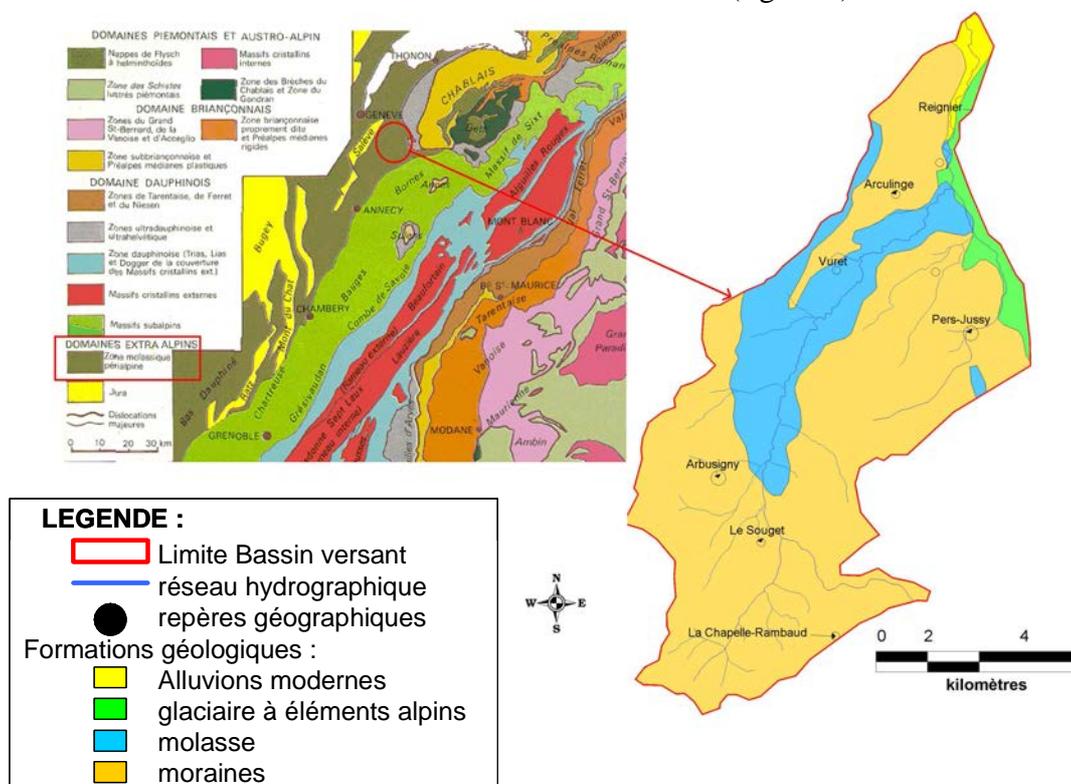


Figure 2 : Carte structurale des Alpes (www.geo'alp.com) et carte géologique du bassin versant du Foron de Reignier.

Quatre types de formations sont représentés (figure 2) :

- une formation tertiaire correspondant à des molasses à faciès marno-gréseuses d'âge Miocène. Le Foron de Reignier traverse cette formation géologique sur plus d'un tiers de son linéaire entre Arbusigny et la confluence avec le Vuarapan.

- sur la quasi-totalité du bassin versant, ce terrain est recouvert par les dépôts quaternaires morainiques du glacier de l'Arve. Ces alluvions glaciaires, de type moraines à gros blocs d'Urgonien et glaciaires à éléments alpins, datent respectivement du néo-würmien et du retrait würmien. La majeure partie du bassin du Foron de Reignier est recouverte par ce dernier. Ces formations meubles présentent une forte sensibilité à l'érosion, notamment les berges du cours d'eau.

- à proximité de la confluence avec l'Arve, le cours d'eau est bordé par des alluvions modernes.

Globalement, ces formations géologiques sont sensibles aux glissements de terrain du fait de leur forte teneur argileuse. La topographie vallonnée et l'imperméabilité relative des terrains les rendent sensibles au ruissellement. D'autre part, l'écoulement du Foron sur ces terrains meubles érode fortement les berges (Alp'géorisques, 2006).

Glissements de terrain, ruissellement et instabilité de berges sont des phénomènes très répandus sur le bassin versant étudié (BOBAN, 2004).

3 - Contexte climatologique

Avec 900 à 1200 mm de précipitations par an, le département de la Haute-Savoie se situe au-dessus de la moyenne nationale. La répartition des pluies se calcule assez bien sur le relief, cependant d'autres éléments sont à prendre en considération. Ainsi la plaine du pays Rochois, où se situe le Foron de Reignier, bénéficie d'une pluviométrie supérieure au bassin du Léman tout proche, en raison d'un phénomène de soulèvement au niveau du massif des Bornes.

Du point de vue des températures, à l'élément prédominant qu'est l'altitude, s'ajoute la proximité du lac Léman qui est déterminante dans cette région de plaine. L'ouverture de la vallée temporeuse l'amplitude journalière et annuelle (www.meteofrance.fr).

Les précipitations, dont la moyenne mensuelle est de 86 mm, sont globalement bien réparties : le mois le plus sec étant le mois d'avril, avec 73 mm de précipitations, et le plus arrosé celui de juin, avec 120 mm de précipitations en moyenne (figure 3).

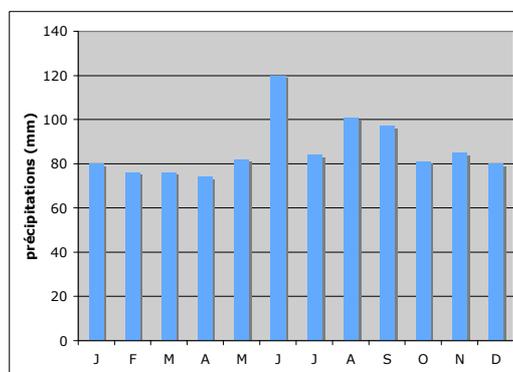


Figure 3 : Histogramme des précipitations mensuelles moyennes à Contamines sur Arve (Atlas climatique de Haute-Savoie, 1991 in Alp'géorisques, 2006).

4 - Régime hydrologique

Ce cours d'eau ne disposant pas de station de suivi limnimétrique, aucune chronique de débit n'est disponible, cependant son régime est de type pluvial à légère influence nivale (CG 74, 2003 ; SDVP, 1994). Le Foron de Reignier subit deux étiages annuels, un estival et un hivernal respectivement dus aux faibles précipitations estivales et au stockage des précipitations sous forme de neige durant l'hiver.

L'altitude relativement faible du bassin versant induit la fonte rapide des neiges ; fonte qui alimente le cours d'eau durant une courte période (Alp'géorisques, 2006).

II - Présentation de la démarche globale

La réalisation de diagnostics écologiques de cours d'eau à l'échelle du bassin versant par l'intermédiaire de trois échelles de travail : bassin versant, tronçon et station, est largement répandue. Cette méthode de travail dite par « échelles emboîtées » est préconisée en particulier par les Agences de l'eau.

Les objectifs de ce type d'approche sont :

- de travailler du général vers le particulier (figure 4). En effet, les investigations réalisées à l'échelle du bassin versant permettent d'orienter les recherches aux échelles plus locales.

- de croiser les diverses informations récoltées aux différentes échelles. La confrontation de données de natures diverses, réalisée principalement par le biais de la spatialisation des données permet de mettre en évidence certaines relations causes - impacts.

Le bassin versant est l'échelle d'investigation la plus importante. Les investigations menées à cette échelle permettent de mettre en évidence une grande partie des facteurs potentiellement perturbateurs du milieu. Ce travail permet de mieux définir les investigations à réaliser à des niveaux plus précis.

Les tronçons correspondent à des unités structurales homogènes. La sectorisation du linéaire en tronçons homogènes est réalisée sur la base de caractéristiques physiques et géomorphologiques. Les critères utilisés sont les changements de pente, les confluences d'égale importance, les changements importants d'occupation des sols... Les tronçons sont théoriquement homogènes en termes de dynamique, de succession des faciès et donc de communautés vivantes.

Les stations sont définies de façon à ce que les faciès présents, leurs répartitions, ainsi que leurs recouvrements soient représentatifs du tronçon considéré. Ainsi les investigations menées à l'échelle de la station sont généralisables à l'échelle du tronçon. En règle générale, pour s'assurer de sa représentativité, la longueur d'une station correspond à entre 10 et 20 fois la largeur du lit mineur.

A ces différentes échelles, différents descripteurs sont étudiés : la physico-chimie, la qualité physique, l'intégrité biotique par l'intermédiaire des communautés de macroinvertébrés et de poissons. ...

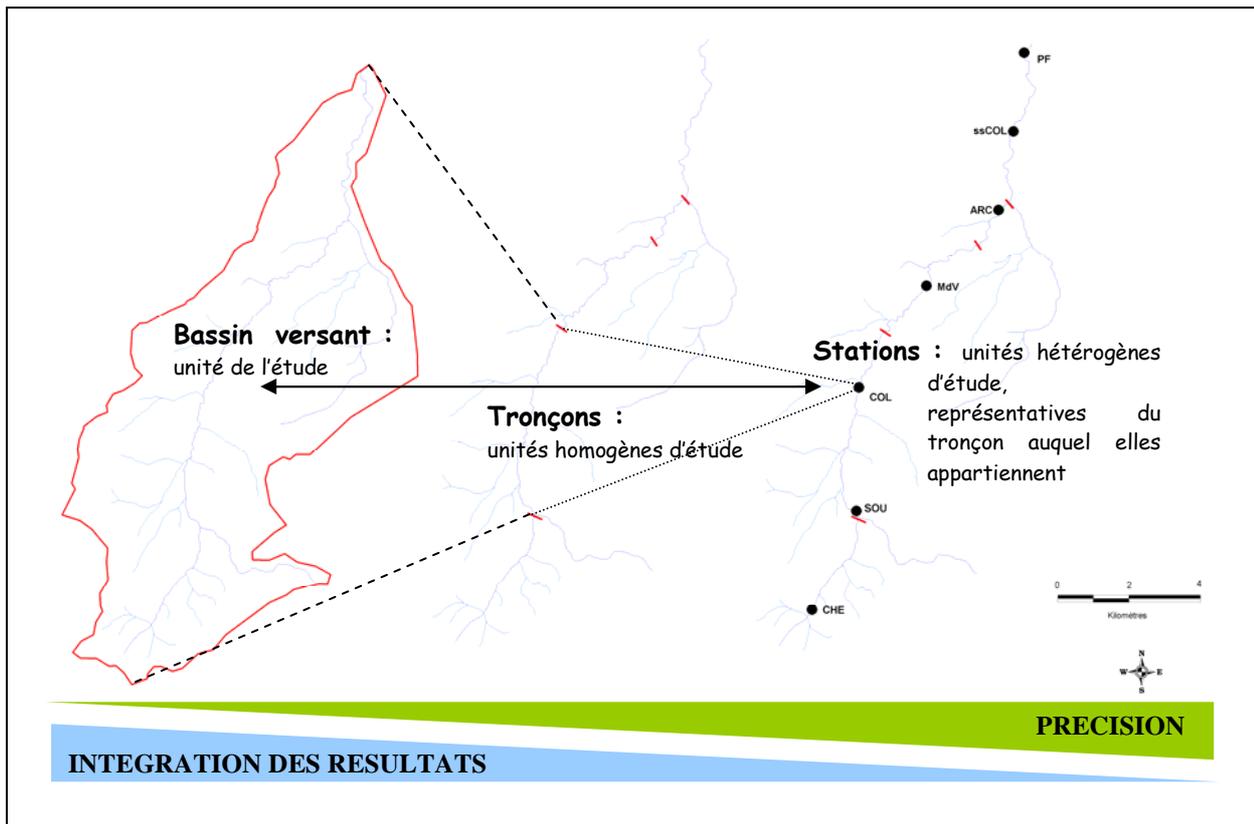


Figure 4 : illustration de l'approche BV par « échelles emboîtées » réalisées sur le Foron de Reignier par l'exemple du tronçon T2 et de la station COL.

III - Présentation des sites d'étude

La sectorisation du linéaire en tronçons homogènes, réalisée selon la méthode décrite dans le paragraphe précédent, a permis de délimiter cinq tronçons sur le Foron de Reignier (tableau 2).

| tronçon | Altitude amont | Altitude aval | Pente (%) | Longueur (km) | Critère de délimitation du tronçon | Station |
|---------|----------------|---------------|-----------|---------------|---|------------------------------|
| T1 | 910 | 800 | 4,7 | 2,32 | confluence avec le Quavilly | Les Chevaliers : CHE |
| T2 | 800 | 645 | 4,8 | 4,04 | pente relativement constante | La Colay : COL |
| T3 | 645 | 530 | 4,9 | 2,26 | Gorges : Rive droite puis des deux côtés | Moulin de Vuret : MdV |
| T4 | 530 | 480 | 6,2 | 0,93 | légère ouverture de la vallée jusqu'à la confluence avec le Vuarapan | Arculinge : ARC |
| T5 | 480 | 414 | 2,3 | 3,24 | diminution de la pente jusqu'à la confluence avec l'Arve : plaine des Rocailles | Pont du Foron : PF |

Tableau 2 : Caractéristiques et critères de délimitation des tronçons homogènes constitutifs du Foron de Reignier.

L'échelle de la station se veut beaucoup plus précise et correspond à une station d'étude hétérogène (diversité de faciès d'écoulement et des microhabitats) représentative du tronçon.

Sept stations d'étude ont été définies (figure 5) :

- cinq stations sont placées afin d'être représentatives des différents tronçons

- la station nommée SOU (Souget), située dans le tronçon T2, correspond à une station de pêche d'inventaire. Elle est reprise afin de pouvoir réaliser une comparaison temporelle du peuplement de poissons.

- la station ssCOL (sous le Collège), située dans le tronçon T5, a été ajoutée afin de disposer de données en amont d'un important rejet identifié au niveau de la ville de Reignier.

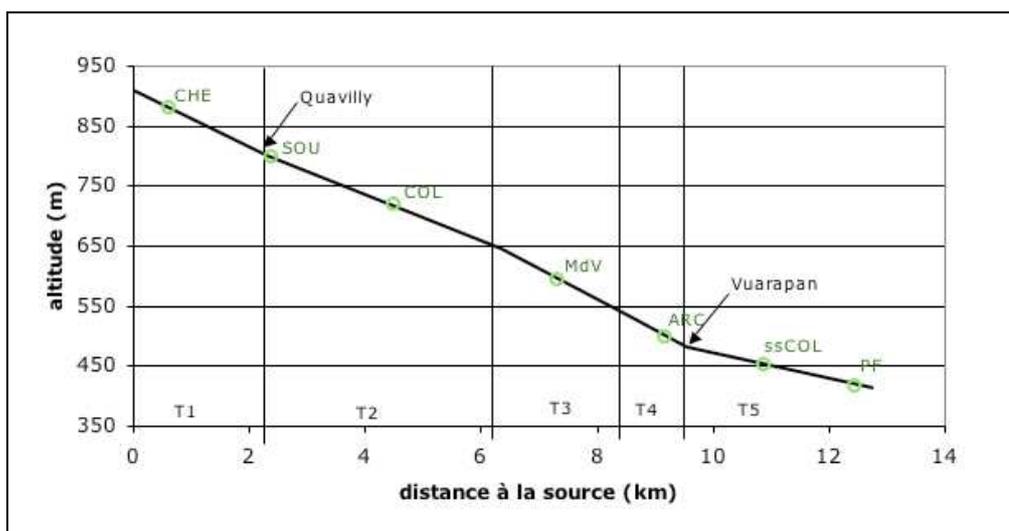


Figure 5 : Situation des tronçons homogènes et des stations d'étude sur le profil en long du Foron de Reignier.

IV - Récolte et traitement des données

1 - A l'échelle du bassin versant

► Données générales

Cette première échelle d'investigation a pour but de mettre en évidence les facteurs de perturbation les plus évidents.

Un premier travail sur carte (IGN ref : 3430 OT et données IFN - Inventaire Forestier National -) permet de visualiser globalement l'occupation des sols. Parallèlement, des données générales sur l'occupation des sols et de démographie au niveau communal sont récoltées (RGA - Recensement général agricole - 2000, diagnostic agricole...). Ces premières données fournissent un cadre à la suite des investigations.

► Relevé et cartographie des impacts directs sur le réseau hydrographique

Un relevé des impacts directs de nature physique et chimique a été réalisé par une première prospection de terrain, ceci sur le Foron lui-même et ses affluents. Chaque dégradation rencontrée lors du parcours du linéaire a été notifiée sur carte.

Cette étape a une finalité multiple : la vérification de l'organisation spatiale globale des pratiques et de l'utilisation des sols, la confirmation du nombre de tronçons et de leurs limites et l'observation des perturbations évidentes, physiques ou chimiques, affectant directement le cours d'eau et ses affluents.

► Physico-chimie

Sur la base des relevés précédents, une première campagne de physico-chimie sur 31 points du bassin a été réalisée. Les prélèvements réalisés du 2 au 4 mai 2006 ont été placés :

- en fermeture de bassin des petits affluents jugés potentiellement vecteurs de substances perturbantes : nutriments, rejets domestiques, autres...
- sur le Foron de Reignier et ses deux principaux affluents (Quavilly et Vuarapan), de façon à localiser les changements de qualité du fait d'une activité particulière ou d'arrivées suspectes par les affluents ou par certains rejets.

Les paramètres mesurés sont les nitrates, nitrites, ammonium et orthophosphates dosés par le spectrophotomètre Merck *spectroquant NOVA 60*, ceci respectivement par les tests *spectroquant* Merk : test Nitrates 1.09713.0001, test Nitrites 1.14776.0001, test Ammonium 1.14752.0001 et test Phosphates 1.14848.0001.

Les mesures de température ont été extraites du suivi thermique abordé dans le paragraphe **IV-3-**.

L'objectif de cette première campagne était de mettre en évidence d'éventuelles perturbations liées aux rejets domestiques et/ou agricoles, notamment pour ces derniers, durant la période d'épandage des stocks hivernaux de fumiers et lisiers. Les prélèvements ont été réalisés durant la matinée et analysés selon les protocoles fournis avec les micro-tests.

► Pratiques de gestion halieutique

Un historique des pratiques de repeuplement sur 10 ans a été fourni par l'AAPPMA du Chablais-Genevois. La prise en compte de l'évolution en terme de pratique et de la répartition des repeuplements pratiqués sur le Foron est un élément indispensable de l'étude de la truite commune (*Salmo trutta*).

2 - A l'échelle du tronçon

► Description physique de l'habitat à l'échelle du tronçon

- *Structure habitationnelle* :

L'évaluation de la qualité physique des systèmes lotiques ne dispose pas, contrairement à l'évaluation physico-chimique et l'hydrobiologique, d'une méthode standard unanimement utilisée.

Aussi, afin d'analyser la qualité habitationnelle du Foron de Reignier, l'approche de la qualité de l'habitat à l'échelle globale du cours d'eau, mise au point par la DR 5 du CSP puis finalisé par le bureau d'étude TELEOS a été appliquée. Elle s'inspire de méthodes conçues précédemment (BOVEE 1982, MALAVOI *et al.* 1989) en associant à ces démarches descriptives une évaluation de l'attractivité de l'habitat pour la faune piscicole. Cette méthode, par son orientation piscicole marquée, correspond particulièrement à notre problématique.

La mise en œuvre de cette méthode nécessite la sectorisation du cours d'eau en tronçons homogènes (CF § III précédent).

La capacité biogène, à l'étiage, de chacune de ces unités est caractérisée par la description de 4 composantes fondamentales de la qualité physique : l'hétérogénéité du lit d'étiage, son attractivité, sa stabilité géomorphologique et sa connectivité longitudinale et latérale avec les composantes du corridor fluvial. Ces composantes interfèrent sans être redondantes.

Les éléments favorables et défavorables recensés lors du parcours du linéaire sont quantifiés et des scores synthétiques sont calculés afin de faciliter l'interprétation.

1-Le score d'hétérogénéité sanctionne le degré et variété des formes, des substrats/supports, des vitesses de courant et des hauteurs d'eau du lit d'étiage ; plus ce score est élevé, plus les ressources physiques sont diversifiées.

2-Le score d'attractivité intègre la qualité des substrats, soit l'intérêt global des substrats/supports pour les poissons, la qualité et la quantité des caches et des abris ainsi que l'existence et la variété des frayères.

3-le score de connectivité caractérise la fonctionnalité de la zone inondable ainsi que la fréquence des contacts entre la rivière et les interférences emboîtées que constituent la ripisylve et le « lit moyen » ; il apprécie également le degré de compartimentage longitudinal par les barrages et les seuils, ainsi que les possibilités de circulation des poissons migrateurs ou « sédentaires ».

4-Le score de stabilité des berges et du lit traduit l'importance des érosions régressives (fréquence des seuils), progressive et latérale (proportion de méandres instables), de l'état des berges (degré d'érosion), de l'incision...

Les trois premiers scores sont relatifs et doivent être comparés avec ceux qui sont obtenus sur l'ensemble des tronçons. Chaque composante est définie par cinq classe de A à E ; la classe supérieure - A- répond à une situation conforme pour le paramètre étudié et ne correspond pas nécessairement à une condition optimale.

Les limites de classe sont les suivantes :

| Classe Hétérogénéité /111 | Classe Attractivité /90 | Classe Connectivité /130 | Classe stabilité -60/40 | Classe qualité physique (QP) / 30600 |
|--|--------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|---|
| A >50 | A >45 | A >65 | Sédimentation >10 | A > 6500 |
| B 40-50 | B 34-45 | B 49-65 | Equilibre -10/10 | B 3500-6500 |
| C 28-40 | C 23-34 | C 33-49 | Erosion -25/-10 | C 1500-3500 |
| D 14-28 | D 11-23 | D 16-33 | Forte érosion -65/-25 | D 400-1500 |
| E <14 | E <11 | E <16 | | E <400 |

Ces 4 scores sont rassemblés dans une formule qui permet de calculer la qualité physique de chaque tronçon :

$$QP = (H+A) \times C \times \text{coef.Stab}$$

-Diversité de l'habitat :

La diversité de l'habitat et la variation de cette diversité par tronçon ont été appréciées en comparant les paramètres faciès d'écoulement (radier, mouille, plat...), hauteur d'eau et vitesse de courant.

Les différents faciès d'écoulements recensés lors de la description de la qualité physique au tronçon sont:

Chute : zone hyperlotique présentant des vitesses d'écoulements supérieures à 100 cm/s et un dénivelé supérieur à 50 cm.

Cascade : même définition que la chute mais présentant un dénivelé inférieur à 50 cm.

Chenal lotique: zone lotique présentant des vitesses de courant comprises entre 20 cm/s et 100 cm/s et une profondeur d'eau supérieure à 30 cm. (la largeur du cours d'eau étudié étant inférieure à 10 m)

Radier : même définition que chenal lotique mais présentant une profondeur d'eau inférieure à 30 cm.

Fosse : zone de transition présentant des vitesses mixtes, des turbulences avec une profondeur importante (fosse de dissipation)

Méandre : zone de transition présentant des turbulences, des vitesses et profondeurs mixtes avec coudes et contre-courants.

Mouille : zone lenticule présentant des vitesses de courants inférieures à 10 à 20 cm/s avec une profondeur supérieure à 40 cm.

Plat : même définition que la mouille mais présentant une profondeur inférieure à 40 cm.

Les hauteurs d'eau et vitesses de courant sont réparties en cinq classes selon les limites suivantes (tableau 3) :

| classe | Hauteur d'eau | Vitesse de courant |
|--------|---------------|--------------------|
| 1 | 0-10 cm | 0-10 cm/s |
| 2 | 11-40 cm | 11-40 cm/s |
| 3 | 41-80 cm | 41-80 cm/s |
| 4 | 81-150 cm | 81-150 cm/s |
| 5 | >150 cm | >150 cm/s |

Tableau 3 : Classes de hauteurs d'eau et de vitesses de courant utilisées dans la méthode de description de la qualité physique à l'échelle du tronçon.

Ces trois paramètres : faciès d'écoulement, vitesse de courant et hauteur d'eau ont été étudiés indépendamment. Pour chaque tronçon, la répartition des différentes classes détaillées précédemment est représentée. Cette présentation de la diversité de ces paramètres permet une comparaison des tronçons sur la base de critères simples. Il est alors possible de suivre l'évolution amont-aval de cette diversité.

► Recensement des frayères par tronçon

Dans le cadre de la caractérisation du recrutement naturel sur le Foron de Reignier, un recensement des frayères naturelles par parcours de tout le linéaire du cours d'eau (de la confluence avec l'Arve à celle avec le Quavilly) a été réalisé durant l'hiver 2005-2006 entre le 18/11/05 et le 12/12/05 par un garde pêche professionnel de l'AAPPMA du Chablais-Genevois.

Ces données seront utilisées dans le cadre de l'évaluation du recrutement naturel.

3 - A l'échelle de la station

► Qualité physico-chimique de l'eau

Sur chaque station la qualité de l'eau a été évaluée par une analyse des paramètres physico-chimiques suivants : température, pH, conductivité, dureté totale, azotes (NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+), Orthophosphates.

Les échantillons ont été analysés, pour les différentes formes d'azote et les orthophosphates, selon le protocole décrit au paragraphe **IV-1-**

Les dosages des ions magnésium et calcium ont été effectués à l'aide du spectrophotomètre Merck *Spectroquant NOVA 60* par l'intermédiaire des tests *spectroquant* Merck : Test Calcium 1.14815.0001 et test en tube Magnésium 1.00815.0001.

Les mesures de pH, de la conductivité ont été effectuées en même temps que les prélèvements estivaux. Ces paramètres ont été mesurés par le boîtier multi-sonde *WMR SymPHony SP90M5* et les sondes conductivité/température *SymPHony 11388-372* et pH/température *SymPHony 14002-860*.

► Qualité des sédiments

Une campagne de mesure de la qualité des sédiments a été réalisée sur quatre stations (CHE, SOU, ARC et PF). Les sédiments fins sont choisis afin de rechercher les contaminations toxiques car ils constituent un substrat à mémoire chimique. Les prélèvements ont été réalisés après une période d'au moins 5 jours de débits stabilisés.

Les échantillons ont été analysés par le laboratoire départemental d'analyses de la Drome. Un bilan qualitatif des composés organiques (pesticides, solvants, hydrocarbures...), de minéralisation des métaux (Arsenic, Cadmium, Chrome, Cuivre, Mercure, Nickel, Plomb, Zinc) a été effectué.

Cette mesure a pour but d'identifier les éventuelles pollutions chimiques auxquelles les populations de poissons ont été et sont actuellement exposées lors d'épisodes de relargage.

► Evaluation de la qualité de l'habitat aquatique à l'échelle de la station

- Structure habitationnelle : Indice d'attractivité morphodynamique (IAM)

A l'échelle stationnelle, la qualité des mosaïques d'habitat aquatique a été évaluée selon le protocole d'analyse cartographique mise au point par la DR5 du CSP (DEGIORGI *et al.*, 1995).

La démarche diagnostique utilisée consiste à réaliser une cartographie codifiée de chacune de ces composantes de la qualité physique : hauteurs d'eau, vitesses de courant et substrats/supports ; puis de considérer leur combinaison.

Les composantes respectives des différentes mosaïques, considérées une par une puis superposées, peuvent ainsi être appréciées et confrontées d'une station à l'autre. Les limites des classes d'hétérogénéité de chaque composante ont été déterminées statistiquement (tableaux 4 et 5). Leur combinaison définit des zones d'attractions différentielles vis-à-vis des poissons : elles sont appelées « pôles d'attraction ».

Cette approche fournit une image comparable de l'hétérogénéité et de l'attractivité biogène d'un cours d'eau à l'échelle de la station.

| Classes | Hauteur d'eau | Classes | Vitesse de courant |
|---------|---------------|---------|--------------------|
| 1 | < 5 cm | 1 | < 10 cm/s |
| 2 | 6-20 cm | 2 | 11-40 cm/s |
| 3 | 21-70 cm | 3 | 41-80 cm/s |
| 4 | 71-150 cm | 4 | 81-150 cm/s |
| 5 | > 151 cm | 5 | > 151 cm/s |

Tableau 4 : Codification des classes de hauteurs d'eau et de vitesses de courant utilisées pour la méthode IAM.

Cette méthode est appliquée aux différentes stations choisies dans les conditions d'étiage estival. Les vitesses de courant et les hauteurs d'eau sont mesurées et repérées sur des transects à l'aide d'une jauge graduée, d'un courantomètre *Nautilus C 2000/ Sensa Z 300* et de plusieurs décimètres. Parallèlement, les placettes associées aux différents substrats/supports, dont l'attractivité est hiérarchisée, sont métrés à l'aide d'un topofil.

Une cartographie de la station est alors réalisée par intrapolation. Les cartes obtenues, après traitement des données sous le logiciel Canvas 9 permettent de visualiser l'intérêt ou les lacunes des mosaïques d'habitat.

Plusieurs indices permettent également de situer les résultats sur des échelles d'hétérogénéité et d'attractivité biogène.

Les indices calculés sont :

- Var = la variété : correspondant au nombre de catégories (de substrats/supports) ou de classes (de vitesses et de profondeurs) pour chacune des composantes de la qualité des mosaïques d'habitats

- Div = la diversité correspondant à la mesure de la complexité et de l'hétérogénéité quantitative de la répartition des surfaces entre les catégories de chaque composante de la qualité de l'habitat.

$$DIV = - \sum_{i=1}^n S_i * [(\log_{10}(S_i))]$$

n : nombre de catégories (n=Var)

« S_i » est la surface cumulée des placettes appartenant à la ième catégorie

- Reg : la régularité correspond au rapport entre la diversité observée et la diversité optimale pour une même variété correspondant à l'équirépartition.

- IAM = indice d'attractivité morphodynamique : cet indice sanctionne la variété des classes de hauteurs d'eau, de vitesse et de substrats/supports ainsi que l'attractivité des substrats/supports pour l'ichtyofaune.

$$IAM = [\sum_n^1 S_i * Attract.(subs.)] * Var(subs.) * Var(subs.) * Var(h.e.) * Var(v.)$$

v : vitesse

h.e. : hauteurs d'eau

subs. : substrats/supports

attract : attractivité des substrats/supports

La hiérarchisation de l'attractivité des substrats supports est présentée dans le tableau 5 suivant :

| code | substrat | attractivité |
|------|--|--------------|
| BRA | Branchage, grosses racines immergées | 100 |
| BER | Sous-berges | 90 |
| HYI | Hydrophytes immergés | 80 |
| AFF | Sources, résurgences, affluents | 70 |
| BLO | Blocs avec caches | 60 |
| GAL | Galets | 50 |
| HEL | Hélophytes | 40 |
| CHV | Chevelus racinaires, végétations rases | 40 |
| BLS | Blocs sans infractuosités | 30 |
| GGR | Galets et graviers mélangés | 25 |
| GRA | Graviers | 20 |
| GLS | Galets pavés (sans infractuosités) | 10 |
| LIT | Litière organique | 10 |
| SAB | Sables | 8 |
| FIN | Eléments fins, limons, vase | 4 |
| DAL | Dalles, surface indurées (sans cache) | 1 |

Tableau 5 : Hiérarchisation de l'attractivité des différents substrats.

- Diversité de l'habitat

La caractérisation de la diversité de l'habitat au niveau stationnel est réalisée selon la même méthode qu'à l'échelle du tronçon. Les classes de hauteurs d'eau et de vitesses considérées correspondent à celles utilisées pour la méthode IAM.

La répartition des divers faciès sur les sept stations est issue des résultats à l'échelle du tronçon.

► Suivi thermique

La température est un facteur déterminant de la qualité du milieu aquatique, notamment pour les cours d'eau salmonicoles. Sept stations ont bénéficié d'un suivi sur un cycle annuel complet (du 1^{er} juin 2005 au 31 mai 2006) au pas de temps horaire à l'aide de thermographes enregistreurs *stowaway tidbit*.

Une fois récoltées, les données sont vérifiées afin de s'affranchir d'éventuelles valeurs incorrectes causées par un dysfonctionnement ou une mise hors de l'eau de l'enregistreur.

Les données brutes permettent de caractériser sur chaque station 30 variables thermiques différentes (CAUDRON *et al.*, 2006a) dont neuf (tableau 6) ont été retenues dans cette étude. Parmi ces variables, la valeur de la température moyenne calculée sur les 30 jours les plus chauds (VERNEAUX, 1973) sera utilisée pour le calcul du niveau typologique théorique. Les autres variables sont utilisées dans le but d'évaluer les potentialités piscicoles ainsi que les conséquences biologiques potentielles pour la truite commune des caractéristiques thermiques des eaux de surface.

| Variable | description |
|-------------------------|--|
| Tmax (°C) | Valeur de la température instantanée maximale relevée pendant le cycle annuel |
| Amp max (°C) | Différence entre les températures instantanées minimales et maximales relevées pendant le suivi |
| Tm30 (°C) | Valeur de la température moyenne calculée sur les 30 jours les plus chauds (Verneaux, 1973) |
| 4°C < Jr < 19°C | Nombre de jours où la température est comprise entre 4°C et 19°C (préférendum thermique de la truite fario selon Elliot, 1975; Elliot et Elliot, 1995 et Crisp, 1996) |
| seq (H)max > 19°C | nombre d'heures de la séquence maximale où la température reste supérieure ou égale à 19°C durant le suivi annuel |
| seq (H)max > 15°C | nombre d'heures de la séquence maximale où la température reste supérieure ou égale à 15°C durant le suivi annuel |
| DVSG(Jr) | Durée en jours de la période totale de développement embryo-larvaire sous graviers (de la fécondation à l'émergence) calculée à partir d'une date de ponte médiane fixée au 15 décembre (en utilisant l'équation de Crisp, 1992) |
| seq (H)max > 12°C(DVSG) | Nombre d'heures de la séquence maximales durant la période de vie sous graviers (DVSG) où la température reste supérieure à 12°C |
| seq (H)max < 1°C(DVSG) | Nombre d'heures de la séquence maximales durant la période de vie sous graviers (DVSG) où la température reste inférieure à 1°C |

Tableau 6: variables utilisées pour caractériser la qualité thermique du Foron de Reignier vis-à-vis des exigences écologique de la truite commune (d'après CAUDRON *et al.*, 2006a).

► Calcul du niveau typologique théorique

La détermination de l'appartenance typologique d'une station constitue le préalable nécessaire aux actions rationnelles de préservation, de gestion et d'aménagement des ressources aquatiques, ainsi qu'à la définition des objectifs et critères de qualité des eaux (VERNEAUX, 1976).

En prenant en compte six paramètres mésologiques à travers les trois facteurs fondamentaux que sont le facteur thermique, le facteur trophique et le facteur morphodynamique, il est possible de calculer le niveau typologique théorique d'une station de cours d'eau (VERNEAUX, 1977).

► le facteur thermique T_1 prend en compte la moyenne des températures maximales des 30 jours consécutifs les plus chauds (θ_{max}).

- le facteur géotrophique T_2 est fonction de la distance à la source (d_0 en km) et de la dureté calco-magnésienne (D en mg/L)
- le facteur morphodynamique T_3 est lié à la section mouillée à l'étiage (S_m en m^2), à la pente du lit (p en ‰) et à la largeur du lit mineur (l en m)

Chaque facteur, composante du niveau typologique, se calcule de la manière suivante :

$$T_1 = 0,55 \theta_{\max} - 4,34$$

$$T_2 = 1,17 [\text{Ln}(d_0 \times D / 100)] + 1,50$$

$$T_3 = 1,75 [\text{Ln}(S_m / (p \times l^2) \times 100)] + 3,92$$

Le niveau typologique théorique (NTT) s'obtient grâce à une formule finale :

$$T_{th} = 0,45 \times T_1 + 0,30 \times T_2 + 0,25 \times T_3$$

Les données physico-chimiques nécessaires ont été recueillies lors d'une campagne d'analyse estivale réalisée sur les stations préalablement décrites. Les valeurs de températures ont été extraites du suivi thermique.

Ce calcul permet de définir les populations référentielles de poissons et de macroinvertébrés sur la base des caractéristiques mésologiques de la station. Il s'avère donc intéressant dans le cadre de la comparaison avec le peuplement observé.

► Etude du peuplement macrobenthique

- *Les méthodes indicielles :*

L'Indice Biologique Global Normalisé (norme afnor : NF.T. 90.350 1992, 2004) est particulièrement sensible aux modifications de la qualité organique de l'eau et de la nature du substrat. Ainsi le groupe indicateur renseigne sur la qualité physico-chimique pour les paramètres de pollution classique à dominante organique. Cet outil nécessite une détermination au niveau de la famille.

Le calcul de la note IBGN est complété par le calcul de la robustesse de la note IBGN. Celle-ci, calculée en supprimant le premier groupe indicateur de la liste faunistique, permet ainsi de juger l'estimation fournie par la note IBGN.

L'indice d'aptitude biogène, **cb2** (VERNEAUX, 1982), est également calculé. Cet indice plus robuste du fait de sa prise en compte de la densité des taxons (≥ 3 individus) et d'un répertoire faunistique plus important (92 taxons indicateurs) a également l'avantage de distinguer deux indices : l'indice nature et l'indice variété. Leur contribution respective à la note totale apporte une information intéressante quant à la participation de la qualité physico-chimique de l'eau (***In***) ou de l'habitat (***Iv***) sur l'hospitalité du milieu.

Afin de faciliter l'interprétation du cb2, et notamment de l'***Iv***, un **coefficient morphodynamique (*m*)** est calculé. Il permet d'évaluer la qualité de l'habitat en fonction des couples substrat/vitesse inventoriés sur la station.

Les méthodes d'analyse simplifiées des communautés benthiques, généralement exprimées sous forme indicielle, permettent d'apprécier l'évolution dans l'espace et dans le temps de l'aptitude biogène globale des sites d'eau courante. Toutefois, leur degré de sensibilité est insuffisant pour mesurer quantitativement

l'impact de plusieurs catégories de perturbations affectant le fonctionnement des milieux lotiques à des échelles plus larges ou suivant des mécanismes pernicieux.

De plus, le niveau de détermination à la famille s'avère souvent trop imprécis pour dégager et différencier certaines causes de perturbations.

Compte tenu de ces limites de ces méthodes, la méthode expérimentale générique semi-quantitative des peuplements benthiques (adaptée de BACCHI, 1994) a été mise en œuvre afin d'atteindre les objectifs de la présente étude.

- Protocole d'analyse semi-quantitative du macro-benthos

L'échantillonnage des communautés macrobenthiques est réalisé selon le protocole d'analyse semi-quantitative (adapté de BACCHI, 1994 ; PARMENTIER, 1994) finalisé par TELEOS 2000.

Ce protocole est fondé sur une prospection beaucoup plus complète de l'espace fluvial (20 placettes) et sur une détermination générique des taxons prélevés. Il balaye systématiquement les trois composantes majeures de l'habitat aquatique : nature du substrat, vitesse de courant et hauteur d'eau. La codification de ces trois composantes est présentée dans le tableau 7. Si du point de vue des techniques utilisées ce protocole correspond à celui de IBGN, il s'en différencie par la prise en compte de la hauteur d'eau ; en outre le nombre de placettes prospectées est fixé à 20 contre 8 pour l'IBGN afin de prospecter une gamme d'habitats plus diversifiée.

Codification non hiérarchisée des vitesses et hauteurs d'eau

| Code | Vitesses |
|------|---------------|
| V1 | < 5cm/s |
| V3 | 6 à 25 cm/s |
| V5 | 26 à 75 cm/s |
| V4 | 76 à 150 cm/s |
| V2 | > 151 cm/s |

| Code | Hauteurs |
|------|-------------|
| H1 | < 5 cm |
| H2 | 6 à 25 cm |
| H3 | 26 à 50 cm |
| H4 | 51 à 100 cm |
| H5 | > 101 cm |

Codification des substrats supports et hiérarchisation de leur attractivité

| Code | Désignation |
|------|--|
| S9 | Bryophytes |
| S8 | Spermaphytes immergés |
| S7 | Éléments organiques grossiers (Litières, branchages, racines) |
| S6 | Sédiments minéraux de grande taille (galets) 2,5 cm à 25 cm |
| S5 | Granulats grossiers (graviers) 0,25 cm à 2,5 cm |
| S4 | Spermaphytes émergents |
| S3 | Sédiments fins ±organiques "vases " ≤ 0,1 mm |
| S2 | Sables et limons < 0,25 cm |
| S1 | Surfaces naturelles et artificielles (Roches, dalle, sols, parois) > 25 cm |
| S0 | Algues ou a défaut marne et argile |

Tableau 7 : Codification directive de l'habitat pour échantillonner les biocénoses benthiques.

Lors de l'échantillonnage des stations, chaque couple substrat/vitesse recensé a été échantillonné au moins une fois dans la hauteur d'eau où il était le plus représenté. Dans le cas d'une variété de substrat/vitesse inférieure à 20, les prélèvements sont dupliqués pour les couples dominants dans les classes de profondeurs différentes.

Afin de disposer de données homogènes sur le territoire, acquises principalement à l'aide de l'application du protocole IBGN, les prélèvements sont effectués comme suit.

- phase 1 : les prélèvements sont à réaliser compte tenu du protocole IBGN.
- phase 2 : le complément à 20 est effectué sur les combinaisons de substrat-vitesse-hauteur non échantillonnées.

Ce protocole nécessite la réalisation préalable d'une cartographie prenant en compte les trois composantes de l'habitat : substrat/support, hauteur d'eau et vitesse. Cette cartographie ainsi que l'échantillonnage doivent être réalisés durant l'étiage.

La détermination du macrobenthos a été effectuée au genre pour la majorité des ordres. Ce niveau de détermination paraît être le niveau minimum indispensable pour analyser les structures semi-quantitatives des biocénoses benthiques du fait des divergences d'exigences écologiques au sein d'une même famille d'invertébrés. Ce niveau de détermination générique reste cependant insuffisamment précis mais permet toutefois une bonne approche du peuplement de la macrofaune benthique.

► **Etude du peuplement piscicole**

L'échantillonnage pisciaire a été réalisé par pêche électrique entre le 10/08/06 et le 25/08/06. Les diverses stations préalablement cartographiées selon la méthode de l'IAM sont pêchées selon la méthode par enlèvement successif DE LURY (1951).

- Estimation du stock de poisson (De Lury, 1951)

Une estimation de la densité et de la biomasse est réalisée pour chaque espèce présente sur les sept stations étudiées. La transformation de ces données en classe d'abondance permet la confrontation au peuplement théorique, associé au niveau typologique de la station (Annexe D8). En effet, à chaque niveau typologique correspond, en l'absence de perturbations d'origine anthropique, un peuplement optimal composé d'un nombre prédéfini d'espèces en abondance déterminée. La confrontation entre peuplement observé et peuplement théorique permet de déceler l'importance des perturbations.

Une comparaison des pêches réalisées dans cette étude, dans le cadre des pêches d'inventaire du CSP en 2002 et du peuplement de référence permet de :

- mettre en évidence l'évolution temporelle du peuplement sur deux stations SOU et PF.
- caractériser le peuplement actuel en termes de diversité et d'abondance par rapport au potentiel théorique de la station.

- Structure de la population de truite commune (Salmo Trutta L.)

La structure de la population de truite est également étudiée par l'intermédiaire de l'histogramme fréquence/taille. Ce graphique rend compte des classes de tailles représentées ou sous représentées dans la population. Les cohortes déficitaires peuvent être un indice précieux dans la précision de certains mécanismes de perturbation.

Une information complémentaire concernant l'estimation des individus juvéniles (0+) et adultes potentiellement mûres (3+) est ajoutée à ces histogrammes. Les limites de tailles permettant l'estimation de ces deux classes

d'âge ont été fixées, en utilisant la formule de rétro-calcul mise au point sur 5670 individus à l'échelle du département de la Haute-Savoie (CAUDRON *et al.*, 2006a), sur la base de 27 individus sur la station SOU et 16 sur la station PF.

- Dosage des métaux dans la chair et les viscères

Des prélèvements d'un échantillon de cinq truites adultes ont été réalisés immédiatement en aval des stations SOU et PF. La recherche de traces de métaux dans la chair et les viscères de ces échantillons a été réalisée par le laboratoire Carso (Lyon) pour sept métaux : Le Cadmium, le Chrome, le Cuivre, le Mercure, le Nickel, le Plomb et le Zinc.

Chaque truite est individualisée par un numéro de référence et des écailles ont été prélevées pour déterminer l'âge des individus.

Ces résultats ont été comparés à ceux obtenus sur l'Arve, dont le Foron est un affluent, et à deux autres stations situées en amont de deux autres affluents de l'Arve : la Menoge et le Borne. Ces deux dernières stations sont situées dans des secteurs exempts de pollution industrielle directe.

- Evaluation du recrutement naturel en truites communes

La récolte de ces résultats a été effectuée dans le cadre de l'évaluation de la contribution du repeuplement et recrutement naturel, réalisée par la fédération de pêche 74 à l'échelle du département. La technique de marquage à l'alizarine red S ainsi que le protocole de traitement des otholithes (*sagittae*) en laboratoire pour détecter les poissons marqués est décrit par CAUDRON & CHAMPIGNEULLE (2006).

4 - Synthèse des investigations menées et descripteurs étudiés

En conclusion à cette première partie, les tableaux suivants reprennent de manière synthétique les investigations menées au niveau stationnel (tableau 8) ainsi que les différents descripteurs renseignés aux différentes échelles emboîtées (tableau 9).

| Stations | Physico-chimie | Pêches électriques | Macro-invertébrés | Description de l'habitat | Qualité des sédiments | Dosage des métaux poissons | Résultats fluoromarquage | Thermie annuelle |
|----------|----------------|--------------------|-------------------|--------------------------|-----------------------|----------------------------|--------------------------|------------------|
| CHE | X | X | X | X | X | | X | |
| SOU | X | X | X | X | X | X | | |
| COL | X | X | X | X | | | X | X |
| MdV | X | X | X | X | | | X | |
| ARC | X | X | X | X | X | | | |
| Méran | | | | | | | | X |
| ssCOL | X | X | X | X | | | | |
| PF | X | X | X | X | X | X | X | X |

Tableau 8 : Bilan des investigations menées sur les sept stations du Foron de Reignier.

| Descripteurs | BV | Tronçon | Station |
|-----------------------------------|--|---|--|
| Caractéristique BV | Géologie Climatologie Hydrologie | | |
| Occupation des sols | Surfaces boisées Surfaces exploitées par l'agriculture (type), densité de population | | |
| Usages | Prélèvement Assainissement Relevé des impacts directs | | |
| Historique alevinage | Evolution des pratiques de repeuplement | | |
| Recensement frayères | Zonage des densité : nombre de frayères/100m ² | | |
| Physico-chimie | NO ₃ ⁻ , NO ₂ ⁻ , NH ₄ ⁺ , PO ₄ ²⁻ | Recensement rejets + autres éléments notables | NO ₃ ⁻ , NO ₂ ⁻ , NH ₄ ⁺ , PO ₄ ²⁻ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , conductivité, pH, température |
| Habitat physique | | Méthode de description de l'habitat physique au tronçon, diversité de l'habitat | IAM, diversité de l'habitat |
| Suivi thermique | | | 9 variables (poissons) |
| Qualité sédiments | | | Recherche des composés organiques + métaux |
| Niveaux typologiques théoriques | | | |
| Peuplement macrobenthique | | | Indices (IBGN, Cb2) Etude semi quantitative du peuplement au genre |
| Stock de poisson | | | estimation densité et biomasse |
| Structure population de truite | | | histogramme taille fréquence et estimation des juvéniles et individus potentiellement mûres |
| Dosage des métaux (TRF) | | | Chair et viscères adultes |
| Evaluation du recrutement naturel | | | Taux de marquage des alevins (repeuplement) |

Tableau 9 : Bilan des descripteurs utilisés dans l'étude du Foron de Reignier aux diverses échelles.

Partie 2 - Résultats

I - Evaluation de la qualité globale du milieu

1 - Bilan de l'occupation du sol : usages et contraintes.

La carte présentée en figure 6 fait ressortir les caractéristiques globales de l'occupation du sol du Foron de Reignier.

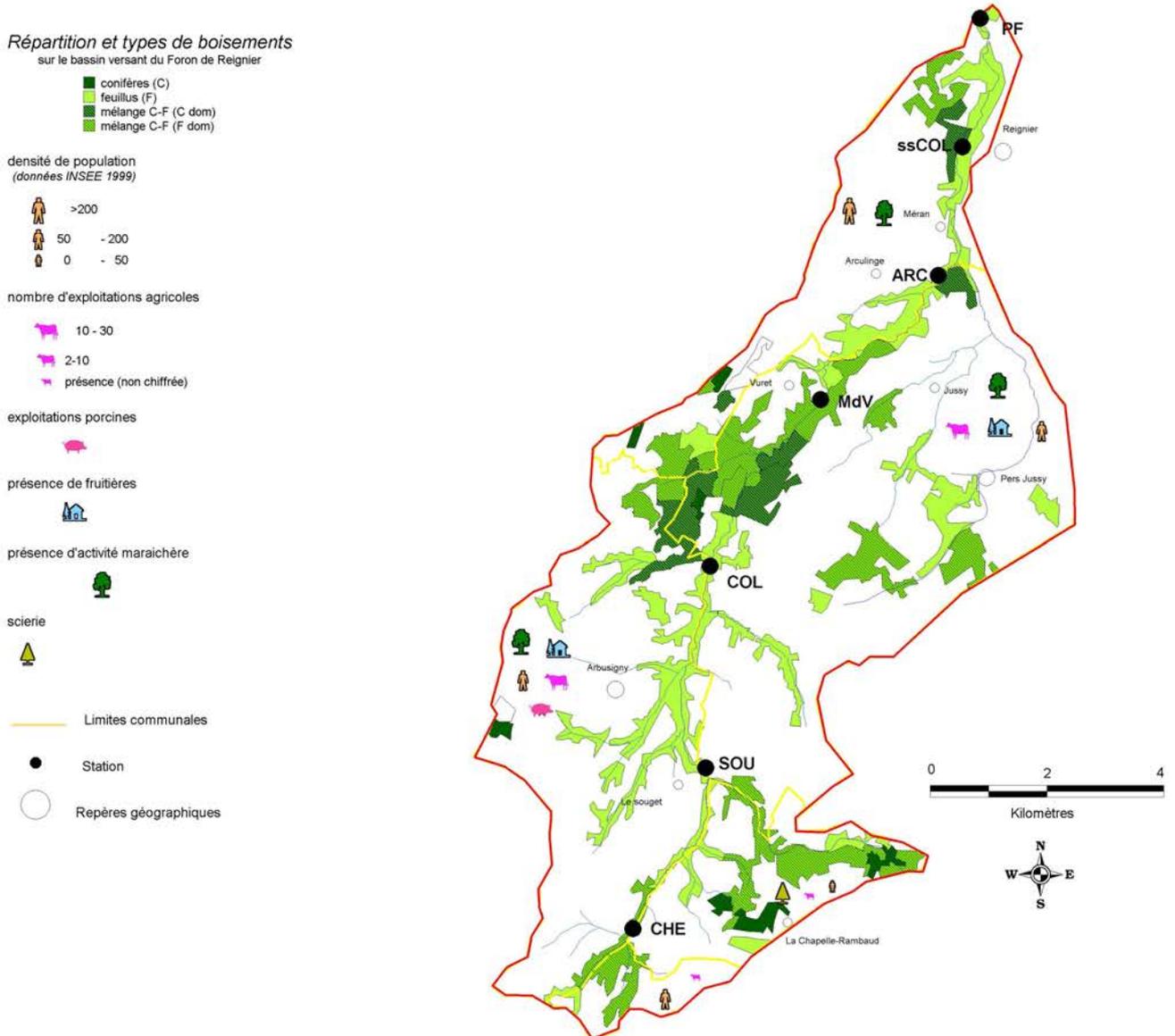


Figure 6 : Répartition de la population et des activités agricole et forestière sur le bassin versant du Foron de Reignier.

Les parcelles forestières longent le réseau hydrographique du Foron de Reignier ; ceci de sa source jusqu'à la confluence avec l'Arve. Ces boisements, situés principalement au niveau des pentes abruptes bordant le cours d'eau sont dominés par des peuplements feuillus. Les conifères sont principalement présents sous forme de peuplement mixtes feuillus-conifères sur les communes de la Chapelle-Rambaud et d'Arbusigny situées à l'amont du bassin versant. L'activité

forestière au niveau du bassin versant du Foron de Reignier est faible, la surface concernée par ce type de culture étant correspondant à 22% de la surface totale du bassin versant. La difficulté de l'exploitation liée à la disposition des parcelles forestières semble limitante. Cette activité est également représentée sur le bassin versant par une scierie sur la commune de la Chapelle-Rambaud.

L'activité agricole dominante est la production laitière. Ainsi, la majorité du parcellaire est constituée de pâturages. La plupart des exploitations appliquent le cahier des charges AOC Reblochon ou Abondance. Le gradient amont-aval de diminution de l'activité agricole et des activités associées (fruitière principalement) est à rapprocher de l'augmentation de densité de population selon ce même gradient.

La densité moyenne de population est de 91,65 hab/km² (données INSEE, 1999). La densité communale ainsi que la croissance démographique croissent globalement de l'amont vers l'aval (figure 6). Cette évolution est relativement bien calquée sur le découpage topographique abordé en I-1. Ainsi les zones proches de la vallée de l'Arve : Reignier et Pers-Jussy sont particulièrement concernées par ce phénomène de croissance démographique et présentent les plus fortes densités de population qui sont respectivement de 210 hab/km² et de 96 hab/km².

Ces activités humaines engendrent certaines contraintes sur le milieu (figure 7).

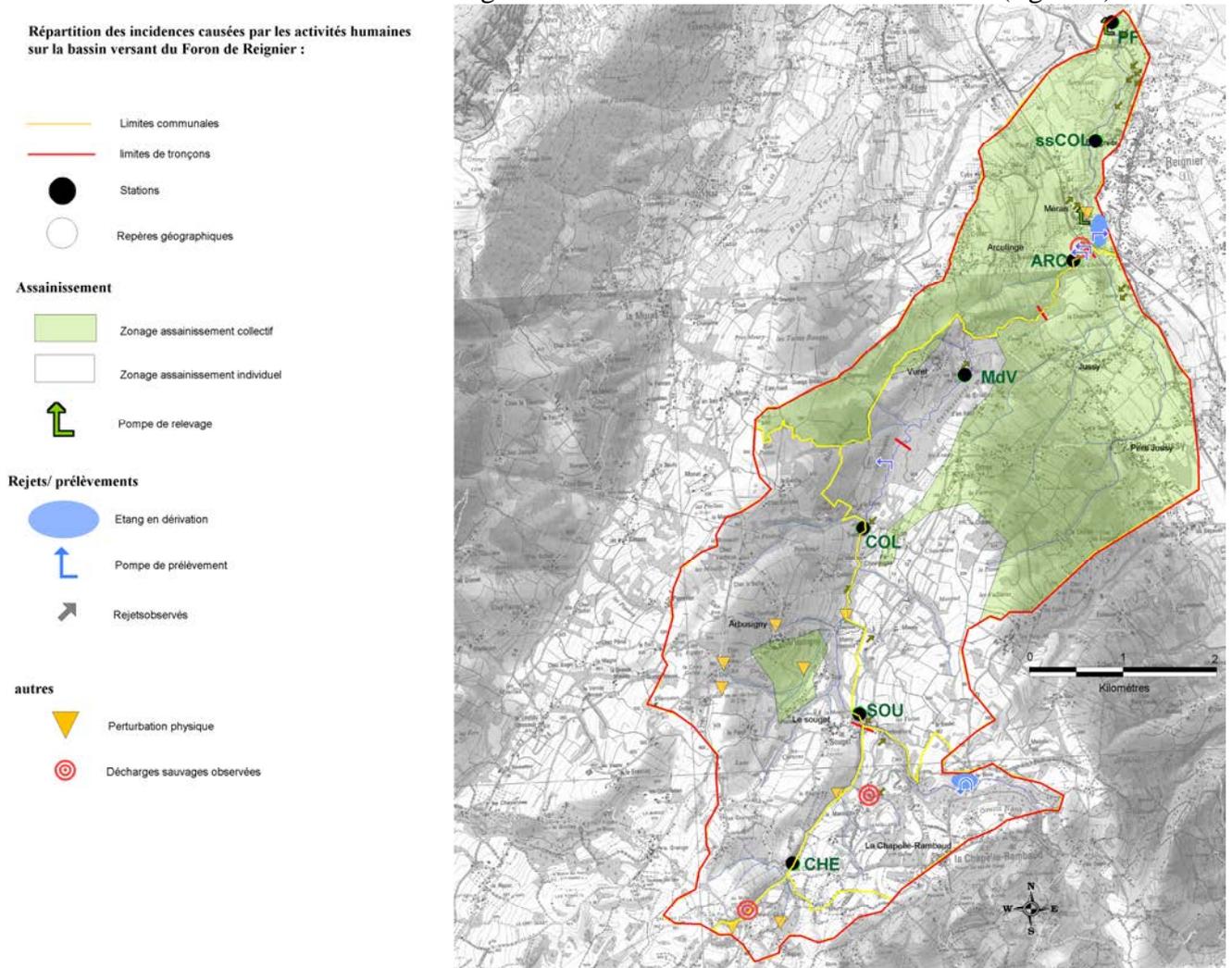


Figure 7 : Répartition et zonage des contraintes liées aux activités humaines sur le bassin versant du Foron de Reignier.

Les résultats présentés (figure 7) permettent de dégager quatre grands thèmes concernant les usages et contraintes liés aux activités humaines.

► **L'assainissement :**

Sur les communes de Reignier, Arbusigny et Pers-Jussy, l'assainissement est géré par le syndicat de Bellecombe (Reignier). Il gère la station d'épuration située sur la commune de Scientrier, le rejet post-traitement est donc effectué dans l'Arve. Ce syndicat a également la compétence de l'assainissement individuel dont il assure le contrôle de la conformité des installations.

Le raccordement au réseau d'assainissement collectif est actuellement réalisé sur l'ensemble ou une partie de nombreux hameaux en aval du Souget. Le taux de raccordement augmente à partir de ce point jusqu'à Reignier où l'ensemble des hameaux de la commune concernés par le bassin versant est raccordé au réseau.

Le raccordement récent de la majeure partie du bourg d'Arbusigny et particulièrement de la fruitière a contribué à supprimer deux sources de pollutions chroniques importantes.

En ce qui concerne l'assainissement individuel, nous observons peu d'installations non conformes à proximité du cours principal du Foron de Reignier. Les quelques cas observés se localisent principalement sur de petits affluents. Sur la totalité du bassin versant, la pression touristique est faible. De ce fait, il n'y a pas d'augmentation importante de population qui pourrait augmenter les pressions sur le milieu en période d'étiage estival ou hivernal.

► **Les prélèvements**

Pour les trois communes principalement concernées par le bassin versant (Reignier, Pers-Jussy et Arbusigny), la distribution d'eau potable est gérée par le syndicat des Rocailles de Scientrier. Ces trois communes sont exclusivement alimentées par la nappe de l'Arve exploitée à Scientrier.

Trois points de pompage uniquement ont été relevés sur le linéaire du Foron de Reignier. Tous les trois sont utilisés pour l'irrigation de cultures maraîchères.

Deux points de dérivation d'une partie du débit pour l'alimentation de retenues d'eau ont été relevés : sur le Quavilly et en amont immédiat du pont de Méran.

Globalement, les contraintes liées aux prélèvements d'eau sur le Foron de Reignier sont principalement liées à l'activité maraîchère qui prélève de l'eau durant l'étiage estival. Cependant, les prélèvements effectués ne dépassant pas le seuil soumis à autorisation, aucune donnée chiffrée n'est disponible. Ne provoquant ni assec ni de baisse significative des débits, ils ne paraissent pas préoccupants pour la faune pisciaire.

► **Les rejets**

En dehors des rejets domestiques, le Foron de Reignier est actuellement touché par un rejet important au niveau de la ville de Reignier. Ce rejet, à l'origine destiné à l'évacuation des eaux pluviales de la rue principale de Reignier, semblerait véhiculer les eaux usées domestiques de certaines maisons anciennes bordant cette rue.

Un second point noir intervient en aval immédiat d'Arbusigny. Un rejet agricole direct de lisier est à noter, il serait ancien mais le point de rejet aurait été récemment déplacé. Antérieurement pratiqué sur un affluent, le rejet est actuellement effectué directement dans le cours principal du Foron de Reignier.

En ce qui concerne les affluents, le Quavilly est relativement épargné. Néanmoins, le rejet d'une ancienne carrière peut entraîner un apport de matière minérale dans le cours d'eau lors d'épisodes pluvieux. Le Vuarapan est quand à lui soumis à de nombreux rejets. Il semblerait que les récentes constructions de résidences avec piscine soient la cause de diverses pollutions aiguës lors de leur vidange. Outre ce problème, le busage de ce cours d'eau et de certains de ses affluents sur une longue distance au niveau du bourg de Pers-Jussy, ne permet pas un comptage exhaustif des rejets sur cet affluent du Foron de Reignier.

► **Les perturbations physiques**

Sur le linéaire du Foron de Reignier nous notons divers types de perturbations :

- drainage de la zone humide en tête du Foron de Reignier.
- zone d'abreuvement du bétail dans le lit du cours d'eau.
- remblais constitué de matériaux douteux.
- récupération des lessivats du réseaux routier par l'intermédiaire de la transformation des petits affluents apicaux en fossés ou par connexion d'un réseau créé avec le réseau hydrographique.

► **Les décharges sauvages**

Trois anciennes décharges sauvages ont été recensées sur le réseau hydrographique du Foron dont deux sur son cours principal. Principalement constituées d'appareils électroménagers ou de meubles, certaines semblent contenir des déchets plus variés.

► **La gestion halieutique**

Les pratiques de repeuplement par le biais d'alevinage annuel sont courantes. Cet apport de juvéniles de truite sur l'ensemble du linéaire n'est pas sans conséquence. L'historique des plans d'alevinages depuis dix ans montre une évolution des pratiques. De 1996 jusqu'en 1999, 30000 alevins de souche atlantiques sont introduits chaque année au mois de mars sur le Foron et ses affluents. A partir de 2000, les alevins introduits sont de souche méditerranéenne et les effectifs sont plus faibles (de 16000 à 23000).

L'arrêt de cette pratique a lieu en 2005, année où sont réalisés les premiers relevés de frayères. Quelques juvéniles ont été introduits sur le Vuarapan en 2005 suite à une pollution aiguë accidentelle d'origine inconnue. De ce fait, les effectifs de juvéniles obtenus en 2006 ne seront pas influencés par l'introduction récente d'alevins issus des piscicultures.

2 - Qualité physico-chimique du milieu

► Qualité physico-chimique de l'eau

Les résultats d'une première caractérisation de la qualité physico-chimique du Foron de Reignier et de ses affluents, ciblant exclusivement les matières azotées (NO_3^- , NO_2^- et NH_4^+) et les orthophosphates, réalisée au printemps, sont présentés en annexe (A1). Les résultats suivants sont interprétés selon les classes définies par NISBET et VERNEAUX (1970).

Les concentrations de nitrates obtenues sur tout le linéaire sont globalement de l'ordre de 10 mg/l. Ces valeurs relativement élevées dès l'amont (FR1 : 9,2mg/l) et stables sur tout le linéaire semblent s'expliquer pour une part importante par l'épandage des stock hivernaux de lisiers. Les valeurs obtenues pour les nitrites et l'ammoniac sont caractéristiques de pollutions insidieuses à sensibles sans toutefois atteindre des états de pollution critique.

La majorité des concentrations d'orthophosphates relevées est comprise entre 0,04 et 0,26 mg/l. Ces valeurs sont caractéristiques d'une productivité moyenne à forte. On note cependant des points de pollution avérée : FR3, FR5, VUA1, 2 et RG1, où l'on trouve des concentrations supérieures à 0,5mg/l.

Les résultats printaniers montrent que malgré une seconde station (VUA 2) présentant de fortes concentrations en NO_2^- , NH_4^+ et PO_4^{2-} , le Vuarapan ne semble pas perturber la qualité physico-chimique du Foron de Reignier. En effet, cet affluent dont la qualité est fortement perturbée par les activités humaines, semble récupérer une qualité relativement bonne pour ces quatre paramètres comme en témoignent les résultats du point de prélèvement en amont de la confluence (VUA 3) avec le Foron.

Globalement, les résultats obtenus pour les matières azotées (NO_3^- , NO_2^- et NH_4^+) et les orthophosphates montrent la présence d'apports agricoles par le biais de l'épandage et de rejets domestiques. Ces pollutions véhiculées par les petits affluents font parfois varier localement les paramètres physico-chimiques du cours principal sans en compromettre véritablement la qualité.

Les résultats obtenus pour ces mêmes paramètres durant la campagne estivale (figure 8) relèvent des mêmes ordres de grandeur que les résultats précédemment commentés. Cette campagne n'a pas pu être réalisée durant les conditions d'étiage. Ainsi, ces résultats ne sont pas caractéristiques d'une période critique en terme de débit.

Les paramètres supplémentaires récoltés durant la campagne de physico-chimie estivale témoignent :

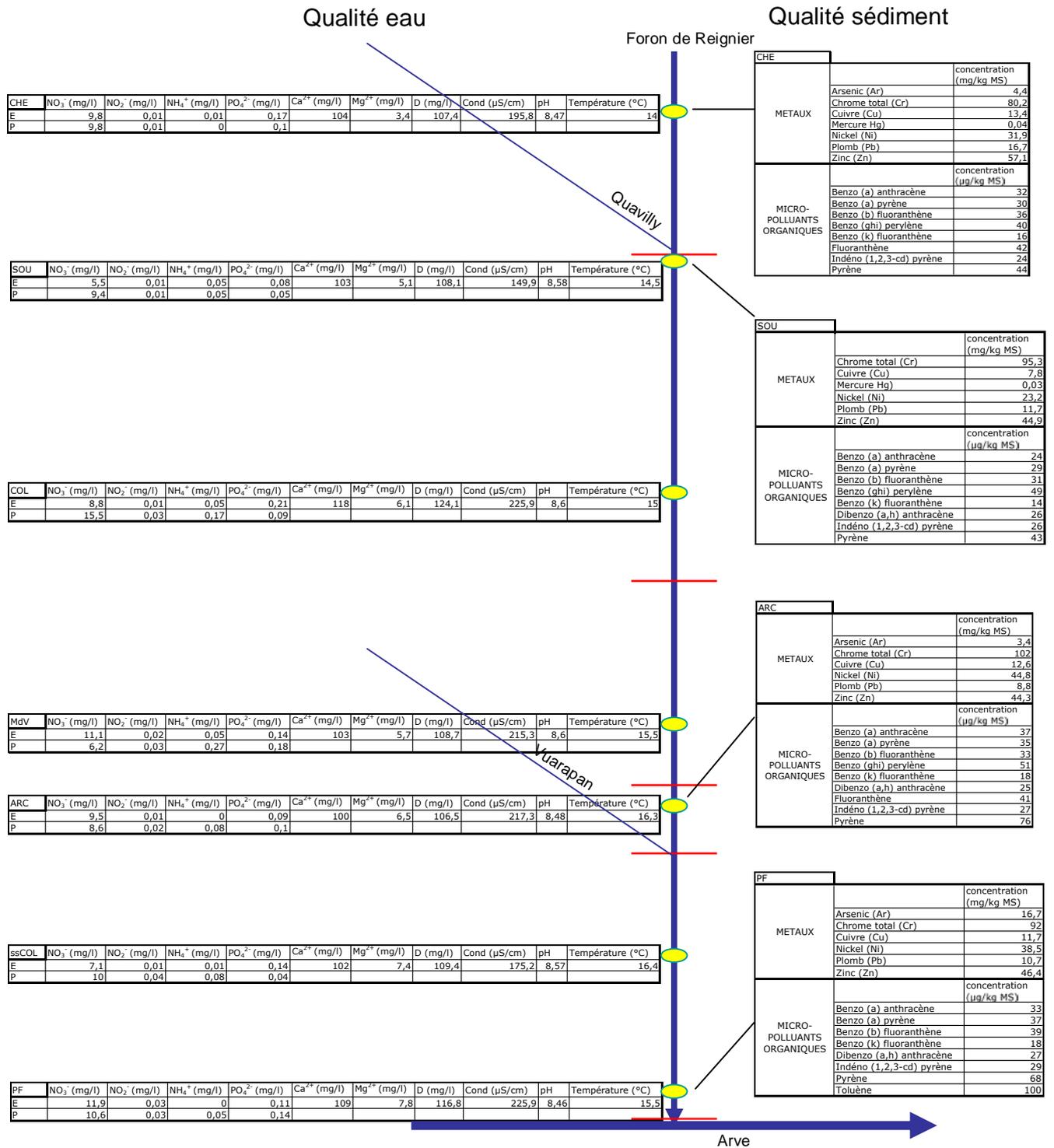
- d'une minéralisation modérée à assez forte des eaux du Foron de Reignier. Les valeurs rencontrées (de 149,9 à 225,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$) sont caractéristiques des zones supérieures et moyennes des rivières de moyenne altitude des régions calcaires.

- d'une alcalinité moyenne (pH compris entre 8 et 9) habituellement rencontrée dans les zones inférieures des réseaux.

- de concentrations en magnésium (de 3,4 à 7,8 mg/l) caractéristiques des régions calcaires.

- d'une dureté totale relativement élevée (de l'ordre de 110 mg/l) pour le cours d'eau considéré.

L'eau du Foron de Reignier possède donc des valeurs d'alcalinité et dureté relativement forte en comparaison avec la position de ce cours d'eau sur le réseau



LÉGENDE :

- Réseau hydrographique
- Limites de tronçons
- Stations d'études

1 km

Figure 8 : Synthèse des résultats physico-chimique obtenus sur l'eau et les sédiments des stations d'études du Foron de Reignier.

hydrographique. Les valeurs obtenues pour ces divers paramètres sont toutefois caractéristiques des cours d'eau des régions calcaires des pré-Alpes.

3 - Qualité des sédiments

Les résultats de l'analyse des sédiments (figure 8) met en évidence la présence de divers représentants de deux groupes de polluants : les métaux et les hydrocarbures.

En ce qui concerne les métaux : le Chrome, le Cuivre, Le Mercure, Le Plomb et le Zinc sont globalement présents en concentration constante sur les quatre stations réparties sur le cours principal du Foron de Reignier. De plus, selon la bibliographie, ces concentrations étant pour tous, sauf pour le Chrome, inférieures aux concentrations ubiquitaires relevées dans les sédiments, il est difficile d'émettre l'hypothèse d'une relation entre leur présence et les activités humaines se déroulant sur le bassin versant. D'autres part, les concentrations en Chrome et Nickel obtenues semblent caractéristiques d'une pollution légère. Enfin, seul l'arsenic présente une évolution amont-aval marquée avec une plus forte valeur correspondant à une pollution nette au niveau de la station PF.

Les résultats obtenus ont été comparés aux concentrations relevées sur les cours d'eau apicaux Haut Savoyards peuplés par les écrevisses à pieds blancs (*Austropotamobius pallipes*). Les valeurs obtenues sur le Foron de Reignier sont globalement du même ordre que celles obtenues sur ces derniers.

Du point de vue des micropolluants organiques, divers hydrocarbures ont été détectés sur toutes les stations prélevées. La plupart de ces substances présentent des concentrations relativement constantes sur l'ensemble du linéaire, sauf pour le Pyrène qui présente une progression des concentrations de l'amont vers l'aval. Les concentrations les plus élevées concernent le Pyrène qui atteint le seuil de pollution légère au niveau de la station ARC. Le Benzo(ghi)perylène atteint ce même seuil sur les stations CHE, SOU et ARC. Notons également l'apparition d'une substance supplémentaire à la station PF : le Toluène.

Ces diverses substances sont globalement issues de la combustion des produits pétroliers et/ou de bois, du revêtement des routes... Leur présence généralisée sur tout le linéaire du Foron de Reignier dans des concentrations homogènes peut être le résultat de la collecte par les petits affluents des lessivats des réseaux routiers et/ou des retombées atmosphériques.

Ainsi, les résultats des analyses réalisées sur l'eau et les sédiments du Foron de Reignier ne montrent pas d'évolution longitudinale et témoignent de la présence de trois facteurs principaux de perturbations du milieu :

- une pollution agricole diffuse à l'échelle du bassin versant générée par l'épandage des stocks de lisier
- une pollution domestique ponctuelle issue des systèmes d'assainissement individuels non conformes situés à proximité du réseau hydrographique
- une pollution diffuse liée au réseau de fossés collectant les lessivats des réseaux routiers sur l'ensemble du bassin et /ou aux retombées atmosphériques.

II - Détermination du niveaux typologique théorique

Les différents paramètres utilisés pour le calcul du niveaux typologiques théoriques, ainsi que les résultats des calculs intermédiaires sont présentés dans le tableau 10 suivant.

| | CHE | SOU | COL | MdV | ARC | ssCOL | PF |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| T° max30 (°C) | 15 | 15 | 15,87 | 15,83 | 15,83 | 16,56 | 17,13 |
| d ₀ (km) | 0,62 | 2,4 | 4,5 | 7,4 | 9,1 | 10,9 | 12,4 |
| D (mg/l) | 107,4 | 108,1 | 124,1 | 108,7 | 106,5 | 109,4 | 116,8 |
| S _m (m ²) | 0,15 | 0,4 | 0,38 | 0,44 | 0,45 | 0,68 | 0,96 |
| p (‰) | 47 | 48 | 48 | 49 | 62 | 23 | 23 |
| l (m) | 2,4 | 3,9 | 4,7 | 4 | 4,5 | 5,4 | 6,7 |
| T1 | 3,91 | 3,91 | 4,39 | 4,37 | 4,37 | 4,77 | 5,08 |
| T2 | 1,02 | 2,62 | 3,51 | 3,94 | 4,16 | 4,40 | 4,63 |
| T3 | -1,14 | -1,16 | -1,90 | -1,12 | -1,90 | -0,08 | -0,24 |
| Tth | 1,78 | 2,25 | 2,55 | 2,87 | 2,74 | 3,45 | 3,61 |

Tableau 10 : Résultats des calculs du niveau typologique théorique des stations du Foron de Reignier.

Les niveaux typologiques théoriques calculés sur les stations du Foron de Reignier sont compris entre 1+ et 3+. Les sept stations étudiées se répartissent selon un gradient croissant de l'amont vers l'aval du cours d'eau.

Ces résultats nous permettent d'interpréter les résultats obtenus sur les peuplements macrobenthiques et piscicoles dans les parties suivantes.

III - Evolution longitudinale du peuplement macrobenthique sur le Foron de Reignier

1 - Caractérisation indicielle du peuplement

Les deux indices calculés (IBGN et Cb2) sur chaque station montrent une relative constance de l'amont vers l'aval (figure 9).

► L'indice biologique global normalisé

Les notes d'IBGN calculées sur les sept stations du Foron de Reignier (figure 9) varient peu avec des valeurs de 15 (CHE, COL, MdV, ssCOL, PF) et 16 (SOU, ARC). Le groupe indicateur des stations étudiées étant *Odontocerum* (GI=8) pour six d'entre elles, les variations de note sont globalement induites par les variations de la variété taxonomique des stations étudiées. La station MdV, malgré une variété taxonomique plus faible que les autres stations (23) atteint une note de 15 grâce à son taxon indicateur considéré comme fortement polluosensible : *Perlidae* (GI=9).

Pour toutes les stations, la note de robustesse (IBGN') correspond à la perte d'un point par rapport à la note de l'IBGN, les groupes indicateurs considérés pour le calcul étant *Odontoceridae* (GI=8) pour la station MdV et *Leuctridae* (GI=7) pour les autres.

► Le coefficient d'aptitude biogène

Les notes du Cb2 suivent globalement l'évolution observée pour l'IBGN. Les notes sont comprises entre 13,3 (COL) et 14,4 (SOU).

Cette relative constance amont-aval est également caractérisée par les indices intermédiaires In et Iv. L'indice nature (In), renseignant sur la nature de la faune, varie entre 8 et 8,2/10. Ces résultats traduisent une qualité chimique globalement bonne et constante sur tout le linéaire. Par contre, l'indice variété (Iv), renseignant sur la diversité de l'habitat en fonction de la variété faunistique, montre des valeurs moyennes, comprises entre 5,1 (MdV) et 6,4/10 (SOU). L'hospitalité médiocre des stations étudiées est également traduite par les valeurs obtenues pour le coefficient morphodynamique ($12,4 < m \leq 14$) sur chaque station.

2 - Etude approfondie du peuplement macrobenthique

Les autres descripteurs présentés en figure 9 sont calculés sur la base des listes faunistiques réalisées au genre sur 20 placettes.

Les densités observées pour les sept stations étudiées paraissent globalement faibles (entre 1538 et 10279 ind/m²). A l'exception de la station MdV, l'augmentation de la densité des organismes macrobenthiques s'effectue selon un gradient amont aval. Cette évolution est principalement liée à l'augmentation d'effectif de taxons saprobiontes tels que les *Chironomidae* et les Oligochètes. Ces derniers constituent 90% de l'effectif total à la station aval PF. Ce résultat semble indiquer l'existence d'un léger colmatage au niveau de cette station. La faible densité de macroinvertébrés observée sur la station MdV peut s'expliquer par la représentation importante (de l'ordre de 30% de la surface de la station) du substrat dalle (DAL), peu attractif pour ce type d'organisme.

Les histogrammes représentant la variété relative (figure 9) des ordres présents (figure 9) sur la station montrent peu de changements amont-aval pour les ordres globalement les plus représentés : les Plécoptères, Trichoptères, Ephéméroptères, Coléoptères et Diptères. Les peuplements de ces stations se différencient cependant par les effectifs relatifs de ces différents ordres :

- Ainsi, les effectifs relatifs d'éphéméroptères diminuent progressivement selon un gradient amont aval. Dès la deuxième station (SOU), les diptères participent pour plus de 50% de l'effectif total de la station excepté au niveau de la station aval (PF) où les Oligochètes sont largement représentés (57%).

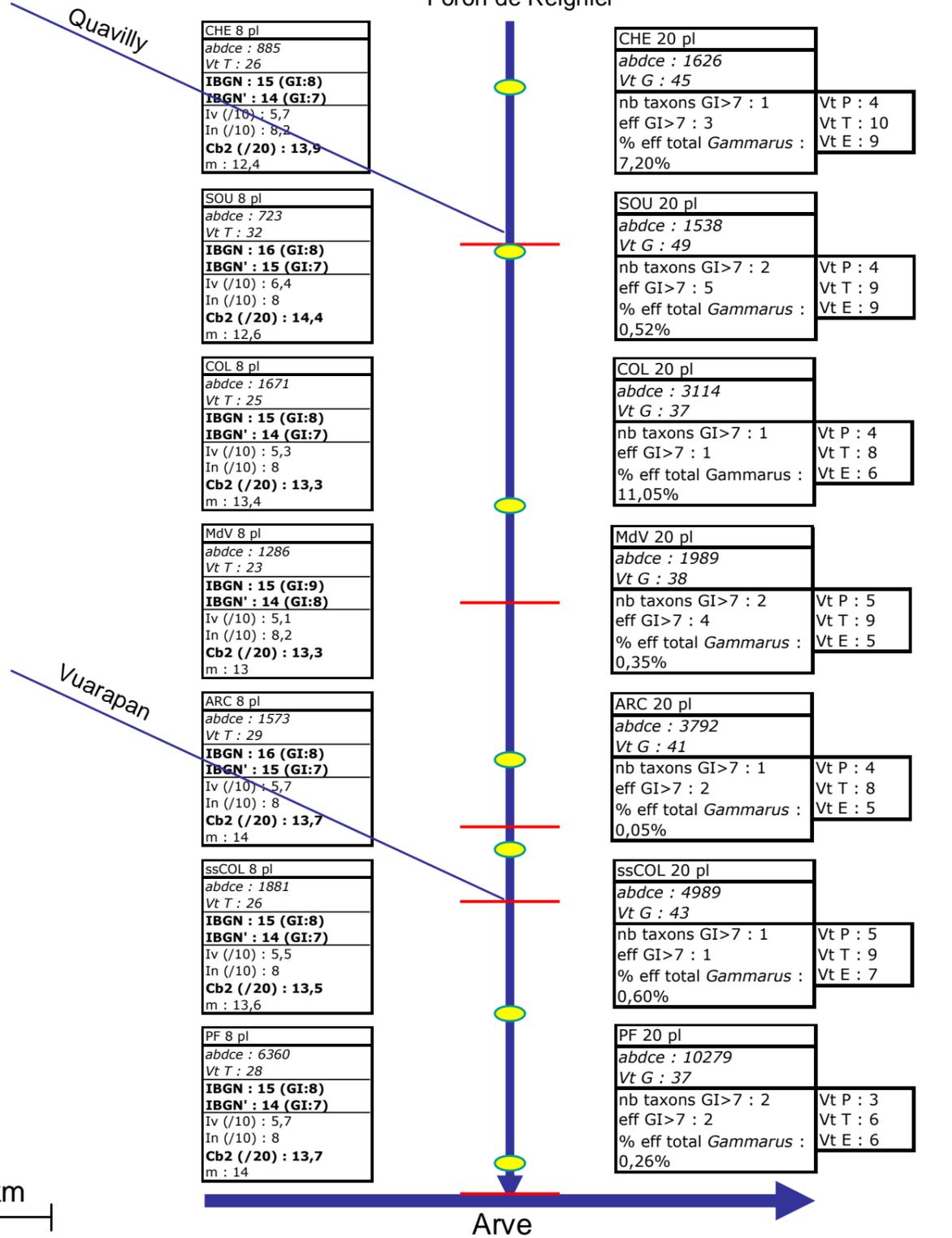
- L'ordre des Diptères est principalement représenté par les familles *Chironomidae* sur tout le linéaire et *Simulidae* à partir la station COL. D'un point de vue plus qualitatif, certaines familles de diptères relativement polluosensibles telles que les *Athericidae* (i=7), *Empididae* (i=6), *Psychodidae* (i=6) et *Blephariceridae* (i=5) se maintiennent sur tout le linéaire, mais participent peu aux effectifs.

- Les Trichoptères présentent des abondances relatives plus variables d'une station à l'autre. Les genres représentés sont globalement les mêmes d'une station à l'autre. L'apparition des *Hydroptilidae* par l'intermédiaire des genres *Hydroptila* et *Agraylea* est concomitante à l'apparition d'algues filamenteuses à partir de la station COL. Le genre *Odontocerum* relativement polluosensible (i=7) se maintient sur tout le linéaire.

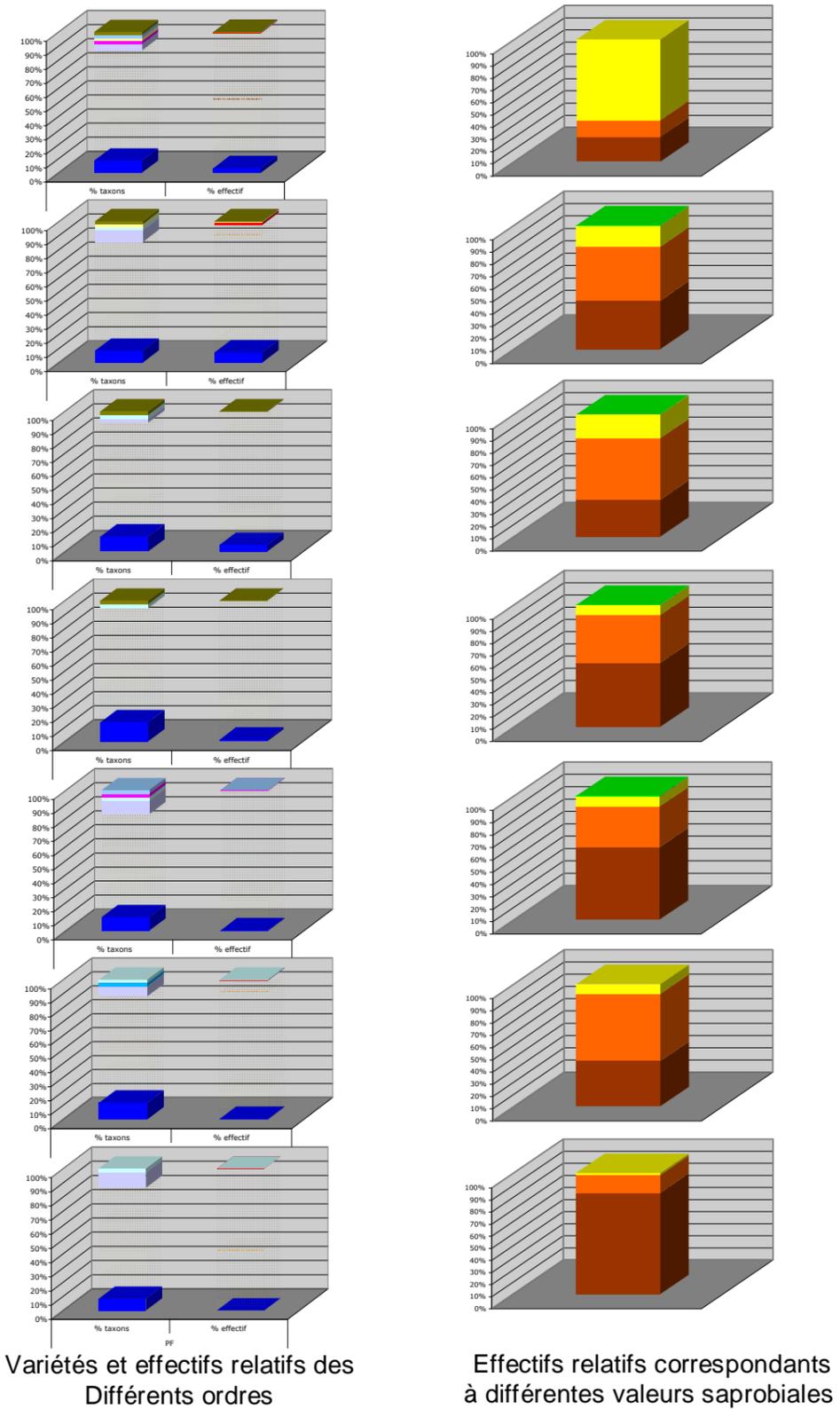
- Les Plécoptères, malgré une représentation constante sur la totalité des stations en terme de variété, présentent une faible représentation en terme d'effectif relatif. Les effectifs de cet ordre sont globalement portés par le genre *Leuctra* (i=6). Les genres plus polluosensibles observés : *Isoperla* (i=9) et *Perla* (i=8) sont présents en très faible effectif (de 1 à 3 individus). Les effectifs relatifs les plus importants pour cet ordre sont observés aux stations SOU (7%) et COL (4%).

Résultats sur 8 placettes (méthode IBGN)

Foron de Reignier



Résultats sur 20 placettes (méthode MAG 20)



LÉGENDE :

- Réseau hydrographique
- Limites de tronçons
- Stations d'études

- Vt T : variété taxonomique
- Abdce : abondance
- Vt G : variété générique
- Vt P, T, E : variété plécoptères, tricoptères, éphéméroptères

- oligochètes
- crustacés
- diptères
- coléoptères
- éphéméroptères
- tricoptères
- plécoptères
- triclades
- nématodes
- achètes
- lepidoptères
- hydracariens
- hétéroptères
- mollusques

- Xénosaprobe
- oligosaprobe
- β-mésosaprobe
- α-mésosaprobe

Figure 9 : Synthèse des résultats relatifs aux peuplements macrobenthiques obtenus sur les sept stations d'études du Foron de Reignier.

- L'ordre des Coléoptères est représenté sur la totalité du linéaire par les *Elmidae* (genres : *Limnius*, *Elmis*, *Riolus* et *Esolus*), les *Hydraenidae* (*G. Hydraena* adulte) et les *Scirtidae* (*G. Hydrocyphon* larve).

- Le genre *Gammarus* est faiblement représenté sur l'ensemble des stations, les effectifs relatifs les plus importants pour ce genre sont observés aux stations amont CHE (7,2%) et COL (11%).

L'évolution longitudinale des effectifs relatifs des valeurs saprobiales associées aux genres présents sur les stations (figure 9) va dans le sens d'une augmentation progressive de l'effectif relatif des organismes α -mésosaprobies. Cette évolution s'explique par la croissance des effectifs relatifs d'Oligochètes et *Chironomidae*.

Globalement, l'étude des peuplements macrobentiques fait ressortir deux aspects principaux :

- une qualité biologique globale relativement bonne et constante sur tout le linéaire, non discriminante pour le peuplement pisciaire.

- une hospitalité habitationnelle médiocre et légèrement variable en fonction des stations.

IV - Le peuplement piscicole et son habitat

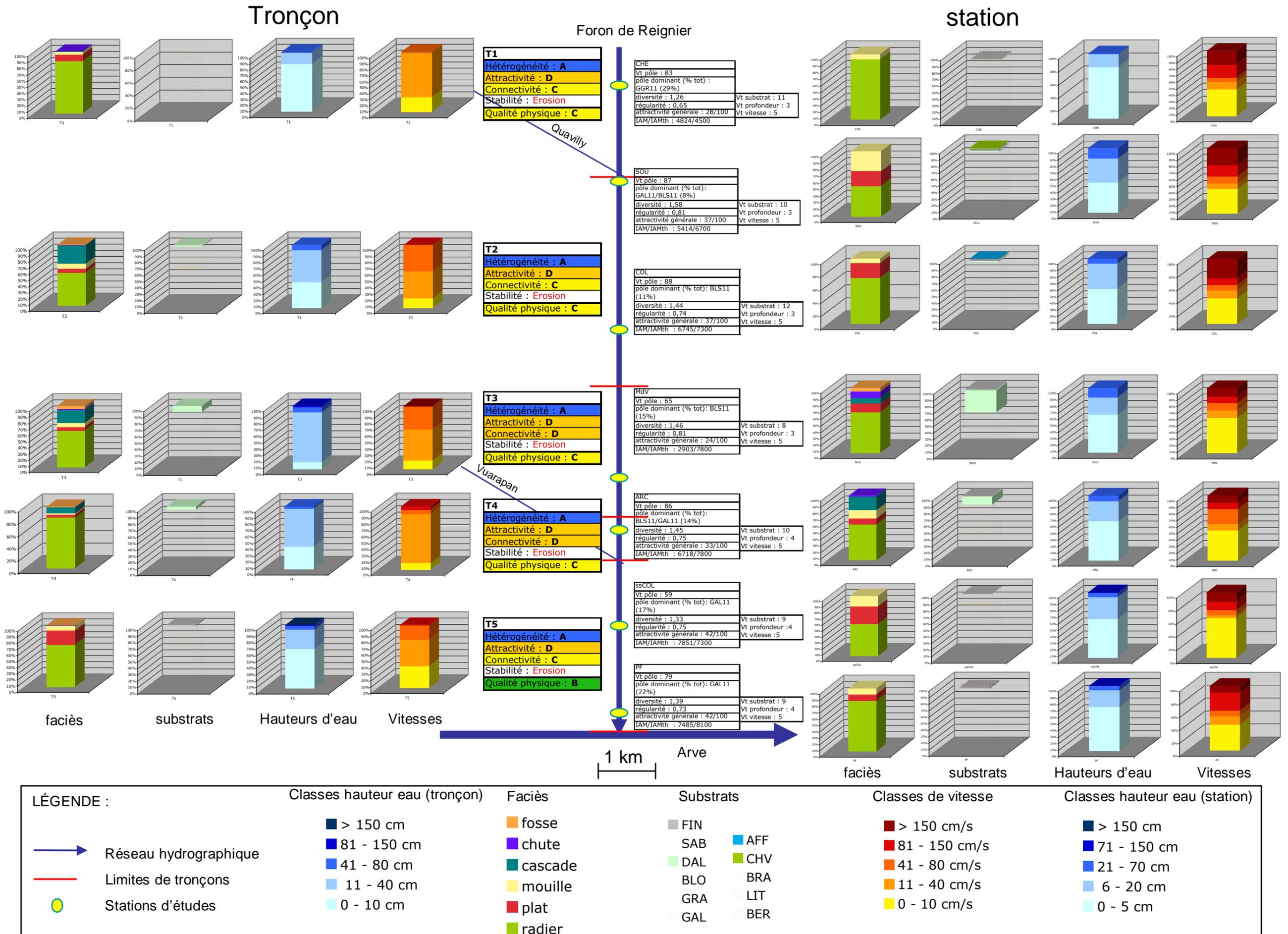
1 - Qualité habitationnelle vis-à-vis du poisson

► A l'échelle du tronçon

Les résultats de la description physique de l'habitat à l'échelle du tronçon (figure 10) montrent une situation relativement homogène sur l'ensemble du cours d'eau. A l'exception du tronçon aval, les autres obtiennent des scores de qualité globale appartenant à la classe C.

D'après ces résultats, l'ensemble du linéaire, malgré une bonne hétérogénéité (classe A) ne dispose pas d'une attractivité importante (classe D). Le score de stabilité fait ressortir l'action érosive exercée par le Foron de Reignier sur son substrat sur la totalité du linéaire. La configuration générale encaissée du cours d'eau qui en découle n'est pas en faveur d'une connectivité importante (scores peu variables entre les classes C et D). Ainsi, sur les quatre tronçons amont, ce score est principalement le reflet du nombre d'affluents. De ce fait, les tronçons T3 et T4 situés dans des zones de gorges, qui reçoivent moins d'affluents et sont moins favorables à la création de zones de divagation et de bras morts, atteignent les scores les plus faibles (D). Cependant, cette variation très légère du score semble relativement artificielle dans le sens où la plupart des affluents du Foron de Reignier n'ont pas d'intérêt piscicole hormis le Quavilly et le Vuarapan.

L'attractivité de l'habitat du Foron de Reignier paraît affaiblie par ce phénomène d'érosion, qui limite la quantité et la qualité des caches, et par la dominance écrasante de seulement deux types de substrats (galet et blocs sans infractuosités). Le relevé de terrain nous a également permis de noter certains éléments potentiellement perturbants tels que la présence de renouée en aval (T5),



1 km Arve

faciès

substrats

Hauteurs d'eau

Vitesses

faciès

substrats

Hauteurs d'eau

Vitesses

LÉGENDE :

| | | | | | |
|--|---|---|--|--|---|
| <p>→ Réseau hydrographique</p> <p>— Limites de tronçons</p> <p>● Stations d'études</p> | <p>Classes hauteur eau (tronçon)</p> <ul style="list-style-type: none"> > 150 cm 81 - 150 cm 41 - 80 cm 11 - 40 cm 0 - 10 cm | <p>Faciès</p> <ul style="list-style-type: none"> fosse chute cascade mouille plat radier | <p>Substrats</p> <ul style="list-style-type: none"> FIN SAB DAL BLO GRA GAL | <p>Classes de vitesse</p> <ul style="list-style-type: none"> > 150 cm/s 81 - 150 cm/s 41 - 80 cm/s 11 - 40 cm/s 0 - 10 cm/s | <p>Classes hauteur eau (station)</p> <ul style="list-style-type: none"> > 150 cm 71 - 150 cm 21 - 70 cm 6 - 20 cm 0 - 5 cm |
|--|---|---|--|--|---|

Figure 10 : Synthèse des résultats relatifs à l'habitat obtenus sur les cinq tronçons et les sept stations d'études du Foron de Reignier.

ainsi que la présence d'importants éboulements de versants et l'affleurement du substrat molassique dans le lit du cours d'eau principalement au niveau des tronçons T2 et T3 (Annexe C4).

L'étude de la diversité des quatre faciès, substrat, hauteur et vitesse des cinq tronçons considérés nous offre une vision synthétique de l'évolution longitudinale de l'habitat à mettre en relation directe avec les scores précédemment abordés.

Du point de vue des faciès, la dominance des radiers est remarquable avec une représentation par tronçon variant entre 54% (T2) et 84% (T1). Les autres faciès les plus représentés : cascades et plat, montrent respectivement une diminution progressive d'amont en aval de T2 (30%) à T5 (<1%) et pour le second faciès une apparition marquée en T5 (23%), tronçon où la pente est beaucoup plus faible que pour les tronçons précédents (2,3% contre des pentes de l'ordre de 5%).

Sur tout le linéaire du cours principal, le lit est constitué majoritairement par deux types de substrats : les galets et les blocs qui représentent en moyenne 95% du recouvrement du lit sur les cinq tronçons considérés. Le substrat dalle apparaît dans des proportions plus importantes : 9% et 4,5% au niveau des tronçons T3 et T4 qui présentent des configurations de gorges. Trois classes de hauteurs d'eau sont globalement représentées dont deux dominantes : la classe 1 (0 - 10cm) et la classe 2 (11- 40cm) qui participent respectivement entre 80 et 11% pour la première et 78 et 18% pour la deuxième aux vitesses d'écoulements des cinq tronçons étudiés. Les classes de hauteurs d'eau supérieures sont associées aux faciès « mouille et fosse » très minoritaires, qui sont représentés dans des proportions comprises entre 0 et 8% sur les différents tronçons.

Les vitesses moyennes relevées sur les cinq tronçons étudiés sont évidemment en étroite relation avec les faciès précédemment abordés. Ainsi T1 et T4, où le faciès radier est fortement représenté, sont dominés par des vitesses de courant relativement faibles comprises entre 10 et 40cm/s (classe 2). Alors que les tronçons T2 et T3, qui comportent une proportion plus importante de faciès type cascades, présentent des proportions de vitesse de courant de l'ordre de 41 à 80cm/s (classe3) plus importantes. Le tronçon T5, caractérisé par une largeur du lit plus importante, présente une distribution plus homogène des classes de vitesse 1 (0-10cm/s), 2 et 3.

L'étude de l'habitat à l'échelle du tronçon à partir de ces deux méthodes semble mettre en évidence une relative homogénéité des cinq tronçons étudiés en terme de faciès présents et substrats dominants, mais également en terme de variété des classes de hauteurs d'eau et de vitesses de courant significativement représentées. Ainsi, l'étude menée au niveau de ces cinq unités fait ressortir une qualité habitationnelle globalement médiocre sur l'ensemble du linéaire du Foron de Reignier.

► A l'échelle de la station

Les valeurs d'indices obtenues (figure 10) sur les sept stations étudiés sont globalement conformes au score théorique attendu en fonction de la largeur du cours d'eau, à l'exception de la station MdV qui obtient une note de 2903 contre 7800 attendue. Ce déficit s'explique par la forte représentation du substrat dalle (35% de la

station) faiblement attractif. D'autre part, on note sur cette station, une plus faible variété des substrats (8) que sur les stations amont, qui traduit l'absence de substrats minoritaires tels que CHV, BRA, LIT, FIN.

Tout comme les résultats obtenus à l'échelle du tronçon, les mosaïques d'habitats relevées sur les différentes stations montrent une relative homogénéité des caractéristiques du linéaire du Foron de Reignier. Les trois substrats les plus représentés, hors pour la station MdV, sont les substrats galet et blocs sans infractuosités et galet/graviers pour les stations hors zone de gorge. Sur chaque station, les vitesses de courant sont représentées par les cinq classes existantes. La variété des écoulements au sein des sept stations est un facteur important de la diversification des pôles d'attraction. D'autre part, on note une augmentation de la variété des classes de hauteur d'eau représentées (de 3 à 4) à partir de la station ARC.

La régularité calculée sur l'ensemble des stations est bonne et témoigne d'une diversité approchant l'optimum (valeurs comprises entre 0,73 et 0,81). La valeur la plus faible (0,65) est relative à la station CHE. Ce déficit de diversité (1,26), par rapport à la diversité maximale, semble s'expliquer principalement par l'homogénéité du substrat GGR qui représente 76% de la station et par la forte dominance du pôle GGR11 (29%). Parallèlement, la diversité des écoulements et la présence de quelques zones profondes et de substrats intéressants (BRA, et BLO) permettent à la station de bénéficier d'une attractivité correcte.

Les valeurs de régularités les plus importantes (0,81) se rapportent aux stations SOU et MdV. Cette valeur souligne l'hétérogénéité de ces stations, vraisemblablement liée à la répartition plus homogène des trois classes d'eau représentées.

La représentation synthétique, de la diversité des substrats/supports, classes de hauteur d'eau, classes de vitesse et faciès, sous forme d'histogrammes (figure 10) montre que les stations choisies sont représentatives des tronçons étudiés en terme d'habitat. Elle permet en outre de relever des variations interstationnelles, également mise en évidence par les calculs de diversité. Ainsi, à l'intérieure d'un même tronçon, on observe des différences notables de qualité de l'habitat. Le tronçon T2, avec les station SOU et COL, en est l'illustration. La station SOU présente une plus forte diversité (1,58) que la station COL (1,44). De plus, l'étude des faciès et différentes variables de ces stations, montre une répartition plus équitable des faciès avec une plus forte proportion de mouilles (30% pour SOU et 7% pour COL) et également des trois classes de hauteurs d'eau (respectivement des classes 1 à 3 : 47%, 37% et 16% pour SOU et 54%, 38% et 8%) pour la station SOU. Par conséquent, cette station présente des habitats plus diversifiés et à priori, plus intéressant d'un point de vue piscicole.

Si la répartition des faciès et des hauteurs d'eau semble jouer un rôle important sur la qualité de l'habitat par l'intermédiaire de la diversité qu'elle induit, le substrat en reste l'élément essentiel. En effet, la station MdV, malgré une diversité intéressante (régularité de 0,81) proche de l'optimum, présente une attractivité piscicole médiocre du fait de la forte dominance du substrat dalle.

La conformité des scores d'IAM obtenus sur les différentes stations par rapport à ceux attendus en fonction de leur gabarit, ainsi que les valeurs de régularités obtenues, ne témoignent pas de perturbations d'ordre physique. Les variétés de substrats sont globalement les mêmes sur l'ensemble de stations. On note la dominance de trois substrats, moyennement attractifs pour le peuplement pisciaire,

sur la totalité du linéaire : galet/gravier, galets, blocs sans infractuosit . La diversité des écoulements, commun aux sept stations, fournit une hétérogénité hydraulique favorisant la création d'une mosaïque d'habitat hétérogène.

L'étude la répartition des faciès et des différentes variables caractérisant les stations met en évidence des variations interstationnelles de la qualité de l'habitat sur le Foron de Reignier, principalement basées sur les variations de répartitions et proportions des hauteurs d'eau (et donc des faciès) et sur les différences d'attractivité des substrats vis-à-vis de l'ichtyofaune.

2 - Variables thermiques et potentialité piscicole

La caractérisation de la qualité thermique du Foron de Reignier vis-à-vis des exigences écologiques de la truite commune est réalisée sur la base de 9 paramètres (figure 11) sur les six stations sur sept pour lesquelles les sondes thermiques ont été récupérées. En effet, la sonde disposée au niveau de la station CHE a été perdue.

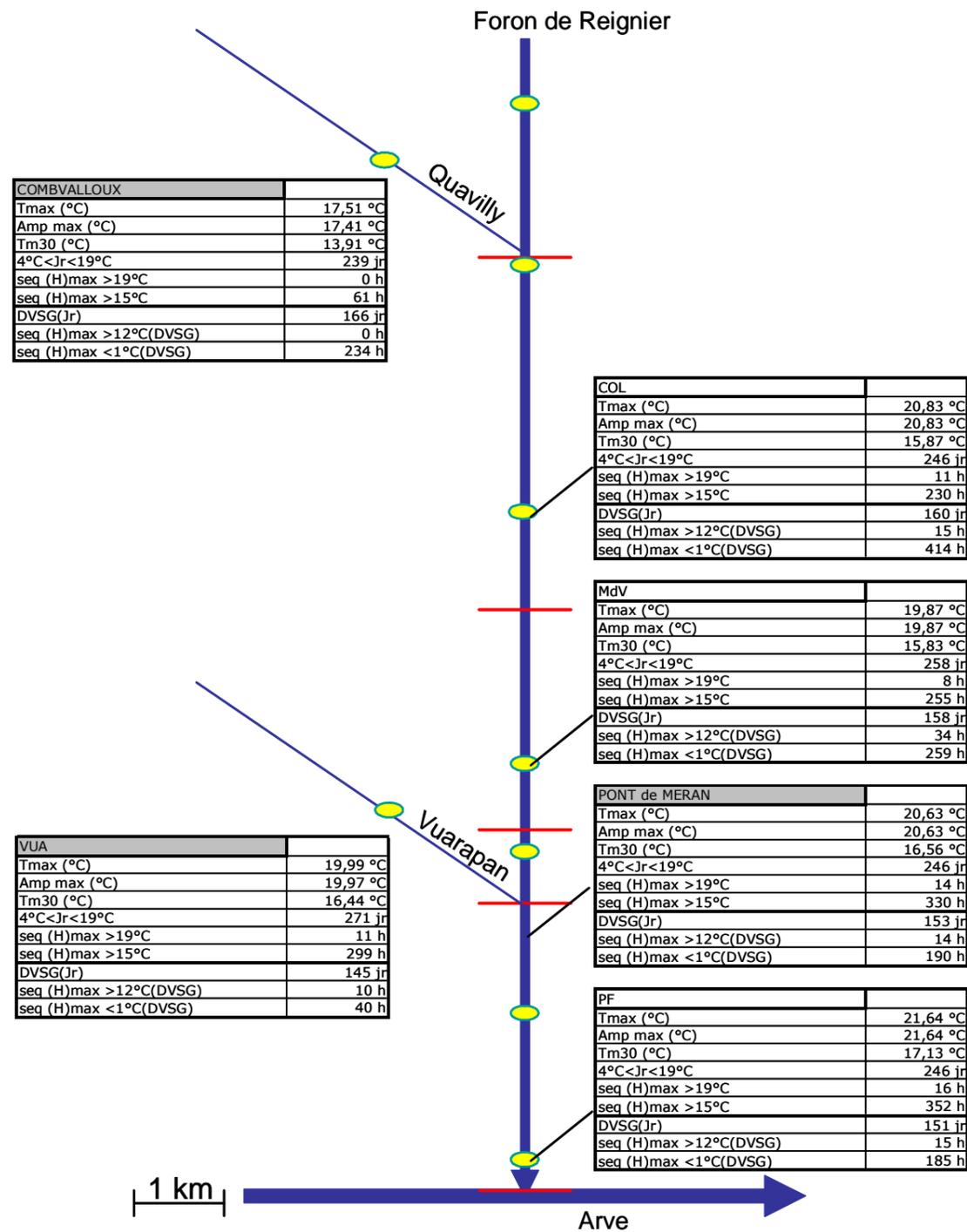
Les valeurs maximales instantanées sur chaque station ne dépassent pas les 25 C considérées comme valeur critique (létale ou sub-létale) pour la truite commune en rivière. Les deux principaux affluents du Foron de Reignier ne présentent pas les mêmes caractéristiques thermiques, le Quavilly plus en amont est relativement plus froid que le Vuarapan. En effet, le Quavilly est situé à une altitude supérieure au Vuarapan. D'autre part, le contexte forestier et rural dans lequel évolue de Quavilly diffère de celui péri-urbain et déboisé du Vuarapan.

La proportion importante du nombre jours où les températures sont comprises dans le préférendum thermique de la truite (de l'ordre de 250 jours/an), ainsi que les courtes séquences durant lesquelles la température de l'eau excède 19 C (au maximum 16h consécutives) sur le Foron de Reignier et ses affluents sont deux paramètres favorables au développement des individus de cette espèce.

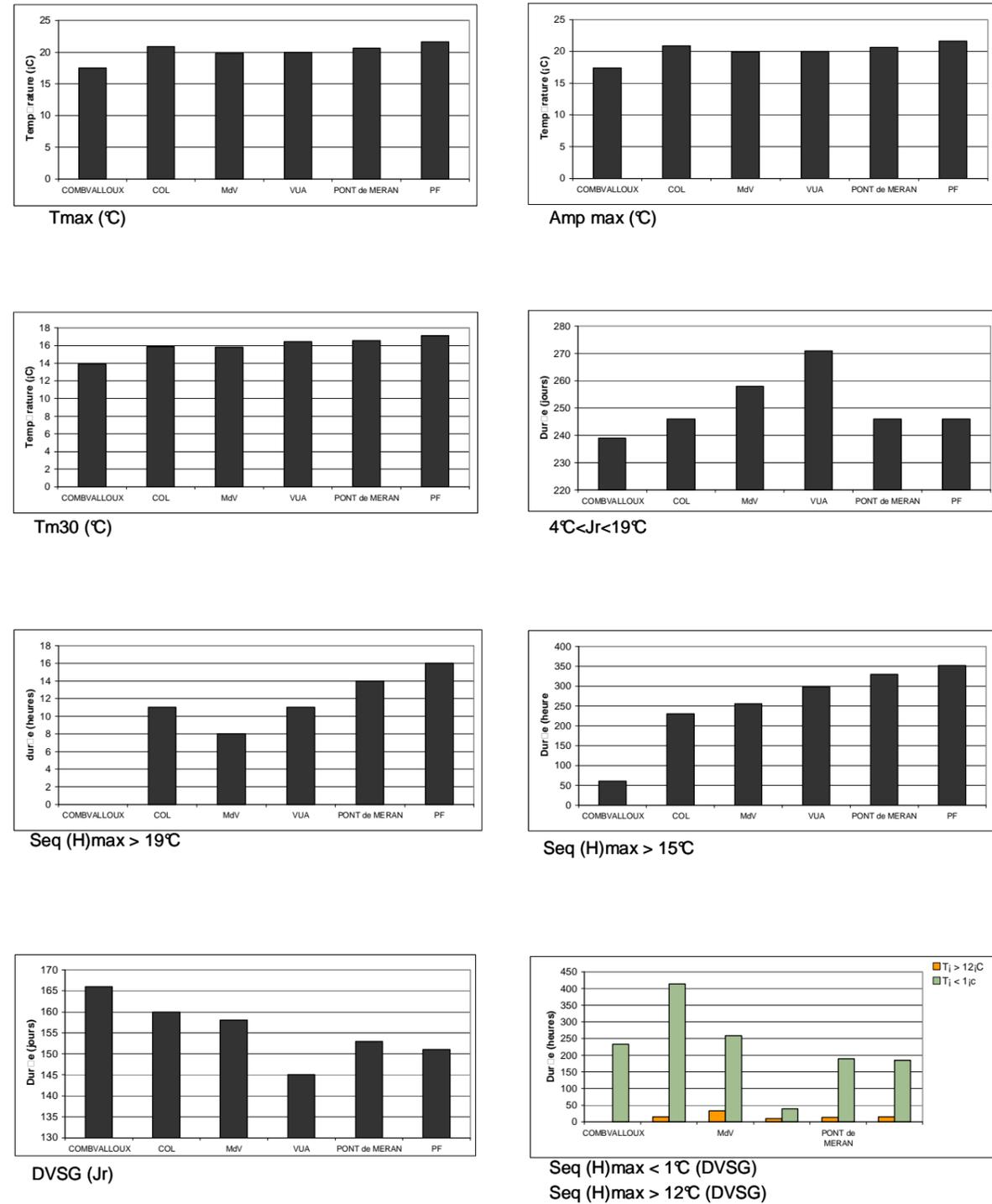
Les séquences maximales durant lesquelles la température de l'eau des six stations étudiées dépasse 15 C restent inférieures à 360 heures, ce qui limite les risques de développement de la PKD (« Proliférative Kidney Disease » = maladie rénale proliférative) provoquée par l'agent infectieux nommé *Tetracapsula bryosalmonae*.

L'estimation de la durée de vie sous gravier (DVSG) montre globalement des valeurs non limitantes (de l'ordre de 150 jours) pour l'efficacité du recrutement naturel sur la totalité des secteurs représentés par les six stations. Le facteur thermique qui semble, à priori, le plus limitant durant cette période sur la totalité des stations à l'exception de la station VUA, est la durée de la séquence maximale où la température de l'eau est inférieure à 1 C durant la vie embryo-larvaire sous gravier. Les séquences maximales où la température est supérieure à 12 C durant la période de vie sous gravier atteint un maximum de 34 heures au niveau de la station MdV. Ce paramètre n'apparaît donc pas limitant pour le développement embryo-larvaire de la truite.

Ainsi les valeurs des différents paramètres thermiques étudiés montrent une relative constance interstationnelle sur le linéaire du Foron de Reignier et ses deux affluents principaux. Globalement, un seul paramètre thermique paraît être limitant pour le bon développement de la truite commune : la séquence maximale où la température de l'eau est inférieure à 1 C durant la vie embryo-larvaire sous gravier.



Représentation graphique de l'évolution longitudinale des neufs variables thermiques étudiées



LÉGENDE :

- Réseau hydrographique
- Limites de tronçons
- Stations d'études

RAPPELS METHODOLOGIQUES :

- Tmax (°C) : valeur de la température instantanée maximale annuelle
- Amp max (°C) : différence entre la température maximale et minimale instantanées annuelles
- Tm30 (°C) : valeur de la température moyenne calculée sur les 30 jours les plus chauds
- 4°C<Jr<19°C : nombre de jours où la température est comprise entre 4 et 19°C (préférendum thermique TRF)
- Seq (H)max>19°C : nombre d'heures de la séquence maximale où la température reste supérieure ou égale à 19°C durant le suivi annuel
- Seq (H)max>15°C : nombre d'heures de la séquence maximale où la température reste supérieure ou égale à 15°C durant le suivi annuel
- DVSG (Jr) : durée en jour de la période totale de développement embryo-larvaire sous graviers
- Seq (H)max>12°C (DVSG) : nombre d'heures de la séquence maximale où la température reste supérieure ou égale à 15°C durant la DVSG
- Seq (H)max>12°C (DVSG) : nombre d'heures de la séquence maximale où la température reste supérieure ou égale à 15°C durant la DVSG

Figure 11 : Synthèse des résultats obtenus sur les variables thermiques étudiées sur quatre stations du Foron de Reignier et ses deux affluents principaux.

3 - Caractérisation du peuplement piscicole du Foron de Reignier.

La caractérisation du peuplement piscicole (figure 12) s'appuie sur l'étude de variables propres à l'évaluation du recrutement naturel, telles que la densité de frayère par secteurs de cours d'eau et l'estimation de la contribution du repeuplement et du recrutement naturel évaluée par l'intermédiaire du marquage des otolithes ; ainsi qu'au peuplement en place.

Le peuplement observé au niveau de la station amont CHE diffère du peuplement théorique calculé par le fait que l'abondance et la biomasse de la population de truite commune atteignent la classe 3 (19 ind/100m² et 66 kg/ha) attendue théoriquement. Ceci n'est pas le cas pour la population de chabot (*Cottus gobio*) qui n'atteint qu'une classe d'abondance de 1 contre 4 attendue. Cette abondance calculée à minima induit une sous estimation. Celle-ci est renforcée par la présence de nombreux juvénile pour lesquels l'efficacité de pêche est relativement faible. La population de TRF au niveau de cette station est principalement constituée par des individus de tailles comprises entre 101 et 150 mm. Cependant, la présence de quelques individus estimés 0+ et d'autres estimés 3+ permet de prétendre à la fonctionnalité de la population sur le secteur. Cette hypothèse semble renforcée par le faible taux de marqués (20%) obtenu sur cette station lors de la dernière année de repeuplement (2004).

En aval de la confluence avec le Quavilly, qui présente également les caractéristiques d'un bon recrutement naturel avec un taux de marqué de seulement 32%, la population de truite observée au niveau de la station SOU semble également fonctionnelle. Le peuplement est conforme au peuplement théorique. La structure du peuplement montre une forte proportion d'individus de taille moyenne (101 à 150 mm). Les juvéniles et adultes mûres sont mieux représentés que sur la station CHE. Les résultats obtenus par le CSP en mai 2002 (figure 12) sur les stations SOU et PF, relativement proches des résultats obtenus cette année, montrent cependant l'absence d'individus de taille supérieure à 250 mm ainsi qu'un fort effectif d'individus de taille inférieure à 60mm.

A partir de la station COL, les effectifs et biomasses observés pour la truite commune sont plus faibles qu'à l'amont, les densité observées étant comprises entre 5 et 9 ind/100m² et les biomasses entre 19 kg/ha (estimé à minima) et 57 kg/ha.

Plus précisément, le peuplement observé au niveau de la station COL diffère fortement du peuplement théorique attendu pour une station de biotype B 2,5. L'histogramme de taille met également en évidence l'absence d'individus juvéniles. Ce déficit de juvéniles se traduit aussi par l'intermédiaire d'un fort taux d'individus marqués issus du repeuplement. Ces deux observations vont dans le sens d'une faible contribution du recrutement naturel contrairement à l'observation de frayères dans des densités convenables (de 1 à 2/100 m²) sur le secteur et à la présence d'individus potentiellement mûres dans des effectifs comparables, voire supérieures, aux stations précédentes.

La station MdV présente globalement les mêmes caractéristiques que la précédente. L'abondance de chabots augmente cependant, et quelques juvéniles de truites sont observés. Cette présence, en faible effectif, semble tout de même faible par rapport aux densités de frayères observées (1 à 2 /100 m²) en amont de cette station. Il est cependant notable qu'aucune frayère n'a été observée aux alentours directs de la station. De plus, l'évaluation de l'efficacité du repeuplement traduit ce même phénomène par le biais d'un fort pourcentage (86%) d'individus marqués sur la station.

Plus en aval, la station ARC accueille une abondance de truites équivalente (7 ind/100m² et 55 kg/ha) à la station MdV (7 ind/100 m² et 50 kg/ha). L'augmentation de l'abondance de chabot jusqu'en classe 3 ainsi que l'apparition d'une nouvelle espèce : la loche franche (*Barbatula barbatula*) sont remarquables par rapport aux stations précédentes. Sur cette station encore, malgré la présence d'adultes potentiellement mûres et d'une densité de frayères convenable (≤ 2 frayères/100m²) en amont de la station, aucun individu juvénile n'a été capturé lors de la pêche électrique.

De la même manière, le peuplement observé sur la station ssCOL ne correspond pas au peuplement théorique attendu sur un biotype (B3.5). La présence de poissons chats (*Ictalurus melas*) et de perches soleils (*Lepomis gibbosus*) témoigne de la présence d'un étang en amont (CF : figure 4). La présence de juvéniles semble traduire une meilleure efficacité du recrutement naturel que sur les trois stations précédentes.

Enfin, la station aval PF présente également un déficit d'abondance par rapport au biotype théorique (B3.5), malgré l'apparition des vairons (*Phoxinus phoxinus*) dans des densités importantes. En outre, deux espèces non électives de ce biotype : la perche-soleil et le spiralin (*Alburnoides bipunctatus*) sont présentes. Lors de la pêche réalisée en mai 2002 une centaine d'ombrets (*Thymallus thymallus*) avaient été observés, mais aucun spiralin n'avait été capturé. Le caractère aléatoire de la capture de ces deux espèces est le reflet de l'influence exercée par l'Arve (400m en aval) sur cette station. La population de truite observée présente une faible densité (5 ind/100m²) pour une biomasse de l'ordre de 73 kg/ha. Aucune fratrière n'a été recensée à proximité de cette station, quelques juvéniles sont cependant présents.

Les concentrations en métaux observées dans la chair et les viscères (figure 12) montrent globalement trois types d'évolution :

- des concentrations dans la chair et les viscères faibles ou inférieures aux seuils de détection sur la station aval PF et des teneurs, dans les viscères, plus élevées en amont au niveau de la station SOU pour les métaux suivants : le Plomb, le Nickel et le Chrome. Les concentrations moyennes obtenues au niveau de la station SOU pour ces trois éléments sont respectivement de l'ordre de 500 µg/kg/PF pour le Plomb, de 2200 µg/kg/PF pour le Nickel et de 900 µg/kg/PF dans les viscères. Leurs concentrations dans la chair sont inférieures au seuil de détection.

- pas d'observation de variation significative des concentrations entre les deux stations pour le Zinc et le Cuivre sur la chair (de l'ordre de 11520 µgZn/kg/PF et 630 µgCu/kg/PF) et les viscères (de l'ordre de 92000 µgZn/kg/PF et 7600 µgCu/kg/PF) sur les deux stations.

- aucune trace de Cadmium et de Mercure au-delà du seuil de détection commun qui est de 100 µg/kg/PF, n'ont été détectée dans la chair et les viscères des truites du Foron de Reignier.

Globalement quatre phénomènes concernant le peuplement sont notables :

- les peuplements observés sur les sept stations étudiées sont déficitaires en terme d'abondance
- l'apparition tardive du vairon par rapport à son biotype : le vairon, attendu dès l'amont d'après le peuplement théorique n'apparaît qu'au niveau de la dernière station.
- la présence de deux espèces classées nuisibles sur les deux stations aval : poissons-chat et perche soleil.
- la présence d'une espèce théoriquement non élective du biotype de la station aval (B 3+) : le spirilin, ainsi que le caractère aléatoire de leur capture.

L'observation des résultats obtenus plus particulièrement sur la population de truite montre :

- une variabilité des densités et biomasses interstationnelles. Les valeurs de ces paramètres sont plus élevées sur les deux stations amont que sur les autres stations.

- la contribution du recrutement naturel et du repeuplement évaluée par le taux d'individus marqués est très variable et correspond globalement aux effectifs de juvéniles estimés sur les résultats de pêches électriques. L'évolution du recrutement naturel, important (20% d'individus marqués) dans le secteur amont puis relativement faible voire nul au niveau des secteurs médians (COL, MdV, ARC) est indépendante de l'évolution des densités de frayères sur le linéaire.

- des différences entre classes d'abondances et pondérales sur les stations COL, ARC et PF qui présentent peu ou pas de juvéniles.

- qu'il n'y a pas d'évolution commune des teneurs en métaux dans la chair et les viscères des truites capturées. Les différences amont-aval des valeurs observées vont globalement dans le sens d'une constance des teneurs, voire d'une diminution pour certains éléments.

Partie 3 - Discussion

Les résultats précédemment présentés mettent en évidence des différences d'abondance et de diversité des peuplements piscicoles à la fois entre peuplements théoriques et observés mais également sur le plan interstationnel.

L'objectif de cette partie est de discuter les résultats obtenus de façon à cerner les causes potentielles de perturbation du peuplement et plus particulièrement de l'espèce cible considérée : la truite commune.

► Evolution longitudinale qualitativement et quantitativement peu variable des différents descripteurs de la qualité du milieu.

Un élément principal ressortant des résultats obtenus est l'absence de variation de nombreux descripteurs. Les investigations menées aux échelles du bassin versant, du tronçon et des stations dans cette étude montrent qu'il existe peu de variations longitudinales des activités et impacts associés. L'absence d'évolution de la qualité physico-chimique et hydrobiologique, de la concentration en micropolluants dans les sédiments, de la concentration de métaux dans les poissons ainsi que des variables thermiques concernant les exigences écologiques de la truite commune, met en évidence l'absence de perturbations majeures pouvant expliquer les différences de peuplements observées au niveau de la station.

En effet, malgré un bilan de l'occupation des sols faisant ressortir une zonation amont-aval d'augmentation de la densité de population calquée sur les découpages topographiques, le relevé des perturbations à l'échelle du bassin versant ne fait pas ressortir de différence d'impact. Cette homogénéité de la qualité globale du milieu se traduit au niveau des tronçons par le faible nombre de rejets d'origine majoritairement domestiques et de perturbations anthropiques ponctuelles de différentes nature (prélèvements pour irrigation, étangs en dérivation, zone d'abreuvement du bétail dans le lit, anciennes décharges) mais dont les effets, même cumulés, semblent limités aux vues des résultats obtenus au niveau stationnel.

L'homogénéité sur l'ensemble du linéaire du Foron de Reignier de la présence et des concentrations des matières azotées et des orthophosphates dans l'eau fait ressortir le caractère diffus des pollutions en présence de différentes origines : agricole (épandage des stock hivernaux), domestique (rejets ponctuels véhiculés par les petits affluents). Cette caractéristique s'accorde avec les observations réalisées au niveau du bassin versant. Cette même homogénéité est également frappante pour des métaux et composés organiques de la famille des HAP mesurés dans les sédiments. Leurs concentrations dans les sédiments du Foron de Reignier restent dans des gammes de valeurs d'ordre ubiquitaire (INERIS, 2005). En outre, les mêmes composés ont été retrouvés dans les sédiments des cours d'eau apicaux Haut-Savoyard peuplés par les écrevisses à pieds blancs (*Austropotamobius Pallipes*) (HUCHET comm. Pers.), et ceci dans des gammes de concentrations similaires à la fois pour les teneurs en métaux lourds et en HAP. Ces éléments de

comparaison disponibles à l'échelle du département ainsi que l'homogénéité de ces teneurs rencontrées sur le Foron suggèrent le caractère non discriminant de ces composés sur le peuplement piscicole. Les teneurs de métaux dans la chair et les viscères des individus prélevés dans le Foron de Reignier ne semblent pas non plus affecter la fonctionnalité des populations de poissons. A ce sujet, CAUDRON (2006) indique que des teneurs similaires en Cuivre et en Zinc ont été obtenues sur plusieurs cours d'eau situés sur des bassins différents et géographiquement éloignés (Arve, Bourget, Isère). Le caractère ubiquitaire et homogène des teneurs rencontrées à différentes échelles, à la fois dans les sédiments et dans le vivant, renforce l'hypothèse d'une contamination globale. L'origine la plus probable de la contamination généralisée des rivières est liée aux retombées atmosphériques sous forme de précipitations chargées en éléments chimiques. Deux études réalisées respectivement sur les concentrations en métaux lourds dans la neige (VEYSSEYRE *et al.*, 2001) à différentes altitudes dans la vallée de Chamonix et de la Maurienne et sur des lacs d'altitude pyrénéens (BLAIS *et al.*, 2006) exempts de sources de pollutions directes vont dans ce sens et incriminent une pollution due aux activités industrielles, chimiques et métallurgiques, à l'importance du trafic routier ainsi qu'à la présence des incinérateurs. Bien qu'aucune corrélation n'ait été mise en évidence entre la présence de contaminants et des dysfonctionnements des peuplements pisciaires, les teneurs des différents métaux décelés dans les viscères et dans la chair suggèrent une contamination généralisée de la chaîne trophique et en particulier des insectes aquatiques qui constituent la majorité du régime alimentaire de la truite. En effet, il est convenu que l'assimilation des métaux chez la truite se fait essentiellement par voie alimentaire (DALLINGER et KAUTZKY, 1985).

L'étude de la qualité hydrobiologique, par l'intermédiaire d'indices (IBGN, Cb2, In), traduit globalement une qualité moyenne à bonne et constante sur tout le linéaire. Cet aspect est renforcé par la constance des groupes indicateurs globalement polluosensibles des indices Cb2 et IBGN. Cette qualité et cette constance sont à rapprocher des résultats obtenus sur la physico-chimie de l'eau et des sédiments. D'autre part, l'étude semi-quantitative et générique du peuplement montre également la même constance en terme de composition du peuplement. En effet, les variétés des différents ordres (P, T et E) sont peu variables et les effectifs, malgré une légère augmentation amont-aval, restent globalement faibles. La moyenne des effectifs des taxons présents dans sur les placettes lenticules (< 5 cm/s) restent relativement stables (de l'ordre de 120 ind/placettes). Cette absence d'évolution longitudinale sur ce type de placette traduit l'homogénéité de la qualité des sédiments, également mise en évidence par les recherches de micropolluants dans ces derniers. D'autre part, la faiblesse des effectifs de gammars observés, considérées comme sensibles aux toxiques présents dans les sédiments, semblent être liés aux faibles surfaces concernées par des dépôts de matière organique grossière et à la pente importante (de l'ordre de 40‰) et constante du Foron de Reignier. La présence continue de nombreux taxons sur les sept stations d'études paraît témoigner de la relative homogénéité des paramètres mésologiques sur le lit principal du Foron de Reignier.

Enfin, les caractéristiques thermiques annuelles étudiées sur différentes stations sont caractérisées par la même constance et répondent bien aux exigences écologiques de la truite. En ce sens, elles ne permettent pas d'expliquer les variations observées au niveau de la population salmonicole. Le caractère potentiellement limitant qui ressort des mesures thermique effectuées correspond au nombre d'heures de la séquence maximale durant la période de vie sous gravier où la température de

l'eau reste inférieure à 1°C. Cette limite thermique est considérée par plusieurs auteurs (ELLIOTT, 1984 ; HUMPECH, 1985 ; CRISP, 1988 et 1996) comme létale durant la phase de vie sous graviers. Les durées obtenues pour cette variable dans notre étude pourraient éventuellement expliquer un déficit de recrutement naturel sur le Foron de Reignier. Cependant, cette hypothèse semble peu probable pour les raisons suivantes. Les durées obtenues sur les stations sont tellement importantes qu'elles remettraient en cause la totalité du recrutement naturel sur l'ensemble du linéaire. Or, les captures de juvéniles de l'année réalisées pendant les pêches électriques sur plusieurs stations et celles d'individus 0+ non marqués attestent de l'existence d'un recrutement naturel. Cette opposition peut s'expliquer par le fait que les calculs réalisés à partir des données obtenues ne sont pas le reflet des conditions de vie réelles au sein des graviers. A ce sujet, CRISP (1992) précise qu'il peut exister une différence d'environ 1°C entre la température de l'eau et celle intra-gravier.

Aux vues des éléments discutés, aucun de ces descripteurs ne permet de mettre en évidence les différences observées sur le peuplement piscicole.

► Influence de la gestion piscicole et de l'activité halieutique sur le peuplement piscicole

Les gestionnaires peuvent influencer par leurs pratiques la dynamique spatiale et temporelle des peuplements piscicoles, en particulier pour les espèces d'intérêt halieutique comme la truite commune. Dans le cas du Foron de Reignier, la principale opération de gestion pratiquée, outre la surveillance de la qualité du milieu, consiste en l'introduction d'alevins de truite au stade alevin ou truitelle. Historiquement et jusqu'à récemment, les cours d'eau du bassin versant ont été massivement repeuplés par des individus domestiques d'origine atlantique. A partir de l'année 2000, un changement de gestion, consistant à la diminution des effectifs introduits et à l'utilisation d'alevins de souche méditerranéenne produits à partir d'un stock de géniteurs captifs, a été entrepris. Enfin, depuis 2004, ces pratiques de repeuplement ont été entièrement stoppées. Ces modifications successives opérées ne semblent pas avoir entraîné de changements significatifs sur la démographie des populations de truites. Aucun changement significatif des caractéristiques de celles-ci, suite à l'utilisation d'individus de souche méditerranéenne pour le repeuplement, ne peut être clairement mis en évidence en raison de la nature de nos résultats. Effectivement, ceux-ci paraissent encore trop partiels et aucune donnée, démographique ou génétique, initiale avant changement de gestion n'est disponible. Les premières pêches d'inventaires datant de 2002 sont postérieures au début des repeuplements utilisant des individus méditerranéens qui ont commencé en 2000. Et les résultats génétiques obtenus en 2003, sur les stations SOU et PF, sont sous l'influence des repeuplements et montrent des situations très différentes avec des taux d'allèles atlantiques de 88% pour la première et de 15% pour la seconde (CAUDRON *et al.*, 2006b). Cependant plusieurs arguments peuvent être avancés en faveur d'une influence limitée de cette dernière stratégie de gestion mise en place. D'une part, les densités et biomasses de truites obtenues sur deux stations en 2006 (sous l'influence de quatre années d'alevinage par la souche méditerranéenne) ne montrent pas de différences flagrantes avec celles de 2002. Les différences minimales observées, en particulier pour les stades juvéniles, peuvent être simplement le résultat de fluctuations inter-annuelles. A ce sujet, BAGLINIERE et MAISSE (2002)

ont montré l'existence de variations interannuelles de densité allant d'un facteur 1 à 10 pour toutes les classes d'âge confondues mais pouvant atteindre 16 pour les individus 0+. D'autre part, la majorité des secteurs pêchés en 2006 montre des variations inter-stations fortes bien que la gestion soit la même sur le linéaire et pour au moins cinq stations sur sept les densités et biomasses restent faibles. On note cependant en 2006, sur les deux stations également étudiées en 2002, l'apparition d'individus dans des classes de taille plus élevées sans pouvoir cependant l'imputer aux repeuplements en alevins méditerranéens réalisés les années antérieures.

D'autre part, les secteurs qui présentaient déjà en 2004 une forte contribution du recrutement naturel sont ceux pour lesquels les effectifs de juvéniles capturés en 2006 sont les plus forts.

L'ensemble de ces arguments développés suggère également que l'arrêt total de l'introduction d'alevins depuis deux ans n'influence pas non plus les résultats obtenus concernant les caractéristiques démographiques de la population de truite en place.

Globalement, les résultats mettent en avant un recrutement naturel faible qui n'est pas comblé par les diverses actions de gestion.

L'hypothèse d'un impact potentiel de la pression de pêche sur les densités de truites n'est pas retenue sur le Foron de Reignier du fait de la faible pression exercée par cette activité sur ce cours d'eau.

► Décalage entre les peuplements pisciaires observés et théoriques

La présence dans les deux stations aval de poissons chat et de perches soleil est facilement explicable par la présence d'un étang en dérivation situé en amont de ces deux stations.

Sur la station PF, les différences observées (présence / absence d'ombrets et de spirilins) peuvent s'expliquer par l'influence des peuplements piscicoles présents dans l'Arve.

Au delà des variations inter-stationnelles, un déficit systématique, en terme d'espèces et d'abondance du peuplement observé par rapport au peuplement théorique correspondant au niveau typologique, concerne les sept stations d'études.

Le vairon théoriquement présent dès la station amont (COL) n'apparaît qu'à la station PF. L'apparition tardive de cette espèce ne semble pas cependant aberrante. En effet, de telles observations ont été réalisées sur plusieurs autres rivières du département comme par exemple le Giffre (RENOY, 2001 ; TERE0, étude en cours) ou encore le Chéran (PNR massif des Bauges, 2003).

Sur les deux stations amont, les abondances observées pour la truite sont en accord avec celles attendues d'après le peuplement théorique. Par contre, les cinq stations suivantes présentent toutes des abondances déficitaires par rapport à celles attendues pour cette espèce. Ces différences peuvent être mises en relation avec les résultats obtenus dans le cadre de l'évaluation, par fluoromarquage des otolithes, de la contribution du recrutement naturel et du repeuplement. En effet, la zone amont où l'on observe des abondances théoriques et observées équivalentes est caractérisée par un taux de juvéniles en place majoritairement issu du recrutement naturel, contrairement à la zone aval qui présente à la fois un faible recrutement naturel et un déficit d'abondance.

Ces résultats suggèrent l'existence d'un problème influençant le recrutement naturel qui interviendrait au niveau du second tronçon (T2) entre la station SOU et COL. Ce dernier pourrait être la conséquence soit d'une faible abondance de frayères, soit d'un faible taux de survie durant la phase de développement sous gravier. Les quantités de frayères ($< 2/100\text{m}^2$) observées sur le linéaire du Foron de Reignier peuvent être considérées comme faibles d'après l'analyse des recensements de frayères réalisés depuis cinq ans sur les différents cours d'eau du département. Ce faible nombre de frayères peut être mis en relation avec les faibles densités d'individus estimés comme potentiellement géniteurs. Cependant, sur la zone amont, les densités de géniteurs potentiels sont comparables aux secteurs aval alors que l'on observe un meilleur recrutement naturel. De plus, des frayères ont été observées dans des secteurs où l'on retrouve peu de juvéniles 0+ issus du recrutement naturel (non marqués aux otolithes). Ces éléments sont donc plus en faveur de l'hypothèse concernant l'intervention de phénomènes agissant sur le taux de survie durant la période de vie sous gravier.

De nombreuses causes agissant seules ou conjointement peuvent être à l'origine du faible taux de survie durant la phase embryo-larvaire.

L'impact de la qualité chimique de l'eau peut être totalement écarté car les valeurs mesurées notamment en NH_4 et PO_4 n'atteignent pas les seuils pouvant compromettre la survie au stade embryo-larvaire (GILLET, 2001). Par contre d'autres facteurs peuvent avoir des effets négatifs sur la survie à ce stade, à savoir l'effet destructeur des crues (SEEGRIST & GARD, 1972 ; CATTANEO *et al.*, 2002 ; CHAMPIGNEULLE *et al.*, 2003) et/ou la désoxygénation interstitielle due à des phénomènes locaux de colmatage provoqués par précipitation des matières en suspension ou par la nature du substrat (MASSA, 2000). A ce sujet, la présence sur le Foron de Reignier d'un affleurement molassique qui s'étend de l'aval de la station SOU jusqu'à la confluence avec le Vuarapan peut diminuer la perméabilité intra-gravelaire et impacter l'oxygénation des sites de ponte. MASSA (1998) confirme que la nature argilo-limoneuse du substrat favorise l'apparition de conditions anoxiques dans les frayères.

► La qualité de l'habitat physique conditionne les différences interstationnelles des peuplements piscicoles.

Les aspects précédemment discutés n'ayant pas permis d'expliquer pleinement les différences observées sur le peuplement pisciaire à l'échelle stationnelle, l'hypothèse de la limitation des potentialités piscicoles du Foron de Reignier par la qualité de l'habitat est privilégiée.

La description de l'habitat à l'échelle du tronçon évalue la qualité habitationnelle de ce cours d'eau comme médiocre sur la totalité du linéaire. En effet, la configuration encaissée du lit du Foron de Reignier semble être la conséquence d'une pente relativement élevée conférant au cours d'eau son caractère érosif dont les effets sont amplifiés par la présence d'un substrat tendre (molasse marno-gréseuse) et relativement imperméable. Les phénomènes géomorphologiques conséquents à l'effet conjoint de ces différentes caractéristiques d'ordre géologique et hydrologique favorise les phénomènes érosifs et engendre un surdimensionnement du lit qui se traduit, en conditions de faible débit, par une hospitalité habitationnelle médiocre sur tout le linéaire.

Par conséquent, l'homogénéité globale de l'habitat sur l'ensemble du linéaire ne permet pas non plus d'expliquer les variations inter-stationnelles de densité de truite observées. Ainsi, ces dernières semblent être plus particulièrement influencées par des variations ponctuelles de la qualité de l'habitat à l'échelle de la station.

Les stations d'études, globalement représentatives du tronçon auquel elles appartiennent, restent cependant « uniques ». Ainsi deux stations appartenant à un même tronçon peuvent présenter des différences de peuplements uniquement basées sur les caractéristiques propres à la station. L'absence d'évolution de nombreux paramètres sur tout le linéaire du Foron de Reignier permet d'établir des comparaisons valables. L'exemple des différences de densités et biomasses de truites et de chabots sur deux stations (SOU et COL) appartenant pourtant au même tronçon T2 en est une illustration. Les différences de structure habitationnelle entre ces deux stations sont principalement liées à des différences de proportions des faciès et de leurs composantes. Ainsi, les habitats les plus favorables aux individus 1+, correspondant à des hauteurs d'eau comprises entre 10 et 40 cm et des classes de vitesses supérieures à 40 cm/s (BAGLINIERE et MAISSE, 2002), occupent des surfaces beaucoup plus importantes à la station SOU qu'au niveau de la station COL. D'autres part, les habitats profonds (>60cm) favorables aux gros individus sont également dominants sur la station SOU qui présente une proportion du faciès mouille largement supérieure à la station COL. Si la répartition des faciès, et particulièrement, la forte proportion d'habitats profonds présents sur la station SOU n'est pas réellement représentative du tronçon T2, les pêches réalisées montre que les densités observées sur le Foron de Reignier (les autres composantes étant stable sur le linéaire) sont fortement dépendantes de l'existence d'habitat utilisable.

Outre le rôle important joué par les hauteurs d'eau, l'importance du substrat est également visible. La constance de l'ensemble des paramètres physico-chimique et habitationnels globaux nous permettant la comparaison, il ressort que si les stations MdV et SOU présentent globalement les mêmes potentiels d'habitat favorable en terme de proportion de hauteur d'eau et de vitesse de courant, les densités observées de truite et de chabot semblent fortement influencées par le substrat. Sur la station MdV où le substrat dalle est très représenté (35%), de faibles densités (trois fois inférieures à SOU pour la truite) sont observées. Le substrat dalle n'est pas un substrat apprécié de la truite qui choisira préférentiellement des substrats plus hétérogènes à granulométrie grossière offrant des caches.

L'importance de l'habitat sur les variations interstationnelles est également mis en évidence par l'intermédiaire de l'indice variété (***Iv*** caractérisant la diversité du milieu) qui porte globalement les variations de notes obtenues au niveau du **Cb2** ; l'indice ***In*** caractérisant la qualité de l'eau étant relativement constant. Les meilleurs indices ***Iv*** sont obtenus sur les stations pour lesquels les plus fortes densités et biomasses de truite sont observées.

► Intérêt d'une étude à échelles emboîtées utilisant différents descripteurs

L'utilisation de plusieurs échelles d'études et de différents descripteurs pour rechercher les causes de perturbation du peuplement piscicole a permis dans le cas du Foron de Reignier de mettre en évidence le rôle prépondérant de la qualité de l'habitat au niveau de la station. Ce constat est le résultat de l'élimination successive des nombreux facteurs potentiels de perturbations pressentis aux différentes échelles.

Les informations apportées au niveau stationnel permettent d'exercer un retour sur la vision plus générale que l'on peut avoir à l'échelle du bassin versant ou du tronçon. Les résultats obtenus pour certains descripteurs de la station permettant de valider ou d'infirmer la vision d'hétérogénéité ou d'homogénéité perçus aux échelles plus larges. Ainsi, sur le Foron de Reignier, l'absence de variation longitudinale de nombreux descripteurs du milieu à l'échelle du tronçon et de la station traduit l'homogénéité du territoire qui n'est pas à priori évidente au niveau du bassin versant. Ainsi cette constance des valeurs de nombreux descripteurs du milieu dans des gammes compatibles avec le développement du peuplement piscicole, a permis d'exclure la possibilité qu'ils soient responsables des variations inter-stations observées.

L'utilisation d'une multiplicité de descripteurs permet, en outre, l'évaluation plus précise des facteurs perturbants et de leurs mécanismes d'actions sur le peuplement piscicole par croisement des différents résultats obtenus. Les nombreux descripteurs directement liés à l'écologie et à la biologie de la truite commune (estimation de l'abondance, structure de la population, taux de recrutement naturel, densité de frayères, concentration en métaux dans la chair et les viscères, utilisation de diverses variables thermiques en relation avec différents stades de développement de la truite commune, estimation des densités de juvéniles et d'adultes mûres, plus généralement utilisation de méthodes de description de l'habitat à forte orientation piscicole) permet de cerner plus précisément, dans une certaine mesure, les causes influençant le peuplement en fonction de leur stade de développement.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Concernant la qualité du milieu, les nombreux descripteurs utilisés (qualité physico-chimique de l'eau, teneur en micropolluants dans les sédiments, variables thermiques vis-à-vis des exigences écologique de la truite) n'ont pas permis de mettre en évidence de perturbations limitant le peuplement piscicole.

Concernant, les pratiques de gestion, les différents repeuplements pratiqués ne semblent pas avoir eu d'effets bénéfiques sur la quantité et les caractéristiques démographiques du stock en place.

L'état du peuplement piscicole du Foron de Reignier semble être directement limité par la structure naturelle de l'habitat physique. En effet, **la médiocrité de l'habitat sur l'ensemble du linéaire paraît être la cause des faibles densités de truites observées**. D'autre part, les variations interstationnelles de ces densités semblent être directement liées à la qualité habitationnelle intrinsèque aux stations d'études.

Au vu de ces résultats, les interventions qui peuvent être mises en place sur le Foron de Reignier sont les suivantes :

- poursuivre l'arrêt des repeuplements déjà entrepris depuis 2005 ;
- suivre, pendant encore deux ans supplémentaires, la dynamique de reproduction naturelle sur l'ensemble du linéaire en recensant et quantifiant les sites de frai ;
- prévoir un suivi de l'évolution démographique du peuplement piscicole en place par pêche électrique sur les sept stations d'étude.

BIBLIOGRAPHIE

Alp'géorisques, 2006. Carte des aléas, secteur de Vuret (commune de Pers Jussy) ref 0605686.

BACCHI, 1993. Recherche sur la macrofaune benthique de la Haute-Loue, Structuration des habitats, Evolution des peuplements macrobentiques depuis 1973, mémoire D.E.S.S. Eaux continentales, Univ. Fr-Comté, 30p.

BAGLINIERE J.L., MAISSE G., 2002. La biologie de la truite commune (*Salmo trutta L.*) dans la rivière Scorff, Bretagne : une synthèse des études de 1972 à 1997. INRA Prod.Anim., 15, 319-331.

BLAIS J.M., CHARPENTIE S., PICK F. KIMPE L.E., St AMAND A., REGNAULT-ROGER C., 2006. Mercury, polybrominated diphenyl ether, organochlorine pesticide, and polychlorinated biphenyl concentrations in fish from lakes along an elevation transect in French Pyrénées. Ecotoxicology and environmental Safety, 63, 91-99.

BOBAN, 2004. Risques majeurs, synthèse des documents communaux synthétiques.

BOVEE K. D., 1982. A guide to stream habitat analysis using the instream Flow Incremental Methodology. Instream Flow Information Paper n°12, FWS/OBS 82/86, U.S.D.S. Fish and Wildlife Service, Office of biological Services, Fort Collins, Colorado.

CATTANEO F., LAMOUREUX N., BREIL P., CAPRA H., 2002. The influence of hydrobiological and biotic processes on brown trout (*Salmo trutta*) population dynamics. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 59, 12-22.

CAUDRON A., 2000. Première évaluation de la contamination par les métaux lourds chez la truite commune (*Salmo trutta*) sur le bassin de l'Arve. Campagne 2006. 11p.

CAUDRON A., CHAMPIGNEULLE, 2006. Technique de fluoromarquage en masse à grande échelle des otolithes d'alevins vésiculés de la truite commune (*Salmo trutta L.*) à l'aide de l'alizarine Red S. Cybium, 30, 65-72.

CAUDRON A., CHAMPIGNEULLE A. et LARGE A., 2006a. Etats et caractéristiques des populations autochtones de truite commune identifiées en Haute-Savoie et qualité globale. pp: 55-117 in Programme INTERREG III A- Identification sauvegarde et réhabilitation des populations de truites autochtones en Vallée d'Aoste et en Haute-Savoie. Rapport Final.

CAUDRON A., CHAMPIGNEULLE A., GUYOMARD R., 2006a. Identification et caractéristiques génétiques des populations de truites autochtones sur le réseau hydrographique de Haute-Savoie. pp : 39-53 in Programme INTERREG III A- Identification sauvegarde et réhabilitation des populations de truites autochtones en Vallée d'Aoste et en Haute-Savoie. Rapport Final.

CHAMPIGNEULLE A., LARGIADER C.R., CAUDRON A., 2003. Reproduction de la truite (*Salmo trutta L.*) dans le torrent de Chevenne, Haute-Savoie. Un fonctionnement original ? Bull. Fr. Pêche Piscic, 369, 41-70.

Conseil général de Haute-Savoie, 2003. Suivi de la qualité des affluents rive gauche de l'Arve, Rapport de présentation des résultats, Hydrétudes.

CRISP D.T., 1996. Environmental requirements of common riverine European salmonid fish species in fresh water with particular reference to physical and chemical aspects. Hydrobiologia, 323, 201-221.

CRISP D.T., 1992. Measurement of stream water temperature and biological applications to salmonid fishes, grayling and dace. Freshwater Biology association, occasional publication N°29, 72 p.

CRISP D.T., 1988. Prediction, from water temperature, of eyeing, hatching and "swim-up" times for salmonid embryos. Freshwat. Biol., 19, 41-48.

CSP DR 5 et TELEOS, 1998. Méthode standard d'analyse de la qualité de l'habitat aquatique à l'échelle de la station.

DALLINGER R. and KAUTZKY H., 1985. The importance of contaminated food for the uptake of heavy metals by rainbow trout : a field study. Oecologia, 67, 82-89.

DEGIORGI F., MORILLAS N., RAYMOND J.C., 1995. protocole préliminaire de cartographie des mosaïques d'habitats en rivière selon la logique des pôles d'attraction, Rapport CSP DR5, 8p.

DE LURY D.B., 1951. On the planning of experiments for the estimation of fish population. J.Fish Res.Bd. Can., 18, 281-307.

ELLIOT J.M., 1984. Growth, size, biomass and production of young migratory trout *Salmo trutta* in a Lake District stream, 1966-83. J.Anim.Ecol. 53, 979-994.

GILLET C., 2001. Le déroulement de la fraie des principaux poissons lacustres. pp. 167-185 In gestion piscicole des grands plans d'eau, Gerdaux D. (Ed), INRA Paris, 241p.

HUMPESH U.H., 1985. Inter- and intra-specific variation in hatching success and embryonic development of five species of salmonids and *Thymallus thymallus*. Arch. Hydrobiol. 104, 129-144.

INERIS, 2005. Fiches de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques. http://www.ineris.fr/index.php?module=cms&action=getConte nt&id_heading_object=3.

MALAVOI J.R., 1989. Typologie des faciès d'écoulement ou unités morphodynamiques des cours d'eau à haute énergie. Bulletin français de la Pêche et de la Pisciculture 315, 189-210.

MASSA F., 2000. Sédiments, physico-chimie du compartiment interstitiel et développement embryonnaire de la truite commune (*Salmo trutta*) : Etude en milieu naturel anthropisé et en conditions contrôlées. Thèse de doctorat, université de Paris VI, 179 p.

MASSA F., GRIMALDI C., BAGLINIERE J.L., PRUNET P., 1998. Evolution des caractéristiques physico-chimiques de deux zones de frayères à sédimentation contrastée et premiers résultats de survie embryo-larvaire de truite commune (*Salmo trutta*). Bulletin Français de Pêche et Pisciculture, 350/351, 359-376.

NISBET M. et VERNEAUX J., 1970. Composantes chimiques des eaux courantes, Discussion et proposition de classes en tant que bases d'interprétation des analyses chimiques, mn. Sci-Univ. Fr-Comté, t.6, fasc. 2, 161-190.

Parc Naturel Régional du Massif des Bauges, 2003. rapport d'étude : Etude piscicole du Chéran, développement d'une souche de truite autochtone, VALLET et TELEOS, 93p.

PARMENTIER E., 1994. Etude de la biocénose benthique du Drugeon. Application d'un nouveau protocole d'échantillonnage. Bilan de la qualité habitacionnelle. Analyse biocénotique générique. Bilan de la qualité faunistique. Mém. D.U.E.H.H., Lab. Hydrobiol. Univ Fr-Comté, 69p.

RENOY M., 2002. Diagnose écologique du Giffre. Rapport FDP74.02/01. 42p.

Schéma de Développement à Vocation Piscicole de Haute -Savoie, 1994.

SEEGRIST D.W. and GARD R., 1972. Effects of floods on trout in Sagehen Creek, California. Trans. Amer. fish. soc. N°3, 478-482.

TACHET H., RICHOUX P., BOURNAUD M., USSEGLIO-POLATERA P., 2000. Invertébrés d'eau douce, systématique, biologie, écologie, CNRS Editions, 587p.

VERNAUX J., 1973. Cours d'eau de Franche Comté. Recherche écologique sur le réseau hydrographique du Doubs, Essai de biotypologie Mém. Thèse Doct. d'état, Université de Besançon, 260p.

VERNEAUX J., 1977. Biotypologie de l'écosystème « eau courante ». Les groupements socio-écologiques, C.R Acad. Sc. Paris, t. 284 (21.02.1977), série D, 675-677.

VERNEAUX J., 1982. Une nouvelle méthode pratique d'évaluation de la qualité des eaux courantes. Un indice biologique de la qualité générale (IBG), Ann. Sci-Univ. Fr-Comte, Biol. Anim, 3, 11-22.

VEYSSEYRE A., MOUTARD K., FERRARI C. VAN DE VELDE K, BARBANDE C., COZZI G., CAPODAGLIO G., BOUTRON C., 2001. Heavy metals in fresh snow collected at different altitudes in Chamonix and Maurienne valleys, French Alps : initial results. Atmospheric environment, 35, 415-425.

Sites internet :

www.geo'alp.com

www.meteofrance.fr

www.ifn.fr