

M2 "Qualité des Eaux et des sols, Traitement" Option Systèmes Aquatiques et Bassin Versant



« Le Villaret »
2092, route des Diacquenods
74370 SAINT-MARTIN BELLEVUE
Tel 0450468755
Fax 0450469051
Federation.peche74@wanadoo.fr

Diagnose simplifiée de 5 lacs d'altitude Hauts Savoyards

-Rapport d'étude-

« Ce mémoire est un travail d'étudiant présenté pour obtenir l'unité de valeur « stage long » du master QuEST » : il n'a donc pas été soumis à correction définitive ».



HIBON Laetitia

Jury

Mme EUVRARD Myriam, Directrice de stage option PTD maître de conférence, Université de Franche Comté
Mr BADOT Pierre-Marie Professeur, Directeur de Master, Université de Franche-Comté
Mr DEGIORGI François Co-tuteur de stage, Maître de conférence, Université de Franche-Comté
Mr DECOURCIERE Hervé Co-tuteur de stage, Ingénieur d'étude à Téléos

Maître de stage :

Mr HUCHET Philippe, Fédération de Pêche de Haute-Savoie

Année universitaire 2009-2010

Remerciement

Arrivée au terme de la rédaction de ce mémoire, il m'est agréable d'adresser mes remerciements les plus sincères à tous ceux qui, de près ou de loin m'ont entourée ou encadrée durant ce stage.

Mes remerciements vont tout d'abord à Daniel DIZAR, Président de la Fédération de Haute Savoie pour la Pêche et la protection des Milieux Aquatiques (FDP 74) pour m'avoir accueilli au sein de la structure et mis à disposition tous les moyens nécessaires au bon déroulement de ce stage.

Ma gratitude va également à Philippe HUCHET, chargé de mission à la FDP 74, qui m'a encadrée durant ce stage et qui a été disponible, attentif et présent tout au long de ces 6 mois. Je tiens également à lui témoigner ma reconnaissance pour le temps qu'il a consacré à ses multiples relectures et ses précieuses corrections.

Mes remerciements sont adressés à François DEGIORGI, responsable de la formation du Master 2 "Qualité des Eaux et des Sols, Traitement", co-tuteur universitaire, pour son suivi durant le stage.

Mes sincères remerciements sont également adressés à :

- Guillaume BINI, technicien à la FDP 74 pour sa bonne humeur, mais surtout pour avoir eu le courage de porter un bateau durant nos expéditions en montagne.
- Laure VIGIER, chargée de mission à la FDP 74 pour tous ses bons conseils, sa sympathie et son aide précieuse pour ces interventions sur le terrain.
- Hervé DECOURCIERE, ingénieur d'étude à Téléos et co-tuteur universitaire, pour les corrections qu'il a apportés à mes déterminations.
- Stéphanie AUTRAN, Ludovic CATINAUD, Alain TAIRRAZ mais également Céline CHASSERIEAU pour leur accueil chaleureux et leur bonne humeur qui ont contribué au bon déroulement de ce stage.
- Mathieu GUEBEY ainsi que les bénévoles qui ont eu la gentillesse de nous aider...

Pour finir, j'adresse mes remerciements à mon frère Guillaume pour sa précieuse aide technique en informatique ainsi qu'à Fabien pour son soutien moral...

Merci à tous...

SOMMAIRE

Liste des tableaux
Liste des Figures
Liste des annexes

RESUME

I/ INTRODUCTION.....	1
----------------------	---

II/ Matériel et méthode

II/ 1. Contexte général de l'étude.....	3
II/ 1. 1. Situation géographique et caractéristiques morphologiques.....	3
II/ 1. 2. contexte géologique des bassins versants.....	9
II/ 1. 3. Contexte climatique.....	10
II/ 2. Méthodologie mise en œuvre.....	11
II/ 2. 1. Investigations mises en œuvre à l'échelle du bassin versant.....	12
II/ 2. 2. Cartographie des mosaïques habitationnelles lacustres.....	13
II/ 2. 3. Qualité physico-chimique de l'eau.....	13
II/ 2. 4. Compartiment macrobenthique.....	14
II/ 2. 5. Compartiment piscicole.....	16
II/ 3. Critères d'interprétation.....	16
II/ 3. 1. Calcul du type théorique et peuplements ichtyologiques optimaux.....	16
II/ 3. 2. Evaluation du degré de fonctionnalité.....	18
II/ 4. Connaissances antérieures du fonctionnement des 5 lacs.....	18
II/ 4. 1.. Analyses physicochimiques et sédimentologie.....	18
II/ 4. 2. Biologie lacustre.....	19
II/ 4. 3. Données piscicoles.....	20

III/ Résultats

III/ 1. Caractérisation du bassin versant.....	21
III/ 2. Capacité habitationnelle et métabolisme lacustre.....	22
III/ 2. 1. Caractérisation des mosaïques d'habitat.....	22
III/ 2. 2. Caractéristiques des vecteurs fluviatiles.....	24
III/ 3. Métabolisme physicochimique.....	25
III/ 3. 1. Thermie lacustre.....	25
III/ 3. 2. Physico-chimie de la colonne d'eau.....	26
III/ 3. 3. Evaluation du degré de fonctionnalité.....	33
III/ 3. 4.. Typologie et potentiel théorique.....	33
III/ 3. 5. Physicochimie des vecteurs fluviatiles.....	34

III/ 4. Peuplement macrobenthique	35
III/ 4. 1 Peuplement littoral.....	35
III/ 4. 2. Peuplement des vecteurs fluviatiles.....	38
III/ 5. Analyse du peuplement piscicole.....	43

IV/ Discussion

IV/ 1. Bilan sur le fonctionnement des lacs et éléments d'explication.....	46
IV/ 2. Implication sur la gestion piscicole.....	50

V/ Bilan et perspectives.....	51
--------------------------------------	-----------

BIBLIOGRAPHIE.....	53
---------------------------	-----------

Liste des tableaux

- Tableau II. 1. Principaux descripteurs géographiques et morphologiques (Balvay 1978, Balvay et Blavoux 1981, Jochenbeim 2002, Winiarski 2000).
- Tableau II. 2. Caractéristiques morphométriques des vecteurs fluviaux prélevés.
- Tableau II. 3. Investigations menées sur les 5 lacs
- Tableau II. 4. Typologie préliminaire des peuplements piscicoles des lacs d'altitude (Téléos & ONEMA 2008).
- Tableau II. 5. Abaque de calcul du taux de dysfonctionnement par différence entre l'oxygénation optimale de toute la colonne d'eau (100%) et l'intensité de désoxygénation ou de sursaturation des différentes strates de la masse d'eau (Téléos & ONEMA 2008).
- Tableau II. 6. Dernières années des alevinages effectués sur chacun des lacs
- Tableau III. 1. Caractéristiques morphologiques et habitationnelles des 5 lacs
- Tableau III. 2. Principaux descripteurs thermiques observés sur les 5 lacs
- Tableau III. 3. Taux de dysfonctionnement évalué sur chacun des lacs.
- Tableau III. 4. Descripteurs physiques et physicochimiques et prédiction des types théoriques
- Tableau III. 5. Température (°C), pH et conductivité ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) observés dans les vecteurs fluviaux permanents des lacs
- Tableau III. 6. Répertoire faunistique établi pour l'IBL littoral des 5 lacs
- Tableau III. 7. Pourcentage de représentativité des 5 taxons communs (Chironomini, Tanytarsini, Orthocladiinae, Tanyptodinae et oligochètes) aux zones littorales des 5 lacs
- Tableau III. 8. Répertoire faunistique établi pour les MAG12 des vecteurs fluviaux des lacs
- Tableau III. 9. Caractéristiques des peuplements macrobenthiques de l'ensemble des stations

Liste des figures

- Figure I. 1. Echancier du programme de suivi de la gestion piscicole des lacs de montagne (Huchet 2009)
- Figure II. 1. Localisation géographique des 5 lacs étudiés
- Figure II. 2. Bassin versant et topographie générale des lacs d'Anterne et Jovet
- Figure II. 3. Bassins versant et topographie générale des lacs des lacs de Pormenaz, Cornu et Brévent
- Figure II. 4. Profil en long du Torrent du Cornu a), du Ravin du Brévent b), de l'affluent et de l'émissaire du lac de Pormenaz c), ainsi que du Bont Nant d).
- Figure II. 5. Géologie des bassins versants des 5 lacs
- Figure II. 6. Températures moyennes observées a), sur la commune de Saint Gervais du 01/01/1995 au 30/06/2010 (altitude 1833 m) b) sur la commune de Chamonix Mont Blanc du 01/01/1998 au 30/06/2010 (altitude 2330 m, données Météo France)
- Figure II. 7 Précipitations moyennes observées sur la commune de Chamonix Mont Blanc du 01/01/1995 au 01/06/2010 (Altitude 1092m, données Météo France)
- Figure II. 8. Illustration de l'approche par « échelle emboîtée », avec l'exemple du lac d'Anterne.
- Figure II. 9. Régression linéaire entre le type ichtyologique, déterminé à partir de la composition semi-quantitative du peuplement piscicole observé et le type théorique calculé à partir de la température maximale de la couche d'eau superficielle, de la conductivité et de l'importance relative de la zone littorale (Téléos & ONEMA 2008).
- Figure III. 1. Bathymétrie et cartographie habitationnelle des lacs Jovet et Cornu
- Figure III. 2. Bathymétrie et cartographie habitationnelle des lacs d'Anterne Brévent et Pormenaz
- Figure III. 3. Variation de la température, du pH, de la conductivité, de l'oxygène dissous et de la saturation en oxygène pour les 5 lacs
- Figure III. 4. Concentrations des différentes formes d'azote et orthophosphates observées sur la colonne d'eau des 5 lacs
- Figure III. 5. Concentrations en calcium et magnésium observées sur la colonne d'eau
- Figure III. 6. Concentrations des différentes formes d'azote, d'orthophosphates (données graphiques) et de cations calcium et magnésium (tableau) observés dans les vecteurs fluviaux permanents des lacs.

- Figure III. 7. Densité et variété générique du macrobenthos échantillonné en zone littorale
- Figure III. 8. Densité relative des oligochètes et des diptères pour les 5 lacs étudiés
- Figure III. 9. Représentativité des substrats présents sur chaque vecteur fluvial
- Figure III. 10. Distribution des classes de taille de la truite arc en ciel, la truite fario, l'omble chevalier et le cristivomer pêchés dans le Bon Nant.
- IV. 1. Comparaison des densités littorales de benthos et de la combinaison du type théorique, du degré de dysfonctionnement ainsi que de la diversité des substrats

Listes des annexes

- Annexe 1 : Géologie des bassins versants des 5 lacs
- Annexe 2 : Schéma directif de description de l'espace lacustre
- Annexe 3 : Bilans sur les alevinages effectués entre 1990 et 2009 sur les lacs de montagne du Faucigny
- Annexe 4 : Bathymétrie et cartographie des mosaïques habitationnelles lacustres
- Annexe 5 : Variation thermiques au cours de la période estivale des eaux des 5 lacs étudiés
- Annexe 6 : Listes faunistiques des IBL littoraux
- Annexe 7 : Listes faunistiques des prélèvements MAG 12
- Annexe 8 : Grilles de prélèvement des MAG 12

RESUME

Cinq lacs de montagne du Faucigny (Haute-Savoie, France) ont fait l'objet d'une diagnose simplifiée, visant à établir pour chacun d'eux un premier bilan en terme de fonctionnement, et à orienter leur gestion piscicole sur la base des résultats obtenus. Pour ce faire, une approche typologique permettra de sélectionner les peuplements piscicoles théoriques les mieux adaptés aux conditions intrinsèques des lacs. Ces peuplements idéaux seront ensuite ajustés à l'issue d'une confrontation avec l'état fonctionnel réel de chaque lac.

L'étude, menée sur le schéma des échelles emboîtées, a consisté en un bilan sur les caractéristiques mésologiques, habitationnelles et macrobenthiques des plans d'eau, ainsi qu'en un bilan mésologique, piscicole et macrobenthique de leurs vecteurs fluviatiles permanents. L'analyse des différents résultats obtenus, ainsi que leur confrontation avec la nature des bassins versants et les usages en cours a permis de mettre en évidence une situation contrastée d'un lac à l'autre.

Deux des lacs étudiés, le Jovet et le Cornu, semblent exempts de perturbation majeure et présentent un fonctionnement apparemment optimal. Deux autres lacs, Anterne et Pormenaz, semblent souffrir d'un léger déséquilibre trophique induisant notamment une désoxygénation de leur zone profonde. Cette tendance à l'eutrophisation semble récente, et demandera à être confirmée par des investigations complémentaires. Le dernier lac, le Brévent présente quant à lui une dégradation trophique très avancée, déjà mise en évidence par le passé.

Le facteur commun aux trois plans d'eau souffrant de perturbations trophiques semble être la fréquentation de leurs bassins versants par les ovins en période d'estive. Les surcharges nutritives provoquées par leurs déjections semblent être plus ou moins bien supportées par les lacs en fonction notamment des caractéristiques topographiques et pédologiques de leurs bassins versants, ce qui explique les différents degrés de dégradation constatés. Ces dysfonctionnements se répercutent à différents degrés sur la faune macrobenthique et piscicole, et devront être pris en compte dans le cadre d'une gestion piscicole rationnelle de ces milieux.

Au terme de l'étude, une proposition de gestion différenciée a été faite pour chacun des lacs, ainsi qu'un bilan des investigations nécessaires à mener ultérieurement en complément de cette diagnose simplifiée, afin d'affiner les diagnostics réalisés et de circonscrire efficacement les sources de perturbations affectant certains lacs.

Mots clés : lacs de montagne, échelles emboîtées, diagnose simplifiée, typologie, gestion piscicole, trophie, eutrophisation.

ABSTRACT

A simplified diagnosis has been done on five mountain lakes in Faucigny (Haute-Savoie, France) in order to determine in each case a first statement of accounts in terms of operation, and to guide the fish management in these lakes, based on these results.

Thus, a typologic approach will permit to select theoric fish populations best adapted to inner conditions of lakes. Those ideal populations will then be adjusted after a confrontation to each lake's real operating state.

The study, following the pattern of "nested scales", consisted of an assessment of mesological, habitational and macrobenthic characteristics in the lakes, and in a mesological, macrobenthic and fish assessment of their permanent vector streams.

Analysis of different results, and their confrontation with the nature of watersheds and current uses, permit to show a contrasted situation between different lakes.

Two of those studied lakes, Jovet and Cornu, don't seem to have major perturbations and show apparently an optimal operating. Two other lakes, Anterne and Pormenaz, seem to suffer from a light trophic unbalance, causing a deoxygenation in their deep zone. This eutrophic tendency seems recent, and will have to be confirmed by complementary investigations. Last lake, Brévent, shows a very advanced trophic degradation, already demonstrated in the past.

The common factor of these three lakes suffering of trophic perturbations seems to be sheep attendance, in estival periods. Nutrient overload caused by their excreta seems to be more or less well supported by lakes, knowing the topographic and pedologic characteristics of their watersheds, hence the different degradation degrees found. Those dysfunctions affect, on different degrees, on macrobenthic and fish fauna, and will have to be considered in a rational fish management of those natural environments.

At study's term, a differential management proposition has been done for each lake, and a statement of accounts of further necessary investigations, to complete this simplified diagnosis, in order to refine the diagnoses and effectively identify the sources of interference affecting certain lakes.

Keywords: Mountain lakes, nested scales, simplified diagnosis, typology, fish management, trophy, eutrophication.

I/ INTRODUCTION

Les lacs de montagne, écosystèmes « ressources » d'un point de vue écologique, possèdent des particularités biologiques et un fonctionnement spécifique qui leur confèrent un intérêt remarquable. Leurs caractéristiques mésologiques particulières comme la prise en glace des eaux de surface ainsi qu'une couverture neigeuse plusieurs mois par an (Martinot et Rivet 1985, Rivier 1996), les faibles températures ou encore la pauvreté en éléments nutritifs conditionnent l'installation d'une biocénose spécialisée. En effet, les communautés d'organisme doivent faire face aux conditions de vie extrêmes. Il s'avère donc que la variété taxonomique et la densité des individus sont restreintes et la structure des réseaux trophiques est souvent simple (Rivier 1996). De plus, Les communautés sont souvent spécialisées et des phénomènes d'endémismes peuvent même être observés (Delacoste et al 1997).

Ces milieux ont également la particularité d'être originaires à piscicole pour la majorité. Les poissons proviennent généralement de l'alevinage pratiqué dans le but d'améliorer les possibilités de pêche, mais également d'introductions involontaires provenant de la pêche au vif.

Le suivi de l'état écologique des lacs de montagne donne l'opportunité de mettre en évidence d'une part, des perturbations à une échelle globale au vu de leur statut de système les mieux préservés des perturbations anthropiques locales, et d'autre part, d'établir des fondements rationnels axés sur un système de gestion piscicole cohérent, mettant en valeur ces milieux.

Dans l'optique de répondre aux attentes de cette dernière, la Fédération Départementale pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique de Haute Savoie a mis en place un suivi scientifique sur les 10 lacs de montagne (> 1500m), permettant ainsi d'affiner, voir souvent d'acquérir des connaissances sur le fonctionnement de ces lacs d'altitude. Le projet de suivi de gestion se déroule sur 5 ans comme décrit dans la figure 1 et un bilan sera dressé au terme de ces 5 années de suivi et aura pour objectif l'optimisation de la gestion de ces milieux.

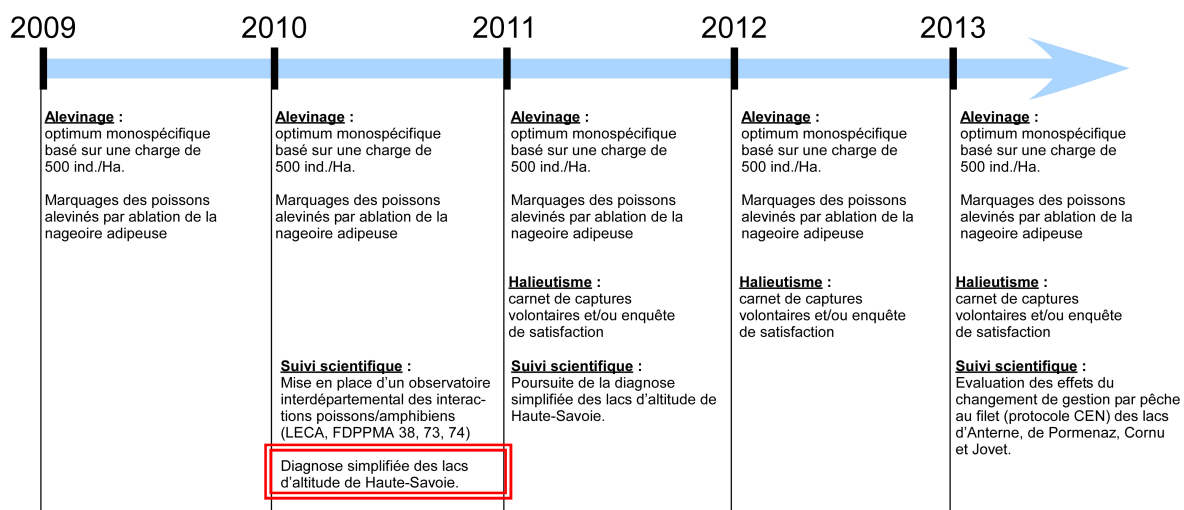


Figure I. 1 : Echancier du programme de suivi de la gestion piscicole des lacs de montagne (Huchet 2009)

Dans ce contexte, une diagnose simplifiée des lacs d'altitude est réalisée en 2010 et 2011, à raison de 5 lacs par an, et vise à obtenir des connaissances sur le fonctionnement trophique de ces systèmes. Concernant la présente étude, la diagnose sera effectuée sur 5 lacs de montagne situés en réserves naturelles, les lacs d'Anterne, Brévent, Cornu, Jovet et Pormenaz. Les lacs

d'Anterne et Pormenaz ont déjà fait l'objet d'un échantillonnage piscicole (Huchet 2009), et des données physico-chimiques sont également disponibles puis 1984 (Chacornac 1986, Sesiano 1986, Winiarski 2000, Lazzarotto 2007).

A terme, le suivi scientifique réalisé en 2010 permettra de proposer aux associations de pêche des plans de gestion halieutiques basée sur des connaissances rationnelles ainsi que de mettre en évidence l'impact de l'alevinage sur la faune de ces lacs.

A ce titre, en parallèle de la diagnose simplifiée de ces 5 lacs de montagne est effectuée un diagnostic des populations d'amphibiens présentes sur les bassins versant et de la mise en évidence les éventuelles interactions poissons amphibiens effectué par le Laboratoire d'Ecologie Alpine de Chambéry en partenariat avec les fédérations de pêche d'Isère, de Savoie et de Haute Savoie.

II/ Matériel et méthode

II/ 1. Contexte général de l'étude

II/ 1. 1. Situation géographique et caractéristiques morphologiques

La présente étude porte sur 5 lacs de montagne, les lacs d'Anterne, Brévent, Cornu, Jovet et Pormenaz, situés en réserves naturelles à la périphérie sud est du département de la Haute-Savoie sur le massif montagneux des Alpes (Fig. II.1). Avec une altitude comprise entre 1945 et 2275 m, ces lacs sont situés entre l'étage subalpin supérieur et l'étage alpin inférieur, caractérisés par la présence de végétation essentiellement composées de landes avec strates arbustives et pelouses pour les altitudes les plus faibles, et ce jusqu'aux zones supérieures à la limite des arbres où seul les alpages subsistent (pelouses alpines et landines).

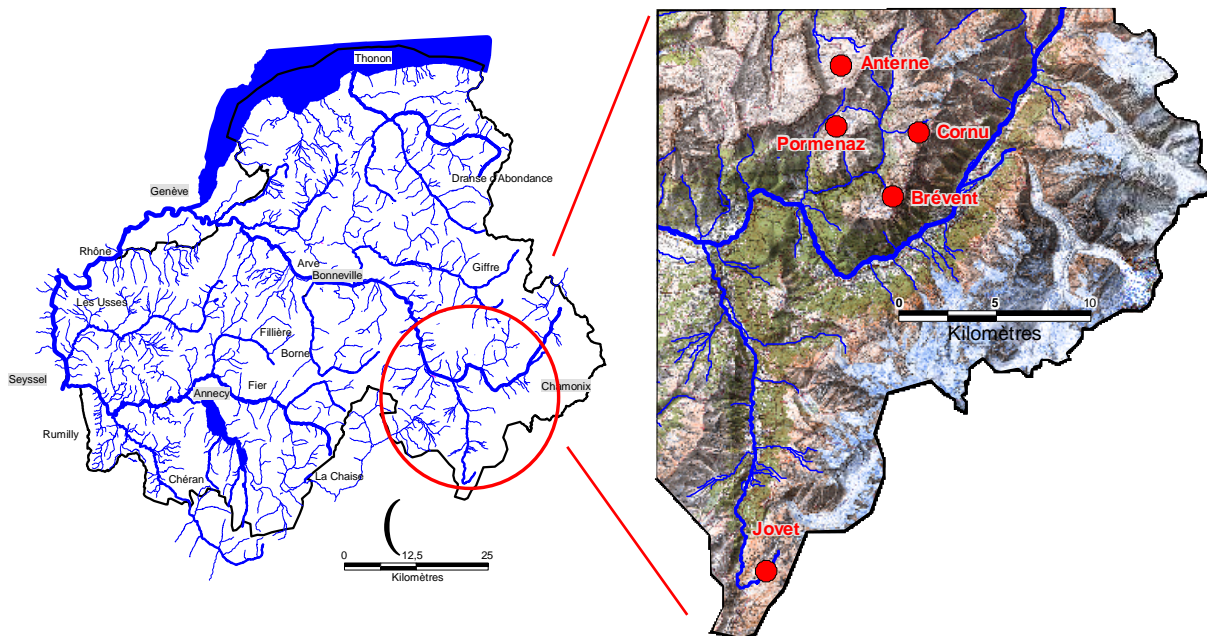


Figure II. 1: Localisation géographique des 5 lacs étudiés

Ces lacs d'origine glaciaire sont situés sur 3 massifs différents (Tab. II. 1.). Les lacs de Brévent et Cornu sont situés sur le massif cristallin des Aiguilles Rouges. Il est séparé du massif du Mont Blanc par la haute vallée de l'Arve (vallée de Chamonix) d'un côté, et du massif du Giffre par la vallée de Diosaz de l'autre. La superficie moyenne du massif est de 380 km² pour une altitude maximale de 2965 m (au niveau de l'Aiguille du Belvédère). Les couches triasiques de la base de la couverture sédimentaire des Aiguilles Rouges sont recouvertes par une couche de plusieurs mètres de sol calcaire datant du Jurassique supérieur voir même du Crétacé supérieur.

Les lacs d'Anterne et Pormenaz s'étendent sur le massif calcaire et cristallin d'Arve-Giffre qui est composé du chaînon des dents du midi, des massifs du Haut Giffre, de Sixt et du Faucigny. Le lac de Jovet quant à lui, est situé sur le massif du Mont Blanc. Avec une superficie de 400 km², ce massif s'étend sur 3 pays dont la France, en grande partie sur le département de Haute-Savoie mais aussi en Savoie, sur la vallée d'Aoste Italienne et sur le canton du Valais Suisse. Il culmine au niveau du sommet du Mont Blanc à 4810 m. Il est également cristallin, essentiellement granitique avec quelques affleurements de Gneiss (geol-alp.com).

DESCRIPTEURS	Unités	Anterne	Pormenaz	Brévent	Cornu	Jovet
Situation		Arve-Giffre		Aiguilles Rouges		Mont Blanc
Massif						
Commune		Sixt Fer-à-Cheval	Passy	Chamonix Mont Blanc		C. Montjoie
Réserve naturelle		Sixt Passy	Passy	Aiguilles Rouges		C. Montjoie
Zone hydrographique		Le Giffre des FondsLe Souay.....			L'Arve du Souay (Bon Nant inclus)
Coordonnées géographiques	X					
Emissaires	Y	945 060	945 222	947 990	949 400	941 550
		2 120 050	2 116 743	2 113 240	2 116 330	2 093 560
Bassin versant						
Superficie	ha	278	56	21	66	333
Altitude maximale	m	2733 (Pointe d'Anterne)	2323 (Pointe Noire de Pormenaz)	2525	2628	3196 (Mont Tondu)
Orientation		NE-SE	SE-NO	NE-SO	NE-SO	NE-SO
Périmètre	m	1892	2999	2875	3600	7535
Pente moyenne	%	43	47	55	43	64
Géologie dominante		Calcaire	Schiste & Grès	Métam	Métam.	Métam.
Occupation du sol		Pelouse alpine (+ surfaces minérales et névés)	Pelouse alpine (+pierriers et barres rocheuses + tourbières)	Pelouses : <i>Carex curvula</i> <i>Juncus trifidus</i> Mixte à <i>festuca halleri</i> et <i>Carex sempervirens</i>	Roches affleurantes nus (végétation herbacées à proximité du lac)	Nardaie, Landine, pelouse alpine sur moraine, <i>Circium spinosissimum</i>
Lac						
Altitude	m	2060	1945	2127	2275	2173
Superficie	ha	11.6	4.6	2.95	5.3	7.5
Profondeur maximal	m	13.2	9.5	20.4	19.9	8.5
Volume	m³	760000	168000	247100	550000	293000
Trophie		Oligo.	Oligo.	Oligo.	Oligo	Oligo.
Hydrologie						
Afférences		5 petits torrents	4 petits torrents	4 petits torrents et diffus	1 petit torrent et névés	Affluents + arrivée sous lacustre
Exutoires		Perte	1 torrent	Ravin du Brévent (1 torrent)	1 torrent Bon Nant	Infiltration
Particularités				Marnage <5 cm	manage 50 cm	

Tableau II. 1. Principaux descripteurs géographiques et morphologiques (Balvay 1978, Balvay et Blavoux 1981, Jochenbeim 2002, Winiarski 2000).

Les lacs se situent dans la même gamme altitudinale, cependant leurs superficies et leurs profondeurs sont très variables d'un système à l'autre. En effet, le lac Brévent s'étend sur presque 3 ha pour une profondeur maximale de 20,4 m. Le creux important traduit le caractère abrupt de la pente littorale. Il est alimenté majoritairement par 4 petits torrents temporaires mais également par ruissellement diffus. Le tributaire principal n'alimente le lac que de juin à fin juillet (Chacornac 1985). Avec une superficie de 5,3 ha pour une profondeur maximale de 22 m la cuvette lacustre du lac Cornu présente les mêmes caractéristiques morphologiques que le lac Brévent. Il est principalement alimenté par l'eau de fonte des neiges et des névés plus ou moins persistants selon les conditions météorologiques (Balvay 1978). En revanche, les lacs de Pormenaz et Jovet s'étendent sur respectivement 4,6 et 7,5 ha pour des profondeurs de 9,5 et 8,5 m. L'alimentation du lac de Pormenaz provient essentiellement du ruissellement des eaux de pluie. Il existe également quelques petits tributaires alimentés par la fonte des névés (Winiarski 2000) ainsi que par les nombreuses zones humides présentes sur le bassin versant. Les principaux apports d'eau observés sur le lac Jovet proviennent majoritairement d'une arrivée sous lacustre, cependant, il existe également quelques rares petits affluents de surface (Balvay et Blavoux 1981). L'eau est évacuée par un torrent, le Bon Nant, mesurant dès l'exutoire plus de 3m. Enfin, le lac d'Anterne est le plus grand avec une superficie de 11,6 ha et une profondeur de 13,2 m. Il est alimenté par 5 petits torrents et l'exutoire est caractérisé par une perte dont la résurgence est observée plusieurs centaines de mètres en aval.

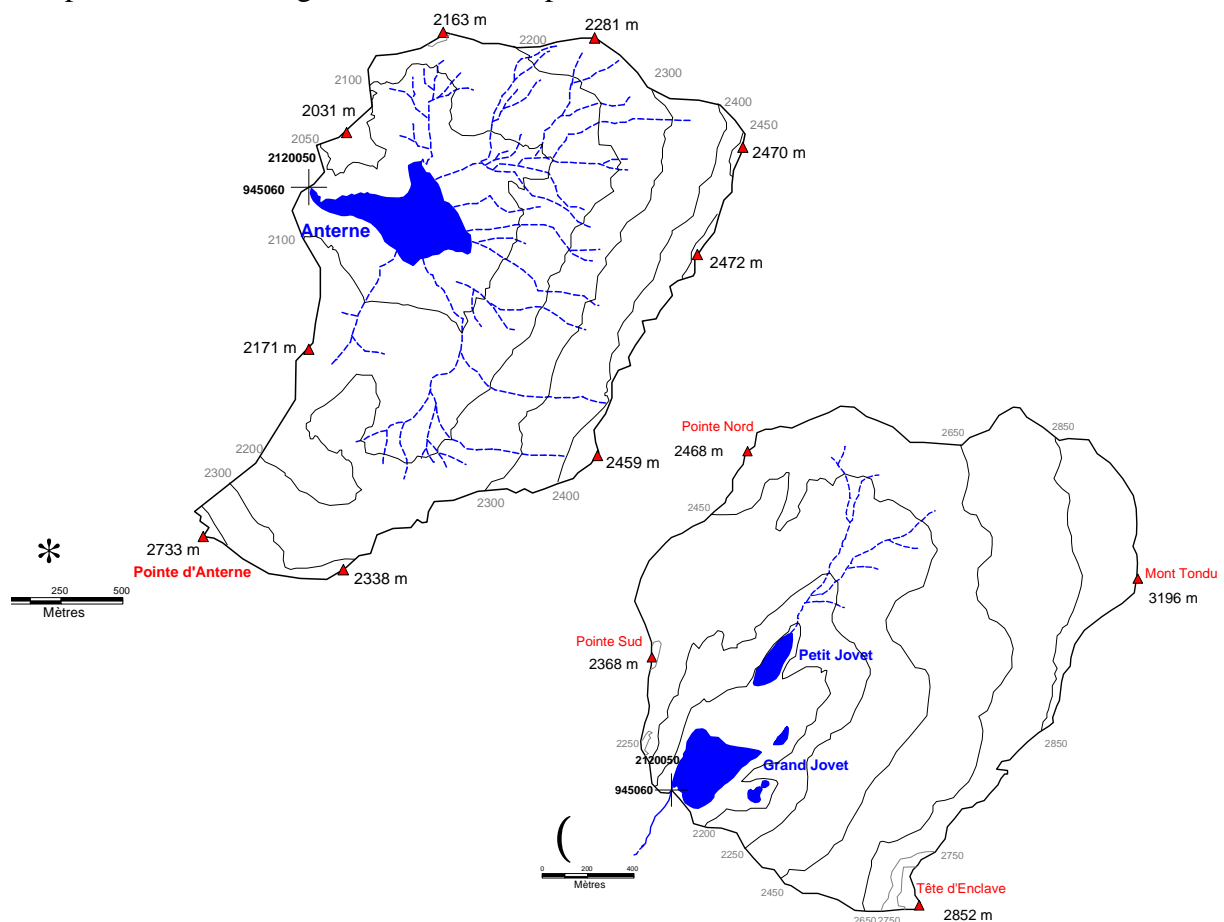


Figure II. 2. Bassin versant et topographie générale des lacs d'Anterne et Jovet

Avec une superficie de 333 ha, le bassin versant du lac Jovet est le plus étendu des lacs étudiés. Avec un point culminant à 3196 m au niveau du Mont Tondu, c'est également le plus encaissé avec une pente moyenne de 64% (Tab. II.1.). Cette notion nous informe sur le temps de

transfert de l'eau au sein du bassin versant ainsi que sur les débits potentiels des vecteurs fluviatiles.

Le bassin versant du lac d'Anterne, avec une superficie de 278 ha est caractérisé par une pente de 43% et apparaît donc relativement peu encaissé. Son point culminant se situe à 2733 m au niveau de la Pointe d'Anterne (Tab II.1., Fig. II.2.).

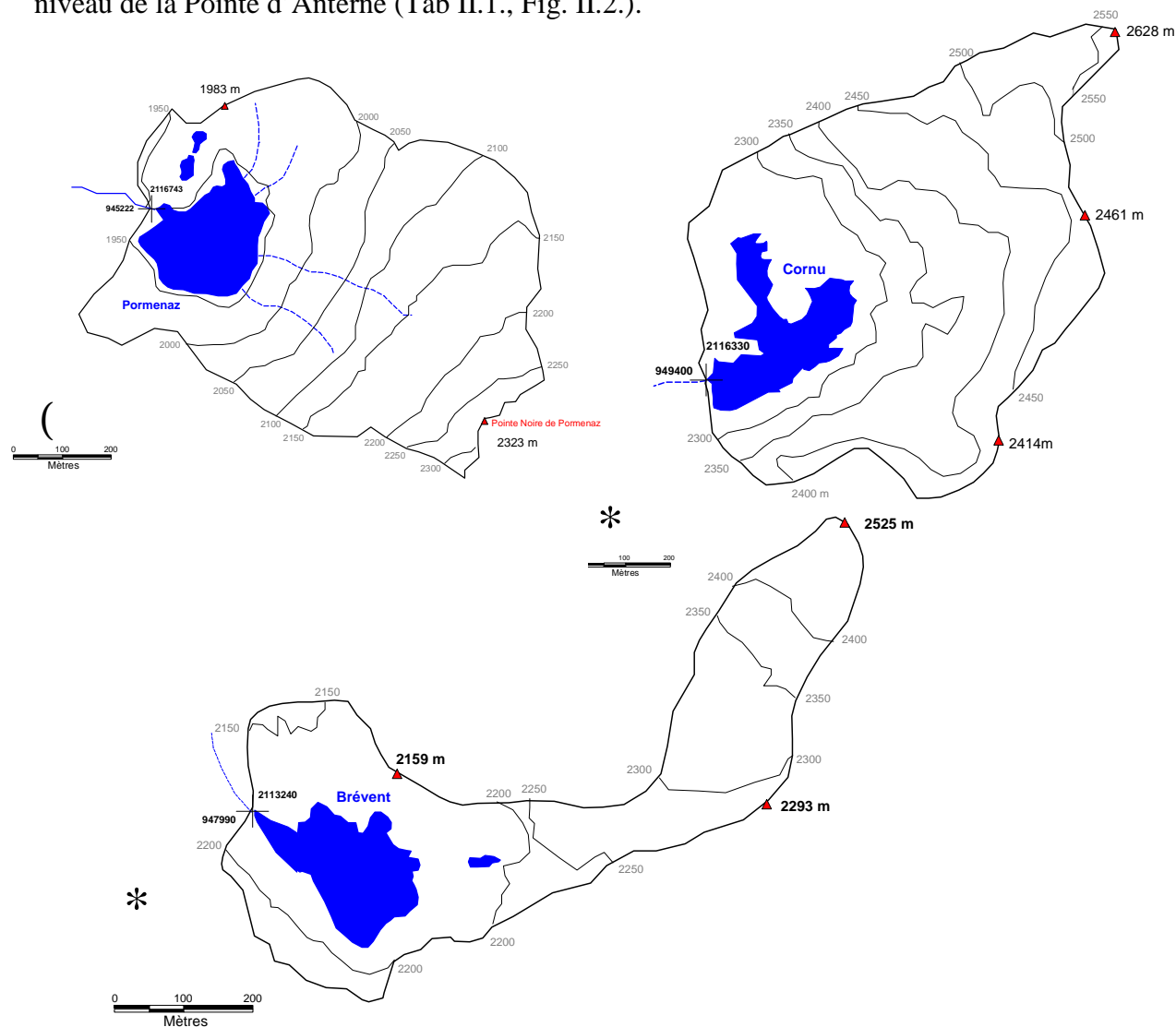


Figure II. 3. Bassins versant et topographie générale des lacs de Pormenaz, Cornu et Brévent

Les bassins versants des lacs de Brévent, Cornu et Pormenaz ont des superficies beaucoup plus modestes que celles des lacs précédents (Tab II.1).

Le lac Brévent, avec un bassin versant d'une superficie de 21 ha et une pente moyenne de 55% apparaît petit au regard des autres lacs, mais cependant fortement encaissé. Le point culminant est observé à 2525m.

Le bassin versant du lac de Cornu quant à lui culmine à 2668 m, s'étend sur 66 ha et présente une pente moyenne de 43%.

Pour terminer, le bassin versant du lac de Pormenaz, dont le point culminant se situe à 2323 m au niveau de la Pointe Noire de Pormenaz, s'étend du 56 ha et présente une pente moyenne de 47%.

Concernant les vecteurs fluviaux, seront retenus pour effectuer des mesures et prélèvements (macrofaune benthique couplée à des pêches électriques et analyses de physicochimie), les exutoires et les affluents permanents et prélevables. L'exutoire du lac Jovet fera l'objet d'une étude complète. De plus, ce lac possède un petit affluent permanent dont la taille n'est pas suffisante pour étudier la faune macrobenthique, mais il fera cependant l'objet d'une campagne de physicochimie. 2 affluents permanents du lac d'Anterne seront étudiés. Les lacs Cornu et Brévent, ne présentant pas d'affluent notable, ne seront étudiés que sur les exutoires. Enfin concernant le lac de Pormenaz, l'affluent principal ainsi que l'exutoire seront étudiés de manière complète. De plus, un second affluent, d'une taille beaucoup plus modeste, fera l'objet d'une campagne de physicochimie.

	Brévent	Cornu	Jovet	Pormenaz	
	<i>Ravin du Brévent</i>	<i>Torrent du lac Cornu</i>	<i>Bon Nant</i>	<i>Afférence</i>	<i>Exutoire</i>
Longueur km	1.48	2.29	24.12	0.34	0.68
Alt. Source m	2127	2275	2290	2150	1945
Alt. Aval m	1343	1482	565	1945	1700
Pente moy. ‰	523	447	70	624	411

Tableau II. 2. Caractéristiques morphométriques des vecteurs fluviaux prélevés.

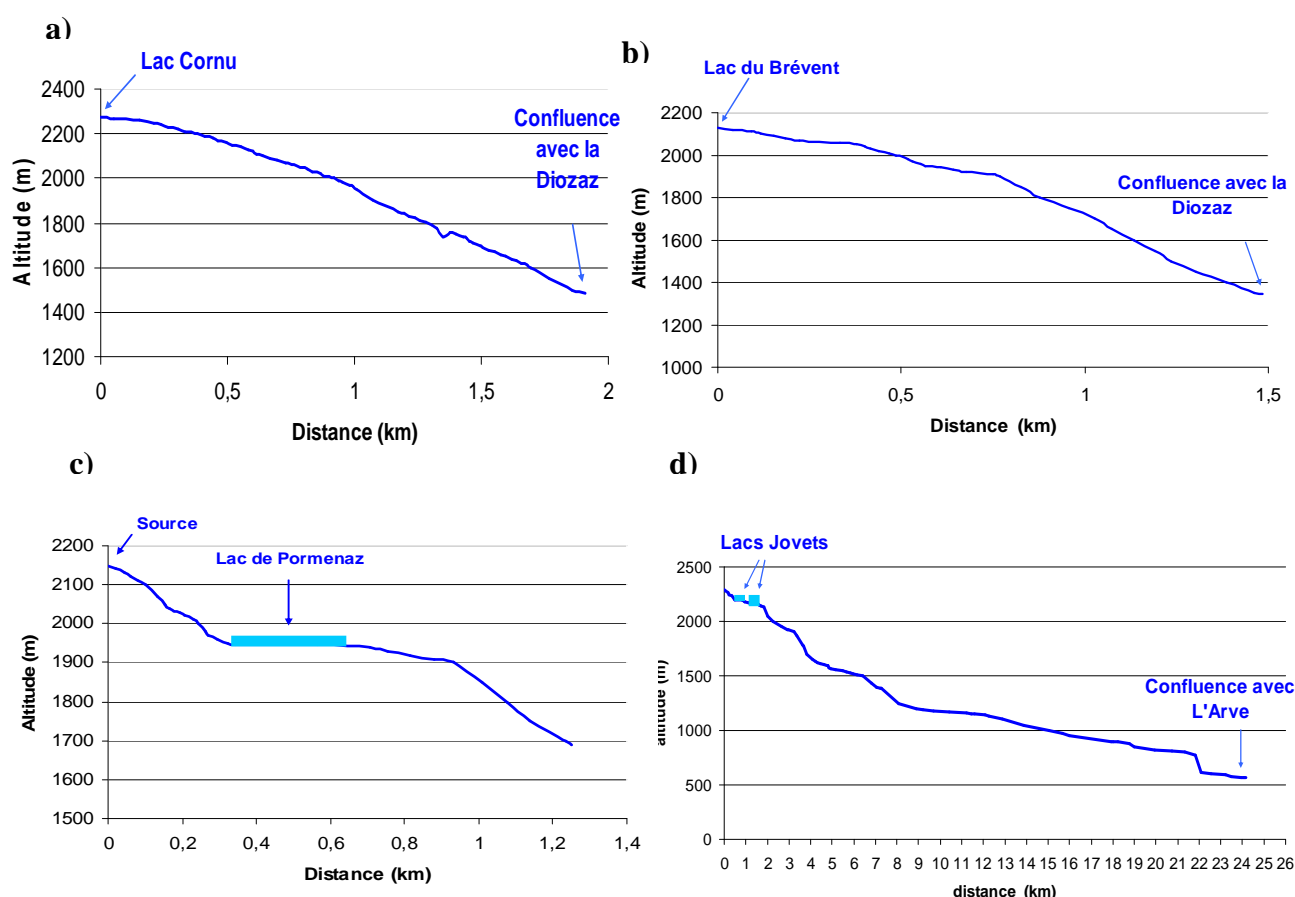


Figure II. 4. Profil en long du Torrent du Cornu a), du Ravin du Brévent b), de l'affluent et de l'émissaire du lac de Pormenaz c), ainsi que du Bont Nant d).

Les cours d'eau étudiés sont des milieux torrentiels alpins caractérisés par une pente très marquée.

Le Torrent du Cornu présente une pente relativement élevée (447‰) mais qui est très variable dans l'espace. Sur les 40 premiers mètres, secteur dans lequel les prélèvements ont été effectués, la pente moyenne est de 142 ‰.

Avec une pente moyenne de 523‰, le Ravin du Brévent est caractérisé par une forte pente. Cependant, la station d'étude, localisée à l'aval direct du lac se trouve dans un secteur présentant une pente un peu moins prononcée. En effet, les 70 premiers mètres sont caractérisés par une pente moyenne de 244 ‰.

L'affluent du lac de Pormenaz est extrêmement court (340 m) avec une pente très prononcée (624 ‰) mais qui a toutefois tendance à s'atténuer les 25 derniers mètres avec une pente moyenne de 352‰.

Concernant l'effluent du lac de Pormenaz, une nette rupture de pente est observée 300 m à l'aval du lac. La pente est de 149‰ les 300 premiers mètres et s'accroît nettement jusqu'à l'aval du cours d'eau avec une pente de 674‰.

Pour terminer, le Bon Nant a la particularité d'être nettement plus long que les autres (plus de 24 km) justifiant ainsi une pente moyenne aussi faible (70‰). Cependant, les 250 premiers mètres sont marqués par une pente plus importante de 182‰.

II/ 1. 2. contexte géologique des bassins versants

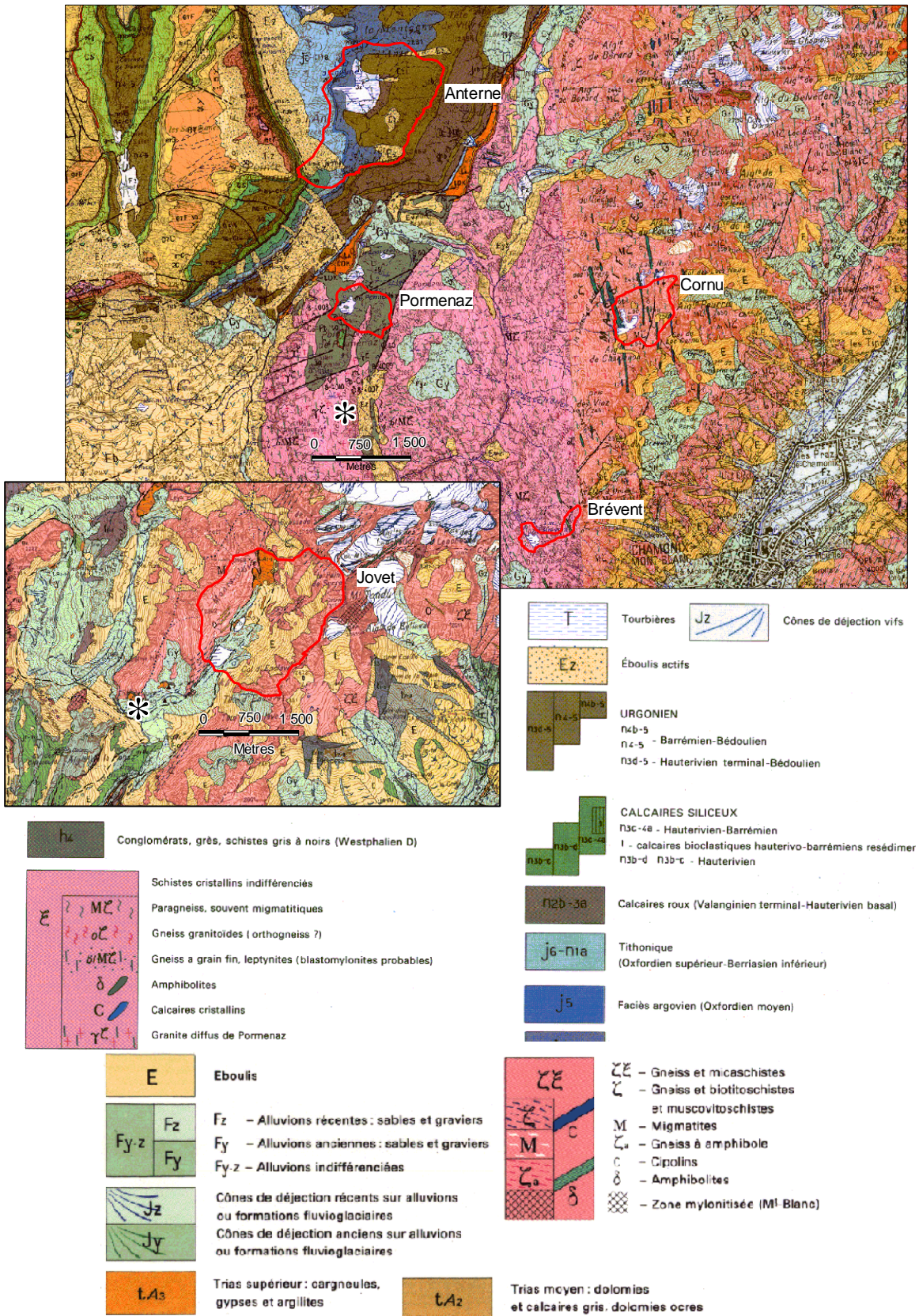


Figure II. 5. Géologie des bassins versants des 5 lacs

D'un point de vue géologique, les bassins versant des lacs Brévent et Cornu se trouvent essentiellement sur des substratums cristallins formés de différents types de gneiss. Le lac Brévent se situe sur un ombilic du plancher d'un cirque glaciaire d'origine Würmienne (Vincent 1976, in Charconac 1985). La lithogénèse se traduit par l'observation de paragneiss sur la majorité du bassin versant avec quelques filons d'amphibolite. Le bassin versant du lac Cornu possède également un substratum dominé par les paragneiss qui représente 76% du bassin versant (An. 1) avec de nombreuses veines d'amphibolite, le tout disposé en bande parallèle très redressées, dont l'orientation est généralement nord-sud recoupé par des cassures (Bellière 1958 in Balvay 1978). La présence d'éboulis disposés en tâche est également notée sur une faible superficie (7% de la surface totale).

Le lac Jovet se trouve également sur un socle cristallin constitué essentiellement de migmatites riches en quartz et en feldspath (Balvay et Blavoux 1981) avec une unité charriée de cargneule triasique. Il se trouve dans une zone déprimée du cristallin ancien.

Le bassin versant du lac de Pormenaz est situé sur un socle antéalpin constitué d'un ensemble d'éléments cristallins avec sur sa base des conglomérats, des grès et des schistes houillers ainsi que des dolomites, des cargneules et des gypses du trias (Winiarski 2000). La roche cristalline de ces quatre bassins versants confère aux eaux une faible minéralisation.

Enfin le bassin versant du lac d'Anterne possède une formation karstique avec une lithologie calcaire et schistocalcaire le démarquant des autres lacs car la roche calcaire soluble provoque un niveau élevé de nutriment et augmente le niveau de production primaire et secondaire (Füreder et al. 2006).

II/ 1. 3. Contexte climatique

De manière générale, le climat montagnard Haut savoyard est soumis aux influences océaniques caractérisé par une pluviométrie relativement importante, continentales avec une importante amplitude thermique annuelle et méditerranéennes. Cependant, l'observation d'étonnants effets climatiques est importante au niveau du département étant donné le relief très escarpé et les multiples lacs alpins (Debray 1991).

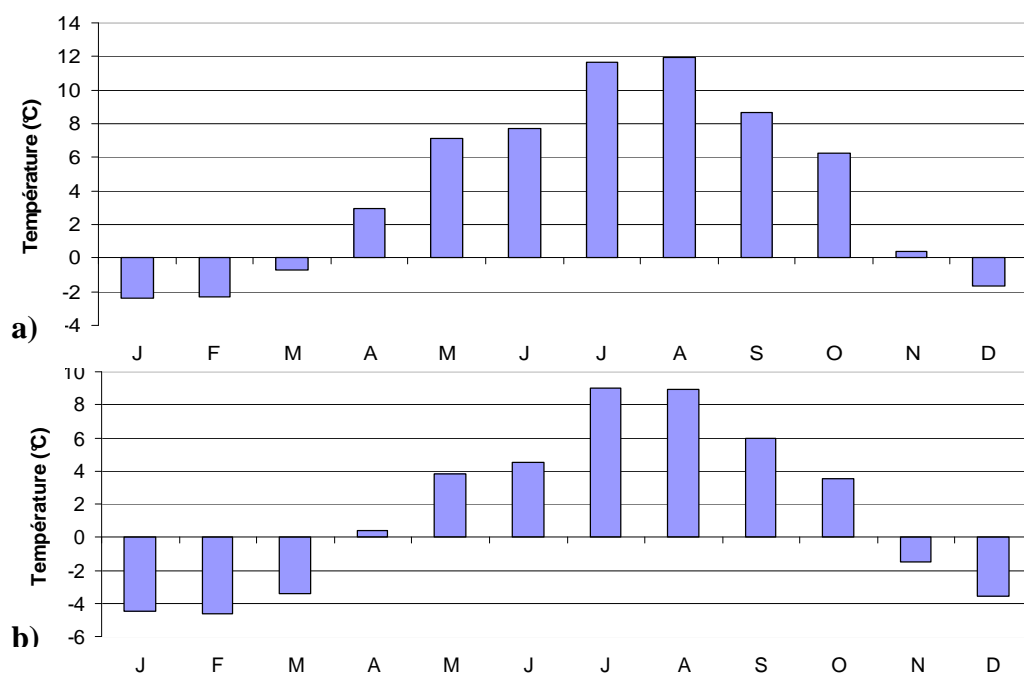


Figure II. 6. Températures moyennes observées a), sur la commune de Saint Gervais du 01/01/1995 au 30/06/2010 (altitude 1833 m) b) sur la commune de Chamonix Mont Blanc du 01/01/1998 au 30/06/2010 (altitude 2330 m, données Météo France)

Les relevés pluviométriques et thermométriques proviennent de stations météorologiques situées au plus près des lacs étudiés. Les températures annuelles restent froides et ne dépassent pas les 10°C sur la commune de Chamonix et les 12°C sur la commune de Saint Gervais, avec des valeurs négatives 5 mois de l'année. Les précipitations atteignent environ 1350 mm d'eau par an, dont 41% sous forme de neige. De plus, à de telles altitudes, les précipitations ponctuelles sous forme de neige sont observées tous les mois de l'année.

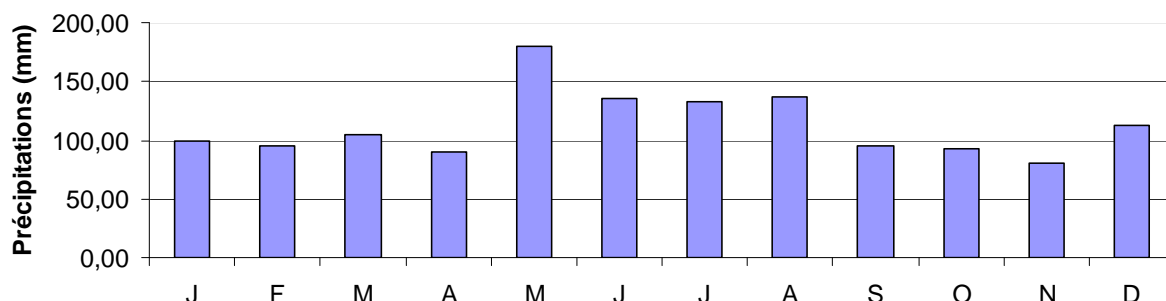


Figure II. 7 Précipitations moyennes observées sur la commune de Chamonix Mont Blanc du 01/01/1995 au 01/06/2010 (Altitude 1092m, données Météo France)

II/ 2. Méthodologie mise en oeuvre

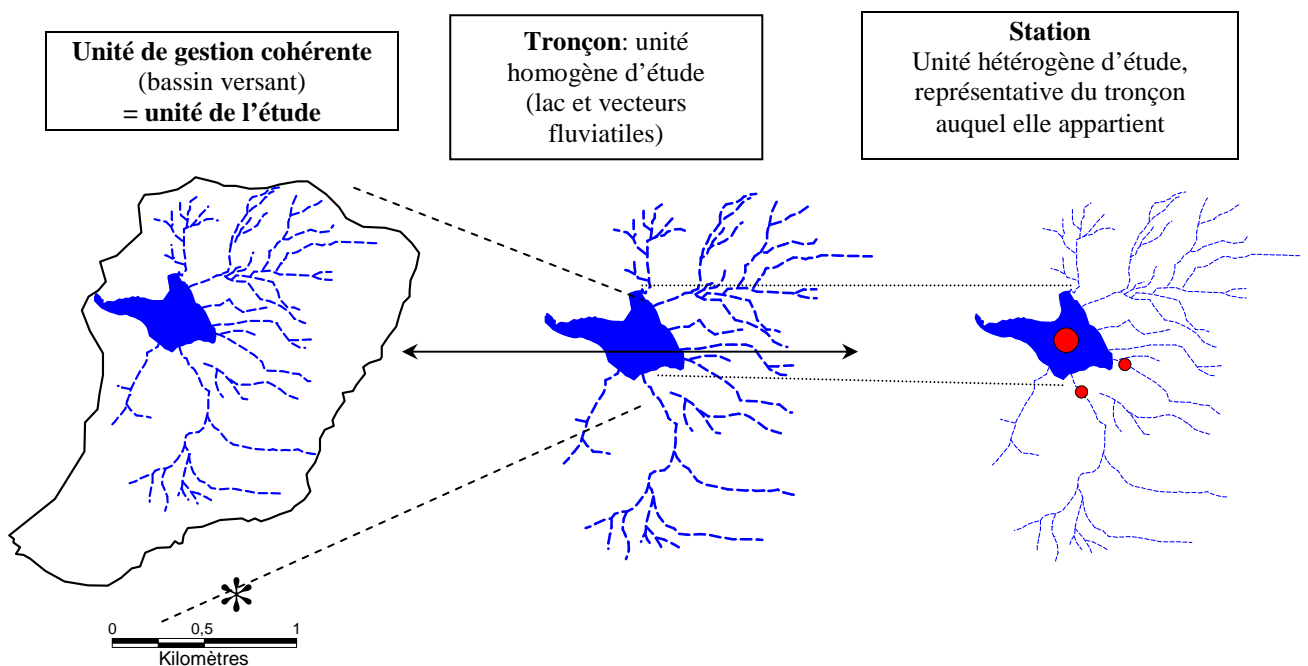
Le diagnostic de chaque entité est effectué selon le principe des « échelles emboîtées », allant d'une analyse à l'échelle globale représentée par le bassin versant jusqu'à une échelle plus fine, la station. Chaque vecteur fluvial et chaque lac représentent un tronçon et une unique station est placée par tronçon. Le lac est alors également considéré comme une station.

Ce principe permet d'appréhender, dans le même regard, l'ensemble du bassin versant et chaque détail figuré du lac et de ces vecteurs fluviaux. En effet, les variables biologiques d'un point peuvent être mises en relation avec des descripteurs du paysage alentour. La géologie ou encore le mode d'occupation du sol du bassin versant par exemple, ont une influence sur le ruissellement et la minéralisation des eaux et donc sur l'état écologique, c'est à dire la structure et le fonctionnement du système lacustre.

	Anterne	Brévent	Cornu	Jovet	Pormenaz
Cartographie du BV					
Occupation du sol	-	-	-	-	-
Géoréférencement des ZH	LECA	LECA	LECA	LECA	LECA
Cartographie du lac					
Isobathe 2 m	X	-	X	-	-
Diversités habitationnelles	X	X	X	X	X
Présence/absence de vecteurs fluv.	X	X	X	X	X
Ichtyologie					
PE émissaires/ Affluents	-	Exu.	Exu.	Exu.	Aff.+Exu.
Faune benthique					
Prélèvements littoraux	X	X	X	X	X
MAG 12 affluents/émissaires	-	Exu.	Exu.	Exu.	Aff.+Exu.

Chimie (lac + vecteurs)					
<i>Analyses terrain</i>					
(lac) O2 dissous	X	X	X	X	X
Températures instantanées	X	X	X	X	X
(lac)Températures continues	X	X	X	X	X
Conductivité	X	X	X	X	X
<i>Analyses laboratoire</i>					
Nitrate	X	X	X	X	X
Nitrite	X	X	X	X	X
Ammonium	X	X	X	X	X
Orthophosphate	X	X	X	X	X
Calcium	X	X	X	X	X
Magnésium	X	X	X	X	X
Dureté calcique/magnésique	X	X	X	X	X
pH	X	X	X	X	X

Tableau II. 3. Investigations menées sur les 5 lacs



PRECISION

INTEGRATION DES RESULTATS

Figure II. 8. Illustration de l'approche par « échelle emboîtée », avec l'exemple du lac d'Anterne.

Sur la figure II. 8., les stations placées sur le lac d'Anterne sont fictives et ont pour seul objectif la description de l'approche.

II/ 2. 1. Investigations mises en œuvre à l'échelle du bassin versant

- Occupation du sol

L'occupation du sol du bassin versant est en partie responsable des apports allochtones de matière organique dans les eaux du lac. Son analyse présente donc un intérêt particulier dans la présente étude.

Après détermination des limites topographiques des bassins versants des 5 lacs à l'aide de fond de carte IGN, une prospection sur le terrain permet de cartographier l'ensemble du recouvrement du bassin versant. Les différentes unités paysagères seront interprétées en termes de pourcentage et de répartition spatiale. Les différents usages en cours sur le bassin versant sont également recensés.

- Géoréférencement des zones humides

Cette investigation est effectuée en partenariat avec le Laboratoire d'Ecologie Alpine de Chambéry (LECA) dans le but de faire un diagnostic des populations d'amphibiens présentes sur le bassin versant et de mettre en évidence des éventuelles interactions poissons/amphibiens. Ce partenariat a été mis en place par les Fédérations de Pêche de l'arc Nord Alpin qui regroupe l'Isère, la Savoie et la Haute Savoie.

La surface, le nombre ainsi que l'emplacement des zones humides seront inventoriés sur chacun des bassins versants.

II/ 2. 2. Cartographie des mosaïques habitationnelles lacustres

Toutes les mesures de terrain sont effectuées selon le protocole de diagnose simplifiée du type écologique et du fonctionnement des lacs d'altitude mis en place par Degiorgi *et al.*

Les relevés bathymétriques ont déjà été effectués par le passé, cependant, pour les lacs d'Anterne et Cornu, les isobathes deux mètres (délimitant la zone littorale) n'ont pas été cartographiés. La bathymétrie à deux mètres est donc relevée pour ces 2 lacs. Une prospection latérale est effectuée à l'aide d'un topo fil, d'un décamètre et d'une toise de 2m. Un relevé est effectué tout les 20 m à minima, à des distances plus proches dans le cas de changements brusques.

La diversité habitationnelle et la présence de vecteurs fluviatiles sont également relevés et cartographiés. Les pôles d'attraction littoraux sont cartographiés selon le protocole décrit par Degiorgi et Grandmottet (1993) à l'aide du schéma directif de description de l'espace lacustre (An. 2). Les caractéristiques morphologiques et la pérennité des affluents et émissaires sont relevées *in situ* pour évaluer sur lesquels il est possible d'effectuer des prélèvements macrobenthiques couplés à l'étude de l'ichtyofaune.

II/ 2. 3. Qualité physico-chimique de l'eau

Colonne d'eau du lac

Deux types de mesure sont effectués, les mesures instantanées sur la colonne d'eau au dégel ainsi qu'une mesure continue ne concernant que la thermie. Il est également prévu qu'une série de mesure soit effectuée par ASTERS (gestionnaires des réserves naturelles de Haute Savoie) en fin de saison estivale.

➤ Les mesures de conductivité, de pH, de température instantanée, d'oxygène dissous ainsi que de pourcentage de saturation en oxygène sont effectuées sur la colonne d'eau au point le plus profond du lac, tous les mètres à partir de la surface. Le degré de désoxygénation permet d'apprécier la fonctionnalité de la minéralisation et des transferts trophiques. De plus, lorsqu'il est comparé à la température, il est possible de déterminer la proportion de strates aptes à

accueillir certaines espèces de salmonidés. L'ensemble de ces paramètres est mesuré à l'aide d'une minisonde Hach Hydrolab MS5.

- Des échantillons d'eau sont également prélevés sur la colonne d'eau de manière à analyser les différentes formes d'azote (nitrates, nitrites et ammoniums), les orthophosphates ainsi que le calcium et le magnésium. Le nombre de prélèvements varie en fonction de la profondeur du lac pour les lacs Cornu et Brévent et Pormenaz qui font respectivement 20 m, 20 m et 9.50 m de profondeur, une mesure est placée tous les 3 m à partir de la surface. Pour les lacs de Jovet et Anterne qui font respectivement 8.5 m et 13.2 m de profondeur, les relevés sont effectués tous les 2 m. Les analyses sont effectuées à l'aide du spectrophotomètre MERCK *spectroquant NOVA M60* et des test *spectroquant* MERCK (1.14752.0001 Amonium test, 1.09713.0001 Nitrat test, 1.14815.0001 Calcium test, 1.14848.0001 Phosphat test, 1.14776.0001 Nitrit test, 1.00815.0001 Magnesium cell test, 1.00961.0001 Total Hardness cell test).
- La température est également relevée en continu à l'aide d'une sonde thermique enregistreuse Prosensor HOB0 Pendant Temps Alarm placée à 1 m de profondeur selon un pas de temps d'une heure. Les données obtenues permettent de calculer la température maximale moyenne des 30 jours les plus chauds, qui est un descripteur du métabolisme thermique.

Les vecteurs fluviatiles

La température instantanée ainsi que la conductivité et le pH seront mesurés au moment des prélèvements de macrofaune et de pêches électriques. L'ensemble de ces paramètres est mesuré à l'aide du boîtier multi-sonde *WMR SymPHony SP90M5* et des sondes conductivité/température *SymPHony 11388-372*, pH/température *SymPHony 14002-860* et oxygène *SymPHony 11388-374*.

De même que sur la colonne d'eau du lac, des échantillons d'eau sont prélevés dans le but d'analyser les différentes formes d'azote et les orthophosphates, ainsi que le calcium et le magnésium. Le matériel d'analyse est le même que cité précédemment.

II/ 2. 4. Compartiment macrobenthique

- *IBL littoral*

Les macroinvertébrés benthiques, de part leur présence dans de nombreux niveaux trophiques (allant des consommateurs primaires et détritivores jusqu'aux carnassiers) et la durée de leur cycles de vie (au moins un an), sont de bons intégrateurs des variations physiques, chimiques, ou encore biologiques ayant lieu dans les différents compartiments aquatiques (masse d'eau et sédiments).

L'analyse de la macrofaune benthique est effectuée suivant une adaptation de la méthode de l'Indice Biologique Lacustre (Verneaux et al. 2004) avec des prélèvements réalisés uniquement en zone littorale.

Ces prélèvements, basés sur la formule de l'IBL sont échantillonnés de manière aléatoire, dans une période comprise entre le dégel et les premières émergences printanières. Les sédiments sont prélevés à l'aide d'un filet Surber dans la zone littorale.

Le nombre d'échantillons (nl) dépend de la longueur en km de l'isobathe littoral (Ll) et est obtenu grâce à la formule suivante :

$nl=4\log_e(10Ll+1)$, la valeur obtenue est arrondie à l'entier supérieur.

Une description de l'habitat sera couplée à chaque échantillonnage.

Les échantillons ainsi obtenus sont tamisés sur le terrain et conservés dans des sachets individuels à l'aide de formol à 10%. La détermination sous loupe binoculaire est réalisée au genre, sauf pour certains taxons tels que les diptères qui sont déterminés à la tribu et les oligochètes.

Les prélèvements seront interprétés en termes de variété taxonomique et traits biologiques, physiologique et écologique associés ainsi qu'en variété numérique.

- *Macrobenthos des vecteurs fluviatiles*

- *Les méthodes indicielles*

L'Indice Biologique Global Normalisé (**IBGN**) (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 (GI) 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 physicochimique 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 simplifiée 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 pernecieux. De plus, le niveau de détermination à la famille s'avère souvent trop imprécis pour dégager et différencier certaines causes de perturbations. Compte tenu des limites de ces méthodes, la méthode expérimentale générique semi-quantitative des peuplements benthiques (adaptée de BACCHI 1994) a été mise en oeuvre dans un second temps afin d'atteindre les objectifs de la présente étude.

- *Protocole d'analyse semi-quantitative du macrobenthos*

L'échantillonnage des communautés macrobenthiques est réalisé selon le protocole d'analyse semi-quantitative (adapté de BACCHI 1994, PARMENTIER 1994) finalisé par TELEOS (TELEOS, 2000). Ce protocole est fondé sur une prospection beaucoup plus complète de l'espace fluvial (12 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. 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 12, les prélèvements ont été 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 selon le protocole IBGN.
- phase 2 : le complément à 12 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.

II/ 2. 5. Compartiment piscicole

Des pêches électriques d'inventaire sont effectuées dans les vecteurs fluviaux sur lesquels des prélèvements de macrobenthos vont être réalisés, dans le but d'apporter une information complémentaire sur leur fonctionnalité. Ces pêches sont réalisées à l'aide d'un « martin pêcheur » en effectuant 2 passages avec enlèvements successifs. Cette méthode permet de calculer le stock disponible dans la station grâce au modèle de Carle et Strub (1978). Pour chaque individu, l'espèce, le poids et la taille seront relevés. Des effectifs sont également calculés. Les résultats seront pondérés à la surface de la station et interprétés en densité et en biomasse.

II/ 3. Critères d'interprétation

II/ 3. 1. Calcul du type théorique et peuplements ichtyologiques optimaux

Le type théorique (Tth) d'un lac de montagne (Teleos & ONEMA 2008) est obtenu à l'aide de la proportion de la surface littorale, de la conductivité et de la température maximale moyenne des trente jours consécutifs les plus chauds qui sont les facteurs les plus discriminants, grâce à la formule suivante :

$$\mathbf{Tth=3,2.Ln(Tmm/16)+Ln(Cond/8)+Ln(\%Lit/6)}$$

Avec : **Tmm**, la température maximale moyenne du mois le plus chaud, en °C,

Cond, la conductivité, en $\mu\text{S/cm}$

% Lit, la surface relative de la zone littorale (profondeur < 2m), en points de %.

Le calcul du type théorique permet de prédire le peuplement ichtyologique optimal. En effet, Teleos & ONEMA (2008), ont montré une corrélation entre le type ichtyologique et le type théorique mésologique sur 8 plans d'eau (fig.II. 9.).

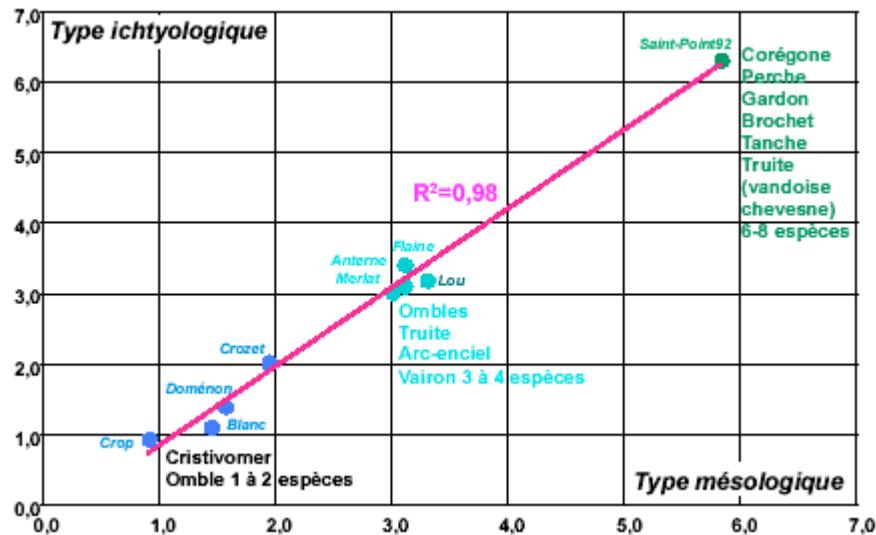


Figure II. 9. Régression linéaire entre le type ichtyologique, déterminé à partir de la composition semi-quantitative du peuplement piscicole observé et le type théorique calculé à partir de la température maximale de la couche d'eau superficielle, de la conductivité et de l'importance relative de la zone littorale (Téléos & ONEMA 2008).

En effet, La valeur obtenue par le calcul du type théorique (arrondi à l'entier e plus proche) donne plusieurs informations (Tab. II. 4.). Elle désigne tout d'abord la variété optimale du peuplement de poisson, ainsi que les différentes combinaisons les plus probables des n espèces électives du type qui peuvent le constituer. Elle renseigne également sur la classe de productivité optimale et donc indirectement sur l'abondance optimale de chacun des peuplements.

Type de plans d'eau (Tth)	0	1	2	3	4
Température max estivale	Glacée	Très froide	Très froide	Froide	Fraîche
Minéralisation	Très faible	faible	faible	Moyenne	Moyenne
Extension de la zone littorale	Très réduite	Faible	Faible	Développée	Développée
Renouvellement hydrique	Très rapide	Réduite	Moyenne	Lent	Lent
Variété optimale n	0 à 1	1	2-3	3-4	4-6
Productivité optimale	Très faible	Faible	Modéré	Moyenne	Forte
Composition type	(Saumon font.)	Omble chev.	Omble chev.	Truite fario Omble chev.	Truite fario Vairon
Avec afférence ou émissaires « frayable ou circulaire »		Ou Truite fario Ou Saumon font.	Truite fario Ou Truite fario Vairon Ou Saumon font.	Vairon Ou Saumon font. Omble chev. Vairon	Loche Omble chev.
Sans afférence ni émissaire « frayable ou circulables »	(cristivomer)	Cristivomer Ou Omble chev.	Vairon Omble chev. Cristivomer	Vairon Omble chev. Vairon Cristivomer	Loche Vairon Omble chev. Cristivomer

Tableau II. 4. Typologie préliminaire des peuplements piscicoles des lacs d'altitude (Teleos & ONEMA 2008).

II/ 3. 2. Evaluation du degré de fonctionnalité

Le degré, la profondeur et la durée de désoxygénation sont des facteurs permettant de mettre en évidence des dysfonctionnements car un lac d'altitude dit eu-fonctionnel est oxygéné dans toute la colonne d'eau durant toute la durée de stratification estivale. De plus, cette désoxygénation entraîne des dysfonctionnements au niveau des transferts trophiques, de l'espace et des ressources pour différentes espèces de salmonidés. Le tableau ci-après permet de déduire le taux de dysfonctionnement à partir de l'intensité de la désoxygénation observée en milieu de stratification dans différentes strates de la colonne d'eau.

Seuils Sat. (%)	120>Sat>9 0	120≤Sat<1 40	140≤Sat<1 60	160≤Sat<1 80	120≤Sat<1 40	Sat<200 0
[O ₂] (mg/L)	[o ₂]≥7	90≥Sat>60 7>[o ₂]≥5	60≥Sat>30 5>[o ₂]≥3	30≥Sat>10 3>[o ₂]≥1	10≥Sat>0 1>[o ₂]>0	0
Score	25	20	15	10	5	0
Strates						
Surface						
Thermocline						
2/3 Zmax						
Zmax-1m						

Tableau II. 5. Abaque de calcul du taux de dysfonctionnement par différence entre l'oxygénation optimale de toute la colonne d'eau (100%) et l'intensité de désoxygénation ou de sursaturation des différentes strates de la masse d'eau (Téléos & ONEMA 2008).

II/ 4. Connaissances antérieures du fonctionnement des 5 lacs

L'ensemble des données suivantes provient d'un inventaire issu de la base de données d'ASTERS sur les lacs de montagne (Jochenbeim 2002).

II/ 4. 1.. Analyses physicochimiques et sédimentologie

Anterne

Les études de Sesiano (1993) ont mis en évidence l'oligotrophie du lac d'Anterne avec toutefois une forte conductivité et des concentrations en ions sulfates, calciums et magnésiums assez importants. Les ions calciums ont pour origine le substratum calcaire.

Le fond sensible aux séismes et aux avalanches, apparaît recouvert de limon fin gris foncé avec une nette lamination présentant deux niveaux sableux associés à des racines et des brindilles. La sédimentation est de 1.6mm/an sur les pentes du lac.

Brévent

Le lac Brévent est caractérisé par deux périodes de brassage des eaux, l'une au printemps et l'autre en hiver. Le caractère oligotrophe des eaux du lac a été mis en évidence par l'étude de l'ensemble des composantes physicochimique, cependant d'après Sesiano (1993), Chacornac (1983,1986) et Winiarski (1997), il semblerait que les eaux du lacs évoluent vers une mésotrophie.

Le fond est recouvert de sédiment très foncé, résultat de l'activité biologique et organique qui semble être orchestrée par les apports azotés provenant du pâturage d'ovins sur le bassin versant. Concernant la sédimentation, la valeur est de 1.07mm/an par "dépôt-centre" (concentration des dépôts sur la partie la plus profonde).

Cornu

Les analyses physicochimiques antérieures ont mis en évidence le caractère oligotrophe du lac avec des eaux très pauvres en substance dissoutes. Ces observations sont expliquées par la nature géologique du substratum du bassin versant ainsi que par l'origine nivale des eaux lacustres. L'eau est également apparue faiblement minéralisée avec un pH acide (Balvay 1977, Sesiano 1993 et Winiarski 1997).

Les sédiments du lac sont sombres avec une dominance de matière amorphe et une lamination plus ou moins marquée. Etant donné que la prise en glace des eaux du lac est observée 10 mois par an, la sédimentation est limitée et présente une vitesse de 0.672 mm/an par dépôt centre.

Jovet

Les eaux du lac Jovet sont décrites comme étant oligotrophe à tendance bicarbonatée sulfo-calcique pauvre en azote et en phosphore, mais cependant riche en silice. La minéralisation est très faible à tendance sulfo-calcique.

Le fond est constitué de vase fine grisâtre pauvre en matière organique et sans lamination apparente recouvert par quelques gros blocs de migmatite. Malgré l'absence de lamination, des niveaux grossiers ont été repérés à 5 cm, 9 cm et 13 cm correspondant à des crues (Balvay et Blavoux 1980, Sesiano 1993 et Winiarski 1997).

Pormenaz

Ce lac oligotrophe est caractérisé par une faible conductivité ainsi que par des températures élevées expliquées par la faible profondeur du lac et des apports essentiellement en eau de surface.

Les sédiments sont silto-argileux riches en débris végétaux et larves de chironomes en profondeur. Ils sont également riches en matière organique. La vitesse de sédimentation est de 0.893 mm/an (Sesiano 1993).

II/ 4. 2. Biologie lacustre

Les données actuellement disponibles sont lacunaires et essentiellement qualitatives.

Anterne

La seule donnée disponible est un inventaire qualitatif non exhaustif du macrobenthos dans lequel on y trouve la présence des taxons suivant : les Tubificidae (*Tubifex tubifex*), les Lumbriculidae (*Stylodrilus heringianus*), des sphaeriidae (*Pisidium casertanum*) et les chironomidae (Orthocladinae).

Brévent

Le caractère oligotrophe du milieu induit une densité phytoplanctonique faible. Le plancton est dominé par des Périidiniacées

Cornu

Les eaux sont pauvres en organismes vivants. La diversité en phytoplancton est plutôt faible avec une abondance plus importante en profondeur.

Jovet

Les Diatomées constituent l'élément dominant du phytoplancton de ce milieu assez riche en silice; les autres groupes sont peu abondants et peu diversifiés. Le zooplancton est rare et peu diversifié. Les Rotifères en sont le groupe majeur.

Pormenaz

Aucune donnée n'est disponible.

II/ 4. 3. Données piscicoles

Les lacs, tous originellement a piscicoles, sont alevinés depuis plus d'un siècle. Ce sont les bergers qui, dans le but d'effectuer des réserves de protéines pour la période estivale, ont introduits les premiers les poissons dans les lacs. Ces alevinages ont ensuite été poursuivis par les structures de pêche dans un but de loisir. Jusqu'en 2008, les introductions de poissons étaient effectuées par l'AAPPMA du Faucigny sans plan de gestion pré-établi, avec des fluctuations interannuelles de densités et d'espèces introduites. Cependant après avoir constaté le relatif échec de la gestion halieutique sur certains lacs, l'élaboration d'un plan de gestion rationnel a été mis en place par la fédération de Pêche 74. D'une durée de 5 ans, il comprend un suivi scientifique permettant de mettre en évidence le fonctionnement des lacs (qui est le sujet de la présente étude), ainsi qu'un changement des pratiques d'alevinage avec un suivi sur 5 ans. Dans la mesure des connaissances disponibles et à l'aide des bases énoncées dans la littérature, le plan de gestion établi préconise la mise en place d'une gestion monospécifique, avec une charge en alevins de 500 ind/ha à partir de 2009 (Huchet 2009).

Dans le cadre de cette gestion, les lacs de Pormenaz et Brévent sont alevinés en truite fario, le lac d'Anterne au saumon de fontaine, et enfin, des cristivomers sont introduits dans les lacs de Cornu et Jovet.

Le bilan des alevinages effectué depuis 1990 est disponible en annexe 3. Le tableau II.6. synthétise les espèces introduites sur les lacs ainsi que la dernière année au cours de laquelle elles ont été introduites.

	Anterne	Brévent	Cornu	Jovet	Pormenaz
TRF	2003	2009	1994	1995	2009
AEC	2007	2007	2007	2007	2007
OBL	2007	2007	2007	-	2007
ALY	2006	-	2006	-	2006
CRI	-	-	2009	2009	-
SDF	2009	-		-	-

Tableau II. 6. Dernières années des alevinages effectués sur chacun des lacs

Les lacs d'Anterne et Pormenaz ont également fait l'objet d'échantillonnage au filet en 2007 ainsi que d'un premier bilan qui fut le point de départ du plan de gestion. Ces pêches ont permis de mettre en évidence certains dysfonctionnements liés à l'inaptitude de certaines espèces à coloniser ces lacs (truite arc en ciel sur Pormenaz) et aux effets négatifs de la compétition interspécifique entre certaines espèces (l'omble chevalier et la truite fario). En outre, cette étude a permis de mettre en évidence la présence de reproduction naturelle de l'omble chevalier sur Pormenaz. Un doute subsiste sur la truite fario dans le lac d'Anterne qui devrait être levé par la lecture des otolites des individus de certaines cohortes pour lesquels l'ensemble des poissons introduit dans le lac avait fait l'objet d'un marquage par balnéation à l'Alizarine red S (Caudron et Champigneulle 2006).

III/ RESULTATS

III/ 1. Caractérisation du bassin versant

Les lacs de montagne sont des milieux extrêmement pauvres et les apports provenant du bassin versant contribuent grandement à la part de matière biodégradable disponible. Leur prospection fine présente donc un intérêt majeur dans l'étude du fonctionnement des systèmes lacustres d'altitude. Les prospections prévues à cet effet n'ont pu être réalisées à cause de conditions météorologiques défavorables (enneigements tardifs). De ce fait, en dépit de données quantitatives, une analyse qualitative prenant en compte les observations de terrain ainsi que les données présentes dans la littérature va être effectuée pour chaque lac. Il sera néanmoins nécessaire de cartographier l'ensemble du bassin versant et de compléter les données manquantes.

Les 5 lacs sont situés à l'étage subalpin justifiant la dominance des pelouses alpines et de surfaces minérales (pierriers, roches mères) dans des proportions variables d'un bassin versant à l'autre.

Le bassin versant du lac d'Anterne, avec une superficie de 278 ha est caractérisé par des fortes pentes dans les hauteurs avec un pourtour de lac relativement plat. La proportion de la surface de pelouse est estimée à 50%, concentrée sur les zones de replat autour du lac. Les surfaces minérales, représentant l'autre moitié de la surface se trouve donc dans les zones à forte pente. Ce bassin versant est caractérisé par la présence d'ovins durant la période estivale. En effet, un troupeau important comportant environ 1000 individus se répartit sur la Réserve de Sixt dans laquelle se trouve le bassin versant du lac. Un mouton produit 0.02 kg d'azote par jour (CERPAM -Institut de l'élevage- SUAME, 2006). Cette fréquentation peut donc être responsable d'un apport conséquent d'éléments nutritifs dans le lac.

Avec une superficie de 56 ha, la configuration du bassin versant du lac de Pormenaz se rapproche de celle du lac d'Anterne avec des fortes pentes sur les hauteurs, et une zone moins pentue autour du lac. Des bassins versants étudiés, c'est le seul qui présente une strate arbustive relativement bien développée (20% de la surface) avec la présence de rhododendron, de myrtilles et d'Aulne principalement. Les pelouses alpines recouvrent environ 30% de la surface du bassin versant et le reste est caractérisé par des surfaces minérales. On note également la présence de grandes tourbières avec une surface cumulée de 0.2 ha alimentant le lac en eau. L'activité pastorale est également de mise sur ce bassin versant avec en moyenne 600 moutons et 50 chèvres (données orales provenant des gardes des réserves naturelles, ASTERS).

Avec une superficie de 21 ha et une pente de 55%, le bassin versant du lac Brévent est de taille extrêmement réduite et marqué par de fortes pentes, avec une configuration en forme d'entonnoir impliquant des transferts directs et assez rapides. De plus il est dominé par les surfaces minérales qui représentent 60% de la surface impliquant un ruissellement important. Il est à noter également qu'un troupeau d'environ 400 moutons est présent dans le secteur du lac Brévent (données orales provenant des gardes des réserves naturelles, ASTERS).

Le bassin versant du lac Cornu avec une superficie de 66 ha se rapproche de celui du Brévent avec une végétation rase très faiblement représentée (25%). Il est dominé par les surfaces minérales qui représentent donc 75% de la surface. Les moutons pâturent aux alentours du lac Brévent sont susceptibles de se déplacer jusqu'au lac Cornu mais leur présence sur le bassin versant semble anecdotique car la distance à parcourir est importante et les zones de pelouse se

trouvent majoritairement en contrebas du lac (données orales provenant des gardes des réserves naturelles, ASTERS). Du fait de son isolement, la fréquentation touristique est également peu importante.

Avec une superficie de 33 ha, le bassin versant du lac Jovet est majoritairement recouvert de surfaces minérales représentant 70% du bassin versant. La pente forte (64%) est expliquée par les zones sommitales du bassin versant. Au sud ouest et nord du bassin versant, les pentes sont moins prononcées. La pelouse alpine est cantonnée sur des franges très resserrées côté ouest, sud ouest du bassin versant. D'après les informations récoltées par les gardes des réserves naturelles, des moutons sont en pâture dans la réserve des contamines Montjoie. Cependant il a été observé qu'ils ne fréquentaient que rarement le bassin versant du lac, préférant stationner en contrebas du bassin versant du lac (au Plan Jovet) où les surfaces de pacage sont beaucoup plus importantes.

III/ 2. Capacité habitationnelle et métabolisme lacustre

III/ 2. 1. Caractérisation des mosaïques d'habitat

Les représentations cartographiques des figures III.1. et III.2. mettent en évidence d'une part l'importance relative de la zone littorale du lac par le biais de la bathymétrie et d'autre part, l'hétérogénéité et la qualité des mosaïques des substrats présents en zone littorale par la cartographie des pôles d'attractions. Ces deux derniers révèlent la capacité biogène du système et ces informations sont autant d'indicateurs de la capacité piscicole du milieu (Degiorgi 1994). Les cartographies figurent en annexe 4.

La bathymétrie met en évidence une nette hétérogénéité inter lacs concernant la surface relative de la zone littorale (Fig. III.1. et III.2.). Celle-ci apparaît relativement bien développée pour les lacs Jovet et Brévent avec respectivement 22 et 17% de la surface totale (Tab. III.1.), contrairement aux autres lacs dont la surface n'excède pas 13% pour Anterne et Pormenaz et seulement 8% pour le lac Cornu. La diversité de la morphologie des fonds est également variable d'un lac à l'autre, allant de structures régulières comme pour les lacs d'Anterne et Brévent, à des structures beaucoup plus accidentées comme le lac Cornu.

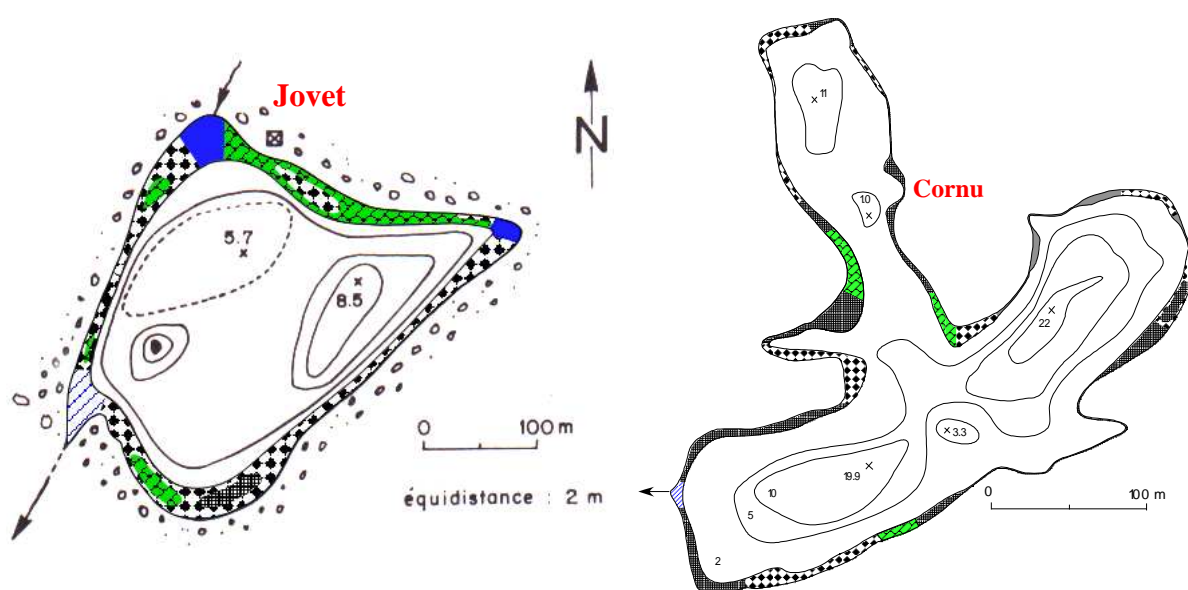


Figure III. 1. Bathymétrie et cartographie habitationnelle des lacs Jovet et Cornu

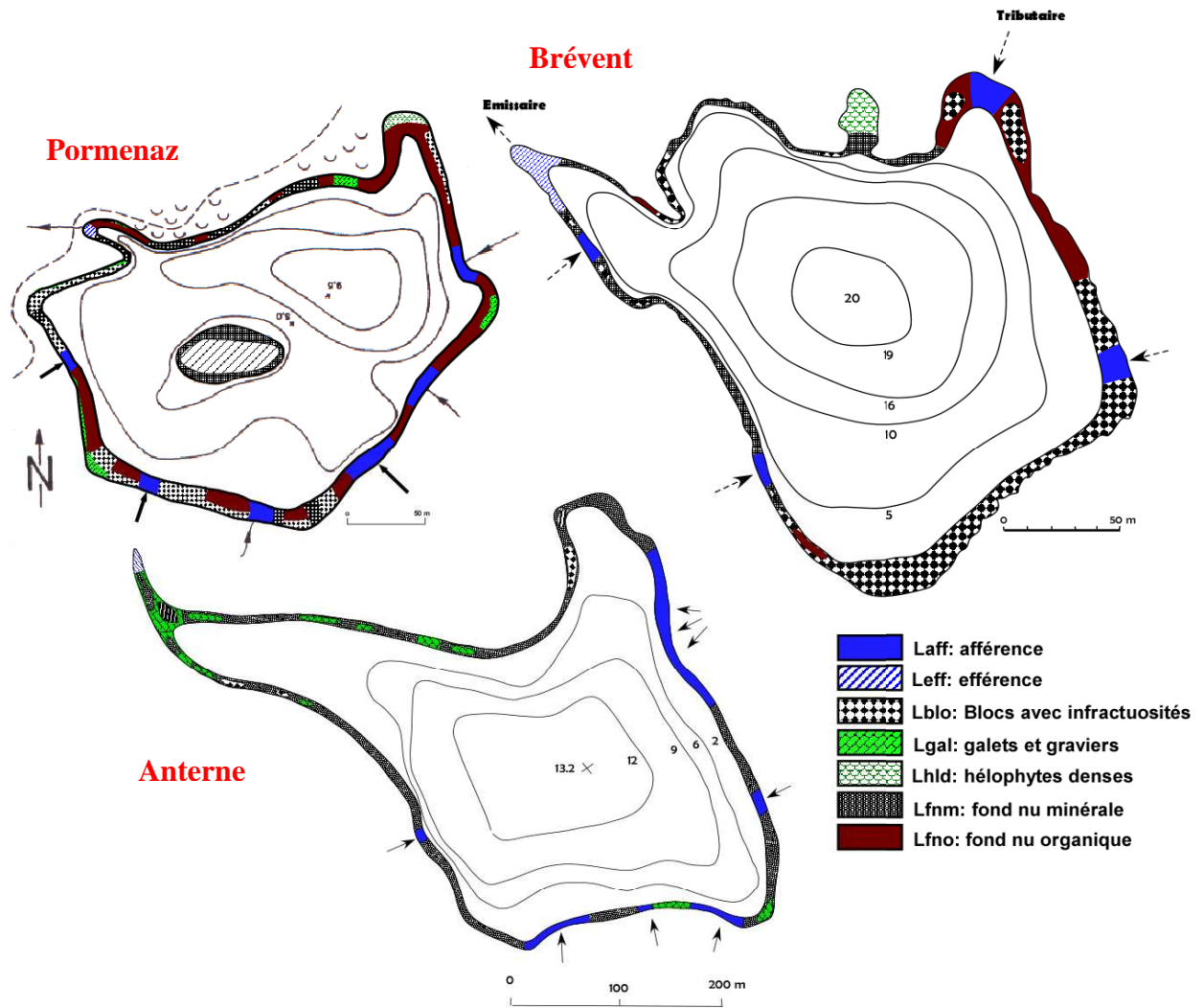


Figure III. 2. Bathymétrie et cartographie habitationnelle des lacs d'Anterne Brévent et Pormenaz

Les cartes des pôles d'attractions littorales mettent en évidence une différence marquée de substrats et de représentativité de chacun d'eux suivant les lacs. La zone littorale du lac Brévent est caractérisée par une diversité de substrats importante avec une dominance de blocs avec anfractuosités représentant quasiment la moitié de la surface littorale, rendant cette zone attractive pour la faune piscicole. Ils sont le résultat des éboulis présents sur le bassin versant. Le fond nu minéral, avec une surface relative non négligeable de 17% présente une proportion équivalente de dalle et de fines minérales. Cette information est capitale pour l'étude de la macrofaune benthique car les fines minérales offrent un substrat nettement plus biogène que les dalles pour les invertébrés. Le fond nu organique, ayant pour origine les apports allochtones, recouvre 15% de la surface totale de la zone littorale et est également responsable d'un colmatage plus ou moins important de l'ensemble des autres substrats. On note également la présence anecdotique d'hélophytes denses.

Avec une diversité de substrats importante, les pôles d'attraction de la zone littorale du lac de Pormenaz sont dominés par le fond nu organique avec 42% de recouvrement. Il semblerait donc qu'il y ait d'importants apports de matière organique allochtone. Au même titre que pour le lac Brévent, les autres substrats sont plus ou moins colmatés par ces fines. Les blocs avec anfractuosités représentent 21% de la surface littorale et on note également la présence, aussi minime soit-elle d'hélophyte dense (3% du recouvrement total). Avec un peu plus d'un

cinquième de la surface en blocs, le substrat est relativement biogène pour les poissons. La présence significative de zones d'afférences (15%) est tempérée par leur caractère temporaire, car sur les 6 notées lors de la cartographie, seulement 2 se sont avérées permanentes.

Le lac Cornu présente une faible diversité de substrats avec seulement 4 pôles d'attraction, essentiellement minéraux. En effet plus de la moitié du recouvrement est caractérisée par un fond nu minéral avec une majorité de dalle (90%) et seulement 10% de fines minérales, offrant un habitat peu biogène pour la faune benthique. 36% de la surface littorale est cependant recouverte de blocs avec anfractuosités, conférant un caractère hospitalier pour la faune piscicole. Dans une moindre mesure les galets et graviers représentent tout de même 11% de la zone littorale. On note également l'absence totale de fines organiques.

Avec plus de la moitié du substrat représentée par les blocs et un quart par les galets et graviers, le lac Jovet est, comme le lac précédent essentiellement minéral et offre à la faune piscicole un substrat assez biogène. La présence significative des afférences qui sont toutes deux permanentes contribue nettement à la diversité des substrats et sont des zones préférentielles pour les macroinvertébrés benthiques. De plus, ce lac est dépourvu de fines organiques.

Pour terminer, la zone littorale du lac d'Anterne est dominée par les fonds nus minéraux qui sont des limons. La présence non négligeable de galets et graviers (15%) tempère le caractère peu biogène du substrat précédent vis-à-vis de la faune piscicole. La présence de blocs et d'hélophytes denses est marginale avec des recouvrements respectifs de 3% et 2%. Les afférences, toutes permanentes, améliorent la diversité des substrats.

Descripteurs		Brévent	Pormenaz	Cornu	Jovet	Anterne
Surface totale lac	ha	2,95	4,60	5,30	7,50	11,60
Creux	‰	118	44	86	31	39
Surface zone littorale	ha	0,50	0,62	0,42	1,68	1,45
Représentativité surface littorale	%	17	13	8	22	13
Développement rivulaire		1.6	1.3	1.9	1.2	1.5
Pôle d'attraction zone littorale (%)						
Laff: afférence		10	15		10	18
Leff: efférence		5	1	2	8	1
Lblo: blocs avec anfractuosités		48	21	36	54	3
Lgal: galets et graviers			8	11	25	15
Lhld: hélophytes denses		5	3			2
Lfm: fond nu minéral		17	11	52	4	60
Lfno: fond nu organique		15	42			
Diversité de Shannon		1,47	1,57	1,03	1,24	1,13
Hydrologie						
Emissaires permanents		1	1	1	1	0
Afférences permanentes		0	2	0	1	-

Tableau III. 1. Caractéristiques morphologiques et habitationnelles des 5 lacs

III/ 2. 2. Caractéristiques des vecteurs fluviatiles

La majeure partie des affluents des lacs est temporaire. Le lac Cornu est essentiellement alimenté par ruissellement diffus, quant au lac Brévent, il ne possède que des affluents temporaires liés à la fonte des neiges et aux précipitations estivales. Le lac de Pormenaz est alimenté par deux affluents permanents. L'affluent principal alimente le lac par une arrivée

sous lacustre de quelques mètres et le second affluent possède une lame d'eau d'étiage extrêmement réduite, ce qui rend ces vecteurs fluviaux inaccessibles à la faune piscicole. Le lac Jovet est également alimenté par 2 affluents permanents, un qui alimente le lac par infiltration et un second qui ruisselle en surface, mais de très petit gabarit. Seul le lac d'Anterne présente plusieurs afférences permettant une colonisation par les poissons. Il en ressort donc de manière globale, que ces afférences peuvent être une source d'alimentation pour la faune piscicole via la dérive de macro invertébrés dans le lac mais n'offrent pas d'habitat supplémentaire pour celle-ci, à l'exception du lac d'Anterne.

L'ensemble des émissaires présents est permanent et adapté à la colonisation par les poissons, à l'exception d'Anterne dont l'exutoire est constitué par une perte souterraine. Ils sont cependant pris en glace au moins partiellement plusieurs mois de l'année, limitant leur hospitalité et la possibilité d'une colonisation pérenne pour la faune piscicole. Seul l'émissaire du lac Jovet déroge à ce constat et présente des conditions favorables, avec une largeur de cours d'eau dès la confluence de plus de 3m et une lame d'eau d'une moyenne de 40 cm.

III/ 3. Métabolisme physicochimique

III/ 3. 1. Thermie lacustre

Les résultats des températures enregistrés à 1 mètre de profondeur durant la période estivale sont présentés dans le tableau III.2. Le détail des variations de températures au cours de la période de relevée est présenté en annexe 5.

Températures (°C)	Anterne	Brévent	Cornu	Jovet	Pormenaz
<i>Période de suivi</i>	07/07 31/08	03/07 01/09	11/08 30/09	25/06 01/09	22/06 31/08
Moyennes	11.3	14.2	10.9	8.4	15.2
Amplitude	6.6	9.2	5.1	6.6	14.2
Minimales	8.3	10.6	8.3	5.8	7.2
Maximales	14.9	19.8	13.4	12.4	21.4
Tmm30	12.3	15.6	11.5	9	17.2

Tableau III. 2.: Principaux descripteurs thermiques observés sur les 5 lacs

Au vu des quelques descripteurs synthétiques regroupés dans le tableau III.2, le métabolisme thermique apparaît très différent d'un lac à l'autre.

Avec une moyenne de 11.3°C, le lac d'Anterne a une amplitude thermique au cours de la période estivale relativement faible (6.6°C) ; la température instantanée maximale n'excède pas 14.9°C, ces constats trouvent leur probable explication du fait d'une orientation nord est, d'un enneigement tardif, et d'une alimentation par des ruissellements provenant de sources froides et tamponnées.

Le lac Brévent est quant à lui alimenté par des cours d'eau temporaires en période de fonte, et par ruissellement des eaux de pluie durant l'été. Ceci pourrait expliquer l'amplitude thermique relativement élevée de 9.2°C et un maximum de 19.8°C. Lorsque la sonde a été installée, le bassin versant présentait encore un recouvrement de neige voisin de 25%, alimentant en grande partie le lac avec des eaux fraîches. Après la fin de la fonte des neiges, l'eau provient

essentiellement des eaux de pluie. Le fond du lac est de plus sombre, favorisant de fait le réchauffement des eaux.

Les eaux du lac Jovet sont froides et ne dépassent pas les 12.4°C au cours de la période estivale. De plus elles ont une amplitude thermique faible, justifiée d'une part par des apports d'eau froide et tamponnée provenant d'arrivées sous lacustre et d'autre part par des fonds clairs. Le lac présente également une orientation nord est, limitant ainsi son exposition. Avec une moyenne de 8.4°C, c'est de loin le plus froid des lacs étudiés.

Les eaux du lac Cornu sont également froides et tamponnées. En effet, avec une amplitude thermique de seulement 5.1°C, les eaux de surface ne dépassent pas les 13.4°C. Comme pour le lac précédent, ce constat trouve son explication dans les caractéristiques intrinsèques du milieu. En effet, ce lac, situé à 2275 m, est relativement profond et essentiellement alimenté par les névés présents en moyenne 10 mois par an sur le bassin versant. Il présente également une orientation nord est limitant ainsi son exposition.

A l'inverse des lacs Jovet et Cornu, la température des eaux du lac de Pormenaz est particulièrement élevée pour un lac d'altitude, avec une température maximale de 21.4°C et une moyenne dépassant les 15°C en période estivale. Ces observations sont en accord avec celle de la littérature (Sesiano 1987, Winiarski 2000 et Iazzarotto 2007) et sont justifiées par une faible profondeur (9.5 m) couplée à une alimentation par les eaux provenant de zones humides peu profondes et propices à un réchauffement précoce, ainsi qu'à une forte exposition du à une orientation sud. On note aussi la présence de fond sombre, amplifiant les phénomènes de réchauffement.

III/ 3. 2. Physico-chimie de la colonne d'eau

Les 5 lacs ont fait l'objet d'une campagne de mesure instantanée sur l'ensemble la colonne d'eau de la température, du pH, de la conductivité, de l'oxygène dissous ainsi que du pourcentage de saturation en oxygène dans une période de trois semaines au maximum après le dégel total de leurs eaux. Les résultats sont regroupés dans la figure III.3.

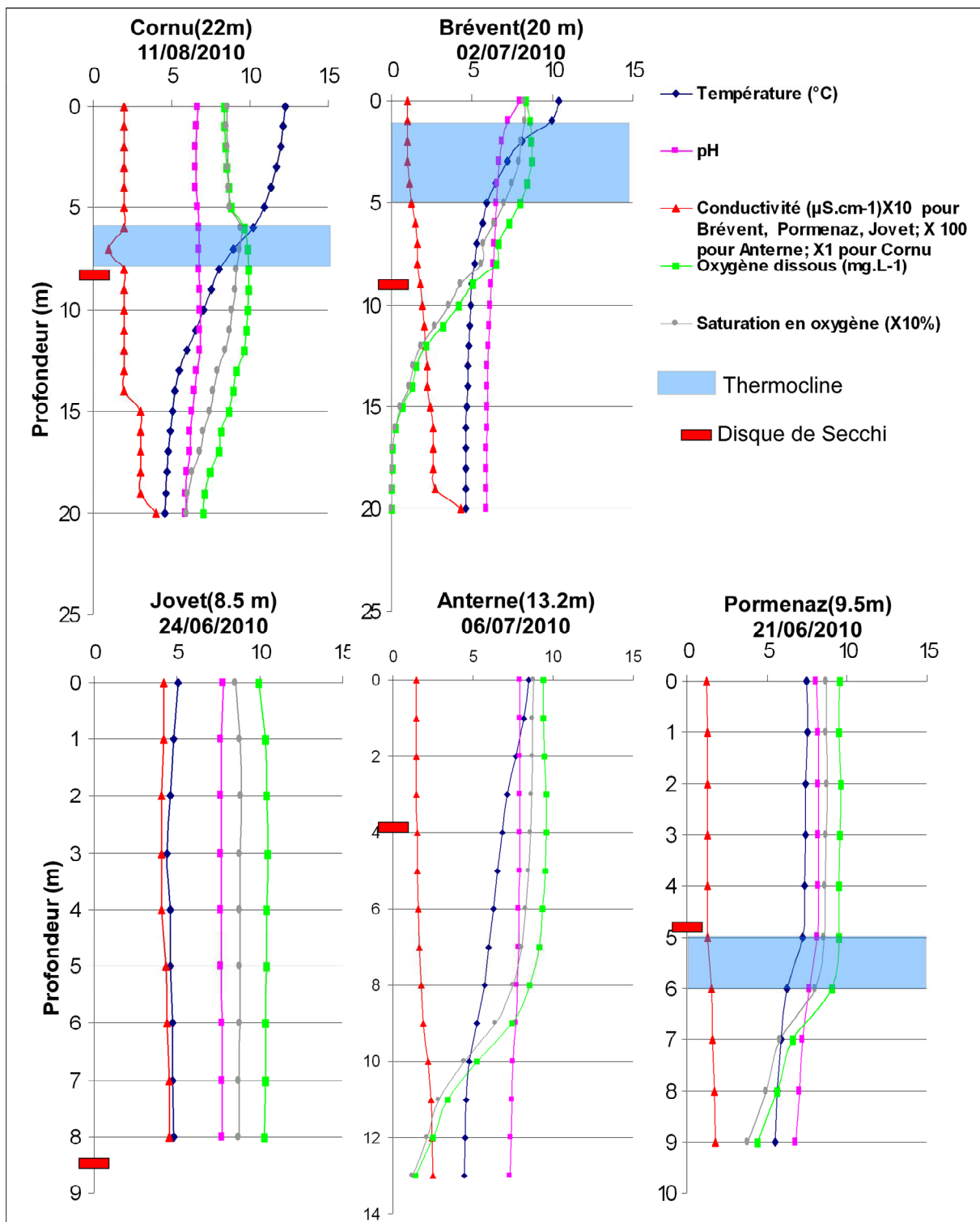


Figure III. 3. Variation de la température, du pH, de la conductivité, de l'oxygène dissous et de la saturation en oxygène pour les 5 lacs

❖ Température

Les mesures ayant été effectuées après le dégel, il est donc possible que la stratification thermique ne soit pas encore terminée, l'interprétation sera donc effectuée en conséquence. La température de la couche supérieure des lacs apparaît froide avec un maximum à la surface de 12,3 °C pour Cornu et un minimum de 5°C pour le lac Jovet, en passant par 7.5°C pour

Pormenaz, 8.5°C pour Anterne et enfin 10.4°C pour le Brévent. La variabilité observée est expliquée par les différentes dates de mesure.

Le lac Cornu, profond de 20 m paraît stratifié avec l'observation d'une thermocline située entre 6 et 8 m de profondeur. La température de surface de 12.3°C diminue considérablement à cette profondeur en perdant plus de 4°C dans le quart supérieur de la colonne d'eau, pour arriver à une valeur de 4.5°C au point le plus profond du lac.

Les variations de température sur la colonne d'eau du lac Brévent mettent également en évidence une stratification thermique avec la présence plus ou moins bien définie d'une thermocline peu marquée entre 1 et 5 m de profondeur. Chacornac (1985) a mis en évidence la présence d'une thermocline mais située à 7 m de profondeur. Cette différence s'explique très probablement par les différences entre les périodes de mesure. A un mètre en dessous de la surface, la température de l'eau est à 9.9°C, et diminue jusqu'à 5.9°C à 5 m de profondeur. La perte est ensuite de seulement 1.3°C dans les 15 derniers mètres.

Les températures du lac Jovet sont quasiment constantes sur l'ensemble de la colonne d'eau avec une perte de seulement 0.3°C sur les 8.5m du lac. De ce fait, le lac n'apparaît pas stratifié. Les mesures de thermie effectuées par Balvay et Blavoux (1981) au mois de septembre ont cependant mis en évidence une nette thermocline entre 2.25 m et 2.50 m. Il est probable que le lac ait été en période de brassage durant nos mesures, ne permettant pas la mise en évidence de ce phénomène.

Le lac d'Anterne ne présente pas non plus de stratification apparente. Il se peut toutefois que le lac soit en cours de stratification compte tenu des légères variations observées (perte de 4°C sur les 13 m de la colonne d'eau) et de l'apport d'eau froide provenant de la fonte des neiges. En effet, lors des mesures, 50 à 60% du bassin versant était recouvert d'une épaisse couche de neige. Ces observations ne peuvent cependant pas être confirmées au vu de données antérieures inexistantes.

Enfin, le lac de Pormenaz semble stratifié avec l'observation de la thermocline entre 5 et 6 m de profondeur et la perte de 1.5°C à cette profondeur. La température diminue toutefois sur toute la colonne d'eau et passe de 7.5°C en surface à 5.5°C à 9 m de profondeur.

❖ Oxygène

Sur l'ensemble des lacs les concentrations en oxygène dissous ainsi que les pourcentages de saturations apparaissent homogènes en surface avec des concentrations comprises entre 8.5 mg.L⁻¹ et 9.9 mg.L⁻¹ et des pourcentages de saturation allant de 82 à 88%. L'évolution de l'oxygène dissous avec l'augmentation de la profondeur apparaît cependant contrastée d'un lac à l'autre.

Les valeurs observées sur la colonne d'eau du lac Jovet demeurent constantes avec une importante concentration en oxygène (10.3 mg.L⁻¹ au point le plus profond) et un pourcentage de saturation avoisinant les 86% sur toute la colonne d'eau. Ces observations témoignent d'un bon fonctionnement du lac.

Les observations effectuées sur le lac Cornu relatent du même fonctionnement que le lac précédent, avec toutefois une légère désoxygénation en profondeur. En effet, à 20 m de profondeur, la concentration en oxygène dissous est de 7.3 mg.L⁻¹ contre 8.4 mg.L⁻¹ en

surface. Ce ne sont cependant pas des valeurs rédhibitoires pour la faune piscicole, qui peut donc coloniser l'intégralité de la colonne d'eau. Les constatations sont donc similaires à celles effectuées sur le lac Jovet quant au bon fonctionnement du système.

Concernant le lac d'Anterne une désoxygénation est observée dans la couche profonde. En effet, une diminution est observée à partir 9 m de profondeur avec 5.2 mg.L⁻¹ d'oxygène dissous et une saturation en oxygène de 44%. Cette désoxygénation s'amplifie jusqu'à 13.2 m avec des valeurs proches de 1mg.L⁻¹ et 11% de saturation en oxygène au point le plus profond.

Le constat est similaire pour le lac de Pormenaz bien qu'un peu moins marqué. En effet, la désoxygénation est marquée par une diminution brutale de la concentration en oxygène à 7m de profondeur, les valeurs passant de 9 à 6.6mg.L⁻¹. A 9,5 m de profondeur, la concentration atteint une valeur de 4.4 mg.L⁻¹ pour une saturation de 38%.

Les valeurs observées pour les lacs d'Anterne et Pormenaz sont nettement contraignantes pour la faune piscicole et particulièrement pour les salmonidés qui ont besoin d'une concentration en oxygène dissous minimale de 6 mg.L⁻¹. Les populations se retrouvent alors cantonnées dans les couches d'eau superficielles du lac, ce qui peut avoir pour conséquences d'accentuer les effets de la compétition interspécifique. En effet, l'omble chevalier, avec une forte capacité d'adaptation, et plus plastique que la truite peut vivre dans les profondeurs si les conditions d'oxygénation le permettent. Dans le cas contraire il s'installe dans les couches plus superficielles du lac, dans lesquelles on retrouve les populations de truites et s'expose ainsi à une compétition alimentaire qui lui est défavorable.

Le lac Brévent présente une désoxygénation significative de ces eaux à partir de 6 m avec une valeur de 7.3 mg.L⁻¹, valeur qui atteint quasiment 0 mg.L⁻¹ à 20 m de profondeur. On constate que les 50 premiers pourcents de la colonne d'eau seulement sont suffisamment oxygénés pour les salmonidés tels que les ombles ou les truites. Le fonctionnement de ce système semble nettement perturbé, et de ce fait contraignant pour la faune piscicole du lac qui ne dispose alors que des 9 premiers mètres pour son développement et son maintien. Le constat est donc le même que pour les lacs d'Anterne et Pormenaz.

Pour finir, on observe également une augmentation de la concentration en oxygène et du pourcentage de saturation pour le lac Cornu au niveau de sa thermocline, mais également et dans une moindre mesure pour les lacs Brévent, Jovet et Anterne. Il est probable que ces observations soient le résultat de l'activité phytoplanctonique nocturne étant donné que les mesures ont toutes été faites à 10h. Il aurait été intéressant de faire une seconde série de mesures au couché du soleil de manière à vérifier cette hypothèse.

❖ pH

Le pH apparaît légèrement basique à neutre pour les d'Anterne, Jovet, Brévent et Pormenaz contrairement au lac Cornu dont le pH légèrement acide est égal à 6.6. Ce constat trouve probablement son explication dans la nature géologique des substratums des différents bassins versants.

On observe également une tendance à l'acidification avec l'augmentation de la profondeur sur l'ensemble des lacs. Les diminutions de pH les plus importantes sont observées dans les lacs ayant une désoxygénation importante c'est-à-dire Pormenaz et Brévent dont les valeurs en surface sont respectivement de 8.1 et 8 et passe à 6.8 et 5.9 en profondeur. Il semblerait donc que l'hypoxie soit responsable de conditions réductrices, provoquant ainsi une diminution du

pH. L'analyse des données pH doit cependant être relativisée, car ce paramètre peut varier très rapidement dans ce type de milieu très peu tamponné en fonction de l'ensoleillement (Winiarski 2000).

❖ Conductivité

La conductivité est une mesure indirecte de la minéralisation, car elle est proportionnelle à la quantité de sel ionisable dissous. Au vu des valeurs de conductivité, les lacs à l'exception d'Anterne apparaissent très peu minéralisés avec des valeurs allant de 4 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ au maximum pour Cornu à 43-45 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ au maximum pour Brévent et Pormenaz. Ces valeurs sont probablement expliquées par le caractère cristallin du substratum.

La conductivité obtenue pour le lac d'Anterne (148 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ en surface à 249 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ en profondeur) témoigne d'une minéralisation importante, résultant probablement de la nature calcaire de son bassin versant.

❖ Turbidité

On observe des situations très différentes d'un lac à l'autre. Les mesures effectuées sur le lac Jovet mettent en évidence la clarté des eaux avec une valeur de Secchi équivalente à l'intégralité de la colonne d'eau, traduisant une activité phytoplanctonique assez faible, et soulignant ainsi le caractère ultra oligotrophe du lac. Avec une valeur de Secchi de 4 m, les eaux du lac d'Anterne sont troubles avec une assez forte turbidité. Ce constat s'explique probablement par la fonte des neiges et par la nature du substrat (fines minérales), le lac étant vraisemblablement en période de brassage, mettant les fines minérales en suspension. La lumière pénètre mal donc l'activité phytoplanctonique doit être peu profonde. La turbidité observée sur les lacs de Pormenaz, Cornu et Brévent (avec respectivement 4.9 m, 7.9 m et 8.1m) s'explique par l'activité du phytoplancton car les eaux sont dépourvues de matière en suspension.

❖ Physicochimie

La détermination des concentrations en éléments azotés et orthophosphate met en évidence le caractère ultra oligotrophe des 5 lacs étudiés avec des concentrations en nutriments extrêmement faibles (Fig III.4.). En effet, on n'observe pas de surcharge nutrimentielle.

Les concentrations en nitrate sont comprises entre 0 (inférieures au seuil de détection) et 0.8 mg.L^{-1} . Le lac d'Anterne présente cependant des concentrations légèrement plus élevées à mi profondeur allant jusqu'à 1.3 mg.L^{-1} (Fig III.4.). Ces valeurs ne sont toutefois pas exceptionnelles et peuvent être dues à des phénomènes biologiques (Druart 1999). Les nitrites ne dépassent jamais les 0.02 mg.L^{-1} . Les orthophosphates sont quasiment nuls sur le lac Jovet alors qu'on en observe en faible quantité sur les autres lacs. Les concentrations ne dépassent toutefois jamais les 0.19 mg.L^{-1} .

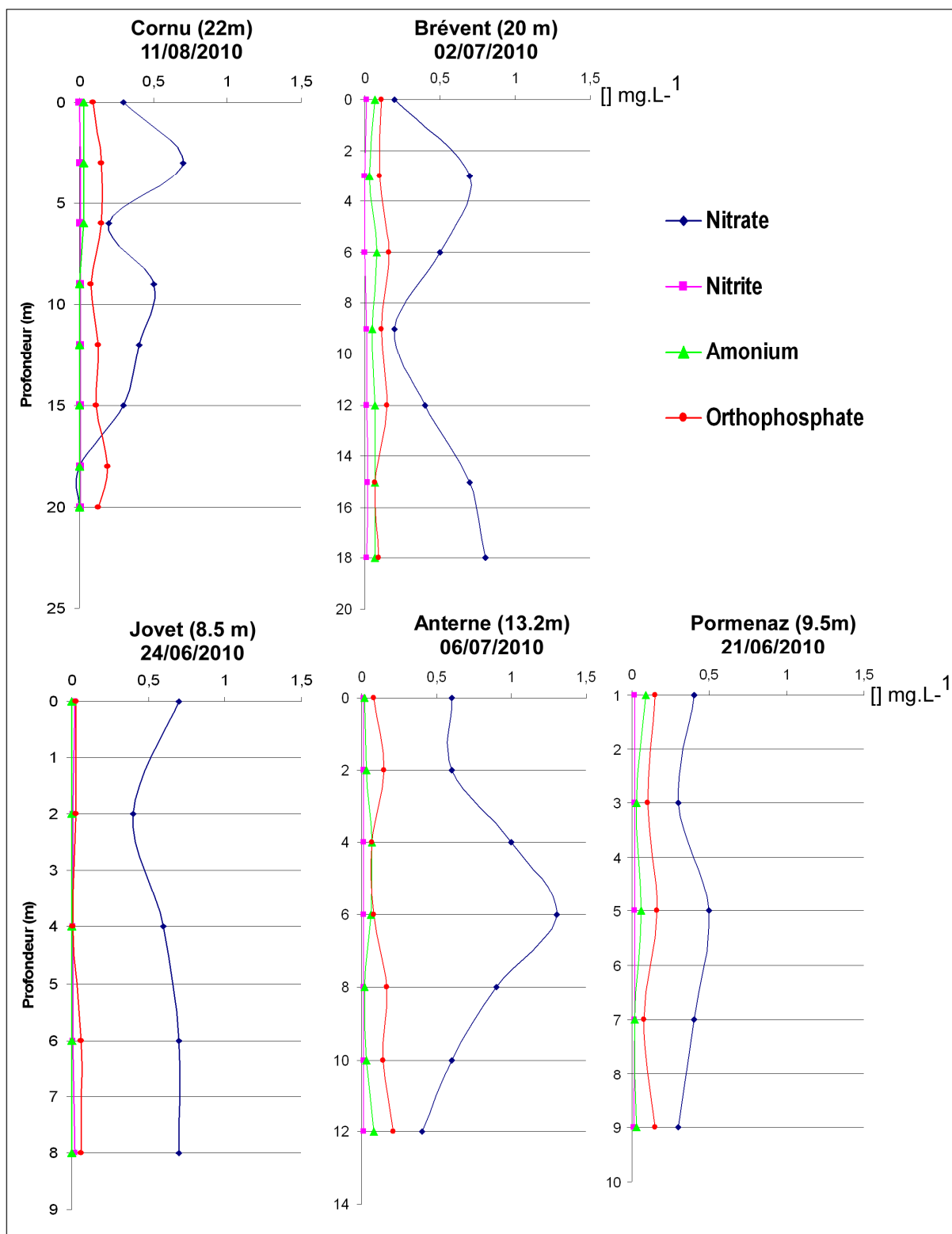


Figure III. 4. Concentrations des différentes formes d'azote et phosphore observées sur la colonne d'eau des 5 lacs

On note des valeurs d'ammonium nulles pour Jovet (elles ne sont donc pas représentées sur la figure III.5.) et ne dépassant pas les 0.03 mg.L⁻¹ pour Cornu alors qu'elles atteignent 0.08 mg.L⁻¹ pour Anterne et Brévent, et 0.09 mg.L⁻¹ pour Pormenaz (Fig.III.5.). Ces valeurs peuvent être le témoignage d'un léger dysfonctionnement trophique.

Les concentrations en calcium et magnésium sont faibles sur l'ensemble du lac à l'exception du lac d'Anterne. En effet, il est caractérisé par des concentrations relativement élevées dans les couches profondes, justifiées par la présence d'un substratum calcaire. Les eaux de surface, alimentées par l'eau de fonte au moment des relevés se révèlent moins chargées en calcium.

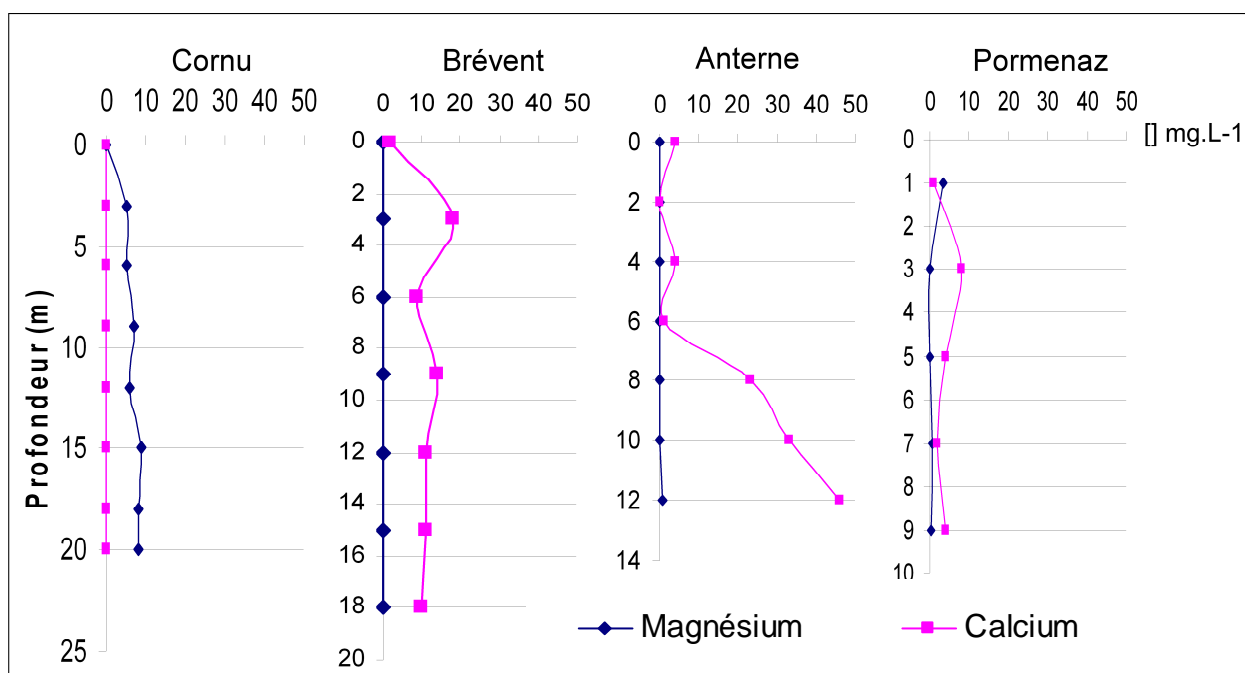


Figure III. 5. Concentrations en calcium et magnésium observées sur la colonne d'eau

En résumé, les analyses physicochimiques révèlent un bon fonctionnement des lacs Jovet et Cornu avec une oxygénation suffisante sur toute la colonne d'eau, des concentrations en éléments azotés et orthophosphates apparaissant relativement faibles. On ne note donc pas de problème notoire, constat qui se rapproche fortement des résultats des études précédentes (Winiarski 2007). Un léger dysfonctionnement est observé sur les lacs d'Anterne et Pormenaz avec l'observation d'une désoxygénation en profondeur ainsi que des valeurs d'ammonium relativement élevées compte tenu de l'oligotrophie naturelle de ces milieux.

Pour finir, le lac Brévent apparaît comme le lac ayant les dysfonctionnements les plus importants avec une forte désoxygénation dès 6 mètres de profondeur. La physicochimie met en évidence des concentrations en ammonium relativement importantes mais cependant faible en orthophosphates. Ce constat est cependant en contradiction avec les données antérieures. En effet, Winiarski (2007) a mis en évidence un risque d'évolution du lac de l'oligotrophie à la mésotrophie de manière accélérée. Cette différence est probablement due aux dates de prélèvement plus précoces de la présente étude (post dégel), les mesures anciennes ayant été réalisées en fin de saison estivale. De plus, des proliférations algales n'ayant pas été constatées lors de la campagne de physicochimie ont été observées fin août, témoignant très certainement de la surcharge en nutriments.

III/ 3. 3. Evaluation du degré de fonctionnalité

	Anterne	Brévent	Cornu	Jovet	Pormenaz
Taux de dysfonctionnement	15%	35%	0%	0%	5%

Tableau III. 3. Taux de dysfonctionnement évalué sur chacun des lacs.

L'évaluation du degré de fonctionnalité a été réalisée à titre indicatif car elle doit prendre en compte des valeurs obtenues durant la durée de stratification estivale, hors il semblerait que nous ne soyons pas nécessairement dans cet intervalle-ci au vu des périodes précoces de nos mesures. Il confirme toutefois ce qu'il a été observé précédemment concernant l'oxygène, c'est-à-dire pas de dysfonctionnement apparent pour les lacs Jovet et Cornu, un début de dysfonctionnement pour les lacs d'Anterne et Pormenaz, et un dysfonctionnement relativement marqué pour le lac Brévent.

III/ 3. 4. Typologie et potentiel théorique

La typologie proposée par TELEOS et al. (2008) permet de mettre en évidence le potentiel biologique ainsi que le potentiel piscicole par le biais des mesures physiques et physicochimiques effectuées dans les eaux du lac. Il sera ainsi possible de proposer, en l'absence de perturbation, un peuplement piscicole type, en accord avec les capacités écologiques du système. Le tableau III.4. présente le type théorique de chaque lac ainsi que les descripteurs permettant de l'obtenir.

	Anterne	Brévent	Cornu	Jovet	Pormenaz
Conductivité $\mu\text{S.cm}^{-1}$	180.6	19.2	2.3	42.6	14.3
Tmm °C	12.3	15.6	11.5	9	17.2
% zone littorale	13	17	8	22	13
Tth	3	1.8	0	1.1	1.6

Tableau III. 4. Descripteurs physiques et physicochimiques et prédiction des types théoriques

Le calcul du type théorique met en évidence des différences inter lac marquées. Ils sont cependant tous dans la gamme typologique typique des lacs de montagne (0 à 3), et sont associés à des peuplements théoriques peu denses, dominés par les ombles et ne comportant pas plus de 3 espèces.

Avec un niveau typologique relativement important (3) au vu des autres lacs, le lac d'Anterne présente une capacité biogène assez bonne. En effet, il devrait pouvoir héberger un peuplement de densité moyenne avec 3 à 4 espèces, composé de truite fario, d'omble chevalier et de vairon, ou de saumon de fontaine, d'omble chevalier et de vairon compte tenu de la présence d'afférences frayables ou circulables.

Le niveau typologique peu élevé des lacs Brévent et Pormenaz (respectivement 1.8 et 1.6) leur confèrent une capacité biogène plutôt faible avec une variété optimale composée de 2 à 3 espèces et une densité modérée. Compte tenu de la présence d'exutoires frayables et circulables pour les deux lacs, les combinaisons d'espèces les plus adaptées sont théoriquement l'omble chevalier et la truite fario, ou la truite fario et le vairon, ou encore le saumon de fontaine et le vairon.

Avec un niveau typologique de 0 et l'absence de vecteurs fluviaux frayables ou circulables, la variété optimale proposée pour le lac Cornu est nulle ou composée d'une seule espèce, le cristivomer.

Pour terminer, le lac Jovet, avec un niveau typologique très faible (1), présente un peuplement théorique peu dense et une variété optimale d'une seule espèce qui devrait être l'omble chevalier, la truite fario ou le saumon de fontaine.

II/ 3. 5. Physicochimie des vecteurs fluviatiles

L'analyse des différents compartiments systémiques du lac est complétée par celle des vecteurs fluviatiles de manière à avoir un complément d'information sur les flux entrant et sortant des lacs, dans les cas le permettant.

Les températures des affluents du lac de Pormenaz sont légèrement plus faibles que la température de l'eau du lac sur la journée du 20 juillet avec 17.1°C et 14.1°C pour les affluents pour une moyenne journalière de 18.9°C à un mètre de profondeur dans le lac. Les afférences sont alimentées par des zones humides, expliquant les arrivées d'eau à des températures relativement élevée pour des cours d'eau d'altitude. Le lac, à travers les caractéristiques citées précédemment (peu profond, avec une orientation sud et des fonds sombres) induit également une augmentation des températures de l'eau, qui se fait ressentir à l'exutoire avec l'observation de températures de quasiment 21°C, apparaissant exceptionnelles compte tenu du caractère montagnard du système. Concernant le pH et la conductivité, on ne note pas de différence majeure entre le lac et ses vecteurs fluviatiles.

Les eaux du lac Jovet sont froides avec une température moyenne journalière de 8.6 °C à un mètre de profondeur le 27 juillet. L'afférence et l'exutoire sont également particulièrement froids, avec seulement 5.3°C pour l'afférence qui est alimentée par une source et 7.3°C pour l'exutoire. Avec un pH légèrement basique et une conductivité faible, aucune différence notable n'est relevée entre le lac et ses vecteurs fluviatiles.

L'exutoire du lac Cornu est caractérisé par un pH légèrement acide et une minéralisation faible. Les constatations sont similaires à celles effectuées sur le lac, c'est à dire une bonne qualité des eaux.

L'analyse de la température, du pH et de la conductivité sur l'exutoire du Brévent ne révèle pas de phénomènes particuliers, avec des valeurs très proches de celles obtenues à la surface du lac. On observe donc un pH très légèrement basique et une conductivité très faible.

	T°C	pH	Conductivité
Pormenaz 20/07/10			
Affluent1	17,1	7,2	24,24
Affluent 2	14,1	8,2	29,63
Exutoire	20,85	8,59	16,8
Jovet 27/07/10			
Affluent	5,3	7,95	20,98
Exutoire	7,3	8,41	48,2
Brévent 26/07/10			
Exutoire	12,8	7,57	11,72
Cornu 11/08/10			
Exutoire	11,9	6,98	3,27

Tableau III. 5. Température (°C), pH et conductivité (µS.cm-1) observés dans les vecteurs fluviatiles permanents des lacs

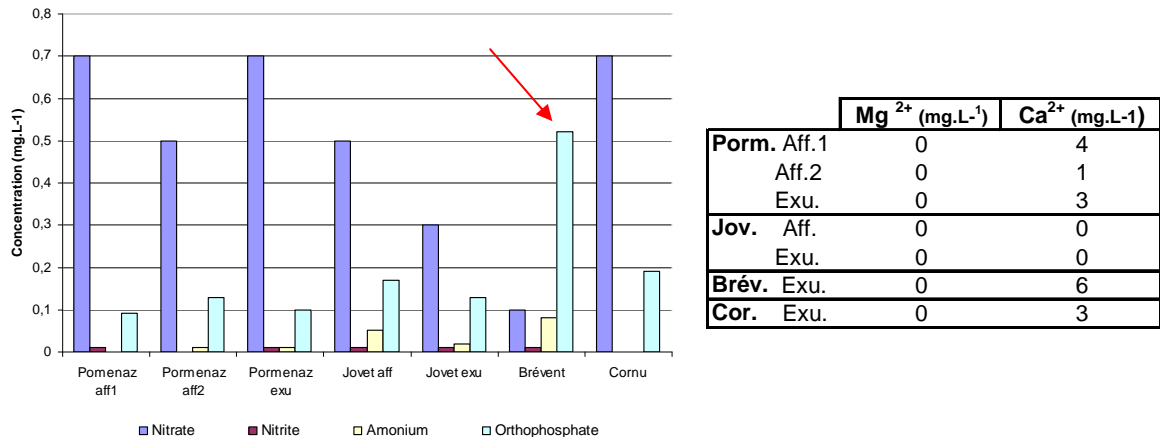


Figure III. 6. Concentrations des différentes formes d'azote, d'orthophosphates (données graphiques) et de cations calciums et magnésiums (tableau) observés dans les vecteurs fluviatiles permanents des lacs.

Pour les lacs de Jovet et Pomenaz, sur lesquels les afférences et les exutoires ont été analysés, on ne note aucun flux entrant, et l'eau ressort du lac d'aussi bonne qualité qu'elle est entrée. Il semblerait donc qu'il n'y ait pas de dysfonctionnement particulier de qualité d'eau au niveau du lac.

En dépit du décalage de temps, on retrouve les mêmes concentrations en éléments azotés, en orthophosphates en calcium et magnésium du lac et des vecteurs fluviatiles, à l'exception du lac Brévent pour qui les concentrations en orthophosphates apparaissent anormalement élevées.

En effet, les concentrations s'élèvent à 0,52 mg.L⁻¹ dans l'exutoire alors que les concentrations sur la colonne d'eau sont comprises entre 0,07 mg.L⁻¹ et 0,16 mg.L⁻¹ (Fig.III.6.). Un changement s'est donc produit dans l'intervalle de temps entre les deux mesures. En effet, le prélèvement ayant été réalisé dans l'exutoire quelques mètres à l'aval du lac, les eaux provenant de celui ci ne subissent pas de modification.

III/ 4. Peuplement macrobenthique

III/ 4. 1. Peuplement littoral

Etant donné les différences de périmètre des lacs, le nombre de placettes en zone littorale déterminé par la formule IBL varie d'un système à l'autre. Concernant les lacs Brévent et Pomenaz, 9 placettes ont été échantillonnées, Jovet compte 10 placettes, et enfin, Anterne et Cornu en compte 12. Le lac Cornu, avec seulement 5,3 ha présente un nombre de placette important, expliqué par son fort développement rivulaire.

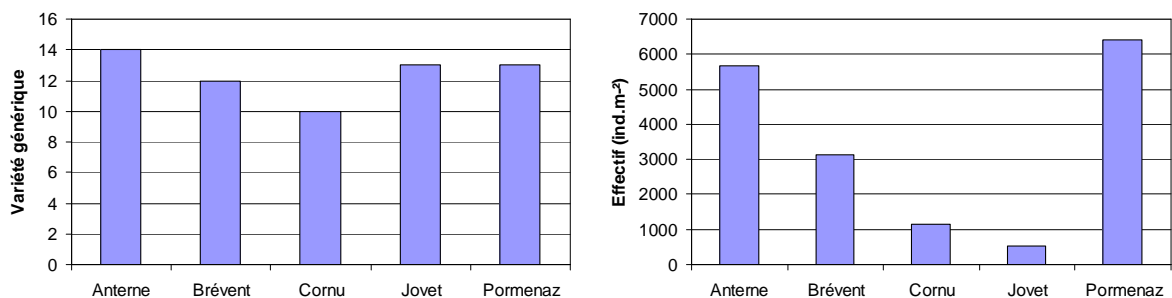


Figure III. 7. Densité et variété générique du macrobenthos échantillonné en zone littorale

La variété taxonomique est relativement faible et homogène sur tous les lacs avec un minimum de 10 taxons pour Cornu et un maximum de 14 pour Anterne en passant par 12 pour le lac Brévent et 13 pour Jovet et Pormenaz. Les densités apparaissent cependant beaucoup plus hétérogènes. Les lacs d'Anterne et Pormenaz ont les effectifs les plus importants avec respectivement 5683 et 6424 ind.m⁻². De tels effectifs sur le lac d'Anterne s'expliquent probablement par la forte minéralisation du lac, résultat d'un substrat géologique calcaire, comme il l'a été expliqué précédemment. Concernant le lac de Pormenaz, les densités observées peuvent être expliquées par la quantité importante de fines organiques pouvant favoriser la prolifération des taxons saprobiontes. Les effectifs sont également importants mais dans une moindre mesure sur le lac Brévent, avec tout de même 3138 ind.m⁻². Au même titre que Pormenaz, la matière organique explique probablement les densités observées. Pour finir, les lacs Cornu et Jovet sont caractérisés par des densités nettement plus faibles que les lacs précédents. Ces observations semblent être en concordance avec d'une part le caractère ultra oligotrophe de ces deux milieux, et d'autre part, par la présence de très faible quantité de fine, substrat biogène pour la faune macrobenthique lacustre. On note donc l'importance du caractère habitational sur l'ensemble des lacs.

Le tableau III.6. recense l'ensemble des taxons récoltés en zone littorale des 5 lacs et les données brutes sont présentées dans les listes faunistiques en annexe 6

La zone littorale de l'ensemble des lacs apparaît dominée par les diptères et les oligochètes. L'occurrence de chacun de ces taxons est représentée pour les 5 lacs sur le graphique III.8. On constate que le rapport diptères sur oligochètes est supérieur à 1 pour les lacs d'Anterne, Brévent et dans une moindre mesure Pormenaz, présentant tous une désoxygénation plus ou moins importante. A l'inverse, sur les lacs Cornu et Jovet ne présentant pas de désoxygénation majeure, le rapport diptères sur oligochètes est inférieur à 1. Les proportions diptères/oligochètes semblent donc être corrélées à l'état d'avancement de la désoxygénation mis en évidence précédemment. Il a été observé que la désoxygénation induit une diminution du pH qui affecte la croissance végétale et l'accumulation de matière organique. Ces facteurs modifient donc les substrats de fond qui sont l'une des variables les plus importantes de la distribution des chironomidae (Boggero et Lencioni 2006, Boggero *et al* 2006). Il a également été observé que la diminution de la quantité d'oxygène en zone profonde durant la période en glace des eaux de surface contraignait les larves à migrer vers les parties supérieures du lac (Tátosová et Stuchlík 2006). Ce phénomène est cependant peu décrit dans la littérature et reste à prouver quant à sa possibilité d'observation sur les lacs français. On peut toutefois émettre l'hypothèse que la zone littorale fasse office de zone refuge pour les diptères des lacs désoxygénés en zone profonde. Ces suppositions pourront être vérifiées par la réalisation d'un IBL complet.

La proportion des « autres taxons » apparaît intéressante sur le lac Jovet, mais elle est cependant soutenue par les nématodes, représentant 10.9% du peuplement total.

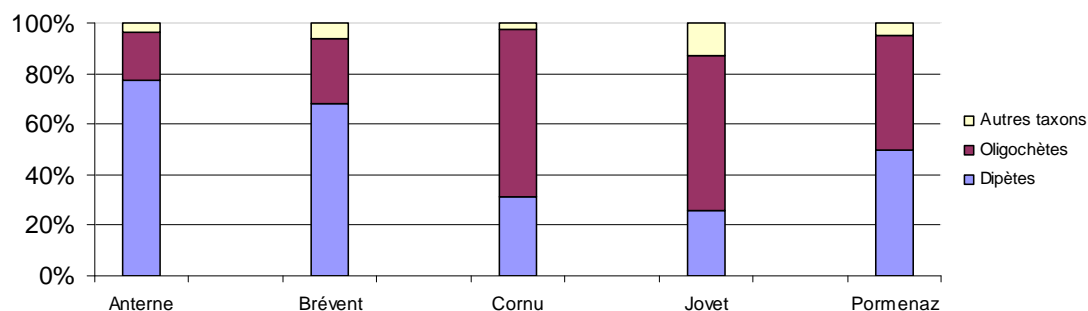


Figure III. 8. Densité relative des oligochètes et des diptères pour les 5 lacs étudiés

		Anterne		Brévent		Cornu		Jovet		Pormenaz	
		Effect.	Occ (%)	Effect.	Occ (%)	Effect.	Occ (%)	Effect.	Occ (%)	Effect.	Occ (%)
PLECOPTERES											
Nemouridae	<i>Nemoura</i>	6	0,18							20	0,69
TRICHOPTERES											
Limnephilidae	<i>Limnephilinae ind.</i>									6	0,21
	<i>Tr Limnephilini ind</i>					1	0,15	2	0,78	1	0,03
	<i>Limnephilus</i>	2	0,06							20	0,69
COLEOPTERES											
Dytiscidae	<i>Laccophilus l.</i>					1	0,15				
	<i>Laccornis Ad.</i>							1	0,39		
	<i>Deronectes Ad.</i>					1	0,15				
DIPTERES											
Ceratopogonidae	<i>Ceratopogoninae</i>	5	0,15	9	0,64					2	0,07
	<i>Dasyhelainae</i>									4	0,14
Chironomidae	Genre non identifié	8	0,23	12	0,85			2	0,78	3	0,10
	<i>Nymphe ind</i>			2	0,14	2	0,29			3	0,10
	<i>Nymphe chironominae</i>			18	1,27						
	<i>Chironomini</i>	23	0,67	51	3,61	1	0,15	2	0,78	425	14,70
	<i>Nymphe de Chironomini</i>	1	0,03								
	<i>Tanytarsini</i>	65	1,91	198	14,02	94	13,64	4	1,55	510	17,64
	<i>Nymphe Tanytarsini</i>	4	0,12	8	0,57	21	3,05			4	0,14
	<i>Orthocladiinae lato sensus</i>	2510	73,61	215	15,23	78	11,32	12	4,65	174	6,02
	<i>Nymphe Orthocladiinae</i>	7	0,21	63	4,46	5	0,73			20	0,69
	<i>Tanypodinae</i>	19	0,56	386	27,34	15	2,18	43	16,67	287	9,93
Limoniidae	<i>Eriopterini</i>	1	0,03					2	0,78		
	<i>Pedicini</i>	2	0,06					1	0,39		
Ragionidae			1	0,07			1	0,39			
Tabanidae			2	0,14							
MEGALOPTERE	<i>Sialis</i>			10	0,71	6	0,87			12	0,42
BIVALVES	<i>Pisidium</i>	6	0,18	14	0,99			1	0,39	70	2,42
TURBELLARIA	<i>Dugesia</i>	36	1,06								
ACHETES											
Glossiphoniidae	<i>Helobdella</i>									3	0,10
OLIGOCHETES		647	18,97	362	25,64	456	66,18	158	61,24	1320	45,66
NEMATODES		59	1,73	57	4,04			28	10,85	6	0,21
HYDRACARIENS		9	0,26	4	0,28	8	1,16	1	0,39		
ABONDANCE TOTALE		3410		1412		689		258		2891	
VARIETE GENERIQUE		14		12		10		13		13	

Tableau III. 6. Répertoire faunistique établi pour l'IBL littoral des 5 lacs

Sur les 24 taxons présents sur l'ensemble des lacs, seulement 5 sont communs à tous les systèmes. Ce sont les Chironomini, les Tanytarsini, les Orthocladiinae, les Tanypodinae et les oligochètes. Ce sont toutefois les taxons les plus représentés. On observe donc une certaine homogénéité du peuplement benthique entre les lacs. Le tableau III.7. récapitule le pourcentage de représentativité de ces 5 taxons pour chaque lac. De plus, la présence/absence des taxons faiblement représentés peut être justifié par un biais de prélèvement plutôt qu'à une réelle différence de composition de peuplement. Les taxons particuliers à chacun des lacs peuvent également provenir de la dérive depuis les cours d'eau, la plupart étant électif des systèmes lotiques.

	Anterne	Brévent	Cornu	Jovet	Pormenaz
Représentativité 5 taxons	96.1%	90.9%	97.2%	84.8%	94.8%

Tableau III. 7. Pourcentage de représentativité des 5 taxons communs (Chironomini, Tanytarsini, Orthocladiinae, Tanypodinae et oligochètes) aux zones littorales des 5 lacs

Concernant la macrofaune en zone littorale du lac d'Anterne, on constate que plus de 60% de la densité a été récoltée sur le substrat bryophyte, qui est ultra minoritaire. Les fines minérales,

substrat le plus présent en zone littorale ne regroupent de 30% de la densité totale. Cependant en termes de variété taxonomique, ce sont elles qui présentent le plus grand nombre de taxons. Certains genres tel que *Limnephilus* ou encore *Nemoura* ne sont représentés que par quelques individus.

En zone littorale du lac Brévent, plus de 45% de la faune sont situés dans les fines minérales et organiques qui sont des substrats bien représentés (32%). Cependant, une seule placette de bryophytes qui est un substrat ultra minoritaire, représente à elle seule plus de 30% de la densité totale. On observe également que ce lac est le seul à être caractérisé par l'absence totale des genres de Plécoptères, Trichoptères et Coléoptères très probablement du fait des colmatages algaux. Il est également le seul dans lequel on retrouve la famille des Tabanidae qui présente une affinité marquée pour la matière organique (qui ne représente toutefois que 0.1% de la densité totale).

Concernant le lac Cornu, on note que plus de 60% de la faune récoltée se trouvent dans les graviers qui ne représentent que 10% de la surface totale de la zone littorale. Sur les 5 placettes de dalle (qui est le substrat dominant), on ne retrouve que 5% de la densité totale. L'habitat semble donc expliquer la faible variété observée.

Sur le lac Jovet, on note que plus de 35% de la faune récoltée se trouvent dans les héliophytes qui sont très peu représentés. Le reste de la macrofaune est principalement retrouvée dans les graviers et dans les sables. Les dalles et les galets, qui sont les substrats majoritaires (plus de 70% de la surface), ne présentent que très peu d'individus car à eux deux, ils ne cumulent que 13% de la densité. Le constat est le même que sur le lac Cornu avec une faible variété principalement expliquée par l'habitat.

Avec un recouvrement de 42%, les fines organiques de la zone littorale du lac de Pormenaz regroupent plus d'un tiers de la densité de macrobenthos. Un quart de l'abondance totale a été récoltée sur une placette de fines minérales, qui est un substrat peu représenté, avec seulement 10% de la surface totale. Le lac de Pormenaz a également la particularité de présenter le genre *Limnephilus*. Il ne représente que 0.69% de l'abondance, mais sa présence apparaît tout de même significative : il est représenté par 20 individus provenant essentiellement de la litière et des spermaphytes immergés. Leur présence est très certainement justifiée par le fait que Pormenaz soit le seul lac dans lequel on a des apports conséquents de matière organique grossière nécessaire à la fabrication de leur étui, du fait de la présence d'arbustes sur le bassin versant.

Peuplement des vecteurs fluviaux

L'étude des macroinvertébrés des vecteurs fluviaux permet d'élargir la vision du fonctionnement de ces 5 lacs d'altitude. De manière générale, en plus des caractéristiques particulières que présentent ces vecteurs fluviaux en termes de milieu, (pente, température, faible quantité de nutriments, etc.), les faibles gabarits des cours d'eau observés (excepté le Bon Nant) sont susceptibles d'avoir une influence négative marquée sur la densité et la variété taxonomique. Un autre facteur prépondérant vis-à-vis de la composition des peuplements macrobenthiques des vecteurs fluviaux est la mosaïque d'habitat. Elle apparaît très différente d'un lac à l'autre de par la nature et la représentativité des différents substrats (Fig.III.9.).

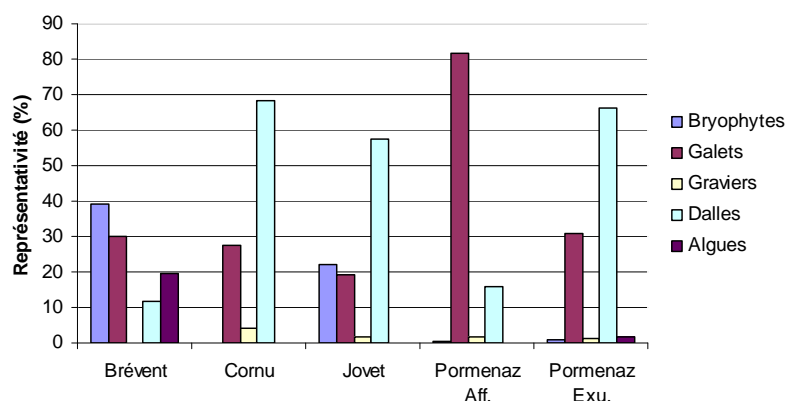


Figure III. 9. Représentativité des substrats présents sur chaque vecteurs fluviaux

	Brévent Exutoire		Cornu Exutoire		Jovet Exutoire		Pormenaz Afférence		Pormenaz Exutoire		
	Effect.	Occ.(%)	Effect.	Occ.(%)	Effect.	Occ.(%)	Effect.	Occ.(%)	Effect.	Occ.(%)	
PLECOPTERES											
Chloroperlidae	<i>Siphonoperla</i>						1	0,2			
Leuctridae	<i>Leuctra</i>	13	0,3				57	8,9	2	0,1	
Nemouridae	<i>genre non identifié</i>										
	<i>Nemoura</i>	1	0,0			65	0,7	56	8,8	1	0,1
	<i>Protonemura</i>	25	0,7			78	0,9	78	12,2	1	0,1
Perlodidae	<i>Genre non identifié</i>									2	0,1
	<i>Isoperla</i>	158	4,2			337	3,8	10	1,6	16	1,0
TRICHOPTERES											
Goeridae	<i>Lithax</i>					1	0,0	9	1,4		
Limnephilidae	<i>Genre non identifié</i>							1	0,2		
	<i>Drusus</i>			2	2,8	6	0,1				
	autre Limn. 1 flt branchial/faisceau										
	<i>Chaetopteryx</i>							12	1,9		
Polycentropodidae	<i>Genre non identifié</i>	1									
	<i>Plectrocnemia</i>	26	0,7					7	1,1	12	0,7
Rhyacophilidae	<i>Rhyacophila</i>	13	0,3			255	2,9	12	1,9	19	1,2
EPHEMEROPTERES											
Baetidae	<i>Baetis</i>	803	21,2			1042	11,7	10	1,6	391	23,7
Heptageniidae	<i>Ecdyonurus</i>					3	0,0	54	8,4	1	0,1
	<i>Epeorus</i>							9	1,4		
COLEOPTERES											
Dytiscidae	<i>Genre non identifié I.</i>	1	0,0								
	<i>Laccophilus l.</i>	2	0,1			1	0,0				
	<i>Copelatus ad.</i>					1	0,0				
	<i>Laccornis ad.</i>										
	<i>Deronectes ad.</i>										
	<i>Agabus l.</i>	4	0,1	2	2,8						
Helophoridae	<i>Helophorus ad.</i>	6	0,2					1	0,2		
DIPTERES											
Anthomyiidae										5	0,3
Ceratopogonidae	Ceratopogoninae	6	0,2								
Chironomidae	Indeterm			1	1,4						
	Chironomini	13	0,3							211	12,8
	Tanytarsini	16	0,4	20	27,8	3	0,0	125	19,5	20	1,2
	Orthoclaidiinae lato sensus	521	13,8	3	4,2	4926	55,4	130	20,3	97	5,9
	Tanypodinae	1411	37,3					28	4,4	298	18,1
	Clinocerinae	3	0,1					8	1,3		
Empididae	Eriopterini	2	0,1					1	0,2		
Limoniidae	Hexatomini	2	0,1								
	Limoniini	38	1,0								
	Pediciini	1		2	2,8	3	0,0	1	0,2		
Psychodidae								1	0,2		
Rhagionidae		1									
Simuliidae	<i>Prosimuliini</i>	19	0,5	14	19,4					24	1,5
	<i>Simuliini</i>	396	10,5					20	3,1	531	32,2
Tabanidae											
Tipulidae		2	0,1								
LEPIDOPTERES											
Crambidae								1	0,2		
BIVALVES											
	<i>Pisidium</i>					9	0,1			2	0,1
TURBELLARIA											
	<i>Dugesia</i>			2	2,8	13	18,1	1789	20,1		
ACHETES											
Glossiphoniidae	<i>Helobdella</i>										
OLIGOCHETES											
		242	6,4	12	16,7	357	4,0			12	0,7
NEMATODES											
		59	1,6			2	0,0			2	0,1
HYDRACARIENS											
		2	0,1	1	1,4	13	0,1	8	1,3		
ABONDANCE TOTALE		3787		72		8891		639		1647	
VARIETE TAXONOMIQUE		27		9		18		24		17	

Tableau III. 8. Répertoire faunistique établi pour les MAG12 des vecteurs fluviaux des lacs

	Brévent exu.	Cornu exu.	Jovet exu.	Pormenaz aff.	Pormenaz exu.
IBGN (/20)	14	3	13	11	7
GI	9	1	9	7	4
	Perlodidae	Chironomidae	Perlodidae	Leuctridae	Polycentropodidae
Variété	17	7	12	15	10
Robustesse	12	3	10	11	5
Var substrats	4	3	4	4	5
Var vitesses	4	4	5	3	4
Cb2	11	7	12	12	9
lv	3,7	1,5	2,6	3,3	2,2
ln	6,6	4,8	8,9	8,5	6,1
m	16,8	11,2	10,7	14,4	12,9
Hospitalité	très bonne	médiocre	mauvaise	bonne	médiocre
Densité (ind/m ² , sur 12 placettes)	6312	117	14820	1065	2745
Nb genre Ephéméroptères	2	0	2	3	2
Nb genre Plécoptères	4	0	3	5	4
Nb genre Trichoptères	3	1	4	4	2
Nb genre Coléoptères	3	1	2	1	0
% taxons repr. par moins de 3 ind.	31%	44%	25%	26%	33%
Taxons i>7	16%	0%	13%	22%	14%
Taxons saprobiontes	93%	74,30%	71,30%	49,30%	96,70%

Tableau III. 9. Caractéristiques des peuplements macrobenthiques de l'ensemble des stations

Le Ravin du Brévent

Le Ravin du Brévent (émissaire du lac Brévent) est un ruisseau de petit gabarit qui est caractérisé par une profondeur moyenne inférieure à 10 cm avec des substrats relativement biogènes. En effet, on observe un recouvrement de 40% de bryophytes et 30% de galets. On note cependant la présence d'algues qui recouvrent 20% de la surface totale de la station et qui ont tendance à colmater l'ensemble des substrats. Les vitesses de courant sont fortement dominées par la classe 25/75cm.sec-1. Le Ravin du Brévent semble donc offrir un habitat assez favorable pour le développement de la faune benthique

L'IBGN moyen (14) et peu robuste (12) sanctionne un peuplement peu varié avec seulement 17 familles, relativement instable (un tiers des taxons ayant moins de 3 individus) et présentant une densité moyenne. Le Cb2 plus sévère (11), sanctionne la qualité de l'habitat (3.7) et la qualité de l'eau (6.6). L'incrimination de la qualité de l'habitat est à relativiser compte tenu du caractère naturel de la faible variété taxonomique, résultante des conditions extrêmes proposée par le milieu (températures, pentes, etc.). Le m décrit d'ailleurs une hospitalité très bonne (16.8) mais il faut cependant noter la présence de colmatages algaux sur l'ensemble des substrats. En revanche, la faible valeur de l'In laisse entrevoir une légère perturbation de l'édifice macrobenthique, se rapprochant du constat effectué lors des analyses de physicochimie.

A la lecture de la liste faunistique, on note la présence non anecdotique de taxons polluosensibles tels que *Leuctra* et surtout *Isoptera*, qui représente 4% du peuplement. Cependant, 93% des effectifs sont représentés par des taxons ubiquistes et plus ou moins saprobiontes. Les concentrations en orthophosphates, non rédhitoires en elles mêmes pour la faune macrobenthique induisent cependant des colmatages algaux, certainement responsables du constat. De plus on observe l'absence de taxon rhéophile psychrosténotherme tels que les Heptageniidae ou encore les Blephariceridae que l'on retrouve habituellement dans les cours d'eau de montagne. Ceci s'explique très certainement par des températures d'eau importantes en milieu de saison estivale, équivalentes à celles relevées en surface du lac, l'exutoire étant une sur verse des eaux du Brévent.

Le torrent du Cornu

L'habitat du Torrent du Cornu présente une variété morphodynamique intéressante mais est composé à 68% par des dalles avec une lame d'eau très étalée, procurant ainsi aux macroinvertébrés un substrat relativement peu attractif.

L'IBGN de 3 traduit un peuplement faible avec une variété et une densité extrêmement basse avec 72 individus pour 7 taxons. Le Cb2 de 7 est également très faible est essentiellement tenu par l'In (4.8). De plus, le m est médiocre mais cependant pas rédhibitoire (11.2). Ce constat est du aux caractéristiques du cours d'eau, et essentiellement à son caractère temporaire du à la prise en glace de ces eaux plusieurs mois de l'année. De plus lorsque le lac atteint son étiage, il est fort probable que l'eau du lac ne sur verse plus arrêtant l'écoulement du ruisseau (Balvay 1978). Les macroinvertébrés observés ne proviennent très certainement que d'une dérive depuis le lac car on n'observe dans l'exutoire que des taxons présents dans ce dernier.

Le Bon Nant

La station du Bon Nant (située à l'embouchure du lac Jovet) présente le même substrat majoritaire que le lac précédent avec un recouvrement de dalle de plus de 55% (majoritairement des blocs) mais avec un recouvrement de bryophyte de 22% et une hétérogénéité hydraulique intéressante rendant l'habitat assez attractif. La hauteur d'eau moyenne (30 cm) ainsi que les vitesses importantes laissent présager d'une pérennité du cours d'eau tout au long de l'année.

L'IBGN moyen (13) et peu robuste (10) décrit un peuplement peu varié (13 familles) ainsi qu'une stabilité moyenne (25% des taxons présente moins de 3 individus). Ceci est expliqué par le fait que l'IBGN est essentiellement prélevé sur des dalles, substrat majoritaire. Le Cb2 est du même ordre avec une note de 12. L'étude des composantes de cet indice permet d'affiner ce constat. En effet on note un indice nature assez bon, soutenu par des taxons de groupe indicateur 9 avec les Perlodidae, 8 avec les Goeridae et 7 avec les Heptageniidae. L'iv quant à lui est assez faible et témoigne d'une hospitalité peu biogène. L'hospitalité est d'ailleurs qualifiée de mauvaise par un m de 10.7.

La description semi quantitative permet d'effectuer une analyse plus fine et plus pertinente de la qualité réelle des peuplements macrobenthiques du Bon Nant car les 4 prélèvements supplémentaires sont effectués sur des substrats tempérant le caractère contraignant de l'habitat mis en évidence par l'iv et le m, avec 3 placettes de bryophytes et une de galets. On note un gain aussi bien au niveau de la densité que de la variété. En effet, on passe d'une densité de 2293 ind.m⁻² pour les 8 prélèvements l'IBGN à 14820 ind.m² pour les 12 prélèvements avec un gain notoire de 4 taxons qui sont les nématodes, les Tanytarsini, *Laccophilus* et *Copelatus*. Ce constat s'explique par le caractère biogène des substrats supplémentaires. Concernant les taxons présents, on note une influence assez marquée du lac sur le cours d'eau avec une densité de chironomidae de 55%. La densité de taxons saprobiontes apparaît cependant modéré avec seulement 71% de la densité totale. On observe également la présence de taxons polluosensibles en nombre (*Isoperla*, *Lithax*) ainsi que des taxons rhéophiles avec la présence notoire d'Heptageniidae, confirmant ainsi le constat d'une bonne qualité globale du cours d'eau. La richesse taxonomique reste tout de même faible mais ce constat est imputable au caractère ultra oligotrophe du milieu.

Vecteurs fluviatiles du lac de Pormenaz

Afférence

Le substrat du cours d'eau afférent du lac de Pormenaz est composé à plus de 80% de galets et 15% de dalle rendant l'habitat plutôt favorable à certains taxons. Le ruisseau présente cependant une lame d'eau très étalée avec des écoulements homogènes amoindrissant le caractère accueillant du milieu.

L'IBGN médiocre de 11 sanctionne un peuplement peu varié (15 familles) mais également peu dense (1065 ind.m²) et moyennement instable (22% de taxons comptant moins de 3 individus). Ce constat provient principalement des caractéristiques du milieu avec un cours d'eau d'un gabarit particulièrement restreint. Le Cb2 également très moyen (12) est soutenu par l'In, témoignant de la bonne qualité de l'eau, l'Iv faible incriminant la qualité de l'habitat. Le m quant à lui sanctionne un habitat qui paraît bon, et semble contredire le Cb2. Ceci peut être expliqué par une surestimation de l'hospitalité lors du calcul du coefficient morphodynamique avec la prise en compte d'une unique tâche de bryophytes en vitesse 25/75, habitat très favorable mais ultra minoritaire sur la station. Les températures relativement élevées relevées peuvent également contribuer à ce constat en pénalisant les taxons psychrosténothermes électifs de ce type de milieu.

L'analyse semi quantitative relativise les observations précédentes. En effet, on note la présence de taxons polluossensibles tel que *Leuctra*, *Siphoperla*, *Isoperla Protonemura*, *Nemura* ou encore *Lithax* ainsi que de taxons rhéophiles (Heptageniidae), mais cependant plus ou moins bien représentés. Le peuplement présente moins de 50% de taxons saprobiontes mettant en évidence l'absence de perturbation trophique et une bonne qualité de l'eau. Pour conclure, le peuplement macrobenthique est de qualité mais cependant peu varié, constat trouvant son explication dans le petit gabarit du cours d'eau d'une part et dans les conditions extrêmes proposées par ce milieu alpin d'autre part.

Exutoire

L'attractivité apparaît moyennement bonne concernant l'émissaire du lac qui est majoritairement recouvert par de la dalle (68%) avec cependant la présence de bryophyte qui ne recouvre que 0.9% de la surface totale. Il est à noter également la présence d'algue en très faible proportion (1.5%) mais qui a tendance à colmater l'ensemble des substrats.

L'IBGN plutôt mauvais (7) et peu robuste (5) sanctionne un peuplement peu dense, peu varié et plutôt instable. Le Cb2 de 9 incrimine d'une part l'habitat, mais également la qualité de l'eau. Ce constat, comme pour l'ensemble des cours d'eau précédent, est imputable au gabarit du cours d'eau mais ce caractère n'explique pas entièrement un tel déficit.

En effet, en plus d'un peuplement très pauvre, on note une très faible proportion de taxons les plus sensibles. De plus on observe 97% de taxons saprobiontes et ubiquistes principalement représentés par les oligochètes et les *Baetis* mettant en évidence une perturbation du milieu.

La comparaison des listes faunistiques et des indices amont et aval du lac met en évidence la baisse significative de la qualité du peuplement macrobenthique suite à la traversée du lac. En effet, la note IBGN passe de 11 à l'amont à seulement 7 à l'aval avec une nette diminution de la robustesse. On observe également une diminution importante de certains genres comme

Leuctra ou encore *Protonemoura* qui passe de respectivement 8.9% et 12.1% du peuplement totale à 0.1%. Une prolifération de la tribu des Simulini est également observée à l'aval car ils représentent 3.1% du peuplement à l'amont contre 32.2% à l'aval. L'exutoire est de taille plus importante avec des écoulements plus variés et malgré le fait qu'il soit majoritairement composé de dalle, l'habitat n'apparaît pas moins biogène qu'à l'aval. Compte tenu des résultats de physicochimie qui ne montrent pas de différences particulière entre l'amont et l'aval avec des concentrations en azote et orthophosphates faible, la baisse de la qualité du peuplement peut être expliquées par la différence de température qui est de 17,1°C dans l'afférence contre 20.9°C dans l'émissaire du lac et qui sanctionne les taxons adaptés aux températures typiquement retrouvées dans les cours d'eau d'altitude d'une part, et par un développement algal et un colmatage par celle-ci des autres substrats d'autre part.

III/ 5. Analyse du peuplement piscicole

Compte tenu des espèces alevinées dans les lacs au cours de ces 50 dernières années, la truite fario, la truite arc en ciel et l'omble chevalier sont susceptibles d'être retrouvés sur l'ensemble des lacs. L'omble chevalier a été aleviné récemment sur les lacs d'Anterne, Brévent, Cornu et Pormenaz, mais pas depuis 20 ans sur Jovet. L'omble alysse à quant à lui été introduit dans les lacs d'Anterne, Cornu et Pormenaz. Dans le cadre du nouveau plan de gestion, du cristivomer a été déversé dans les lacs Cornu et Jovet et le saumon de fontaine a été aleviné sur le lac d'Anterne. Ayant pour origine la pêche au vif, la présence systématique de vairon est également observée sur l'ensemble des lacs. Parmi les espèces présentes, la truite arc en ciel et la truite fario sont les espèces susceptibles d'installer une population fonctionnelle dans les vecteurs fluviatiles. La présence éventuelle d'individus des autres espèces sur ces cours d'eau résulte essentiellement de phénomène de dévalaison.

Le Ravin du Brévent

La pêche d'inventaire met en évidence le caractère a piscicole du ruisseau. En effet on note l'absence totale de dévalant et de surcroit de population fonctionnelle. Ce constat trouve son explication dans les caractéristiques de l'habitat. En effet, malgré la présence de quelques gouilles susceptibles d'accueillir du poisson, il n'y a pas d'habitat favorable à celui ci, avec l'absence de cache, une lame d'eau extrêmement réduite et certainement soumise au gel durant plusieurs mois de l'année, et la présence de multiples obstacles infranchissables très rapprochés les uns des autres.

Le Torrent du Cornu

Avec uniquement un omble chevalier dévalant très probablement du lac, le constat est le même que pour le Ravin du Brévent. En effet, cet exutoire est peu hospitalier pour le poisson du fait de son petit gabarit, de sa fine lame d'eau ainsi que la prise en glace probable de la totalité du cours d'eau plusieurs mois par an. De plus compte tenu des marnages importants sur le lac mis en évidence par Balvay (1978), il se peut que l'on observe des périodes d'assecs en fin de saison estivale.

Vecteurs fluviatiles du lac de Pormenaz

Les pêches effectuées sur l'afférence du lac ont mis en évidence le caractère a piscicole du cours d'eau. Ces constatations trouvent leur explication dans un habitat défavorable pour la faune piscicole.

L'exutoire présentant une bonne connectivité avec le lac ne présente cependant pas de population fonctionnelle, seul quelques vairons en densité très faible ont été observés, en dépit d'une population lacustre de cette espèce dense et fonctionnelle (Huchet 2009). Pour les mêmes raisons que les ruisseaux précédents, c'est-à-dire absence notoire de cache, un petit gabarit et une lame d'eau très restreinte, l'exutoire de Pormenaz est peu hospitalier pour la faune piscicole. Lors de pêches effectuées en 2007, il a toutefois été observé une abondance non négligeable d'ombles alysses (Huchet 2009). Néanmoins, cet hybride qui présente une forte propension à la dévalaison, n'a pas du trouver dans l'exutoire des conditions l'incitant à s'installer, notamment à cause des problèmes de température.

Le Bon Nant (Exutoire du lac Jovet)

A la suite des pêches effectuée sur le Bon Nant, 4 espèces de poissons sont observées : la truite fario, le cristivomer, l'omble chevalier et la truite arc en ciel. Les individus des trois premières espèces citées proviennent très probablement de dévalaison du lac avec la présence anecdotique d'une truite fario, de 2 cristivomers et d'un omble chevalier.

Malgré l'absence d'alevinage en omble chevalier depuis plus de 20 ans, un juvénile a été retrouvé dans l'exutoire. Ce constat confirme les observations passées de reproduction de cette espèce dans le lac.

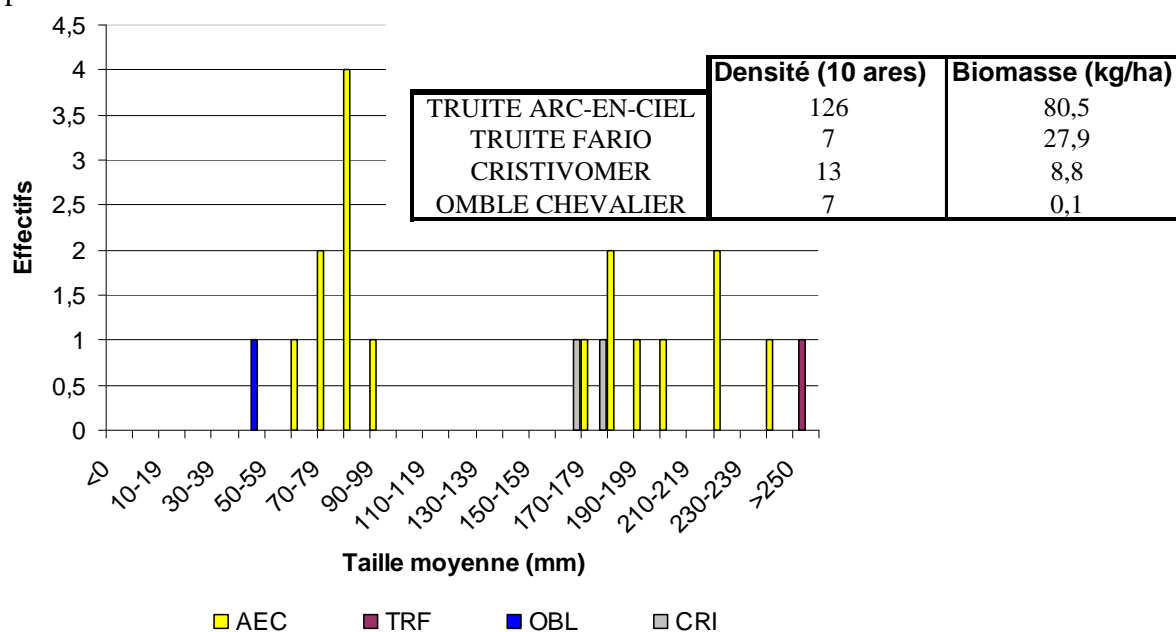


Figure III. 10. Distribution des classes de taille de la truite arc en ciel, la truite fario, l'omble chevalier et le cristivomer pêchés dans le Bon Nant.

La truite arc en ciel est la seule espèce que l'on trouve de manière significative dans le cours d'eau avec une densité de 126 ind.10are-1, représentant 83% de la densité totale pour une biomasse de 80.5 kg.ha-1, soit 70% de la biomasse totale. Ces observations semblent correspondre à un optimum dans un tel milieu apical (le niveau typologique est obtenu en extrapolant les données thermiques du lac au cours d'eau).

De plus, on observe que la population de truite arc en ciel est structurée avec la présence de juvéniles en dépit d'absence d'alevinage ces trois dernières années. La pêche, effectuée en période de fraye, a mis en évidence des mâles spermiantes et des femelles ovulantes sur

frayères. Il est donc probable qu'une population fonctionnelle de truite arc en ciel se soit installée dans l'exutoire. Il faudrait également vérifier la présence de poissons hors période de frais pour voir si cette population est pérenne dans l'exutoire, ou si sa présence et la densité observée sont uniquement justifiées par une migration depuis le lac durant la période de frais.

IV/ DISCUSSION

Les 5 lacs de montagne présentent des situations contrastées, d'une part du fait de leurs caractéristiques mésologiques particulières, et d'autre part de leur fonctionnement trophique et de leur degré respectif de perturbation qui apparaissent différents d'un système à l'autre. Toutefois, l'étude des caractéristiques intrinsèques de ces systèmes particuliers permet de mettre en évidence une corrélation significative entre la densité de macrobenthos en zone littorale (en ne tenant pas compte les oligochètes) et la combinaison de trois facteurs mésologiques qui sont le type théorique du plan d'eau, son degré de dysfonctionnement ainsi que la diversité de substrats (Fig IV. 1.). Ainsi, les facteurs mésologiques permettent d'expliquer la densité de macrobenthos littoral et donc indirectement permettrait probablement d'approcher la capacité piscicole du plan d'eau qui est nécessaire en l'absence de pêches au filet.

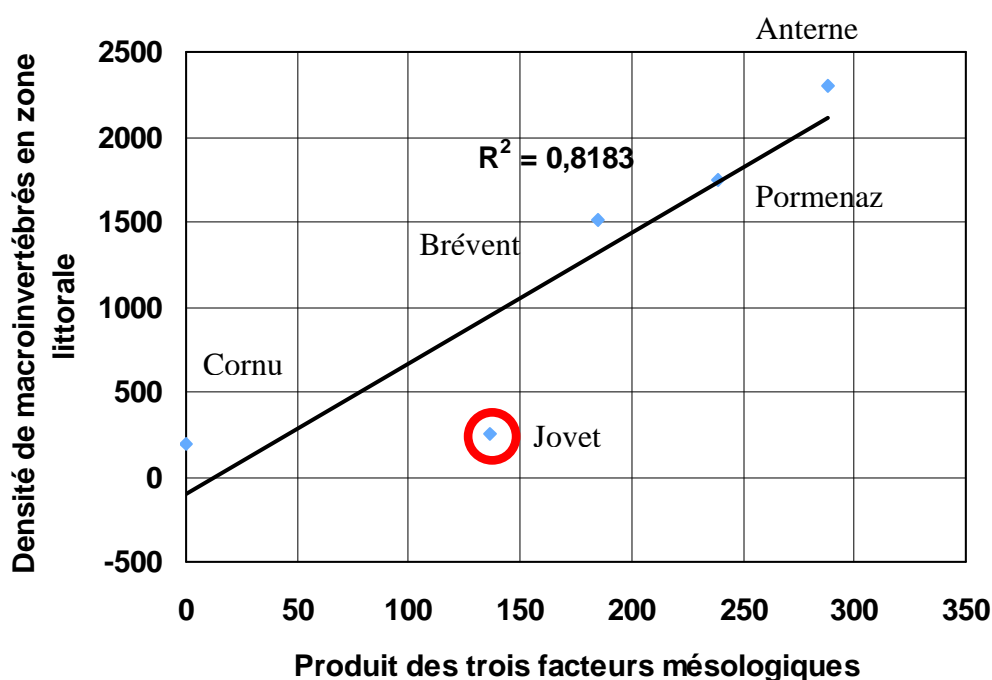


Figure IV. 1. Comparaison des densités littorales de benthos et de la combinaison du type théorique, du degré de dysfonctionnement ainsi que de la diversité des substrats

La densité de macroinvertébrés en zone littorale du lac Jovet apparaît toutefois déficitaire par rapport à la combinaison des 3 facteurs mésologiques. Cette particularité s'explique probablement par la dominance de blocs peu attractifs pour la macrofaune malgré un bon fonctionnement et une diversité de substrat plutôt bonne.

Cette approche permet donc de mettre en évidence une probable relation entre les facteurs mésologiques et la densité de macroinvertébrés benthiques mais il serait toutefois nécessaire de compléter le modèle avec d'autres données pour confirmer les constatations présentées.

IV/ 1. Bilan sur le fonctionnement des lacs et éléments d'explication

Lac Jovet

Le lac Jovet, avec un substrat essentiellement minéral, est caractérisé par des eaux ultra oligotrophes ne présentant pas d'influence majeure d'apports allochtones, un pH légèrement basique et des conditions d'oxygénation importante sur l'ensemble de la colonne d'eau. Son mode d'alimentation en eaux (essentiellement sous lacustre) justifie des températures très basses sur l'ensemble de la saison estivale. Toutes ces observations sont corroborées par celles effectuées sur les macroinvertébrés benthiques en zone littorale. En effet, on observe un peuplement peu dense et peu varié, typique de ce genre de milieu contraignant. Ce lac semble donc exempt de perturbation nutrimentelle majeure. Ce constat est de plus conforté par l'évaluation du degré de fonctionnalité qui révèle un taux de dysfonctionnement de 0%. L'étude des vecteurs fluviaux permanents vient confirmer l'absence de dysfonctionnement. En effet les analyses physicochimiques réalisées sur l'affluent et l'exutoire relatent d'une eau de bonne qualité tant dans l'affluent que dans l'exutoire avec des concentrations en éléments nutritifs du même ordre que celles obtenues sur le lac. De plus, l'étude des macroinvertébrés présents dans l'exutoire confirme la qualité de l'eau avec la présence en nombre important de taxons sensibles, ainsi qu'une proportion de taxons saprobiontes qui n'apparaît pas excessive dans un tel milieu. L'étude du compartiment piscicole témoigne d'une bonne colonisation de l'exutoire par les poissons avec une biomasse importante compte tenu du faible niveau typologique du cours d'eau, et la probable mise en évidence d'une population fonctionnelle de truite arc en ciel.

Le bon fonctionnement de ce lac trouve son explication dans la nature du bassin versant qui apparaît exempt de source de perturbation.

Lac Cornu

Les eaux du lac Cornu sont pauvres et ultra oligotrophes. En effet, elles présentent une minéralisation très faible, un pH légèrement acide et des apports quasi inexistant compte tenu de la présence ultra minoritaire de pelouse alpine sur un bassin versant majoritairement minéral. Les valeurs de conductivité apparaissent plus faibles que les constatations passées car en effet, on trouve actuellement des valeurs comprises entre 2 et 4 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ alors que les études passées témoignent de valeurs moyennes de 10 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (Balvay 1978). Les mesures aussi faibles sont probablement la cause d'un biais au niveau de la mesure. La thermie sur la période estivale révèle un bon fonctionnement avec des eaux fraîches et tamponnées, conséquence des caractéristiques du bassin versant. De plus, l'eau apparaît de bonne qualité au vu des résultats des campagnes de physicochimie sur la colonne d'eau du lac et sur l'exutoire. L'oxygénation de la masse d'eau est bonne et non limitante pour la faune piscicole, avec toutefois une très légère diminution de la concentration en oxygène dans les couches profondes du lac, probablement du au fait que les mesures ont été effectuées juste après le dégel. Il serait tout de même intéressant d'effectuer une seconde série de mesure en fin de période estivale pour confirmer cette hypothèse. La zone littorale est essentiellement minérale et dominées par les dalles, offrant ainsi un habitat peu hospitalier pour la faune benthique. Les très faibles densités semblent donc expliquées par le caractère contraignant du milieu (oligotrophie, habitat majoritairement composé de dalles), étant donné l'absence de perturbation majeure. Un tiers de cette surface est toutefois recouvertes par des blocs, offrant un habitat hospitalier pour la faune piscicole. Etant donnée les caractéristiques intrinsèques du milieu, l'émissaire est dépourvu de poisson et les macroinvertébrés ne semblent pas s'y installer. En effet, l'observation d'un

habitat peu hospitalier (majoritairement des dalles avec une lame d'eau ne dépassant pas les 10 cm) couplé au caractère temporaire des écoulements du fait de la prise en glace ou des phénomènes de marnage observés sur le lac, sont défavorables à l'installation de la faune, qu'elle soit macrobenthique ou piscicole.

Le lac Cornu, comme le Lac Jovet, apparaît donc parfaitement fonctionnel. Cette bonne fonctionnalité est le résultat d'un bassin versant exempt de toute source de perturbation majeure.

Lac d'Anterne

Les eaux du lac d'Anterne sont également oligotrophes et particulièrement froides avec une moyenne des températures estivales faibles. Elles ont toutefois la particularité d'être fortement minéralisées du fait du substratum calcaire du bassin versant. La qualité physicochimique de l'eau est globalement bonne, cependant les concentrations en ammonium sont légèrement élevées pour un milieu oligotrophe. On note également une perturbation du fonctionnement lacustre se traduisant par une désoxygénation des couches profondes des eaux du lac. Ce dysfonctionnement est toutefois à tempérer par le fait qu'en période hivernale, une désoxygénation s'opère sous la glace et que les mesures ont été réalisées juste après la débâcle. Les investigations qui vont être menées courant septembre vont permettre de compléter ce constat avec l'analyse physicochimique de l'eau des affluents. L'étude des communautés macrobenthiques lacustres tend à confirmer ce constat, la zone littorale semblant faire figure une zone refuge pour les diptères, conséquence du dysfonctionnement de la zone profonde. Les résultats des inventaires piscicoles réalisés en 2007 sur le lac d'Anterne trouvent probablement leur explication dans ces observations. En effet, ces pêches témoignaient d'un dysfonctionnement au niveau du peuplement avec l'observation de densité et de biomasses faibles, résultat des effets négatifs de la compétition interspécifique entre Truite fario et Omble chevalier du fait d'un cantonnement des espèces dans les couches superficielles. Ce constat semblait affecter plus particulièrement la population d'Omble chevalier. Le déficit en Truites fario, induit pour une part par les effets de la compétition, trouve également une explication dans la nature de l'habitat piscicole, constat réalisé au cours de la présente étude. En effet, l'habitat du lac d'Anterne est essentiellement constitué de fines minérales et fait montre d'un défaut criant de caches, habitat nécessaire à la Truite fario pouvant de fait être pénalisée.

En l'absence de toute autre source perturbation majeure, ces dysfonctionnements peuvent être expliqués par l'activité pastorale non négligeable sur le bassin. En effet, on dénombre en moyenne 1000 ovins pâturant dans la réserve dans laquelle se situe le bassin versant du lac d'Anterne. Ce chiffre important est toutefois à relativiser car les moutons ne sont pas exclusivement concentrés sur le bassin versant. De plus la présence d'un sol (bien que peu épais et peu élaboré) et de zones humides sur les zones planes du pourtour du lac peuvent jouer un rôle tampon non négligeable vis-à-vis des surcharges minérales et organiques provenant des déjections des ovins. Les investigations qui seront menées en septembre sur les deux principales afférences, l'une provenant des zones humides, l'autre provenant d'infiltration dans la roche devraient permettre d'éclaircir la situation.

Pour synthétiser, le lac d'Anterne semble présenter un début de perturbation de son fonctionnement, avec l'observation d'une légère dystrophie qui n'avait pas été mise en évidence auparavant. De manière à confirmer cette perturbation et à mesurer son ampleur, il

serait notamment intéressant d'effectuer des investigations complémentaires, notamment une analyse de la colonne d'eau en fin de saison estivale ainsi qu'un IBL complet.

Lac de Pormenaz

Les eaux du lac de Pormenaz sont naturellement oligotrophes, légèrement basiques et peu minéralisées. Les températures sont quant à elles étonnamment élevées pour un système d'altitude mais s'explique cependant par les caractéristiques naturelles du lac et de ces afférences. En effet, l'eau provient de zones humides peu profondes dans lequel l'eau chauffe fortement. De plus, les petits affluents serpentent sur des pentes relativement faibles avant leur confluence avec le lac, favorisant le réchauffement de l'eau. Comte tenu des faibles profondeurs et de la présence d'un fond sombre, l'eau du lac a également tendance à se réchauffer. Ces températures importantes peuvent avoir des conséquences sur certaines espèces de salmonidés.

Au niveau de la qualité physicochimique, l'eau ne présente pas de problème majeur, avec toutefois des concentrations en ammonium légèrement élevées. On note également une désoxygénation des eaux à partir de 6 m et s'amplifiant jusqu'au fond du lac (9.30m). Les perturbations trophiques peuvent tout d'abord s'expliquer par l'apport de matière organique provenant du bassin versant, transparaissent par des fonds nu organiques en proportion importante ainsi que par un colmatage des autres substrats. Une cause naturelle pouvant expliquer ce phénomène est la présence de zones végétalisées constituées par une strate arbustive relativement bien développée sur le bassin versant. De plus, celui-ci est soumis au pâturage par les ovins et les caprins, qui sont une source potentielle d'apports allochtones. Leur nombre total est de 600 individus sur la réserve incluant le lac de Pormenaz, mais doit cependant être tempéré par le fait qu'ils ne se cantonnent pas essentiellement sur le bassin versant du lac. De plus, la topologie et la nature du bassin versant, ainsi que la présence de zones humides tampons peuvent contribuer à minimiser l'impact de ces apports.

Le dysfonctionnement transparait également au niveau de la faune benthique lacustre, avec comme précédemment, l'observation d'une zone littorale faisant office de zone refuge pour les diptères. On note également une baisse de la qualité du peuplement macrobenthique entre l'afférence et l'exutoire, probablement imputable au réchauffement des eaux au cours leur traversée du lac. Dans le lac, l'addition des problèmes de désoxygénation et des températures importantes peut se révéler très problématique en période estivale, en limitant la zone favorable à la faune salmonicole aux couches intermédiaires du lac du fait de la désoxygénation en zone profonde et de la thermie défavorable en surface.

Comme pour le lac d'Anterne, une série de mesure physicochimique en fin de période estivale serait nécessaire pour confirmer ou affiner ce constat. Il serait également intéressant d'effectuer un IBL complet pour confirmer les dysfonctionnements constatés en zone profonde.

Lac Brévent

Le lac du Brévent présente des caractéristiques générales semblables aux autres lacs d'altitude avec des eaux oligotrophes, peu minéralisées, et légèrement basiques. Cependant, comme pour le lac de Pormenaz, les températures de surfaces sont très élevées et peuvent être critiques pour certaines espèces de Salmonidés. Ce constat s'explique naturellement par l'absence d'arrivée d'eau constante et la présence de fonds sombres.

Un dysfonctionnement trophique est également mis en évidence avec des concentrations en ammonium relativement importantes compte tenu du caractère naturellement oligotrophe du milieu. De plus, l'analyse physicochimique plus tardive des eaux présentes dans l'exutoire révèle une concentration anormale en orthophosphates mettant en évidence une nette perturbation du fonctionnement trophique. Des problèmes de désoxygénation importants des eaux du lac sont constatés à de faible profondeur, conséquence probable des perturbations trophiques subies par le lac. Les concentrations en oxygène dissous deviennent critiques pour la faune piscicole à partir de 6 m, et clairement rédhibitoires au-delà de 9m. Cette dernière aura donc tendance à désertir la zone profonde, mais les couches superficielles du lac subissent quant à elles un réchauffement notable de leurs eaux limitant fortement leur hospitalité vis-à-vis de la faune salmonicole. De fait, la zone favorable à ces poissons se révèle restreinte en période estivale, phénomène susceptible d'affecter fortement la qualité du peuplement piscicole. L'étude des macroinvertébrés benthiques conforte ce constat avec l'observation du même phénomène que pour les deux lacs précédent, à savoir une zone littorale semblant servir de refuge pour la faune macrobenthique lacustre la plus sensible. L'ampleur de la désoxygénation constatée est toutefois à tempérer par le fait les mesures ont été effectuées après le dégel et que la prise en glace hivernale des eaux de surface provoque souvent une désoxygénation des eaux qui s'estompe après la débâcle. Cette perturbation trophique ne semble pas affecter outre mesure le peuplement macrobenthique présent dans l'exutoire. Elle ne semble pas non plus avoir de causalité directe quant à l'absence de faune piscicole dans le cours d'eau, cette absence de poisson semblant principalement être le fait des caractéristiques intrinsèques de celui-ci, notamment d'un habitat piscicole naturellement très médiocre.

En l'absence de toute autre source perturbation majeure, ces dysfonctionnements semblent pouvoir être liée à l'activité pastorale non négligeable sur le bassin. En effet, on note une forte fréquentation du bassin versant par les ovins qui, de plus, ont tendance à se fixer sur celui-ci au vu des multiples déjections observées lors des phases de terrain. De plus, la présence très sporadique de sols, simples qui plus est du fait des fortes pentes, ainsi que le caractère très minéral du bassin induisent de forts ruissellements favorisant le transfert direct des apports allochtones aux eaux du lac. L'impact de ses apports est en outre probablement majoré par le faible taux de renouvellement des eaux du lac imputable à l'absence d'afférence pérenne.

En terme de bilan sur les 5 lacs, on observe que 2 d'entre eux qui sont les lacs de Cornu et Jovet fonctionnent parfaitement bien. Viennent ensuite les lacs d'Anterne Pormenaz et plus particulièrement Brévent qui présente un problème de dysfonctionnement à cause d'apport d'éléments nutritiels. La seule source d'éléments nutritiels allochtones au bassin versant est la fréquentation par les ovins, commune aux trois lacs présentant des dysfonctionnements. La fréquentation touristique ne semble pas avoir d'impact majeur sur le fonctionnement des lacs, notamment du fait que le lac fonctionnant le mieux parmi les cinq étudiés, à savoir Jovet, est l'un des plus fréquenté en saison touristique. En revanche, cette fréquentation touristique apparaît au travers des nombreux déchets inertes (bouteilles, boîtes de conserves, emballages...) observés dans les lacs et les zones humides. Une autre hypothèse explicative des dysfonctionnements trophiques observés sur les trois derniers lacs pourrait être les effets de l'introduction de poissons sur la trophie des lacs, phénomène mentionné par différents auteurs (Schindler et al 2001, Griffiths 2005). En effet, ils génèrent une pression sur le zooplancton herbivore en le consommant réduisant ainsi la consommation de communautés phytoplanctoniques qui prolifèrent. Il peut également être une source de phosphore pour le plancton, induisant une augmentation de la prolifération algale. Cette hypothèse semble toutefois discutable du fait que les 5 lacs étudiés sont tous sujet à l'introduction de poisson, et que deux d'entre eux ne présente pas de dysfonctionnement majeur. Le lac apparaissant comme

le plus fonctionnel des cinq, le lac Jovet, et en outre celui qui héberge probablement le plus important peuplement piscicole. La caractéristique commune aux deux lacs exempts de dysfonctionnement est avant tout l'absence de source de perturbation majeure sur leur bassin versant.

IV/ 2. Implication sur la gestion piscicole.

La mise en évidence des caractéristiques et du fonctionnement des lacs par le biais d'une diagnose offre un appui solide pour orienter leur gestion piscicole. En effet, la typologie calculée à l'issue des différentes mesures réalisées permet, dans un premier temps, de proposer un cortège spécifique correspondant aux caractéristiques naturelles du lac. Dans un second temps, le choix peut être affiné en confrontant le peuplement théorique proposé par la typologie aux constatations de terrain, et notamment à l'intensité et à la nature des éventuelles perturbations subies par le lac, et de poser ainsi les bases d'une gestion piscicole rationnelle et efficace.

Sur le lac Jovet, la typologie préliminaire des plans d'eau préconise un peuplement monospécifique de truite fario, de saumon de fontaine ou d'omble chevalier. Cependant, en conséquence de la gestion passée, le peuplement est plus riche que ce qui est préconisé. En effet, on observe la présence de deux populations fonctionnelles, l'une d'omble chevalier et la seconde de truite arc en ciel, mise en évidence à la suite des pêches d'inventaires réalisées sur l'exutoire au cours de la présente étude. La gestion actuelle est basée sur l'introduction de cristivomer, dans le but de se débarrasser de l'omble chevalier qui est sujet au nanisme et peu satisfaisant en terme halieutique. Trois propositions peuvent être émises. La première, et la plus rationnelle, consiste en l'arrêt des alevinages accompagné d'un suivi piscicole visant à mesurer l'autosuffisance des populations du lac. Si les gestionnaires souhaitent à tout prix poursuivre les alevinages, le choix de la truite arc en ciel semble le plus pertinent, compte tenu du fait qu'elle est déjà présente dans le lac et qu'elle semble s'y plaire. L'alevinage en une espèce déjà présente permettrait de limiter les effets négatifs d'une compétition interspécifique induite par l'introduction et le soutien d'une population d'une troisième espèce. Enfin, si le gestionnaire veut poursuivre l'alevinage en cristivomer, il semble difficile de faire l'impasse sur un suivi piscicole visant à mesurer les effets difficilement prévisibles, qu'ils soient négatifs ou positifs, de ce choix de gestion.

Sur le lac Cornu, la typologie préliminaire des plans d'eau préconise soit l'absence de peuplement, soit un peuplement monospécifique de cristivomer. Etant donné l'absence de perturbation de ce système et en termes de gestion piscicole, cette espèce semble être la plus appropriée. La gestion actuelle mise en place dans le cadre du nouveau plan de gestion est basée sur l'introduction de cette espèce et semble donc être satisfaisante compte tenu des caractéristiques du milieu.

Sur le lac d'Anterne, la typologie préliminaire préconise un peuplement optimal composé de 3 espèces qui sont soit la truite fario soit le saumon de fontaine avec l'omble chevalier et le vairon. Compte tenu de la désoxygénation des fonds, l'alevinage en omble chevalier ne semble pas judicieux. En effet, il aura tendance à désertifier la zone profonde inhospitalière et à s'exposer ainsi à une compétition interspécifique avec les espèces de surface. Cet état de fait nuirait en premier lieu aux ombles, mais probablement également à la productivité piscicole globale du lac (Rivier, 1996 ; Cavalli, 1997). La truite fario, introduite par le passé, ne semble pas convenir au milieu car les pêches d'inventaire ont mis en évidence des densités faibles malgré des alevinages soutenus (Huchet 2009). Il est probable que la compétition avec l'omble

soit responsable, dans une certaine mesure, de ces problèmes d'acclimatation. Ce constat peut également être expliqué par les caractéristiques habitationnelles du milieu. En effet, il est majoritairement composé de fines minérales provoquant un déficit en caches qui peut être défavorable à la truite. Enfin, une population dense et fonctionnelle de vairon est installée dans le lac. Au final, le peuplement le mieux adapté se compose de deux espèces qui sont le saumon de fontaine, espèce robuste et très opportuniste, et le vairon. Ce sont les deux espèces qui font partie du plan de gestion actuel.

Concernant les lacs de Pormenaz et Brévent, la typologie préconise un peuplement ichtyologique optimal de 2 espèces avec soit l'omble chevalier et la truite fario, soit la truite fario et le vairon, soit le saumon de fontaine et le vairon.

Sur le lac de Pormenaz, la reproduction d'omble chevalier a été mise en évidence mais de manière anecdotique, ne permettant pas de soutenir une population fonctionnelle, très certainement du fait des problèmes de désoxygénation mis en évidence. Concernant la truite fario, la population du lac ne semble pas fonctionnelle. En revanche, cette espèce se développe cependant relativement bien dans ce lac malgré une thermie pouvant lui être défavorable au cours de la période estivale, et une compétition avec l'omble chevalier qui se fait toutefois ressentir. On note également la présence d'une population fonctionnelle de vairons. Compte tenu des dysfonctionnements observés sur ce lac, il semble conseillé d'établir un peuplement constitué de truites farios et de vairons, peuplement qui est actuellement en train d'être mis en place dans le cadre du plan de gestion.

Compte tenu du degré d'avancement de dégradation du lac Brévent et étant donné le caractère apiscicole de son exutoire, un sérieux doute quant à la possibilité d'épanouissement des poissons est émis. Il semble important d'effectuer des pêches d'inventaires de manière à acquérir des données sur la faune piscicole en place, afin de vérifier dans un premier les conséquences exactes des dysfonctionnements observés sur la faune piscicole, et de statuer définitivement sur l'utilité d'un alevinage de ce milieu perturbé. A priori, le constat semble le même que pour le lac de Pormenaz avec un choix de gestion s'orientant sur la truite fario et le vairon. Les températures élevées en surface pourraient toutefois être rédhibitoires au développement de cette espèce, mais la désoxygénation très importante ne permet pas l'introduction d'omble chevalier. En conclusion et en l'état actuel des connaissances, la truite fario semble être le choix d'espèce le plus rationnel, mais un bilan piscicole semble indispensable à la mise en place ou à la validation d'une gestion efficace.

V/ Bilan et perspectives...

Les investigations mises en œuvre ont permis d'élaborer le constat suivant. Les lacs de Cornu et Jovet ne semblent pas présenter de dysfonctionnement majeur. Les lacs d'Anterne et Pormenaz présentent un léger dysfonctionnement mis en évidence par un problème de désoxygénation. La qualité de l'eau semble toutefois bonne avec cependant des valeurs légèrement supérieures à ce que l'on aurait pu attendre en ammonium. Enfin, le lac Brévent semble impacté par des dysfonctionnements majeurs, de qualité d'eau d'une part et, conséquemment, de désoxygénation d'autre part. Cette tendance avait déjà été mise en évidence (Winiarski 2000) et ne semble pas s'être améliorée.

Ce constat a été élaboré sur la base d'une première diagnose simplifiée, mais il serait intéressant d'acquérir des informations supplémentaires en effectuant un bilan piscicole complet avec des pêches au filet, une seconde campagne de physicochimie en fin de période

estivale et un IBL complet, au moins sur les lacs présentant des dysfonctionnements. De plus, il serait intéressant d'avoir des données thermiques pluriannuelles pour s'affranchir des fluctuations interannuelles, et pour confirmer les résultats obtenus quant aux problèmes de thermie observés sur les lacs de Pormenaz et Brévent.

Il serait également nécessaire d'effectuer un diagnostic complet des causes de perturbation de manière à vérifier les hypothèses émises. Pour cela il faudrait compléter la description de l'occupation du sol avec des données quantitatives mesurées sur le terrain. Il serait également très informatif de quantifier les apports allochtones provenant du bassin versant ainsi que d'étudier leurs modalités de transfert dans les eaux du lac, notamment par le biais de l'étude de la pédologie du bassin versant et de ses zones humides.

En tout état de cause, dépendamment ou indépendamment des stratégies de gestion piscicole mises en place, il semble plus qu'opportun, et même urgent dans le cadre du lac Brévent, de mettre en place des mesures visant à identifier clairement et/ou à circonscrire les sources de perturbations à l'origine des dysfonctionnement observés. En effet, au delà de l'enjeu piscicole, les lacs de montagne sont des écosystèmes rares et précieux qu'il convient de préserver en priorité dans le cadre de toute démarche visant à aboutir à une bonne santé globale des écosystèmes aquatiques, notamment du fait de leur haute valeur patrimoniale et symbolique.

Pour conclure, il appert que les résultats collectés au cours de cette étude et l'éclairage qu'ils apportent sur la connaissance du fonctionnement des 5 lacs investigués, tout comme les lacunes de la diagnose simplifiée mises en évidence au cours de l'interprétation des résultats, notamment pour ce qui concerne la quantification et l'origine exacte des dysfonctionnements observés sur les systèmes perturbés, mettent clairement en évidence le caractère prépondérant de la connaissance du fonctionnement des milieux en tant que préalable et fondement d'une démarche rationnelle de gestion, qu'elle soit piscicole ou globale.

BIBLIOGRAPHIE

- AFNOR, 1992. Essai des eaux. Détermination de l'indice biologique global normalisé (IBGN). *Association française de normalisation*, norme homologuée T 90-350, 8p.
- BACCHI, 1994. Recherche sur la macrofaune benthique de la Haute-Loue, Structuration des habitats, Evolution des peuplements macrobenthiques depuis 1973. *Mémoire D.E.S.S. Eaux continentales, Univ. Fr-Comté*, 30 p.
- BALVAY G., 1978. Un lac oligotrophe de haute montagne : le lac Cornu (Haute Savoie). *Revue de Géographie Alpine*, Tome 66, N°1, pp 31-41.
- BALVAY G., BLAVOUX B., 1981. Le grand lac Jovet (Haute Savoie). Milieu oligotrophe de haute montagne. *Revue de Géographie Alpine*, Tome 69, N°3, pp 421-442.
- BELLIERE J., 1958. Contribution à l'étude pétrogénétique des schistes cristallins du Massif des Aiguilles Rouges (Haute-Savoie). *Ann. Soc. Géol. Belgique*, 81, 198 p. In BALVAY G., 1978. Un lac oligotrophe de haute montagne : le lac Cornu (Haute Savoie). *Revue de Géographie Alpine*, Tome 66, N°1, pp 31-41.
- BOGGERO A., LENCIONI V., 2006. Macroinvertebrates assemblages of high altitude lakes, inlets and outlets in the southern Alps. *Arch. Hydrobiol.* 165 (1), pp. 37-61.
- BOGGERO A., FUREDER L., LENCIONI V., SIMCIC T., THALER B., FERRARESE U., LOTTER A.F., ETTINGER R., 2006. Littoral chironomid communities of Alpine lakes in relation to environmental factors. A. Lami & A. Boggero (eds), *Ecology of High Altitude Aquatic Systems in the Alps. Hydrobiologia.* 562:145–165.
- CAUDRON A. et CHAMPIGNEULLE, A., 2006. Technique de fluoromarquage en masse à grande échelle des otolithes d'alevins vésiculés de truite commune (*Salmo trutta* L.) à l'aide de l'Alizarine red S. *Cybium*, 30, pp. 65-72.
- CAVALLI L., 1997. Biologie des populations de salmonidés des lacs de haute altitude du Parc National des Ecrins, alimentation – croissance – reproduction. *Thèse doct. Univ. Provence Aix Marseille*, 209p.
- CHACORNAC J.M., 1985. Le lac du Brévent (Haute Savoie). Ecosystème Alpin oligotrophe. *Revue de Géographie Alpine*, Tome 73, N°4, pp 367-388.
- CHACORNAC J. M., 1986. Lacs d'altitude : Métabolisme oligotrophe et approche typologique des écosystèmes. *Thèse de doctorat. Université Lyon 1.* 214 p.
- DEBRAY D., 1991. Atlas Climatique de la Haute-Savoie, 103 p.
- DEGIORGI F., GRANDMOTTET J.-P., 1993. Relations entre la topographie aquatique et l'organisation spatiale de l'ichtyofaune lacustre : définition des modalités spatiales d'une stratégie de prélèvements reproductible. *Bulletin Français de Pêche et de Pisciculture.* 329, pp 231-243.

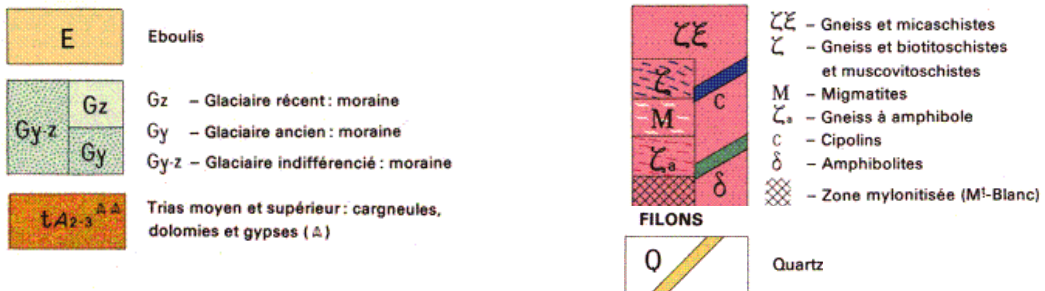
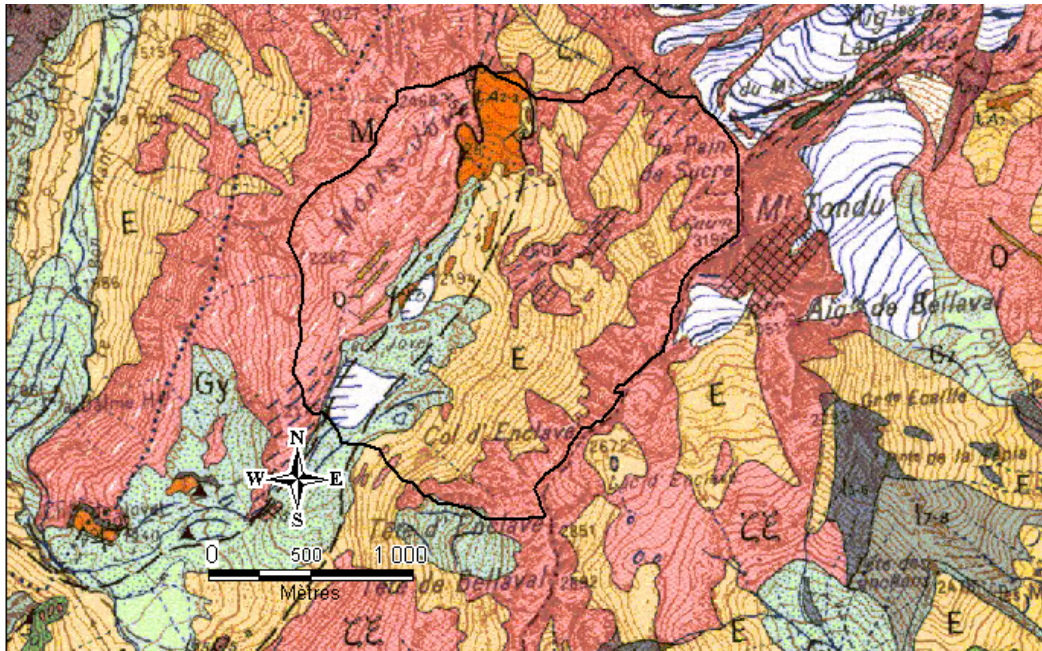
- DEGIORGI F., 1994. Etude de l'organisation spatiale de l'ichtyofaune lacustre. Prospection multisaisonnière de 6 plans d'eau de l'Est de la France à l'aide de filets verticaux. *Thèse Univ.Besançon, Fr.-Comté*, 207 p. + Annexes.
- DEGIORGI F., DECOURCIERE H., BOURLET G., RAYMOND J.C., 2010. Diagnose simplifiée du type écologique et du fonctionnement des lacs d'altitude V2.1. Note technique rédigée pour la Fédération de pêche de l'Isère, 4 p. Téléchargeable sur www.teleos.info.
- DELACOSTE M., BARAN P., LASCAUX J.M., ABAD N., BESSON J.P., 1997. Bilan des introductions de salmonidés dans les lacs et ruisseaux d'altitude des Hautes-Pyrénées. *Bull. Fr. Pêche Piscic*, 344-345.
- DRUART J.C., DORIOZ J.M., BLANC P., BALVAY G., 1999. Un lac à protéger : le Lac Bénit (Haute-Savoie). *Revue de Géographie Alpine*, Volume 87, N° 87-3, pp 87-99.
- FÜREDER L., ETTINGER R., BOGGERO A., THALER B., THIES H. 2006. Macroinvertebrate diversity in Alpine lakes: effects of altitude and catchment properties. A. Lami & A. Boggero (eds), *Ecology of High Altitude Aquatic Systems in the Alps. Hydrobiologia* 562 : 123-144.
- GRIFFITHS D. 2005. The direct contribution of fish to lake phosphorus cycles. *Ecology of Freshwater fish* 2006: 15: 86-95
- HUCHET P., 2009. Echantillonnage piscicole des lacs d'Anterne et de Pormenaz – élaboration d'un plan de gestion rationnel des lacs d'altitude. *Fédération de Haute Savoie pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique*, 52 p + annexes.
- JOCHENBEIM L., 2002. Atlas des lacs des réserves naturelles de Haute Savoie. *ASTERS*.
- LAZZAROTTO J., 2007. L'évolution physico-chimique de cinq lacs d'altitude des réserves naturelles de Haute-Savoie depuis 1998. *ASTERS*, 24 p + annexes.
- MARTINOT J.P., RIVET A., 1985. Typologie écologique des lacs de haute altitude du parc national de la Vanoise en vue de leur gestion. *Rapport Parc National de la Vanoise et Ministère de l'Environnement*, 63 p.
- PARMENTIER, 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*, 69 p.
- RIVIER B., 1996. Lacs de haute Altitude : Méthodes d'Echantillonnage Ichtyologique, Gestion Piscicole. *Collection « Etudes gestion des mileux aquatiques »*, Volume 11, 122 p.
- SCHINDLER D.E., KNAPP R.A., LEAVITT P.R., 2001. Alteration of Nutrient Cycles and Algal Production Resulting from Fish Introductions into Mountain Lakes. *Ecosystems* 4. 308-321.
- SESIANO J., 1986. Paramètres physico-chimiques de quelques lacs d'altitude de Haute-Savoie. *Arve-Léman-Savoie-Nature* 48, pp 1-5.

- SESIANO J. 1993. Monographie physique des plans d'eau naturels du department de Haute Savoie, France. *Imprimerie du Conseil general de Haute Savoie*, 144p.
- TATOSOVA J., STUCHLIK J., 2006. Seasonal dynamics of chironomids in the profundal zone of a mountain lake (Ladové pleso, the Tatra Mountains, Slovakia). *Biologia, Section Zoology. Bratislava, 61/Suppl. 18p* : 203-212.
- TELEOS (DECOURCIERE H., DEGIORGI F.), 2000. Protocole d'analyse semi-quantitative des communautés benthiques. MAG 20. *Note technique interne*, 4 p.
- TELEOS, ONEMA, 2008. Synthèse des études de 5 lacs du massif de Belledonne en Isère – Essai de typologie fonctionnelle – Fondement pour la gestion piscicole. *Rapport d'étude Téléos/ONEMA/FDPPMA 38*, 32 p.
- VERNEAUX J., 1982. Expression biologique, qualitative et pratique de l'aptitude des cours d'eau au développement de la faune benthique, un coefficient d'aptitude biogène : le Cb2, *note interne*, 20 p.
- VERNEAUX V., VERNEAUX J., SCHMITT A., LOVY C., LAMBERT J.C., 2004. The Lake Biotic Index (LBI): an applied method for assessing the biological quality of lakes using macrobenthos ; the Lake Chalain (French Jura) as an exemple. *Annales de Limnologie. International Journal of Limnology*. Vol. 40, N°1, pp1-9.
- VINCENT F., 1976. Aspect de certains reliefs de la vallée de Chamonix. *Association des amis de la réserve des Aiguilles Rouges*, 46 p. In CHACORNAC J.M., 1985. Le lac du Brévent (Haute Savoie). Ecosystème Alpin oligotrophe. *Revue de Géographie Alpine*, Tome 73, N°4, pp 367-388.
- WINIARSKI T., 2000. Les lacs montagnards : indicateur de la qualité du milieu. Application aux lacs d'altitude des réserves de Haute-Savoie. *Revue de Géographie Alpine*, Tome 88, N°3, pp 9-21.
- www.geol-alp.com
- www.geoportail.fr
- Météo France

ANNEXES

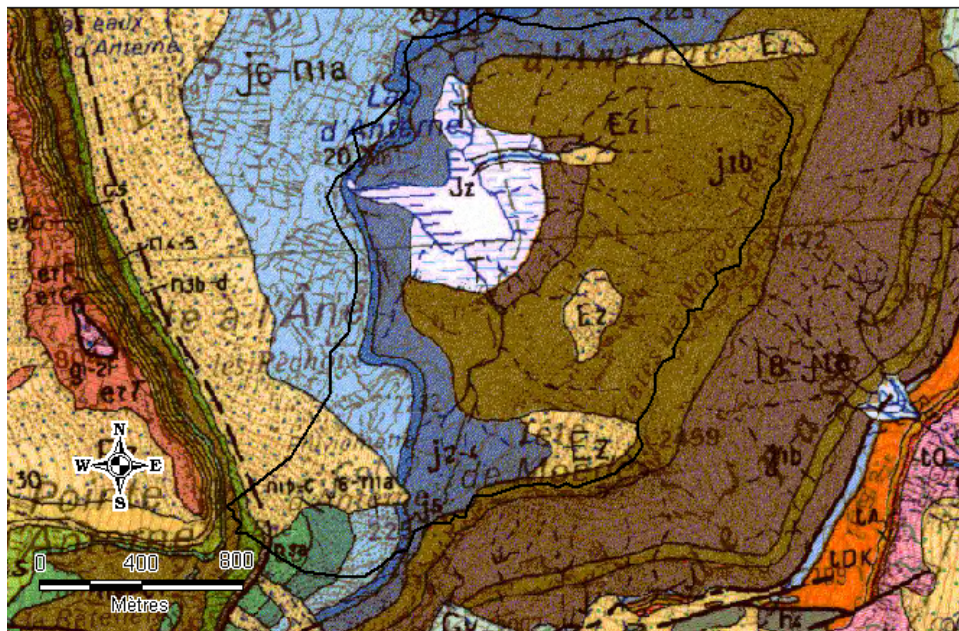
- **Annexe 1** : Géologie des bassins versants des 5 lacs étudiés

→ **Bassin versant du lac Jovet**



SUBSTRATUM	SURFACE (ha)	Surf/Surf BV (%)
Migmatites (M)	163,10	50,1
Eboulis (E)	108,56	32,5
Glaciaire ancien : moraine (Gy)	31,71	9,5
Trias moyen et supérieur : Cargneules, dolomies et gypses (TA 2-3)	14,59	4,4
Lac	9,12	2,8
Quartz (Q)	1,56	0,5

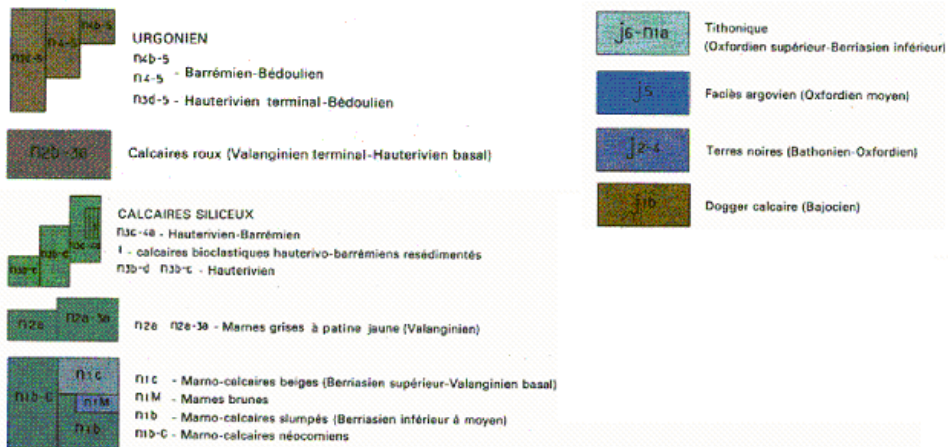
→ Bassin versant du lac d'Anterne



TERRAINS QUATÉRNAIRES

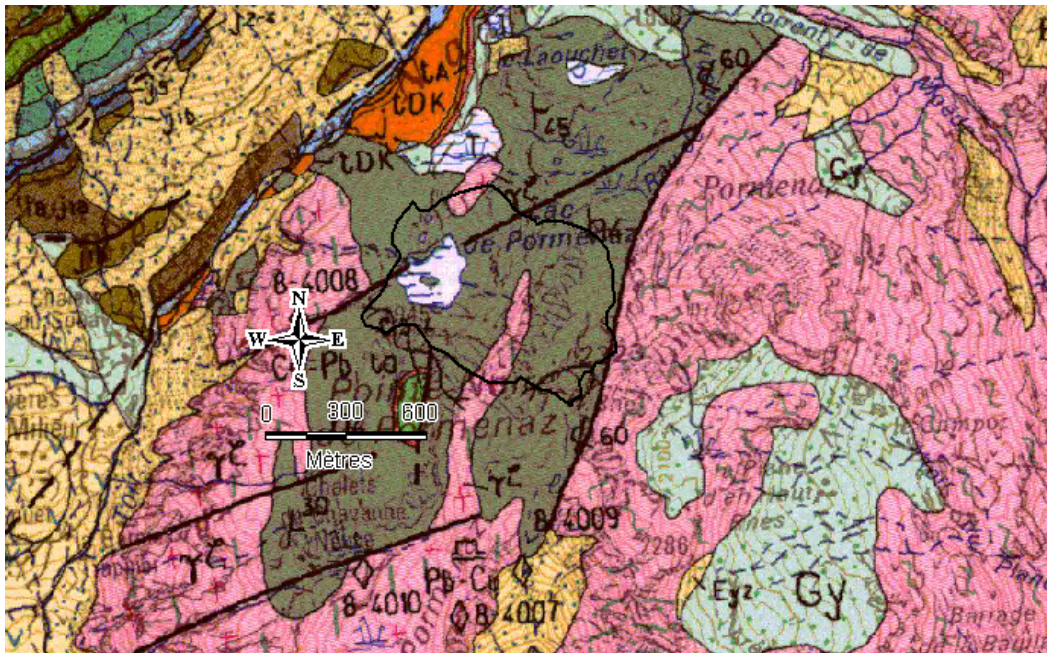


Secondaire

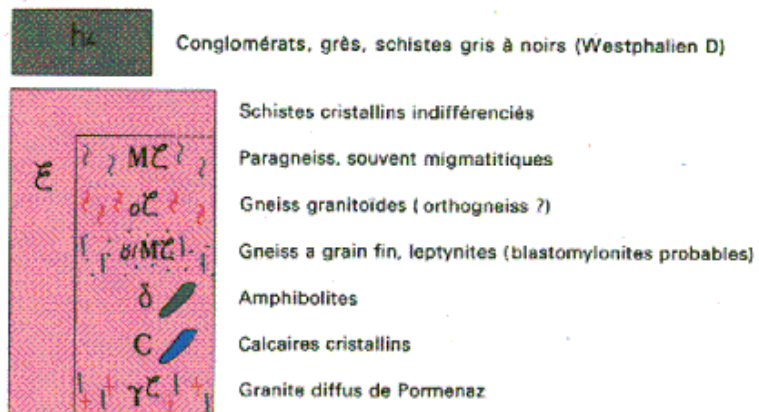


SUBSTRATUM	SURFACE (ha)	Surf/Surf BV (%)
Dogger calcaire (J1b)	127,70	44,8
Terres noires (J2-4)	48,43	17,3
Eboulis actifs (Ez)	31,81	11,4
Tourbières (T)	21,09	7,6
Tithonique (J6-n1a)	20,99	7,5
Cônes de déjection vif (Jz)	10,61	3,8
Faciès argovien (J5)	10,46	3,7
Marno-calcaires néocomiens (n1b-c)	4,21	1,5
Marnes grises à patine jaune (n2a)	2,18	0,8
Hautérivien (n3b-d)	0,80	0,3
Barrémien-Bédoulien (n4-5)	0,34	0,1
Calcaire roux (n2b-3a)	0,12	0,04

→ Bassin versant du lac de Pormenaz

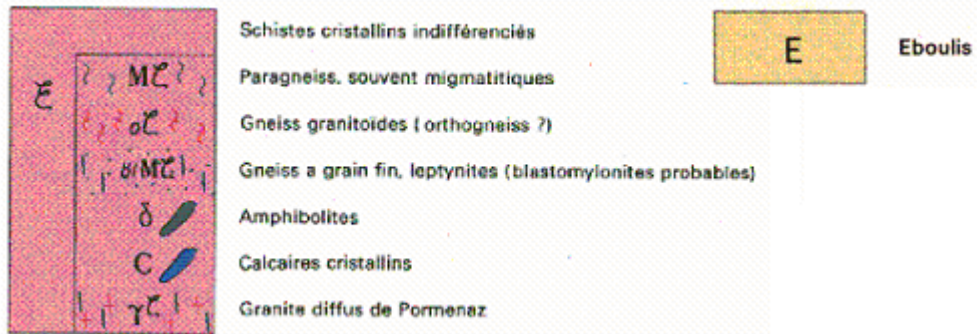


SOCLE ANTÉALPIN



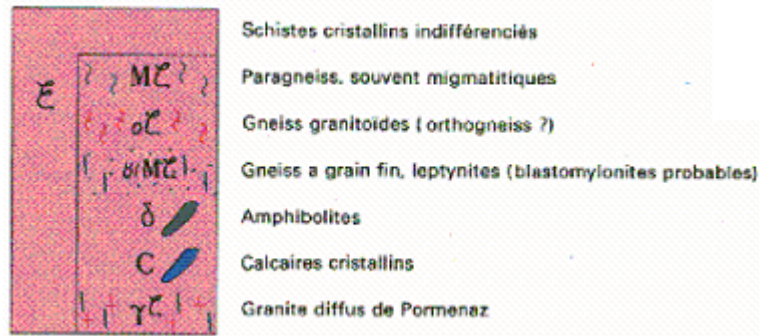
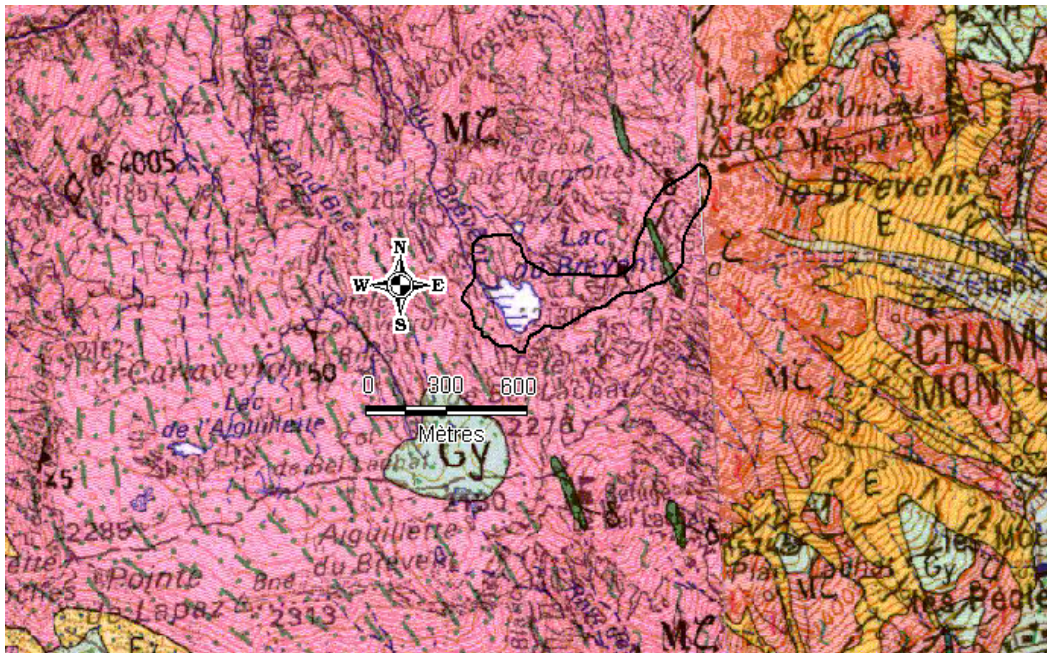
SUBSTRATUM	SURFACE (ha)	Surf/Surf BV (%)
Conglomérats, grès, schistes gris à noirs (H4)	39,77	81,2
Paragneiss, gneiss granitoïdes (Mζ, oζ)	4,50	9,2
Lac	4,29	8,8

→ Bassin versant du lac de Cornu



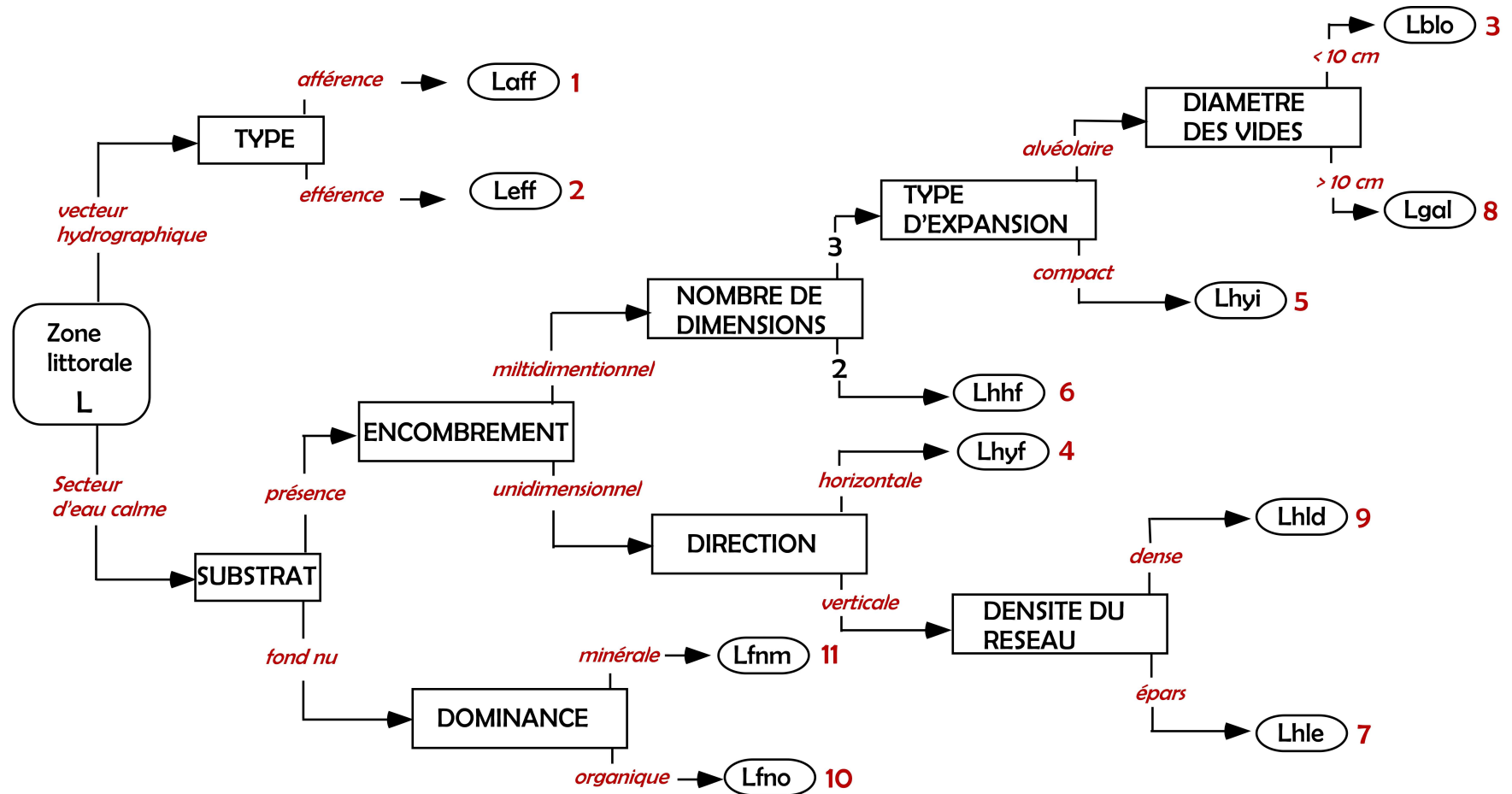
SUBSTRATUM	SURFACE (ha)	Surf/Surf BV (%)
Paragneiss (MC)	51,66	76,3
Lac	5,51	8,2
Amphibolites (δ)	5,12	7,6
Eboulis (E)	4,96	7,3
Calcaires cristallins (C)	0,14	0,9

→ Bassin versant du lac de Brévent

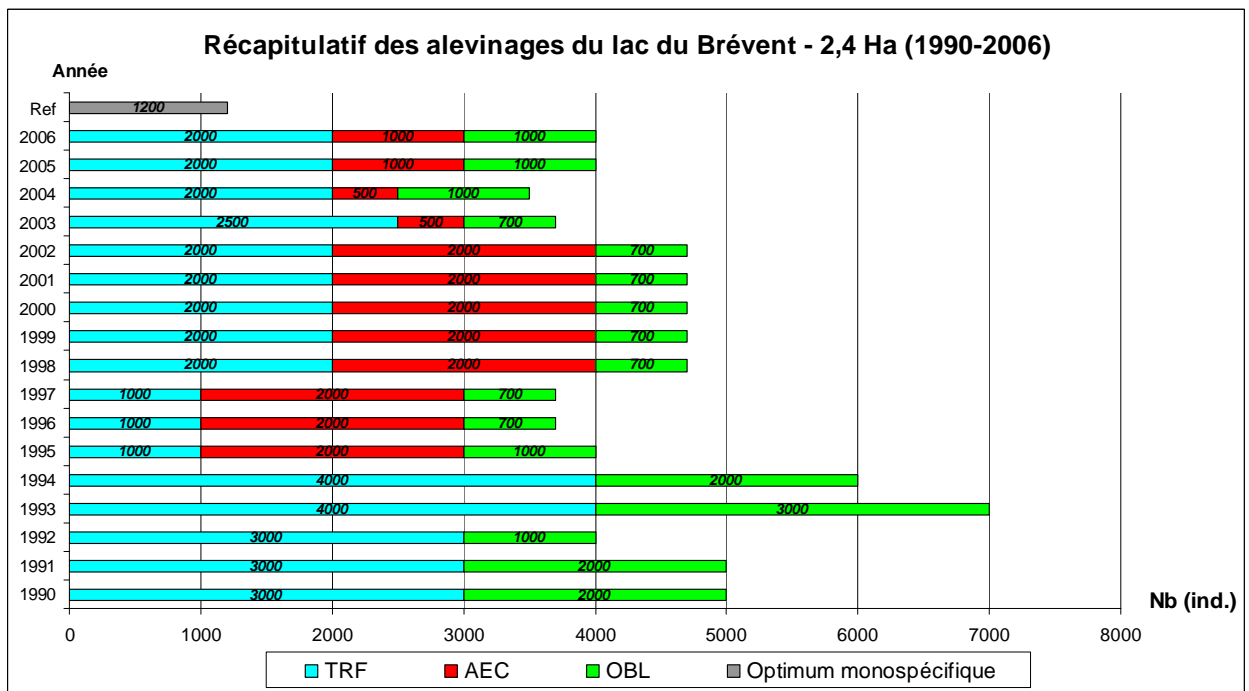
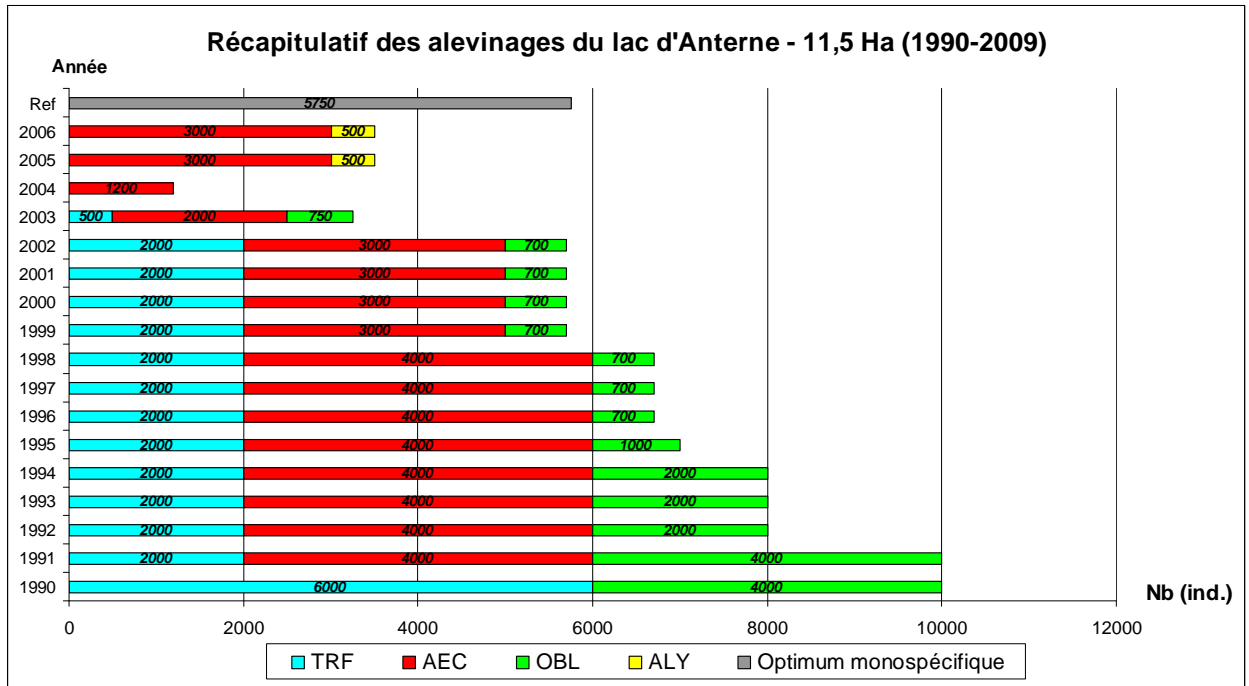


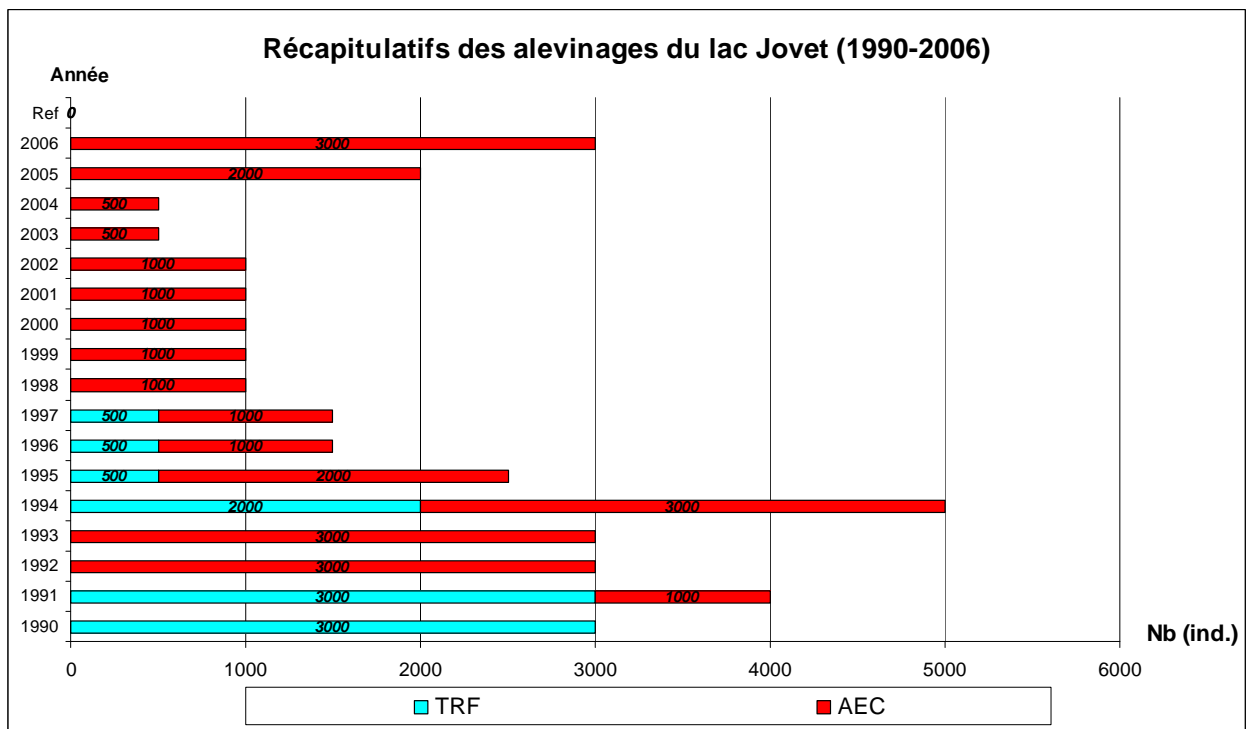
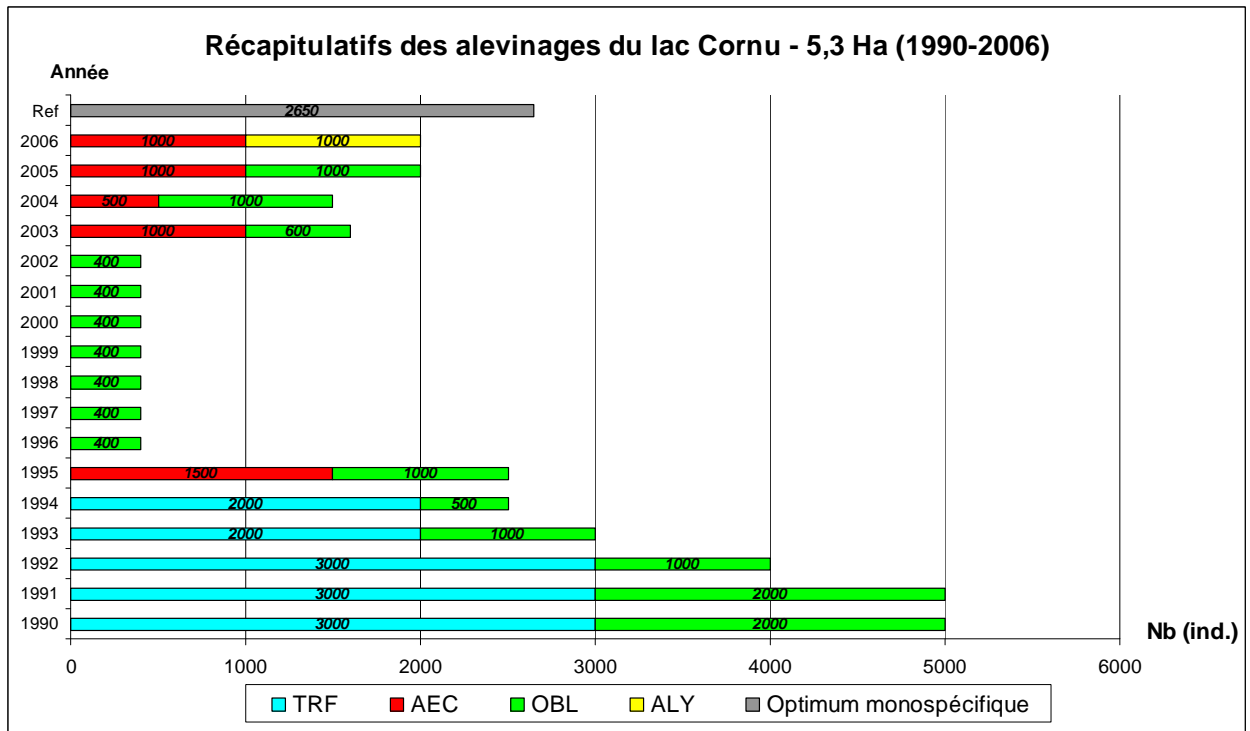
SUBSTRATUM	SURFACE (ha)	Surf/Surf BV (%)
Paragneiss (MC)	18,26	85,6
Lac	2,44	11,4
Amphibolites (δ)	0,63	3,0

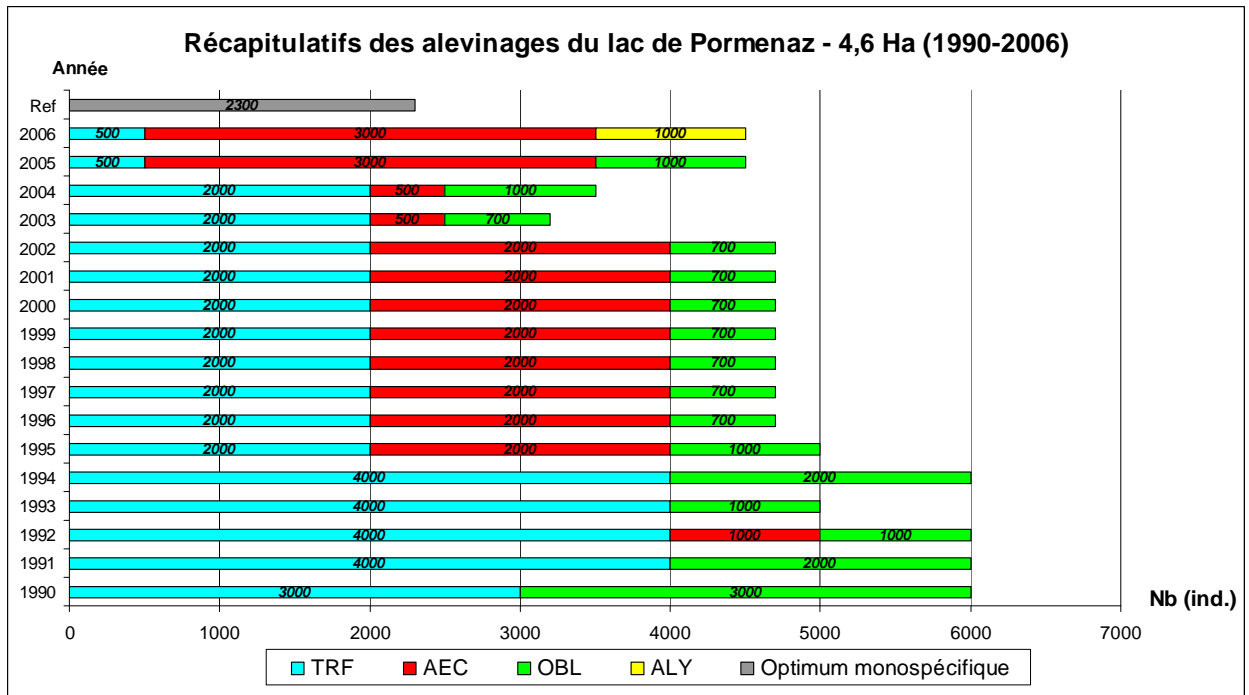
• Annexe 2 : Schéma directif de l'espace lacustre



Annexes 3 : Bilans sur les alevinages effectués entre 1990 et 2009 sur les lacs de montagne du Faucigny

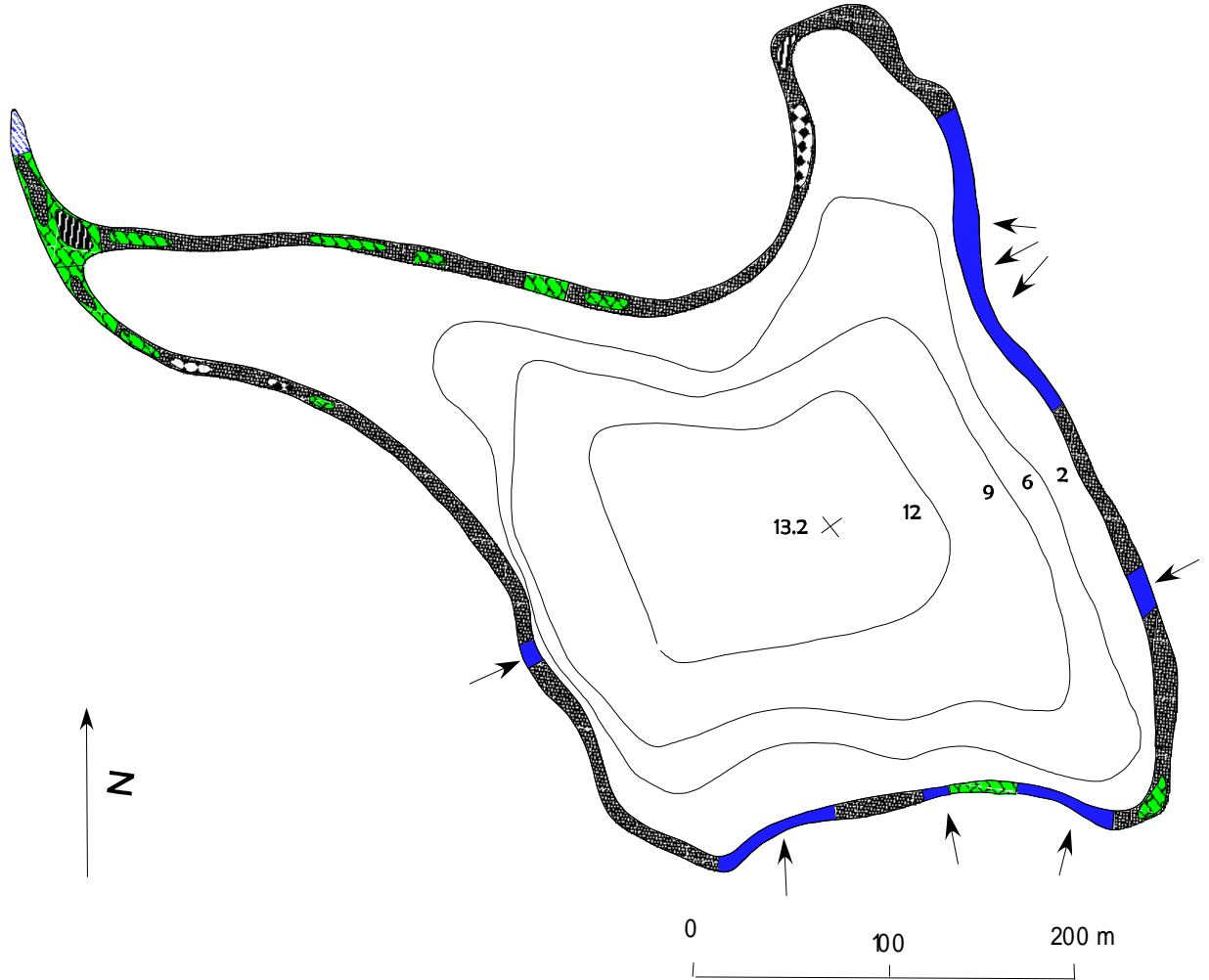




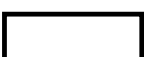








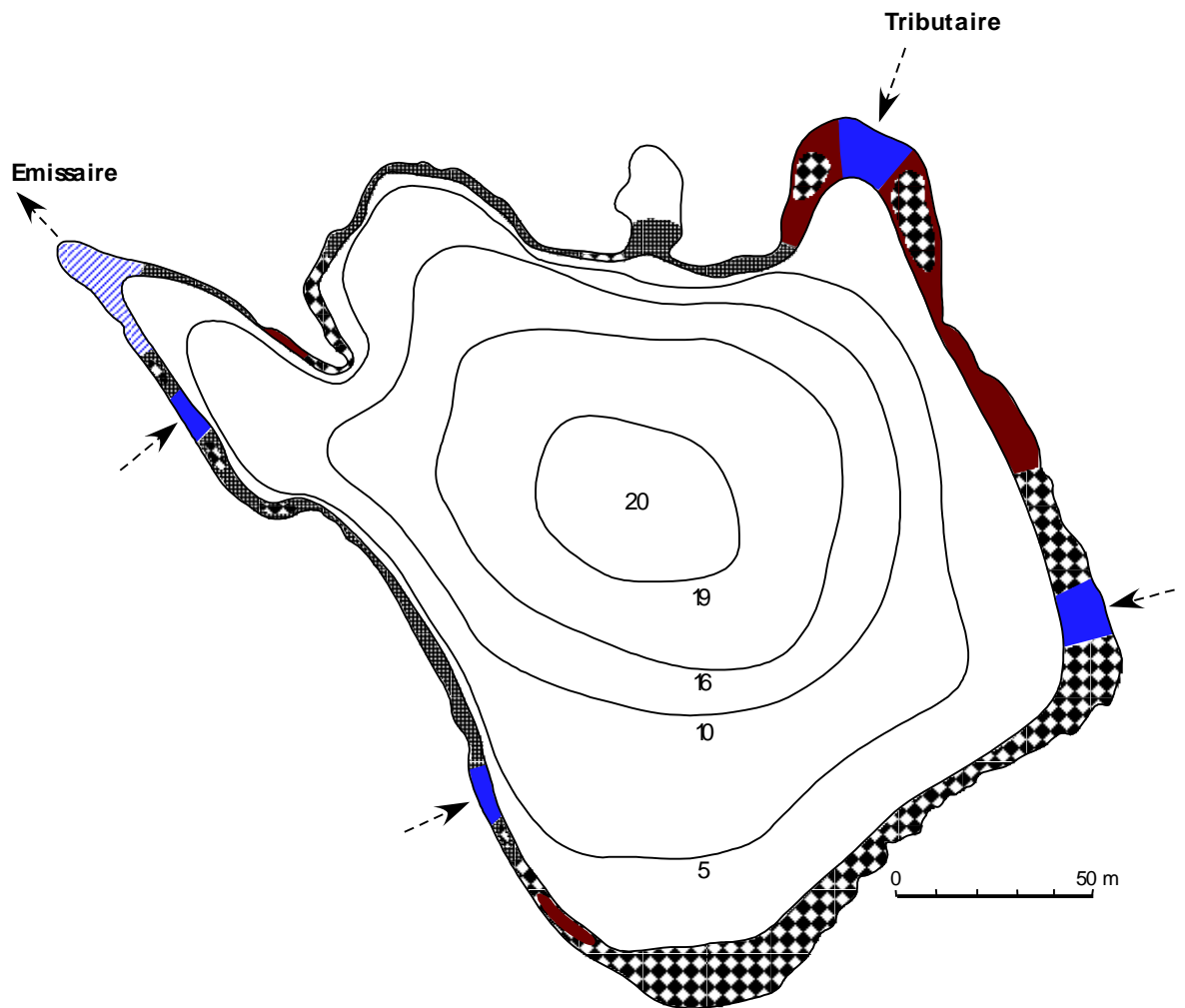
Annexe 4 : Bathymétrie et cartographie des mosaïques habitationnelles lacustres

○ **Anterne**

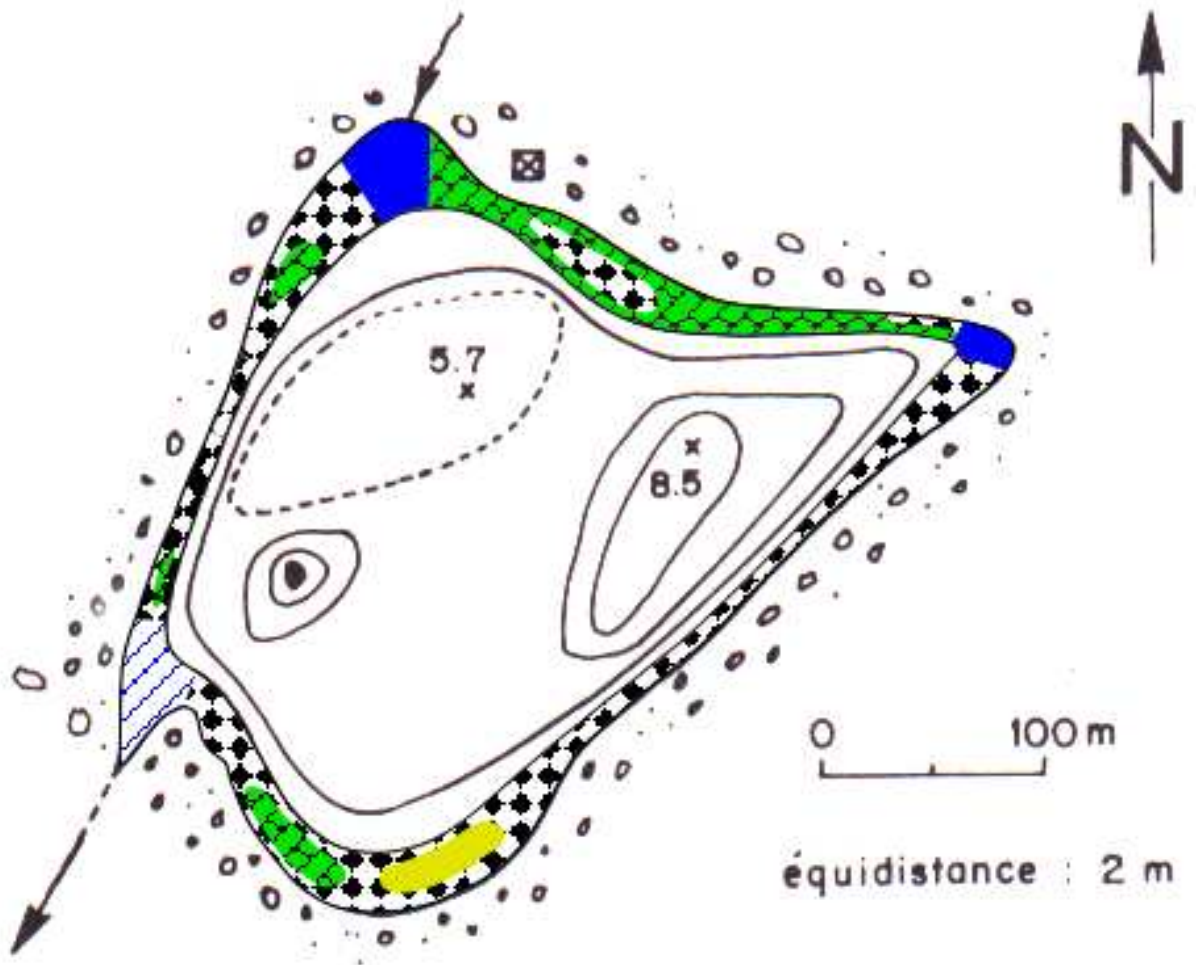


-  **Laff: afférence**
-  **Leff: efférence**
-  **Lblo: Blocs avec infractuosités**
-  **Lgal: galets et graviers**
-  **Lhld: hélophytes denses**
-  **Lfnm: fond nu minérale**
-  **Lfno: fond nu organique**

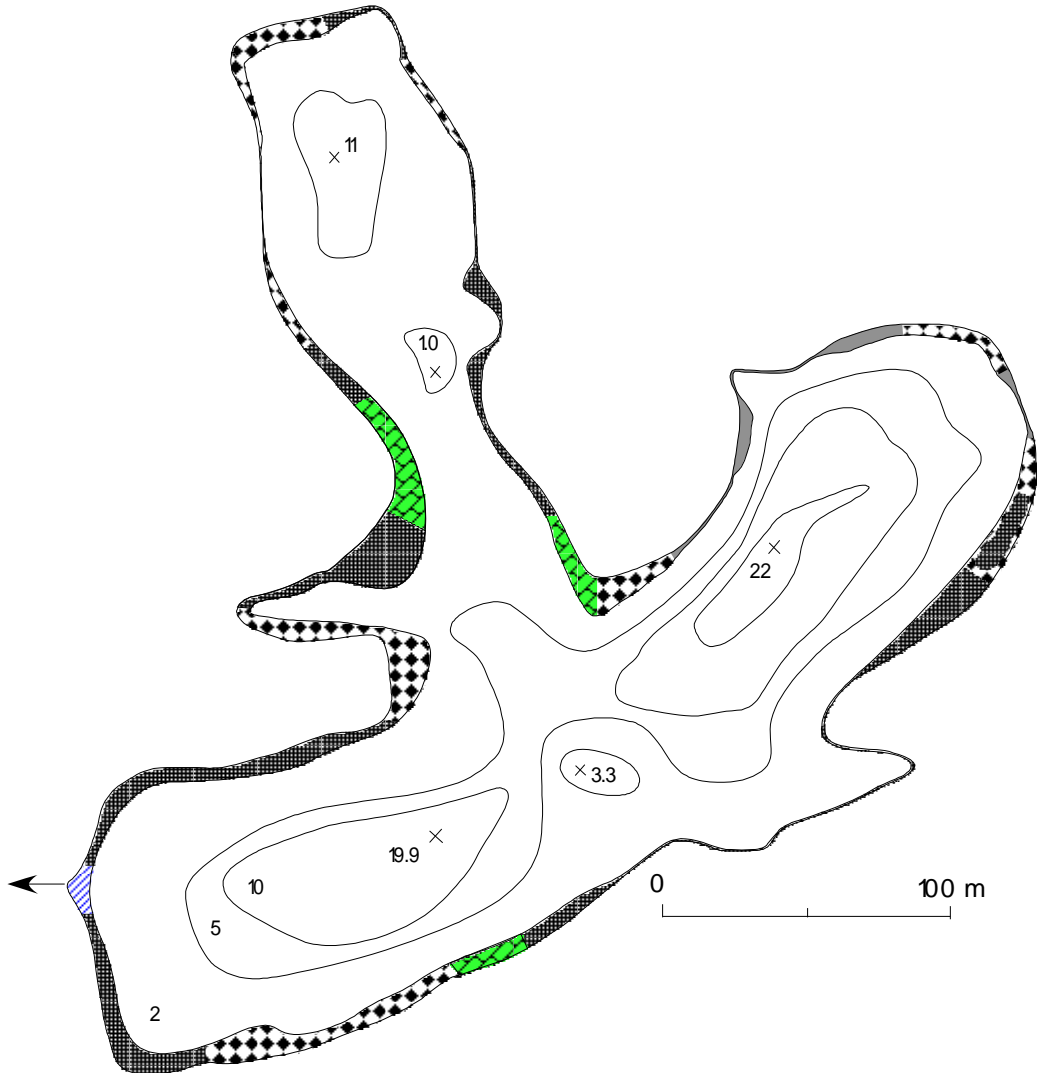
○ Brévent



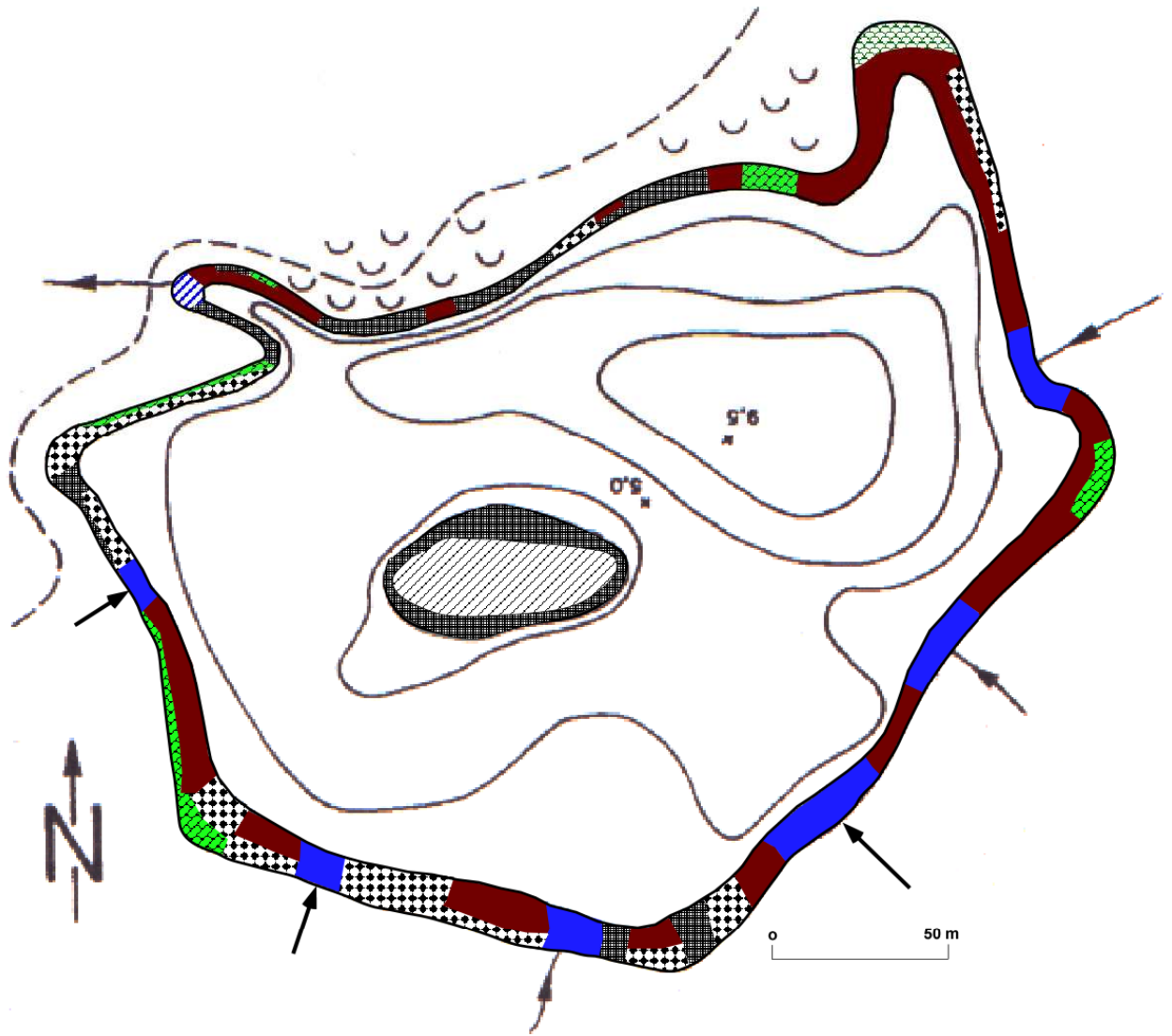
○ Jovet



○ Cornu

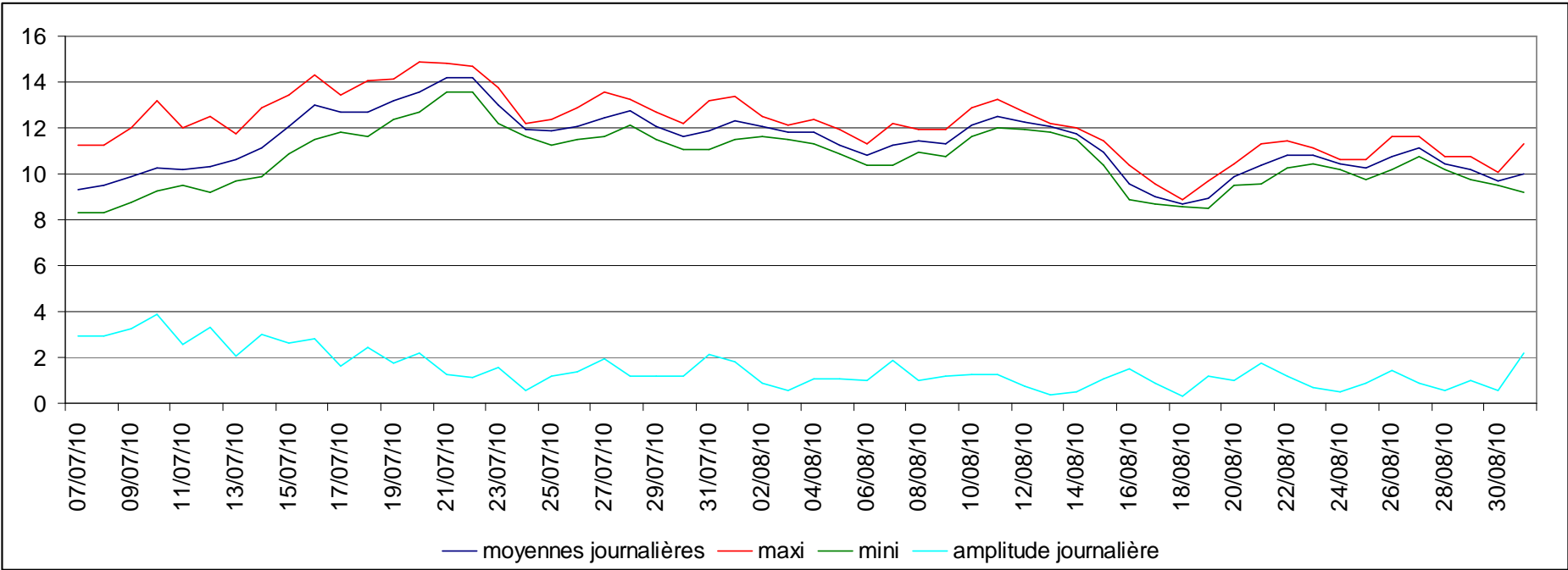


○ Pormenaz

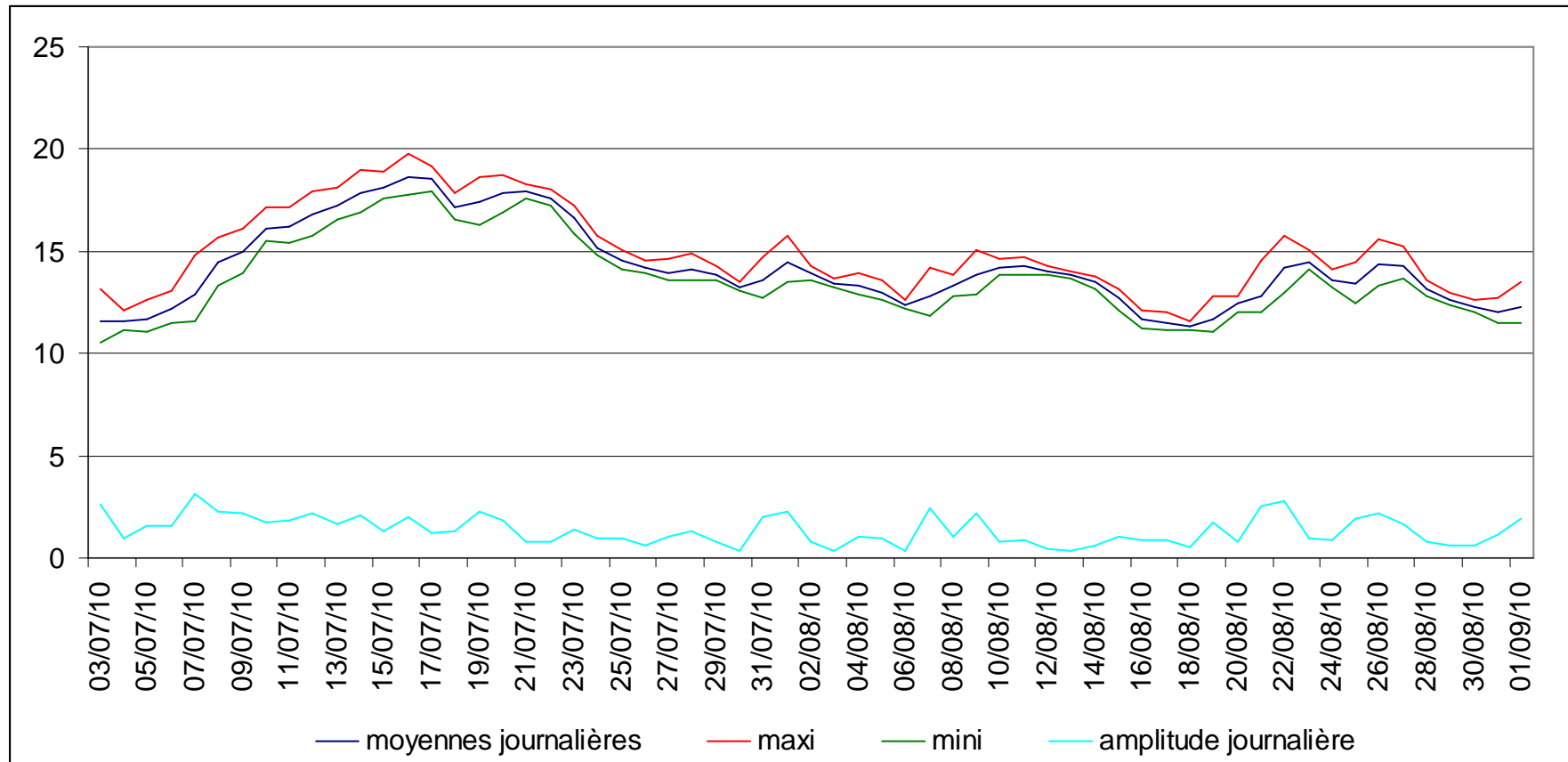


Annexe 5 : Variation thermiques au cours de la période estivale des eaux des 5 lacs étudiés

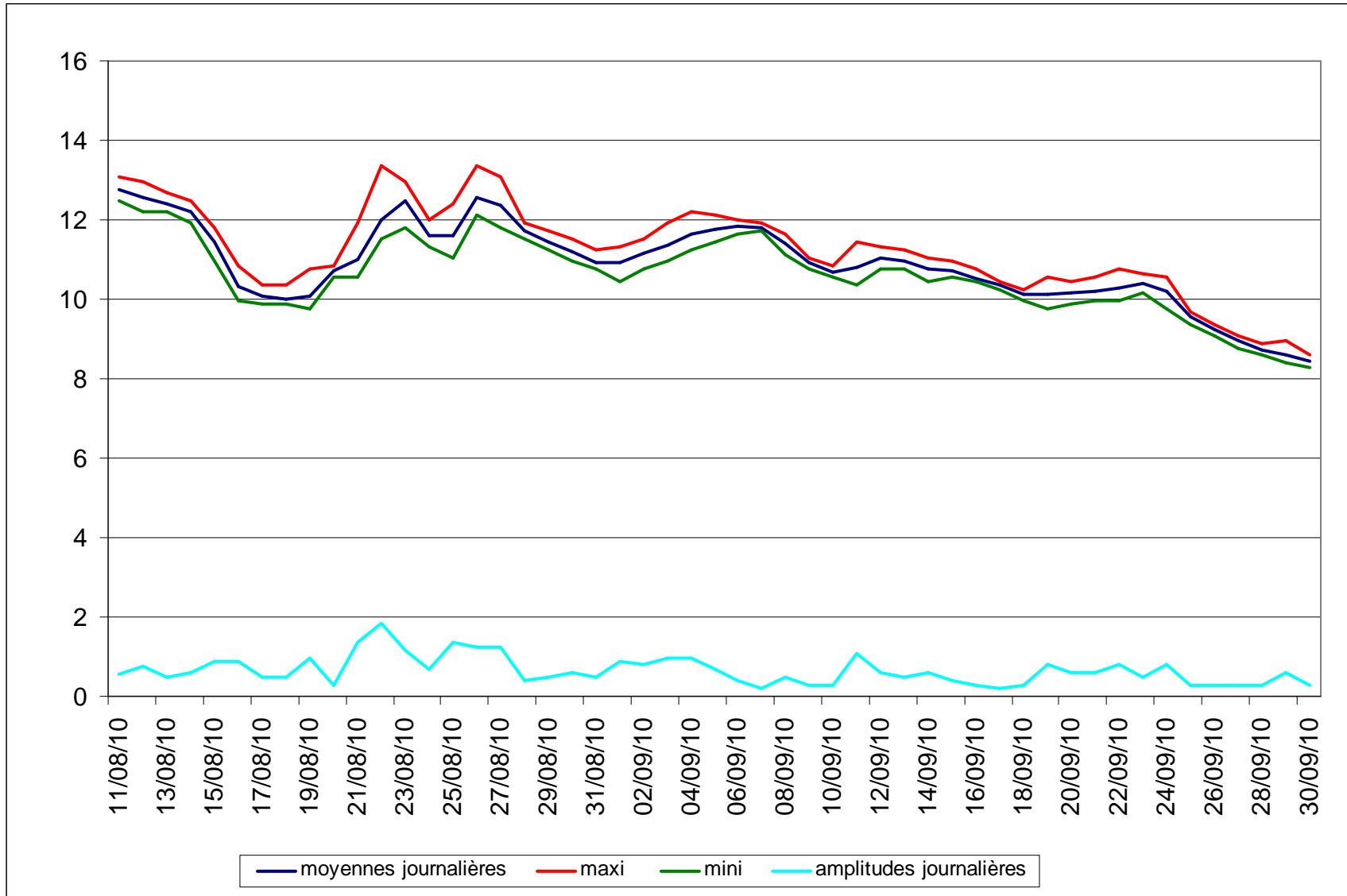
→ Lac d'Anterne



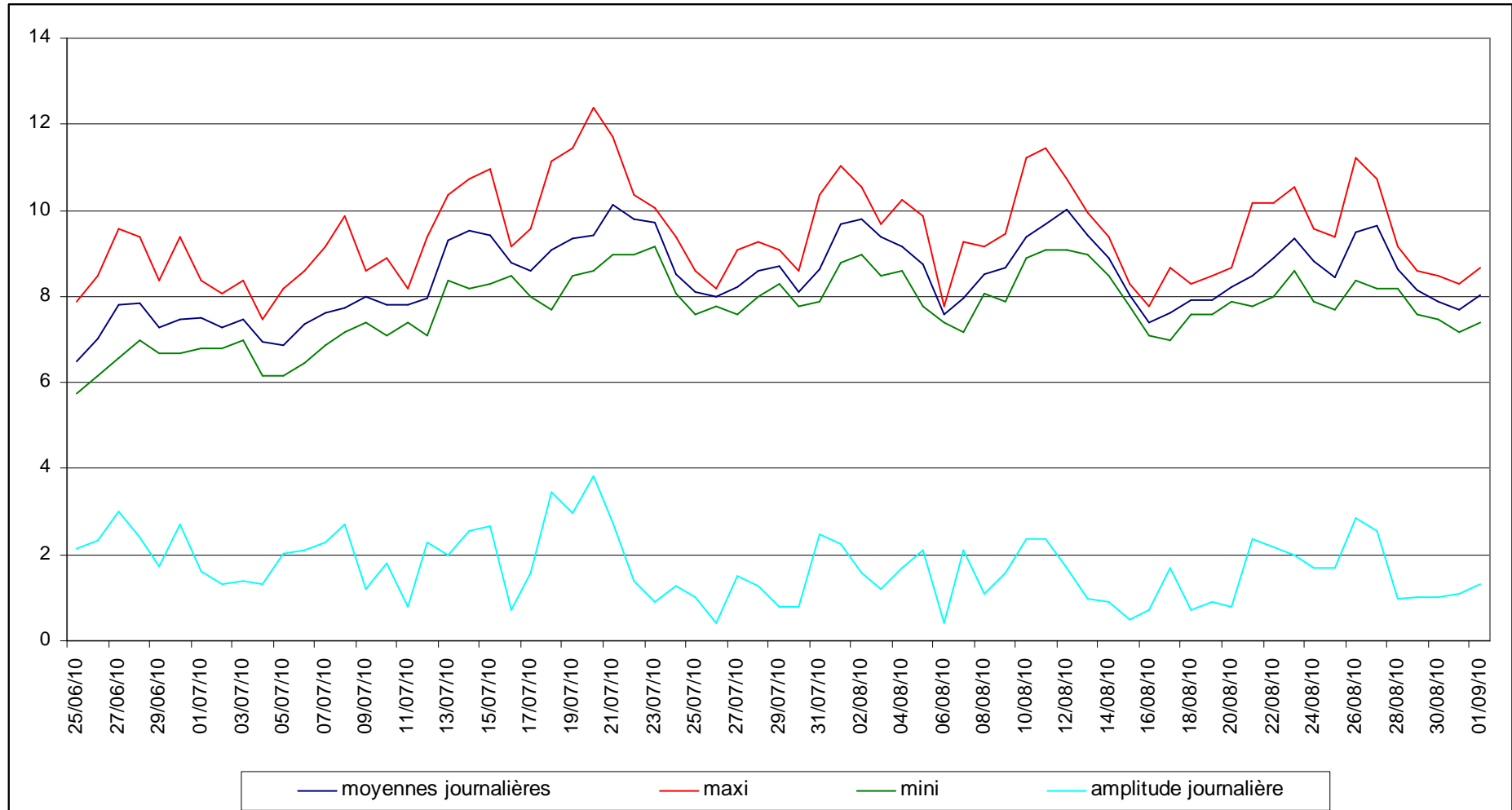
→ Lac Brévent



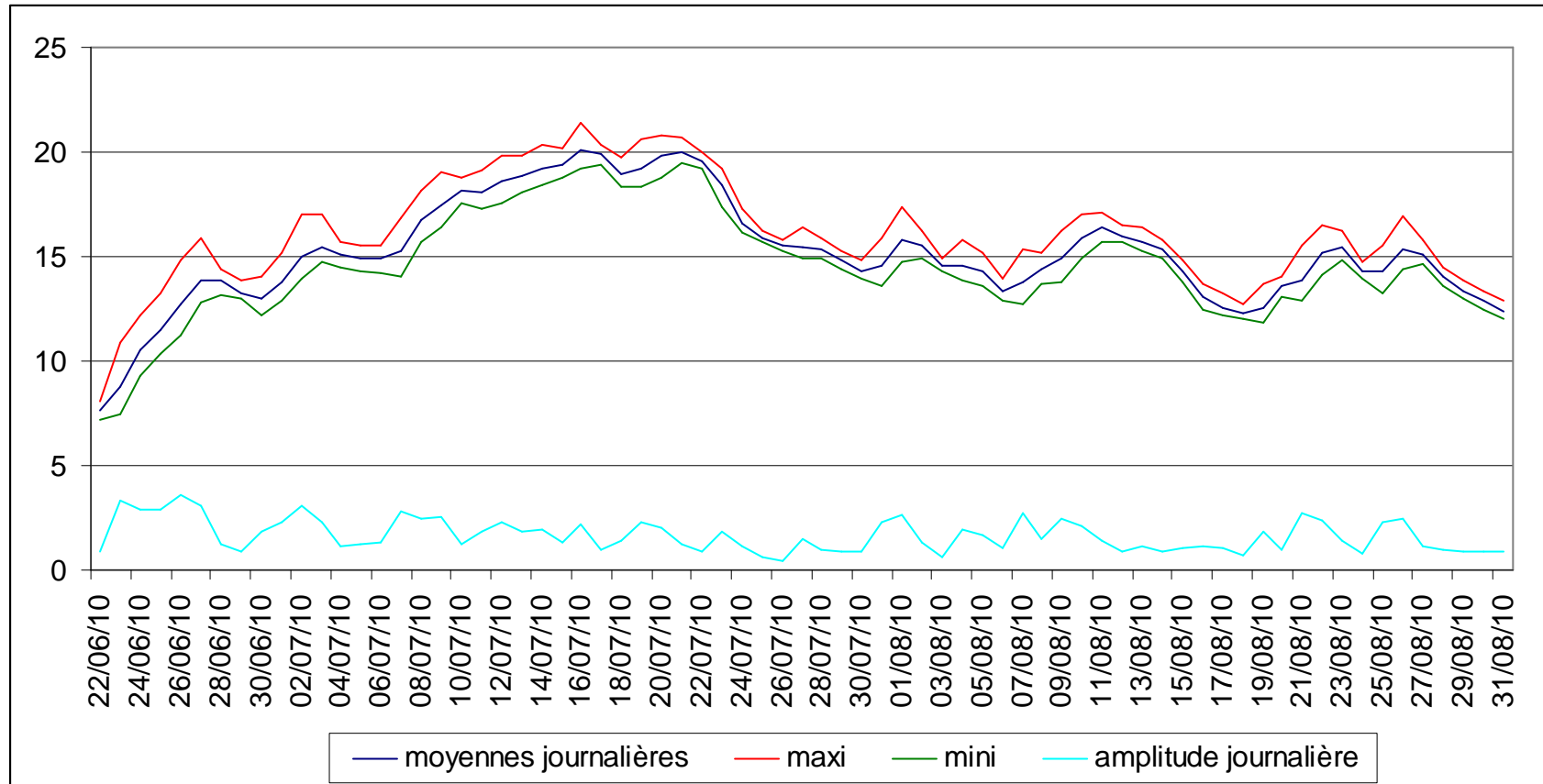
→ Lac Cornu



→ Lac Jovet



→ Lac de Pormenaz



Annexe 6 : Listes faunistiques des IBL littoraux

➤ Anterne

			IBL Littoral											Total	Tot Fam	
			Fnm/Gra	Fnm	Fnm	Gra	Fnm/Gra	Dalle	Fnm/Gal	Bryo	Fnm	Fnm	Fnm			Fnm
INSECTES																
PLECOPTERA	Nemouridae	<i>Nemoura</i>								6					6	6
TRICHOPTERA	Limnephilidae	<i>Limnephilus</i>								2					2	2
DIPTERA	Ceratopogonidae	Ceratopogoninae			1					1		1	2		5	5
	Chironomidae	indeterm	1				2		2		1	2			8	2645
		Chironomini	4				11			8					23	
		Nymphe de Chironomini								1					1	
		Tanytarsini	1			3			7	51		2	1		65	
		Nymphe Tanytarsini								4					4	
		Orthoclaadiinae lato sensus	72	13	136	77	49		37	1662	6	261	6	191	2510	
		Nymphe Orthoclaadiinae								7					7	
		Tanypodinae	1				1			15			2		19	
	Limoniidae	<i>Eriopterini</i>			1										1	3
		<i>Pediciini</i>											2		2	
MOLLUSQUES																
BIVALVES	Sphaeriidae	<i>Pisidium</i>					1		2		3				6	6
PLATHELMINTHES																
TURBELLARIA	Dugesiidae	<i>Dugesia</i>								35				1	36	36
ANNELIDES = VERS																
OLIGOCHETES			27	13	8	118	28		23	317	1	60	34	18	647	647
NEMATHELMINTHES																
NEMATODES				1		7	4			34	3	9		1	59	59
HYDRACARIENS				2			4		1	1			1		9	9
			106	29	146	205	100	0	72	2144	14	335	48	211	3410	3410
			3,1%	0,9%	4,3%	6,0%	2,9%	0,0%	2,1%	62,9%	0,4%	9,8%	1,4%	6,2%	100,0%	

➤ Brévent

			IBL Littoral							Total	Tot Fam		
			Fno	Blocs	Hld	Fnm	Gra	Alg	Fno			Blocs	Bryo
INSECTES													
DIPTERA	Ceratopogonidae	<i>Ceratopogoninae</i>			5			2			2	9	9
	Chironomidae	Indéterm	2		1	1	1			2	5	953	953
		Nymphe ind	1					1				2	
		<i>Nymphe Chironominae</i>						2	16			18	
		Chironomini	16			4	2	4	13	3	9	51	
		Tanytarsini	37			10	34	27	86	1	3	198	
		Nymphe Tanytarsini	8									8	
		<i>Orthoclaadiinae lato sensus</i>	16		6		2	34	31	2	124	215	
		<i>Nymphe Orthoclaadiinae</i>	4					55	2		2	63	
		<i>Tanypodinae</i>		1	1	12	22	49	23	20	258	386	
	Rhagionidae				1							1	1
	Tabanidae				2							2	2
MEGALOPTERA	Sialidae	<i>Sialis</i>				1		1	2	1	5	10	10
MOLLUSQUES													
BIVALVES	Sphaeriidae	<i>Pisidium</i>	8								6	14	14
ANNELIDES = VERS													
OLIGOCHETES			40		28	138	18	4	119	1	14	362	362
NEMATHELMINTHES												14	14
NEMATODES			52						2		3	57	57
HYDRACARIENS					2						2	4	4
			184	1	46	166	79	179	294	30	433	1412	1412
			13,0%	0,1%	3,3%	11,8%	5,6%	12,7%	20,8%	2,1%	30,7%	100,0%	

➤ Cornu

			IBL Littoral											Total	Tot Fam	
			Gra	Dalle	Gal	Dalle	Dalle	Fnm	Gal	Gal	Dalle	Gal	Gra:Sa			Dalle
INSECTES																
TRICHOPTERA	Limnephilidae	Limnephilini ind.							1						1	1
COLEOPTERA	Dytiscidae	<i>Laccophilus l.</i>							1						1	2
		<i>Deronectes ad.</i>											1		1	
DIPTERA	Chironomidae	Nymphe											2		2	216
		Chironomini							1						1	
		Tanytarsini		5	16	5	2	2	25	11	4	10	6	8	94	
		Nymphe Tanytarsini		1		2			9	1	3	2		3	21	
		<i>Orthoclaadiinae lato sensus</i>	1		1				72		1			3	78	
		<i>Nymphe Orthoclaadiinae</i>	1						4						5	
		<i>Tanypodinae</i>							1	6	1		3	4	15	
MEGALOPTERA	Sialidae	<i>Sialis</i>				1			2	3					6	
ANNELIDES = VERS		EMBRANCHEMENT														
OLIGOCHETES		CLASSE	8		1				42	15			1	388	1	456
HYDRACARIENS		ORDRE							5	2		1			8	8
			10	6	18	8	2	123	66	16	7	17	404	12	689	689
			1,5%	0,9%	2,6%	1,2%	0,3%	17,9%	9,6%	2,3%	1,0%	2,5%	58,6%	1,7%	100,0%	

➤ Jovet

			IBL Littoral								Total	Tot Fam	
			Blocs	Gal	Gal/Gra	Gra	Sable	Gra	Gal	Sa/Gra			Gra
DIPTERES													
TRICHOPTERA	Limnephilidae	Tr.Limephilini								1		1	2
COLEOPTERA	Dytiscidae	<i>Laccornis ad.</i>			1								1
DIPTERA	Chironomidae	Indéterm.								2			2
		Chironomini						1			1		2
		Tanytarsini		2		1					1		4
		<i>Orthoclaadiinae lato sensus</i>								9		3	12
		<i>Tanypodinae</i>			1			9	1	2	30		43
	Limoniidae	Eriopterini					1			1			2
		Pediciini								1			1
	Rhagionidae											1	1
MOLLUSQUES													
BIVALVES	Sphaeriidae	<i>Pisidium</i>			1								1
ANNELIDES = VERS													
OLIGOCHETES				2	24		12	8		20	25	67	158
NEMATHELMINTHES													3
NEMATODES					2		3				1	22	28
HYDRACARIENS										1			1
			0	4	29	1	16	18	1	37	58	94	258
			0,0%	1,6%	11,2%	0,4%	6,2%	7,0%	0,4%	14,3%	22,5%	36,4%	100,0%

➤ Pormenaz

			IBL Littoral								Total	Tot Fam	
			Vase	Sable	Gal	Litière	Dalle	Vase	Gal	Sperm. imm.			Gra
INSECTES													
PLECOPTERA	Nemouridae	Indéterm.								1		1	20
		<i>Nemoura</i>				2				16	1	19	
TRICHOPTERA	Limnephilidae	Limnephilinae ind.				6						6	27
		Tr. Limephilini							1			1	
		<i>Limnephilus</i>				14				6		20	
DIPTERA	Ceratopogonidae	Ceratopogoninae	1		1							2	6
		Dasyhelainae				4						4	
	Chaoboridae	Nymphe				1						1	1
	Chironomidae	Indéterm.							3			3	1423
		Chironomini	36	185		36	6	32	50	6	74	425	
		Tanytarsini	50	262	69	34	7	48	8	17	15	510	
		Nymphe Tanytarsini		3	1								
		Orthoclaadiinae lato sensus	10	10	16	54	7	18	7	43	9	174	
		Nymphe Orthoclaadiinae			3	8	1	1		1	6		
		Tanypodinae	63	55	34	28	1	43	26	18	19	287	
		Nymphe Tanypodinae						1					
		Nymphe indéterminée			2								
MEGALOPTERA	Sialidae	<i>Sialis</i>	1					2	4		5	12	12
MOLLUSQUES													
BIVALVES	Sphaeriidae	<i>Pisidium</i>	2	16	7	2		5		10	28	70	70
ANNELIDES = VERS													
HIRUDINEA = ACHETES	Glossiphoniidae	<i>Helobdella</i>							3			3	3
OLIGOCHETES			712	164	10	368		41	2	4	19	1320	1320
NEMATHELMINTHES													
NEMATODES				4	1						1	6	6
			875	699	144	557	22	191	104	122	177	2888	2888
			30,3%	24,2%	5,0%	19,3%	0,8%	6,6%	3,6%	4,2%	6,1%	100,0%	

Annexe 7 : Listes faunistiques des MAG 12

➤ Brévent

n° de prélèvement			IBGN							4 suppl				Total	Tot Fam	Fam 8 privt			
			Bryo 25/75	Gal 25/75	Dalle >150	Algue 25/75	Bryo >150	Bryo 5/25	Bryo 75/150	Bryo 25/75	Bryo >150	Gal 5/25	Dalle <5				Algue >150		
Couple substrat/vitesse																			
INSECTES																			
PLECOPTERA	Leuctridae	<i>Leuctra</i>	1					1				10	1				13	13	12
	Nemouridae	<i>Nemoura</i>										1					1	26	21
		<i>Protonemura</i>	3					4			4	9	5				25		
	Perlodidae	<i>Isoperla</i>	28	2				9			7	61	51				158	158	107
TRICHOPTERA	Polycentropodidae	Indéterm.												1			1	27	15
		<i>Plectrocnemia</i>		2		5	2	3				3	1	2		8	26		
	Rhyacophilidae	<i>Rhyacophila</i>		6	1	2							1		2	1	13	13	9
EPHEMEROPTERA	Baetidae	<i>Baetis</i>	190	6	39	4	120	8	27	155	113	38	16	87		803	803	549	
COLEOPTERA	Dytiscidae	Indéterm.															1	7	6
		<i>Laccophilus l.</i>						1	1								2		
		<i>Agabus l.</i>						2	2								4		
	Helophoridae	<i>Helophorus ad.</i>						5				1					6	6	5
DIPTERA	Ceratopogonidae	<i>Ceratopogoninae</i>						6									6	6	6
	Chironomidae	Chironomini					11							2			13	1961	1523
		Tanytarsini	1				3	3	1	2	5		1				16		
		<i>Orthocladiinae lato sensus</i>	30	6	3	25	36	190	41	84	78	5	8	15			521		
		<i>Tanypodinae</i>	155	19	6	11	228	174	246	248	223	42	12	47			1411		
	Empididae	<i>Clinocerinae</i>								1	1	1					3	3	1
	Limoniidae	<i>Eriopterini</i>						1	1								2	43	24
		<i>Hexatomini</i>						2									2		
		<i>Limoniini</i>						13	1	5	2	16		1			38		
		<i>Pediciini</i>	1														1		
	Rhagionidae							1									1	1	1
	Simuliidae	<i>Prosimuliini</i>					6			5	8						19		
		<i>Simuliini</i>	61	4	7		75		21	126	97	1		4			396	415	305
	Tipulidae										2						2	2	0
ANNELIDES = VERS																			
OLIGOCHETES			4					52	101	14	25	44	1		1		242	242	196
NEMATHELMINTHES																			
NEMATODES			1					2	17	32		7					59	59	52
HYDRACARIENS																			
Effectif			475	45	56	48	549	528	398	735	642	107	39	165			3787	3787	2834
Effectif Relatif 12 placettes (%)			12,5%	1,2%	1,5%	1,3%	14,5%	13,9%	10,5%	19,4%	17,0%	2,8%	1,0%	4,4%			100,0%		74,9%
Effectif relatif 8 placettes (%)			16,8%	1,6%	2,0%	1,7%	19,4%	18,6%	14,0%	25,9%									

➤ Cornu

<i>n° de prélèvement</i>			IBGN							4 suppl				<i>Total</i>	Tot Fam	Fam 8 privt	
			Gal	Grav	Dalle	Dalle	Dalle	Dalle	Gal	Galet	Galet	Dalle	Dalle				Dalle
<i>Couple substrat/vitesse</i>			25/75	5/25	25/75	<5	75/150	2/25	5/25	<5	75/150	>150	25/75	<5			
INSECTES																	
TRICHOPTERA	Limnephilidae	Autre limn. 1flt/faisc.		1					1						2	2	2
COLEOPTERA	Dytiscidae	<i>Agabus l.</i>					1						1		2	2	2
DIPTERA	Chironomidae	Indéterm.												1	1	24	20
		Tanytarsini	1							9			8	2	20		
		<i>Orthoclaadiinae lato sensus</i>												1	3		
	Limoniidae	<i>Pediciini</i>												1	2	2	1
	Simuliidae	<i>Prosimuliini</i>												5	14	14	5
ANNELIDES = VERS																	
TURBELLARIA	Dugesiidae	Indéterm.													2	15	12
		<i>Dugesia</i>		5	1			3	1	2				1	13		
OLIGOCHETES		CLASSE		1						1			1	12	12	12	3
HYDRACARIENS		ORDRE												1	1	1	0
Effectif			1	7	1	0	12	2	12	10	6	21	0	0	72	72	45
Effectif Relatif 12 placettes (%)			1,4%	10,0%	1,4%	0,0%	17,1%	2,9%	17,1%	14,3%	8,6%	30,0%	0,0%	0,0%	100,0%		64,3%
Effectif relatif 8 placettes (%)			2,2%	15,6%	2,2%	0,0%	26,7%	4,4%	26,7%	22,2%							

➤ Jovet

n° de prélèvement			IBGN							4 suppl				Total	Tot Fam	Fam 8 privt	
Couple substrat/vitesse			Bryo >150	Gal <5	Grav <5	Dalle 75/150	Dalle 25/75	Dalle >150	Dalle 5/25	Dalle <5	Bryo 75/150	Bryo 25/75	Bryo 5/25				Gal 5/25
INSECTES																	
PLECOPTERA	Nemouridae	Indéterm.								1					1	143	61
		<i>Nemoura</i>		1	45								15	3	64		
		<i>Protonemura</i>	11		1	1		1				52	12		78		
	Perlodidae	<i>Isoperla</i>	5	1	3					1	55	213	59		337	337	10
TRICHOPTERA	Goeridae	<i>Lithax</i>	1												1	1	1
	Limnephilidae	<i>Drusus</i>	2	1	2							1			6	6	5
	Rhyacophilidae	<i>Rhyacophila</i>	15	1	2		1	4			27	78	127		255	255	23
EPHEMEROPTERA	Baetidae	<i>Baetis</i>	162	3	39	22	1	30		3	173	493	107	9	1042	1042	260
	Heptageniidae	<i>Ecdyonurus</i>		1	2										3	3	3
COLEOPTERA	Dytiscidae	<i>Laccophilus l.</i>										1			1	2	0
		<i>Copelatus ad.</i>										1			1		
DIPTERA	Chironomidae	Tanytarsini												3	3	4929	393
		<i>Orthocladinae lato sensus</i>	254	28	21	31	5	44	5	5	1708	1368	1378	79	4926		
	Limoniidae	<i>Pediciini</i>			3										3	3	3
MOLLUSQUES																	
BIVALVES	Sphaeriidae	<i>Pisidium</i>	4	1	4										9	9	9
ANNELIDES = VERS																	
TURBELLARIA	Dugesidae	<i>Dugesia</i>	123	1	5			2			1087	344	226	1	1789	1789	131
OLIGOCHETES																	
NEMATHELMINTHES			1	2	14				1		300		39		357	357	18
NEMATODES													2		2	2	0
HYDRACARIENS											11	1	1		13	13	0
	Effectif		578	40	141	54	7	81	6	10	3361	2552	1966	95	8891	8891	917
	Effectif Relatif 20 placettes (%)		6,5%	0,4%	1,6%	0,6%	0,1%	0,9%	0,1%	0,1%	37,8%	28,7%	22,1%	1,1%	100,0%		10,3%
	Effectif relatif 8 placettes (%)		63,0%	4,4%	15,5%	5,9%	0,8%	8,8%	0,7%	1,1%							

➤ Pormenaz Afférence

n° de prélèvement			IBGN								4 suppl				Total	Tot Fam	Fam 8 privt
Couple substrat/vitesse			Bryo 25/75	Gal 5/25	Gra <5	Dalle 25/75	Dalle 5/25	Dalle <5	Gal <5	Gal 5/25	Dalle <5	Dalle <150	Gal 25/75	Gal 25/75			
INSECTES																	
PLECOPTERA	Chloroperlidae	<i>Siphonoperla</i>										1			1	1	0
	Leuctridae	<i>Leuctra</i>	1	9	36				3	2	5	1			57	57	51
	Nemouridae	<i>Nemoura</i>	10	2		2				2	2	34	1	3	56	134	32
		<i>Protonemura</i>	4		1	11						60		2	78		
	Perlodidae	Indéterm.										8	1	1	10	10	0
TRICHOPTERA	Goeridae	<i>Lithax</i>			2			1		1	1	4			9	9	4
	Limnephilidae	Indéterm.		1											1	13	4
		<i>Chaetopteryx</i>			1			3				8			12		
	Polycentropodidae	<i>Plectrocnemia</i>	1	3	1			1	1						7	7	7
	Rhyacophilidae	<i>Rhyacophila</i>	4									8			12	12	4
EPHEMEROPTERA	Baetidae	<i>Baetis</i>			1	3						3		3	10		
	Heptageniidae	<i>Ecdyonurus</i>	3	7	18	5	2	3	3	3	1		3	6	54	63	45
		<i>Epeorus</i>				1						2		6	9		
COLEOPTERA	Helophoridae	<i>Helophorus ad.</i>	1												1	1	1
DIPTERA	Chironomidae	Tanytarsini	31		2	5					2	84		1	125	283	98
		<i>Orthoclaadiinae lato sensus</i>	34		6			1	1	1		86	1		130		
		<i>Tanypodinae</i>	2	2	3			9	1		1	9		1	28		
	Empididae	<i>Clinocerinae</i>	1			1						6			8	8	2
	Limoniidae	<i>Eriopterini</i>	1												1	2	2
		<i>Pediciini</i>			1										1		
	Psychodidae											1			1	1	0
	Simuliidae	<i>Simuliini</i>	1		1	3						9		6	20	20	5
LEPIDOPTERES	Crambidae = Pyralidae	<i>Nymphula</i>				1									1	1	1
HYDRACARIENS			1	1	1	1			1		2	1			8	8	5
Effectif			95	25	74	33	2	18	10	9	14	325	6	29	640	640	265
Effectif Relatif 12 placettes (%)			14,9%	3,9%	11,6%	5,2%	0,3%	2,8%	1,6%	1,4%	2,2%	50,9%	0,9%	4,5%	100,0%		41,5%
Effectif relatif 8 placettes (%)			35,8%	9,4%	27,9%	12,5%	0,8%	6,8%	3,8%	3,4%							

➤ Pormenaz Exutoire

n° de prélèvement			IBGN							4 suppl				Total	Tot Fam	Fam 8 privt	
Couple substrat/vitesse			Bryo 25/75	Gal 5/25	Gra 5/25	Dalle >150	Alg 5/25	Dalle 5/25	Dalle <5	Dalle 25/75	Bryo 25/75	Dalle 5/25	Dalle 25/75				Dalle <5
INSECTES																	
PLECOPTERA	Leuctridae	<i>Leuctra</i>								1				1	2	2	1
Leuctridae	Nemouridae	<i>Nemoura</i>									1				1	2	0
		<i>Protonemura</i>									1				1		
Nemouridae	Perlodidae	Indéterm.									2				2	18	0
		<i>Isoperla</i>									15		1		16		
TRICHOPTERA	Polycentropodidae	<i>Plectrocnemia</i>					1	1	9	1					12	12	12
Polycentropodidae	Rhyacophilidae	<i>Rhyacophila</i>								2	15		2		19	19	2
EPHEMEROPTERA	Baetidae	<i>Baetis</i>	30	39	7	67	15		4	28	135	24	38	4	391	391	190
	Heptageniidae	<i>Ecdyonurus</i>								1					1	1	1
DIPTERA	Anthomyiidae										5				5	5	0
	Chironomidae	Chironomini	4	4	7		6	14	32	3	132		5	4	211	626	292
		Tanytarsini	16	1					2		1				20		
		<i>Orthocladiinae lato sensus</i>			1	13		1		6	56	2	18		97		
		<i>Tanypodinae</i>	48	22	3	7	21	23	44	14	90	6	14	6	298		
	Simuliidae	<i>Prosimuliini</i>				2				1	20		1		24		
		<i>Simuliini</i>	5	2	8	51				18	437		8	2	531	555	87
MOLLUSQUES														1			
BIVALVES	Sphaeriidae	<i>Pisidium</i>	1								1				2	2	1
ANNELIDES = VERS																	
OLIGOCHETES			1						2		7		2		12	12	3
NEMATHELMINTHES														626			
NEMATODES					1		1							2	2		
Effectif			105	68	27	140	44	41	91	75	918	32	89	17	1647	1647	591
Effectif Relatif 20 placettes (%)			6,4%	4,1%	1,6%	8,5%	2,7%	2,5%	5,6%	4,6%	55,7%	1,9%	5,4%	1,0%	100,0%		35,9%
Effectif relatif 8 placettes (%)			17,8%	11,5%	4,6%	23,7%	7,4%	6,9%	15,6%	12,7%							

Annexe 8 : Grilles de prélèvement MAG 12

Station	Ravin du Brévent 26/06/2010					
	V S	> 150 2	150 > V > 75 4	75 > V > 25 5	25 > V > 5 3	V < 5 1
Bryophytes	9	5-9	7	1-8	6	
Spermaphytes immergées	8					
Éléments organiques grossiers	7					
Sédiments minéraux de grande taille	6			2	10	
Granulats grossiers	5					
Spermaphytes émergents de la strate basse	4					
Sédiments fins +/- organiques	3					
Sables et limons	2					
Surfaces naturelles et artificielles	1	3				11
Algues, marnes et argiles	0	12		4		

Station	Torrent du Cornu 11/08/2010					
	V S	> 150 2	150 > V > 75 4	75 > V > 25 5	25 > V > 5 3	V < 5 1
Bryophytes	9					
Spermaphytes immergées	8					
Éléments organiques grossiers	7					
Sédiments minéraux de grande taille	6		9	1	7	8
Granulats grossiers	5				2	
Spermaphytes émergents de la strate basse	4					
Sédiments fins +/- organiques	3					
Sables et limons	2					
Surfaces naturelles et artificielles	1	10	5	3-11	6	4-12
Algues, marnes et argiles	0					

Station	Bon Nant 27/07/2010					
	V S	> 150 2	150 > V > 75 4	75 > V > 25 5	25 > V > 5 3	V < 5 1
Bryophytes	9	1	9	10	11	
Spermaphytes immergées	8					
Éléments organiques grossiers	7					
Sédiments minéraux de grande taille	6				12	2
Granulats grossiers	5					3
Spermaphytes émergents de la strate basse	4					
Sédiments fins +/- organiques	3					
Sables et limons	2					
Surfaces naturelles et artificielles	1	6	4	5	7	8
Algues, marnes et argiles	0					

Station	Pomenaz Afférence 20/07/2010					
	V	> 150	150 > V > 75	75 > V > 25	25 > V > 5	V < 5
	S	2	4	5	3	1
Bryophytes	9			1		
Spermaphytes immergées	8					
Éléments organiques grossiers	7					
Sédiments minéraux de grande taille	6			11-12	2-8	7
Granulats grossiers	5					3
Spermaphytes émergents de la strate basse	4					
Sédiments fins +/- organiques	3					
Sables et limons	2					
Surfaces naturelles et artificielles	1		10	4	5	6-9
Algues, marnes et argiles	0					

Station	Pormenaz Exutoire 20/07/2010					
	V	> 150	150 > V > 75	75 > V > 25	25 > V > 5	V < 5
	S	2	4	5	3	1
Bryophytes	9			1-9		
Spermaphytes immergées	8					
Éléments organiques grossiers	7					
Sédiments minéraux de grande taille	6				2	
Granulats grossiers	5				3	
Spermaphytes émergents de la strate basse	4					
Sédiments fins +/- organiques	3					
Sables et limons	2					
Surfaces naturelles et artificielles	1	4		8-11	6-10	7-12
Algues, marnes et argiles	0				5	