



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

CHRONO
ENVIRONNEMENT

UFC
UNIVERSITÉ
DE FRANCHE-COMTÉ
**Master 2 "Qualité des Eaux et des
sols, Traitement"**
Option Systèmes Aquatiques et
Bassin-Versant

Diagnose écologique simplifiée de 5 lacs d'altitude en Haute-Savoie - Rapport d'étude -



Version 2.0

« 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 ».

MARTIN David
Octobre 2011

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, Directeur de stage option SABV, Maître de conférence, Université de Franche-Comté
Mr DECOURCIERE Hervé, Tuteur de stage, Ingénieur d'étude à Téléos

Maître de stage :

Mr HUCHET Philippe, Fédération de Pêche de Haute-Savoie (74)

Année universitaire 2010-2011

*« Les lacs, ces êtres sybarites, prêt à se vautrer dans la moindre dépression, se piquent,
sous le couvert céruléen, de ne rien dévoiler de leur tréfonds »*

L.Touchard

Remerciements

Le bon déroulement d'une étude en montagne est une véritable épreuve physique et logistique mais constitue une aventure personnelle et humaine qui vaut la peine d'être vécue. Pour m'avoir fait découvrir cette joie, j'aimerais remercier un certain nombre de personnes.

Pour m'avoir accueilli dans sa grande famille, et pour avoir mis tous les moyens nécessaires pour que ce stage se déroule parfaitement, je tiens à chaleureusement remercier Mr. Daniel DIZAR, président de la Fédération de Haute-Savoie pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique.

Il m'est ensuite particulièrement agréable d'adresser mes remerciements à Philippe HUCHET, chargé de mission à la FDP74, et tuteur ô combien précieux, qui m'a fait découvrir bien plus que les lacs de montagne. Pour sa confiance, pour la liberté qu'il m'a laissé de mener ma propre étude, pour sa patience ou encore pour ses multiples conseils et relectures, je tiens à lui adresser toute ma gratitude.

Je tiens aussi sincèrement à remercier Hervé DECOURCIERE, mon tuteur universitaire, pour sa réactivité et pour les corrections apportées à mes nombreuses déterminations, et 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.

Enfin je remercie plus particulièrement:

- Guillaume BINI, technicien à la FDP74, pour son aide tout au long de ce stage et pour avoir la folie de doubler les randonneurs avec un zodiac sur le dos.
- Céline CHASSERIEAU, chargée de mission à la FDP74, pour sa continuelle bonne humeur, pour ses muffins et pour m'avoir accompagnée durant de longues journées au labo
- Laure VIGIER, chargée de mission à la FDP74, pour avoir gentiment partagée son bureau avec moi
- Ludovic CATINAUD et Stéphanie AUTRAN, pour avoir grandement contribué au bon déroulement de ce stage.

Pour terminer, toute ma gratitude va à ma famille, sans qui la réalisation de ce stage n'aurait pas été possible ainsi qu'à tous ceux qui, de près ou de loin, ont permis le bon déroulement de toutes les manipulations sur le terrain.

Un grand merci à tous

Résumé

Cinq lacs de montagne de 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. Cette étude s'inscrit dans la continuité du travail réalisé en 2010 sur les 5 autres lacs de montagne du département.

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 fluviaux 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.

Parmi les cinq lacs étudiés, seul le lac de Tavaneuse a les caractéristiques d'un lac de montagne au sens strict, et présente une oligotrophie modérée. Les quatre autres plans d'eau investigués s'éloignent, du fait de leurs caractéristiques morphologiques et de leur mésotrophie, de la définition *stricto sensu* d'un lac de montagne. Le Lac de Gers est en réalité un étang d'altitude mésotrophe, notamment du fait de sa faible profondeur et de la présence d'un herbier recouvrant la totalité de sa surface. Les lacs de Vernant et d'Arvouin ont un fonctionnement fortement influencé par le rehaussement artificiel de leur niveau d'origine par des digues ayant conduit à noyer une partie des marais les entourant. Le lac de Lessy, enfin, n'est un lac pérenne que depuis 2007, à la suite de la mise en place d'un système de régulation de ses pertes naturelles, qui conduisaient à un assèchement naturel de la quasi-totalité du plan d'eau.

Cependant, ces lacs présentent un fonctionnement globalement satisfaisant au regard de leurs caractéristiques intrinsèques, seul le lac de Lessy subissant une légère perturbation trophique en lien avec les usages en cours sur le bassin versant (chalets, ovins).

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, artificialisation.

Summary

A simplified diagnosis has been done on five mountain lakes of Haute-Savoie department (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. This study joins in the continuity of the work realized in 2010 on 5 other mountain lakes of the department.

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, permits to show a contrasted situation between different lakes.

Among five studied lakes, only lake of Tavaneuse has the characteristics of a mountain lake in the strict sense, and is an oligotrophic lake. Four other investigated lakes go away, because of their morphological characteristics and their mesotrophy, of the *stricto sensu* definition of a mountain lake. The Lake of Gers is in fact a mesotrophic mountain pond, because of its shallow depth and of the presence of aquatic vegetation recovering the totality of its surface. The lakes of Vernant and Arvouin are strongly influenced by the artificial raising of their level of origin by dikes having led to flood a part of swamps surrounding them. The lake of Lessy, finally, is a long-lasting lake only since 2007, following the implementation of a regulation system of its natural losses, which led to a natural drying out of the quasi-totality of the lake.

However, these lakes globally present a good functionality towards their characteristics intrinsic, only the lake of Lessy undergoing a light trophic disturbance in connection with the current practices on its watershed (chalets, sheep).

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: Alpine lakes, nested scales, simplified diagnosis, typology, fish management, trophy, artificialisation.

Sommaire

I.Introduction:.....	1
II.Matériels & Méthodes:.....	2
A.Contexte général de l'étude:.....	2
i.Objectifs de la fédération:.....	2
ii.Situation géographique:.....	2
iii.Caractéristiques morphologiques des bassins-versants des 5 lacs étudiés:.....	3
iv.Contexte géologique des bassins-versants des 5 lacs étudiés:.....	7
v.Contexte climatiques des zones d'étude:.....	11
B.Méthodologie mise en œuvre:.....	11
i.Échelle du bassin-versant.....	12
ii.Échelle de la station:.....	12
iii.Bathymétrie:.....	12
iv.Cartographie des mosaïques habitationnelles lacustres (Fig. II.9).....	12
v.Qualité physico-chimique de l'eau (Fig. II.9):.....	13
vi.Compartiment macrobenthique:.....	14
vii.Compartiment piscicole:.....	16
C.Données antérieures disponibles sur les 5 lacs étudiés:.....	19
i.Physico-chimie.....	19
ii.Biologie.....	20
iii.Données piscicoles.....	20
D.Traitements statistiques.....	21
III.Résultats:.....	21
A.Caractérisation des bassins-versants:.....	21
B.Capacités habitationnelles en zone littorale des systèmes lacustres.....	24
C.Métabolisme physico-chimique.....	26
i.Thermie lacustre en continu.....	30
ii.Physico-chimie des systèmes étudiés.....	31
iii.Évaluation du degré de fonctionnalité piscicole des lacs:.....	39
iv.Typologie et potentiel piscicole théorique.....	40
D.Compartiment du macrobenthos.....	41
i.Peuplements des zones littorales lacustres.....	41
ii.Peuplements des vecteurs fluviatiles.....	44
E.Analyse des peuplements piscicoles des vecteurs fluviatiles.....	48
F.Traitements statistiques.....	49
IV.Discussion.....	50
A.Bilan sur le fonctionnement des lacs et éléments d'explication.....	51
i.Lac d'Arvouin.....	51
ii.Lac de Gers.....	51
iii.Lac de Lessy.....	52
iv.Lac de Tavaneuse.....	52
v.Lac de Vernant.....	53
B.Bilan sur les lacs étudiés.....	53
C.Application à la gestion piscicole.....	54
D.Perspectives.....	56
V.Bibliographie.....	56
VI.ANNEXES.....	61

Liste des figures

Figure II.1 : Échéancier du programme de suivi de la gestion piscicole des lacs de montagne (Huchet, 2009).....	2
Figure II.2 : Localisation des 5 lacs étudiés	3
Figure II.3: Profil en long des vecteurs fluviatiles de Tavaneuse et de Vernant.....	5
Figure II.4 : Bassins-versants topographiques et topographie générale des lacs de Lessy et Vernant.	6
Figure II.5 : Bassins-versant topographiques et topographie générale des lacs d'Arvouin et de Tavaneuse.....	7
Figure II.6 : Bassin-versant topographique et topographie générale du lac de Gers.....	8
Figure II.7 : Géologie des bassins-versants des 5 lacs étudiés.....	10
Figure II.8 : Illustration de l'approche par « échelles emboîtées » par l'exemple du lac de Vernant (stations fictives).....	11
Figure II.9 : Étape de la typologie fonctionnelle des lacs d'altitude, d'après Degiorgi et al, 2008.....	13
Figure II.10 : Régression linéaire entre le type ichtyologique observé et le type théorique calculé à partir des conditions physicochimiques et des peuplements piscicoles de 9 lacs, défini par Degiorgi (2008).....	18
Figure III.1: Bathymétrie et cartographie des pôles d'attraction piscicoles en zone littorale des lacs d'Arvouin, de Lessy et de Gers.....	25
Figure III.2: Bathymétrie et cartographie des pôles d'attraction piscicoles en zone littorale des lacs de Tavaneuse et de Vernant.....	26
Figure III.3: Evolution spatiale des paramètres calcium et magnésium dans le lac de Lessy.....	27
Figure III.4: Evolution spatiale des paramètres calcium et magnésium dans le lac de Gers.....	27
Figure III.5: Evolution spatiale des paramètres calcium et magnésium dans le lac d'Arvouin.....	27
Figure III.6: Evolution spatiale des paramètres calcium et magnésium dans le lac de Vernant.....	27
Figure III.7: Evolution spatiale des paramètres calcium et magnésium dans le lac de Tavaneuse....	27
Figure III.8: Présentation des paramètres physiques relevés sur les 5 lacs étudiés.....	28
Figure III.9: Présentation des paramètres chimiques des 5 lacs étudiés.....	29
Figure III.10: Paramètres mésologiques des vecteurs fluviatiles du lac d'Arvouin le 02/08/2011...	33
Figure III.11: Paramètres mésologiques des tributaires du lac de Lessy	34
Figure III.12: Paramètres mésologiques des vecteurs fluviatiles du lac de Tavaneuse le 15/06/11...	36
Figure III.13: Paramètres mésologiques des vecteurs fluviatiles du lac de Vernant	38
Figure III.14: Variété générique sur les 5 lacs étudiés.....	41
Figure III.15: Densité (ind/m ²) sur les 5 lacs étudiés.....	41
Figure III.16: Proportions des oligochètes, diptères et autres taxons dans la zone littorale des 5 lacs étudiés.....	42
Figure III.17: Caractéristiques des stations des vecteurs fluviatiles des 5 lacs étudiés.....	44
Figure III.18: Distribution des classes de taille des truites fario issues des pêches électrique dans le torrent de tavaneuse.....	48
Figure III.19: Axes 1 et 2 de l'ACP issue de 10 paramètres mésologiques de 17 lacs alpins. Lac BV: surface du lac/ surface du bassin-versant; O2 ZP: moyenne de la concentration en oxygène dans l'hypolimnion; Zlittoral: surface de la zone littorale; O2: concentration moyenne en oxygène; Tth: type théorique piscicole; Zmax: profondeur maximale. Sources: Estable, 2009; Hibon, 2010, Martin, 2011.....	49
Figure III.20: Axes 1 et 2 de l'ACP issue de 14 paramètres physico-chimiques de 10 lacs de montagne en Haute-Savoie. Lac BV: surface du lac/ surface du bassin-versant; O2 ZP: moyenne de la concentration en oxygène dans l'hypolimnion; Zlittoral: surface de la zone littorale; O2: concentration moyenne en oxygène; Tth: type théorique piscicole; Zmax: profondeur maximale. Sources: Hibon, 2010, Martin, 2011.....	50

Liste des tableaux

Tableau II.1: Principaux descripteurs géographiques et morphologiques des 5 lacs étudiés.....	4
Tableau II.2: Quelques exigences écologiques de l'ichtyofaune retrouvée dans les lacs étudiés (Machino, 1991; Cavalli, 1997; Caudron, 2006 et 2008).....	17
Tableau II.3: Typologie préliminaire des peuplements piscicoles des lacs d'altitude, adapté de Degiorgi et al, 2010.....	18
Tableau II.4: Principaux paramètres physico-chimiques des 5 lacs étudiés [Bouclier et al, 1992; Sesiano, 1993].	19
Tableau III.1: Principales caractéristiques des bassins-versants et répartition des différentes unités paysagères.....	22
Tableau III.2: Principales caractéristiques des annexes hydrauliques dans les bassins- versants étudiés.....	23
Tableau III.3: Caractéristiques morphologiques et habitationnelles des 5 lacs étudiés. (1) Delebecque; (2) Pourriot & Meybeck.....	25
Tableau III.4: Descripteurs thermiques en continue des 5 lacs étudiés à 1m de profondeur.....	30
Tableau III.5: Paramètres physico-chimiques des vecteurs du lac d'Arvouin.	31
Tableau III.6: Paramètres physico-chimiques des tributaires du lac de Lessy.	35
Tableau III.7: Paramètres chimiques des vecteurs fluviaux du lac de Tavaneuse.	38
Tableau III.8: Paramètres chimiques des vecteurs fluviaux du lac de Vernant.	39
Tableau III.9: Taux de dysfonctionnement évalué sur les 5 lacs étudiés en période estivale.....	39
Tableau III.10: Prédiction du type piscicole théorique à partir des paramètres mésologiques relevés en période estivale sur les 5 lacs étudiés.....	40

Liste des Annexes

Annexe 1: Interprétation des groupes de lacs basée sur la moyenne et l'écart-type (en gras) des descripteurs invariants. G1: lac Bénit, lac de Pormenaz, lac de Flaine; G2: lac d'Arvouin, lac des Confins, lac Damoz des Moulins, lac de Darbon, lac de Gers, lac de Lessy, lac d'Oche, lac de Petetoz, lac de Roi; G3: Laouchet, lac de Tavaneuse, lac de Vernant, lac Vert; G4: lac de l'Aiguillette, lac Blanc, lac Bleu, lac de Cheserys, lac du Creux aux Marmottes, lac Jovet, lac du Plan du Buet, lac de Remuaz; G5: lac du Brévent, lac du Cornu, lacs Noirs; G6: lac d'Anterne. D'après Chacornac, 1986.....	61
Annexe 2: Formation du lac d'Arvouin par le retrait du glacier d'Arvouin.....	62
Annexe 3: Panorama et géologie du lac d'Arvouin, d'après [SIAC (2010)].....	63
Annexe 4: Ensemble des investigations menées sur les 5 lacs étudiés.....	64
Annexe 5: Schéma de description de l'espace lacustre, d'après Degiorgi & Grandmottet, 1993. 1 Laff: afférence; 2 Leff: efférence; 3 Lblo: blocs ou branchages ménageant des anfractuosités (> 10cm); 4 Lhyf: hydrophytes flottantes; 5 Lhyi: hydrophytes immergées; 6 Lhyf: association hydrophytes flottantes et hélophytes; 7 Lhle: Hélophytes éparses (espace intertige > 10cm); 8 Lgal: galets-graviers non colmatés (anfractuosités < 10cm); 9 Lhld: hélophytes denses (espace intertige < 10cm); 10 Lfno: fond nu organique (vase, tourbe, ...); 11 Lfmn: fond nu minéral (sables, craies, dalles).	65
Annexe 6: Calcul du degré de fonctionnalité piscicole des lacs. Degiorgi et al, 2010.....	66
Annexe 7: Traits biologiques, physiologiques et écologiques, d'après Tachet et al, 2010.....	66
Annexe 8: Bilan sur les alevinages pratiqués entre 2000 et 2010 sur le lac d'Arvouin.....	67
Annexe 9: Bilan sur les alevinages pratiqués entre 2000 et 2010 sur le lac de Tavaneuse.....	67
Annexe 10: Bilan sur les alevinages pratiqués entre 1990 et 2009 sur le lac de Gers.....	68
Annexe 11: Bilan sur les alevinages pratiqués entre 1990 et 2009 sur le lac de Vernant.....	68
Annexe 12: Evolution temporelle de la température des eaux à 1m de profondeur du lac d'Arvouin durant la période du 02/06/11 au 06/09/11.....	69
Annexe 13: Evolution temporelle de la température des eaux à 1m de profondeur du lac de Gers durant la période du 25/06/11 au 05/09/11.....	69
Annexe 14: Evolution temporelle de la température des eaux à 1m de profondeur du lac de Lessy durant la période du 10/06/11 au 08/09/11.....	70
Annexe 15: Evolution temporelle de la température des eaux à 1m de profondeur du lac de Tavaneuse durant la période du 16/06/11 au 06/09/11.....	70
Annexe 16: Evolution temporelle de la température des eaux à 1m de profondeur du lac de Vernant durant la période du 25/05/11 au 01/09/11.....	71
Annexe 17: Répertoire faunistique établis par les prélèvements en zone littorale selon le protocole IBL sur les 5 lacs étudiés.....	72
Annexe 18: Résumé des prélèvements de macroinvertébrés dans les vecteurs fluviatiles des 5 lacs étudiés.....	73
Annexe 19: Comparaison entre la FMR et la distribution des fréquences relatives de la population de Truite de l'exutoire de Tavaneuse.....	74
Annexe 20: Liste faunistique des prélèvements en zone littorale du lac d'Arvouin.....	75
Annexe 21: Liste faunistique des prélèvements en zone littorale du lac de Gers.....	76
Annexe 22: Liste faunistique des prélèvements en zone littorale du lac de Lessy.....	76
Annexe 23: Liste faunistiques des prélèvements en zone littorale du lac de Tavaneuse.....	77
Annexe 24: Liste faunistique des prélèvements en zone littorale du lac de Vernant.....	78
Annexe 25: Liste faunistique des prélèvements dans l'exutoire du lac d'Arvouin.....	79
Annexe 26: Liste faunistique des prélèvements dans l'afférence du lac de Lessy.....	80
Annexe 27: Liste faunistique des prélèvements dans l'afférence de Tavaneuse.....	81
Annexe 28: Liste faunistiques des prélèvements dans l'exutoire du lac de Tavaneuse.....	82

Annexe 29: Liste faunistique des prélèvements dans l'afférence du lac de Vernant.....	83
Annexe 30: Liste faunistique des prélèvements dans l'exutoire du lac de Vernant.....	84

I. Introduction:

Les réseaux hydrographiques des régions de montagne comprennent une catégorie particulière de milieux d'eau stagnante: les lacs de montagne [RIVIER, 1996]. Ils sont caractérisés par une période de gel prolongé plusieurs mois dans l'année [MARTINOT & RIVET, 1985] et se localisent à des altitudes dont la limite inférieure se situe approximativement à 1 500m [MARTINOT, 1989; Rivier, 1996 ; ARGILLIER, PRONIER & IRZ, 2002]. Un lac d'altitude est d'après certains auteurs une étendue d'eau permanente, d'une superficie supérieure à 0,5ha, d'une profondeur supérieure à 3m, et ne pouvant pas être entièrement colonisée par la végétation aquatique [CEMAGREF, 1985]; Martinot, 1989 ; CAVALLI, 1997].

Les lacs de montagne présentent des caractéristiques particulières communes: une similarité des systèmes [WARD, 2002; PSENNER, 2003]; des conditions de vie extrêmes [Rivier, 1996 ; Winiarski, 2000 ; Psenner, 2003]; une structure simple [CAPBLANCQ & LAVILLE, 1983; Rivier, 1996; WINIARSKI, 2000; Psenner, 2003; FÜREDER *ET AL.*, 2006]; et une situation isolée [LÉGER, 1937; CHIMITS, 1955; Capblancq & Laville, 1983; Rivier, 1996; Psenner, 2003]. La conséquence de ces caractéristiques est la vulnérabilité de ces systèmes [MCGREGOR, PETTS, GURNELL & MILNER, 1995; Rivier, 1996; HIEBER, ROBINSON & UEHLINGER, 2002; Psenner, 2003; HODKINSON & JACKSON, 2005]. Les lacs de montagne sont en effet des écosystèmes en équilibre précaire qui est fonction de leur type naturel ainsi que des relations interspécifiques et intraspécifiques de leur biocénose [RICKLEFS & MILLER, 2005]. C'est cet équilibre qu'il convient de protéger au mieux, tout en l'adaptant aux besoins de l'homme [Rivier, 1996]. Mais les écosystèmes de montagne restent encore aujourd'hui peu étudiés [WARD, 1994; Hieber et al, 2003] et toute gestion rationnelle de ces milieux, notamment du point de vue de l'ichtyofaune, nécessite la connaissance de leur fonctionnement, de la structure des communautés et de leur dynamique [DEGIORGI, GUILLARD, GRANDMOTTET & GERDEAUX, 1993].

La majorité des lacs de montagne est naturellement apiscicole en grande partie à cause de leur origine glaciaire et de leur isolement en tête de bassin [KNAPP & MATTHEWS, 2000], mais ces plans d'eau ont subi des introductions massives de poissons depuis plus d'un siècle [Machino, 1991; DELACOSTE *ET AL.*, 1997; DEGIORGI, 2008; HUCHET, 2009] permettant la valorisation de ces masses d'eaux (alimentation, pêche sportive, etc [Knapp et al, 2001]) avec plus ou moins de succès. En effet, les introductions de poissons sont considérées comme une des menaces anthropogènes les plus répandues pour les écosystèmes aquatiques notamment en montagne [Chacornac, 1986; Cavalli, 1997; Delacoste et al, 1997; Schindler et al, 2001; Psenner, 2003]: conséquences génétiques pour les populations autochtones (si présentes) [Delacoste et al, 1997; Knapp et al, 2001]; effet des compétitions interspécifiques (sympatrie, ségrégation interactive, etc ...) [CHACORNAC, 1986; Rivier, 1996; Cavalli, 1997; Delacoste et al, 1997]; réduction des abondances du zoo- et macro-benthos, notamment sur les individus de grandes tailles [Knapp et al, 2001], impacts sur les populations d'amphibiens [KNAPP & MATTHEWS, 2000; Knapp et al, 2001; SCHINDLER, KNAPP & LEAVITT, 2001], influence sur la dynamique des nutriments de façon directe et/ou indirecte [Schindler et al, 2001; GRIFFITHS, 2006], conséquences sur la production primaire [Schindler et al, 2001], etc

Dès lors, le suivi de l'état écologique des lacs d'altitude offre la possibilité de mettre en évidence d'une part, des perturbations à une échelle globale au vu de leur statut de système soi-disant les mieux préservés des perturbations anthropiques locales [FUREDER *ET AL.*, 2002], et d'autre part, d'établir une base rationnelle orientée sur un système de gestion piscicole cohérent, mettant en valeur ces milieux. De ce fait, une diagnose simplifiée des lacs d'altitude [Degiorgi, 2008; DEGIORGI, DÉCOURCIÈRE, BOURLET & RAYMOND, 2010] a débutée en 2010 [HIBON, 2010] et est complétée en 2011 par cette présente étude, à raison de 5 lacs par an, qui vise à obtenir des connaissances sur le fonctionnement trophique de ces systèmes. La présente étude concerne les lacs de trois massifs différents en Haute-Savoie: Arvouin et Tavaneuse (Chablais); Gers et Vernant (Faucigny) et Lessy (Aravis).

II. Matériels & Méthodes:

A. Contexte général de l'étude:

i. **Objectifs de la fédération:**

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 piscicoles (> 1500m) du département (Fig. II.1), 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 et un bilan à terme sera ensuite dressé et aura pour objectif l'optimisation de la gestion de ces milieux. Au final, le suivi scientifique réalisé en 2010 et 2011 permettra de proposer aux associations de pêche des plans de gestion halieutiques basés sur des connaissances rationnelles ainsi que de mettre en évidence l'impact de l'alevinage sur ces écosystèmes lacustres.



Figure II.1 : Échéancier du programme de suivi de la gestion piscicole des lacs de montagne (Huchet, 2009).

ii. **Situation géographique:**

La présente étude s'intéresse à 5 lacs d'altitude localisés dans le tiers nord-est du département de Haute-Savoie (74) dans le massif des Alpes du Nord françaises: les lacs d'Arvouin, de Gers, de Lessy, de Tavaneuse et de Vernant (Fig. II.2). Avec une altitude comprise entre 1533m et 1831 m, ces lacs sont situés entre l'étage subalpin et l'étage alpin inférieur, à la limite supérieure des arbres, où la présence de végétation s'observe essentiellement sous formes de prairies et de landes alpines avec quelques strates arbustives et alpages (pelouses alpines et landines).

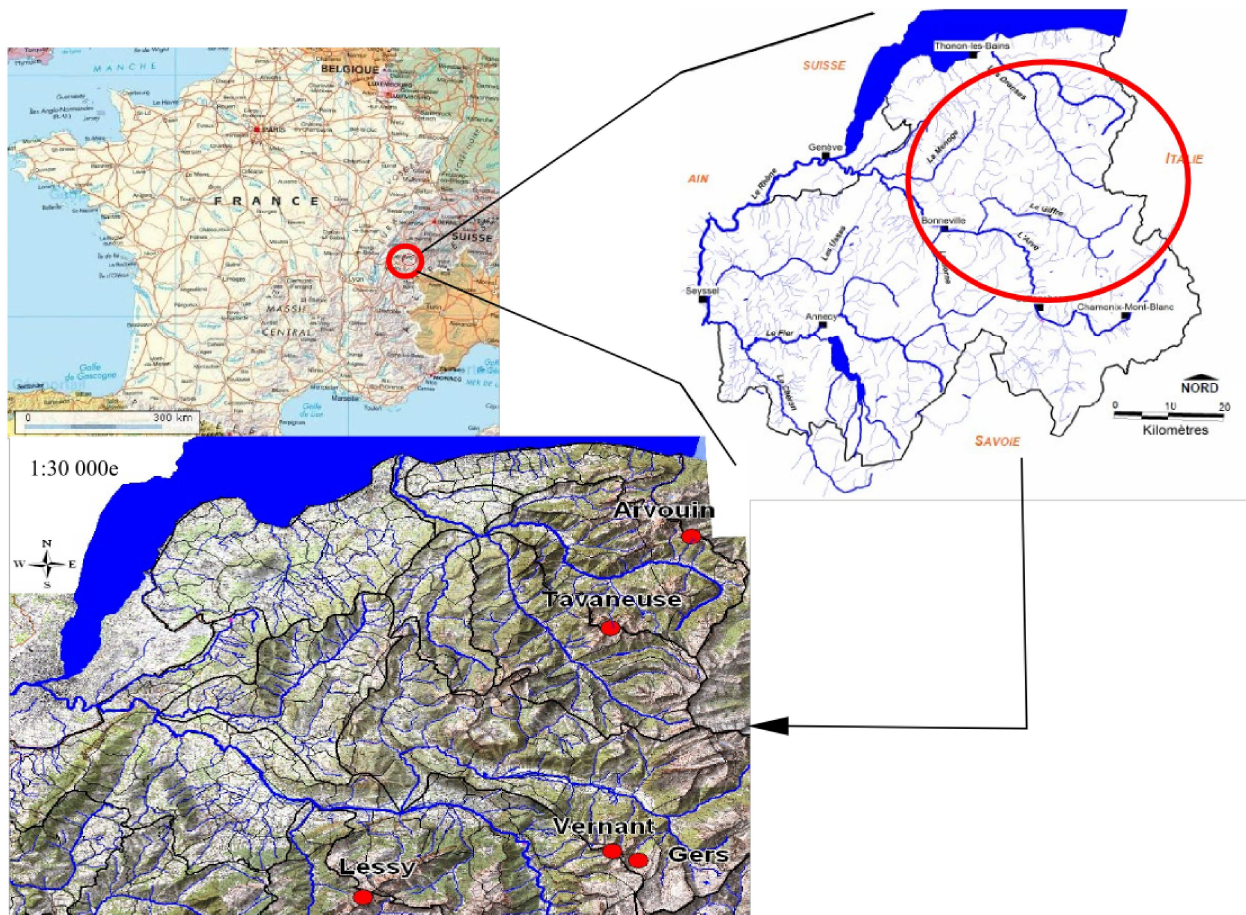


Figure II.2 : Localisation des 5 lacs étudiés

iii. Caractéristiques morphologiques des bassins-versants des 5 lacs étudiés:

Les 5 lacs ont tous une origine glaciaire [SESIANO, 1993] (Fig. II.2 et Tab. II.1).

Le lac de **Lessy** se trouve dans le bassin-versant du Borne dans le massif des Aravis, à l'extrémité Sud-Ouest de la chaîne du Bargy. Ce massif est essentiellement calcaire et présente une altitude maximale de 2438m (Pointe Blanche). Le bassin du système en lui même est fermé [Sesiano & Muller, 1983; Sesiano, 1993] et les limites hydrographiques ne sont pas connues en raison du contexte calcaire provoquant l'infiltration rapide des eaux dans les sous-sols [SESIANO & MULLER, 1983]. La présence des chalets témoigne de la fréquentation des alpages alentours où l'on fabrique le reblochon des Aravis [Gonthier & Lamory, 1995].

Les lacs de **Gers** et **Vernant** se localisent dans le massif du Haut-Faucigny qui correspond aux Hautes-Alpes calcaires. Ce massif est géographiquement très bien délimité avec à l'Ouest et au Sud le profond sillon de la vallée de l'Arve qui le sépare du massif des Aravis et de celui du Mont-Blanc. Le massif cristallin des Aiguilles Rouges de Chamonix forme une limite naturelle au Sud-Est tandis qu'au Nord le massif du Haut-Faucigny s'achève au front des Préalpes. Il culmine à 2804m (Tête à l'Âne). Le lac de Gers s'observe dans la partie Est du Désert de Platé, dans le bassin-versant du Giffre (rive gauche). Le bassin est peu fréquenté mais un troupeau de bovins s'observe en été sur le secteur sud du lac. Quant à Vernant, le plan d'eau se situe sur le versant occidental du massif de Platé, dans le bassin-versant de l'Arve (rive droite). La fréquentation du site et des alentours est importante (ski, randonnée, pêche, etc.), facilitée par la présence de multiples remontées mécaniques [Gonthier & Lamory, 1995].

Enfin, le massif du Chablais, plus au Nord, renferme les deux derniers plans d'eau étudiés, à savoir **Arvouin** et **Tavaneuse**. Il est typiquement un massif calcaire des Préalpes françaises

constitué par un énorme paquet rocheux, d'origine plus orientale que le massif du Mont-Blanc, et qui a été transporté par charriage. Tel un corps étranger, il est maintenant posé sur les prolongements vers l'ouest des couches du massif du Haut Giffre et représente donc une gigantesque "klippe" dont le point culminant se situe à 2466m (Hauts-Forts). Les deux lacs font partie du réseau hydrographie de la Dranse d'Abondance, Arvouin sur la rive est et Tavaneuse sur la rive Ouest. La fréquentation du bassin d'Arvouin est importante avec la présence de chalets. En été, des bovins s'installent sur le site pour la production du fromage locale, l'Abondance. On les retrouve notamment dans la partie nord du lac, près des afférences. Le lac de Tavaneuse est beaucoup moins fréquenté. Une trentaine d'ovins y prennent cependant leur quartier d'été.

Tableau II.1: Principaux descripteurs géographiques et morphologiques des 5 lacs étudiés

Paramètres	Détail	Unité	Gers	Vernant	Lessy	Arvouin	Tavaneuse
Situation plan d'eau	Massif		Faucigny	Faucigny	Borne-Aravis	Chablais	Chablais
	Commune		Samoens	Araches - Les Carroz	Le Petit-Bornand les Gilières	La Chapelle d'Abondance	Abondance
	X émissaire		939 961,50	937 573,00	917 661,30	944 443,00	937 940,00
	Y émissaire		2 123 759,50	2 123 052,00	2 118 054,00	2 155 663,00	2 146 759,00
Caractéristiques bassin-versant	superficie	Ha	539,2	111,4	114,9	72,7	56,01
	altitude maximale	m	2385	2208	2408	2093	2095
	point culminant		Les Verdets	Les Grands Vans	Pic de Jalouvre	Le Linleu	Le Piron
	orientation bassin		S.S.O - N.N.E	E-O	N.N.E-S.S.O	N.O-S.E	S-N
	géologie globale		grès/calcaire	grès/calcaire	calcaire	calcaire et marne	calcaire
occupation sol usages		forêts, pelouses, landes, pierriers, falaises, pastoral et ski	pelouses alpines, landes, pierriers pastoral et ski	pelouses, landes, pierriers, falaises pastoral	pelouses, landes, pierriers pastoral	pelouses, landes, pierriers pastoral	
Caractéristiques globales plan d'eau	altitude	m	1533	1831	1733	1669	1806
	profondeur maximale	m	5,6	9,3	5	8,8	5,9
	superficie totale	Ha	7,3	3	7,5	2,29	2,5
	périmètre	m	980	615	1194	813	630
	marnage	m	2	variable	3	0,1	0,2
	afférence		diffuse	4 (1 pérenne)	1	2 (1 pérenne)	1 et plaine alluviale Ruisseau de Tavaneuse puis L'Edian
	efférence		Torrent de Gers et pertes mésotrophe	Torrent de l'épine	Pertes sous-lacustres Evolution vers eutrophisation	Survese puis pertes	
	trophie			-			
Temps renouvellement eau	Jours	7	150	600	-	-	
vitesse sédimentation		-	-	très faible			
Gestion piscicole	Espèces alevinées		TRF, TAC jusqu'en 2007	TRF, TAC, OBL, ALY jusqu'en 2007, puis SDF	OBL jusqu'en 1906, SDF depuis 2007	TRF, AEC	TRF, OBL, VAI
			Pollutions liée à la fréquentation par les bovins, Marnage naturel	Tour déversoir	Marnage naturel	Digue sur la barre rocheuse	Cascade peu après exutoire, comblement
Observations							

Sources: CSP, 1992; Dussart, 1952; Machino, 1991; Huchet, 2009; Sesiano & Muller, 1983; Sesiano, 1990, 1993

Bien qu'ayant une origine naturelle, les 5 lacs étudiés ont connu quelques modifications ces dernières années.

Le lac d'Arvouin (1669m) (Fig. II.5) a été rehaussé (en 1970 et 1982) par une digue à l'exutoire qui a eu le double effet de supprimer la cascade et d'augmenter considérablement la surface du plan d'eau (qui a presque doublée) [GONTHIER & LAMORY, 1995] portant sa surface actuelle à 2,29ha et sa profondeur maximale à 8,8m (Tab. II.1). La hausse des eaux a du même coup recouvert une partie des zones marécageuses et à tourbières (d'une surface: 17,5 Ha) qui entouraient le lac originel [Sesiano, 1993]. Le plan d'eau est alimenté par 3 tributaires (débit: environ 0,5l/s et pente d'environ 27%) et comporte un émissaire (débit: environ 3l/s, pente environ de 15%) qui se perd rapidement dans le sous-sol [Sesiano, 1993]. Le ruisseau d'Arvouin (ou des Thoules) n'est actuellement alimenté par les eaux du lacs, que lorsque les eaux sont hautes et que les fissures sont engorgées, laissant passer le surplus.

Avec une superficie de 7,3Ha et une profondeur maximum de 5,6m (Tab.II.1), le lac de Gers (Fig. II.6) s'étend dans une profonde combe suspendue au-dessus de la vallée du Giffre et est

alimenté par un petit torrent à débit très variable qui n'occupe son lit qu'à la fonte des neiges ou après d'abondantes précipitations (le reste du temps, il sillonne au travers d'alluvions dans un vaste delta) [Sesiano, 1993]. L'émissaire du lac n'est pas permanent non plus et coule seulement en période de hautes eaux. Lors d'étiage, l'eau est évacuée par des pertes souterraines [Sesiano, 1993] ce qui provoque de large variation du niveau d'eau. La combe de Gers est soumise aux vents, ce qui a une conséquence sur le brassage des eaux du lac [Bouclier et al, 1992].

Le lac de Lessy, d'une superficie de 7,5Ha et dont l'altitude est de 1733m et la profondeur maximale de 5m (Tab.II.1), se situe dans un bassin fermé, sans émissaire aérien mais avec de nombreuses pertes sous-lacustres (dont deux principales) [Sesiano & Muller, 1983; Sesiano, 1993]. L'alimentation du lac se fait par une source permanente au Nord-Est du lac (pente moyenne de 8,5%), un petit affluent temporaire au Sud-Est ainsi qu'en quelques points diffus (pour un débit total moyen d'environ 8l/s [Sesiano, 1993]; descendant à 2/3 l/s en étiage hivernal [Sesiano & Muller, 1983]). La cuvette a un fond très régulier et demeure peu profonde sauf dans l'angle Sud-Est du lac où une dépression circulaire permet une hauteur d'eau de 5m, au pied de l'éboulis issu du Buclon [Sesiano, 1993]. Le lac a dû atteindre autrefois un niveau d'eau plus élevé qu'actuellement comme en témoigne l'abaissement de la ligne de crête entourant le lac. Les eaux dévalaient alors un vallon bien marqué pour rejoindre le Jalandre, torrent issu du col de Cerise [Sesiano, 1993; Gonthier & Lamory, 1995].

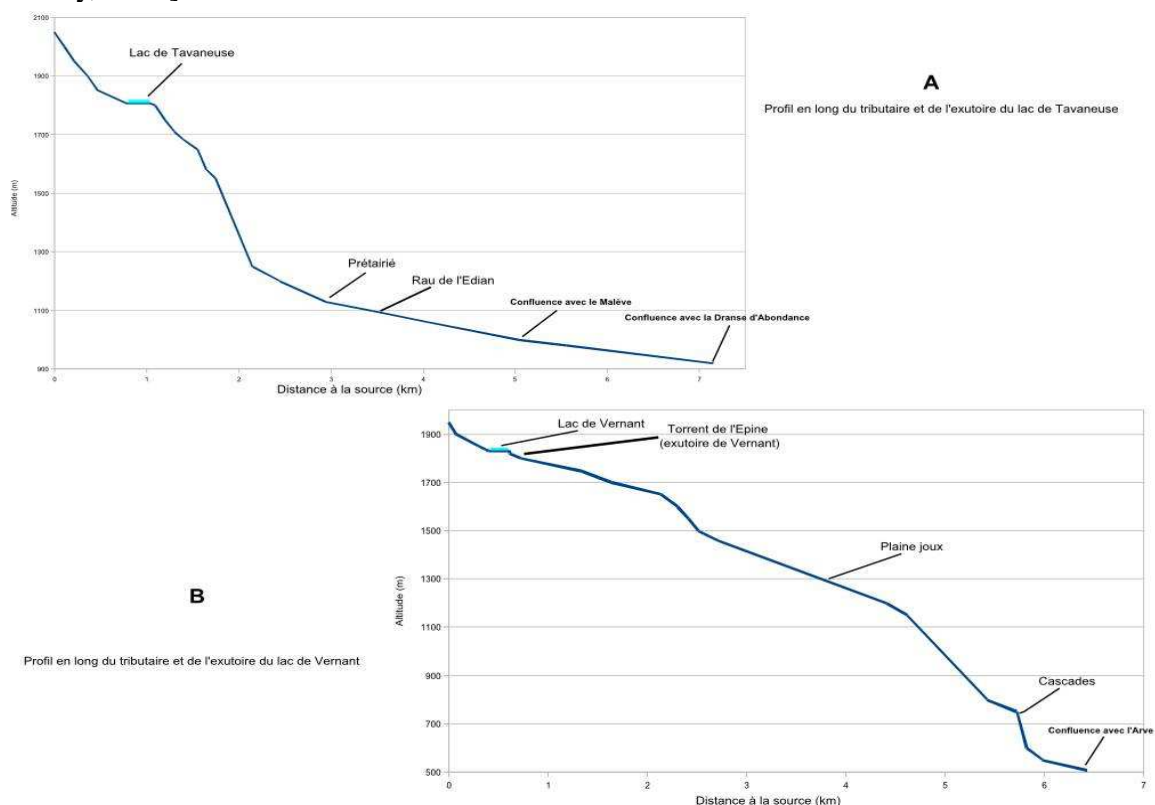
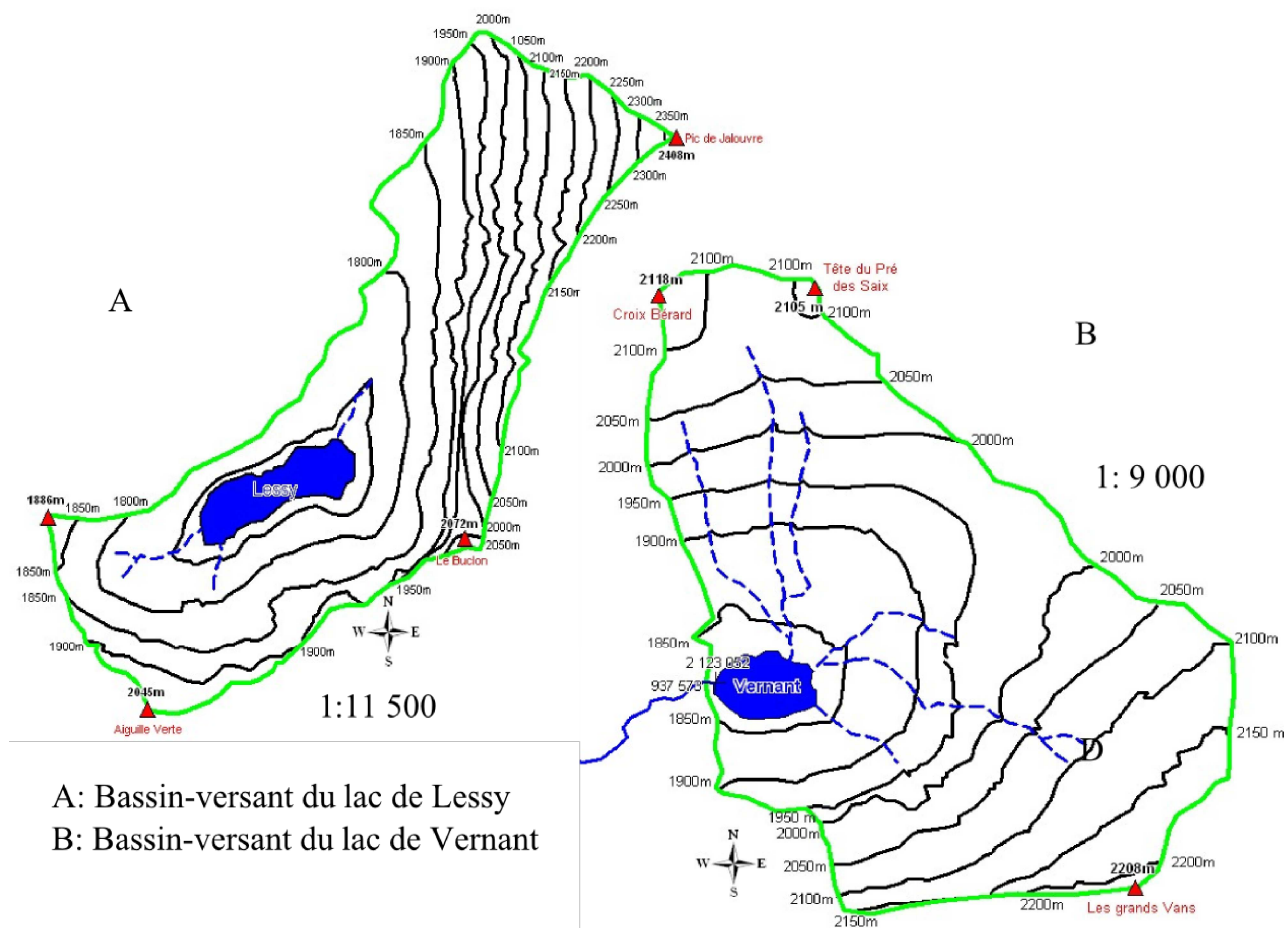


Figure II.3: Profil en long des vecteurs fluviaux de Tavaneuse et de Vernant

Perché à une altitude de 1806m pour une profondeur maximum de 5,9m et une surface de 2,5Ha (Tab.II.1), le lac de Tavaneuse (Fig. II.5) est en voie de comblement par le delta de son affluent principal et les éboulis issus des parois dominant le système de près de 200m de la pointe d'Entre Deux Pertuis [Dussart, 1952, [SERRA-BETRAL, 1976]. La face Sud-Ouest est constituée d'une plaine alluviale humide permanente dominée par le roc de Tavaneuse. La cuvette lacustre est, quant à elle, dominée par un grand fond plat régulier dont la profondeur est de 4 à 5m et une île d'environ 0,14Ha occupe la partie Sud-Est du plan d'eau (Fig. II.5) [Sesiano, 1993]. Le tributaire principal, dont la pente moyenne est d'environ 31%, alimente en eau le lac après un parcours de 780m.

Dussart (1952) le qualifie de temporaire tandis que Serra-Betral (1976) non. L'émissaire du lac coule durant quelques dizaines de mètres (pente moyenne de 5%) puis se jette à travers une cascade pour former le ruisseau de Tavaneuse et rejoindre l'Edian en contrebas [DUSSART, 1952] sur une pente très importante (environ 50%, présence de cascades). Autrefois, le lac était utilisé comme réserve hydraulique de faible importance; un petit barrage de pierres y a été édifié, rehaussant le niveau d'eau de 50 à 60cm [Dussart, 1952]. L'ouvrage n'est aujourd'hui plus entretenu.



A: Bassin-versant du lac de Lessy
B: Bassin-versant du lac de Vernant

Figure II.4 : Bassins-versants topographiques et topographie générale des lacs de Lessy et Vernant

Le lac de Vernant se trouve à une altitude de 1838m au fond d'une combe excavée. Le plan d'eau originel avait une surface d'environ 0,5ha (contre 3ha aujourd'hui) et une profondeur maximum de 2,5m (contre 9,3m désormais) avant la construction d'une digue (1972 et 1980) pour l'alimentation en eau potable de la station de ski de Flaine [Sesiano, 1993]. Il était alors qualifié de « marais très profond » et la cuvette était en voie de comblement et de colonisation par la végétation [Sesiano, 1993]. Une tour-déversoir fut implantée dans le lit de l'ancien émissaire et alimente eau, par sur-verse, l'actuelle exutoire. Le lac a aujourd'hui, d'après Sesiano, sans doute l'aspect qu'il devait avoir juste après la disparition du glacier qui l'a fait naître. Pour ce même auteur les variations de niveau d'eau sont négligeables (0,1m).

À partir de descripteurs invariants, c'est-à-dire échappant à la variabilité temporelle d'un cycle annuel, Chacornac (1986), à l'aide d'une analyse typologique, a mis en évidence 6 groupes de lacs parmi les plans d'eau de Haute-Savoie (Annexe 1). Ces descripteurs correspondent aux caractères géographiques et morphométriques concernant les lacs et leurs bassins-versants: altitude moyenne et surface du bassin-versant, altitude et surface du lac, profondeur maximum et durée du gel. Les lacs d'Arvouin, de Gers et de Lessy se situent dans le groupe 2 tandis que les lacs de Tavaneuse et de Vernant sont dans le groupe 3 (Annexe 1). Les 5 lacs étudiés se répartissent donc en 2 groupes pour lesquels les plans d'eau devraient être comparables entre eux.

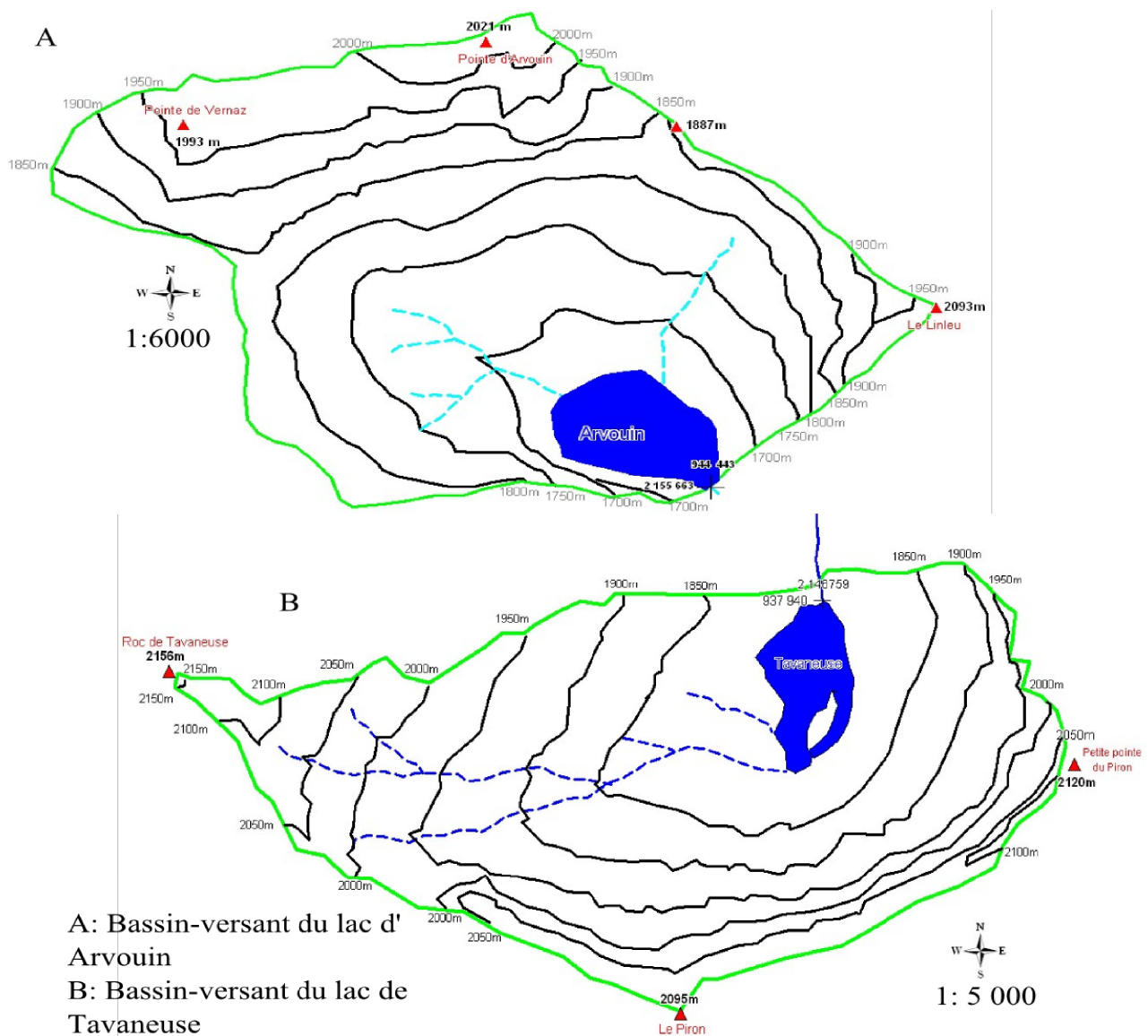


Figure II.5 : Bassins-versant topographiques et topographie générale des lacs d'Arvouin et de Tavaneuse

iv. Contexte géologique des bassins-versants des 5 lacs étudiés:

Formé par l'érosion du glacier d'Arvouin (Annexe 2 et 3), le lac d'Arvouin est un plan d'eau d'ombilic localisé à la limite entre deux nappes de charriages [Serra-Betral, 1976; Sesiano, 1993] dont les matériaux possèdent respectivement des duretés différentes. Les calcaires et marnes composent la nappe de base tandis que la nappe supérieure est formée par les flyschs (Fig. II.7), c'est-à-dire une alternance de niveaux calcaires et argileux. Un synclinal a déformé alors ces deux nappes (Annexe 3). Les niveaux les plus tendres ont donc été érodés par le glacier d'Arvouin créant ainsi une dépression en arrière des calcaires les plus résistants. La partie aval de la cuvette ainsi que son verrou sont formés par des couches rouges du Crétacé supérieur et les parois et sommets entourant la dépression sont composés de calcaires massifs (Malm, Jurassique supérieur). Le lac s'est alors formé lors du retrait du glacier, au fond de la dépression plus ou moins imperméable et en amont du verrou localisé sur une barre de calcaire fracturé. L'émissaire du lac disparaît quelques mètres à la sortie du système lacustre et les eaux se perdent dans les sous-sols. Leur ressortie demeure encore un mystère [Sesiano, 1993].

Taveyanne, insolubles, limite les infiltrations profondes sans les empêcher totalement car ils peuvent être affectés par des cassures, notamment sur le rebord Est. Ainsi, une partie des eaux de la combe de Gers, qui s'écoulent normalement vers le Giffre, ressurgit en fait à Magland, de l'autre côté du massif, à l'Ouest, et alimente directement l'Arve. A cause de ces pertes, le lac tend à se vider une grande partie de l'année et des travaux pour obturer les pertes ont été tentés sans grand succès [Sesiano, 1993; Gonthier & Lamory, 1995]. Ce double mode de vidange est responsable de ses larges variations de niveau (marnage de près de 2m) [Sesiano, 1993].

La cuvette dans laquelle est confiné le lac de Lessy est creusée dans les marnocalcaires tendres du Néocomien [CHAROLLAIS, 1988]. La carapace de calcaire urgonien, aussi bien érodée par l'action mécanique que chimique, apparaît de chaque côté du vallon, tout au moins en amont et en aval du lac [Sesiano & Muller, 1983]. La géologie des lieux est cependant plus complexe que celles d'un anticlinal légèrement déjeté vers le Nord-Ouest et simplement éventrée [Sesiano, 1993]. En effet, de nombreuses failles d'orientation Nord-Ouest – Sud-Est entre autre, accidentent le massif; elles délimitent des compartiments élevés ou abaissés, bien visibles dans le paysage. On a alors des pentes verdoyantes de l'Hauterivien qui dominent le lac (Aiguille verte) qui sont voisinent avec des secteurs de roches lapiazées de l'Urgonien (Le Buclon) (Fig. II.7). L'origine du lac est multiple: d'abord par un abaissement d'un compartiment de l'anticlinal puis par dissolution karstique sur et aux extrémités du secteur abaissé qui va progresser parallèlement à l'axe du pli, la carapace urgonienne finissant par disparaître complètement. Enfin, l'action glaciaire s'est manifestée par un surcreusement de la cuvette mais autour du lac, les roches étant très tendres et les terrains mobiles, les traces de son passage ont été effacées avec le temps [Sesiano, 1993]. A cause du contexte karstique, les pertes sous-lacustres sont multiples mais se font essentiellement au niveau de deux zones fissurées (s'apparentant à des exutoires lorsque les eaux sont basses) au niveau de la rive nord pour un débit estimé entre 15 l/s [Sesiano & Muller, 1983; Sesiano, 1993] et 21 l/s (1800m³/j). Ce débit est variable selon le niveau du lac (pression hydrostatitique) [Sesiano, 1993] et tendait à augmenter depuis la dernière décennie pour atteindre 40l/s en 2004 [INSTITUT DU TEMPS GÉRÉ, 2005]. Les eaux ressortent à de multiples endroits dont une source importante captée pour l'eau potable de la commune du Petit Bornand les Glières [Sesiano & Muller, 1983, ITG, 2005]. Cependant, les pertes sous-lacustres ne sont pas à même d'évacuer le débit en hautes eaux, si bien que le niveau d'eau du lac est soumis à de fortes fluctuations atteignant jusqu'à 3 m en 1993 [Sesiano, 1993]. Ces pertes provoquaient la vidange du lac (la profondeur du plan d'eau, en période estivale, n'atteignait que 60cm [ITG, 2005]) jusqu'à ce que des travaux soient entrepris en 2007 pour limiter les pertes et permettre au lac de conserver un niveau d'eau « normal ». Mais les nombreuses autres pertes sous-lacustres de plus petites dimensions permettent encore l'infiltration des eaux dans le karst faisant varier, dans une moindre mesure, le niveau d'eau du lac.

Le lac de Tavaneuse est logé dans un cirque très régulier typiquement glaciaire [Serra-Betral, 1976; Sesiano, 1993; TOUCHART, 2000] suspendu au-dessus de la vallée principale. Il est retenu derrière un verrou de Brèche (Fig. II.7) sur lequel se sont déposés des matériaux morainiques. Il y a donc eu un surcreusement formant la cuvette actuelle. L'origine de l'île située sur le plan d'eau est sans doute une moraine de névé dont la formation date du Petit Age glaciaire, à moins qu'elle ne résulte d'un effondrement en masse d'une tranche de la paroi sous-jacente suivi d'un glissement sur un névé ou un glacier moribond [Sesiano, 1993].

Le lac de Vernant se situe, quant à lui, au fond d'une combe excavée dans les grès de Taveyannes (Flysch de la nappe de Morcles, Fig. II.7). Le cirque, dont l'origine est glaciaire, est dans sa partie inférieure recouvert de matériaux morainiques abandonnés par un glacier dont la disparition remonte à 12 000ans [Sesiano, 1993]. Originellement, le lac, moins étendu, était retenu derrière la moraine frontale de ce glacier.

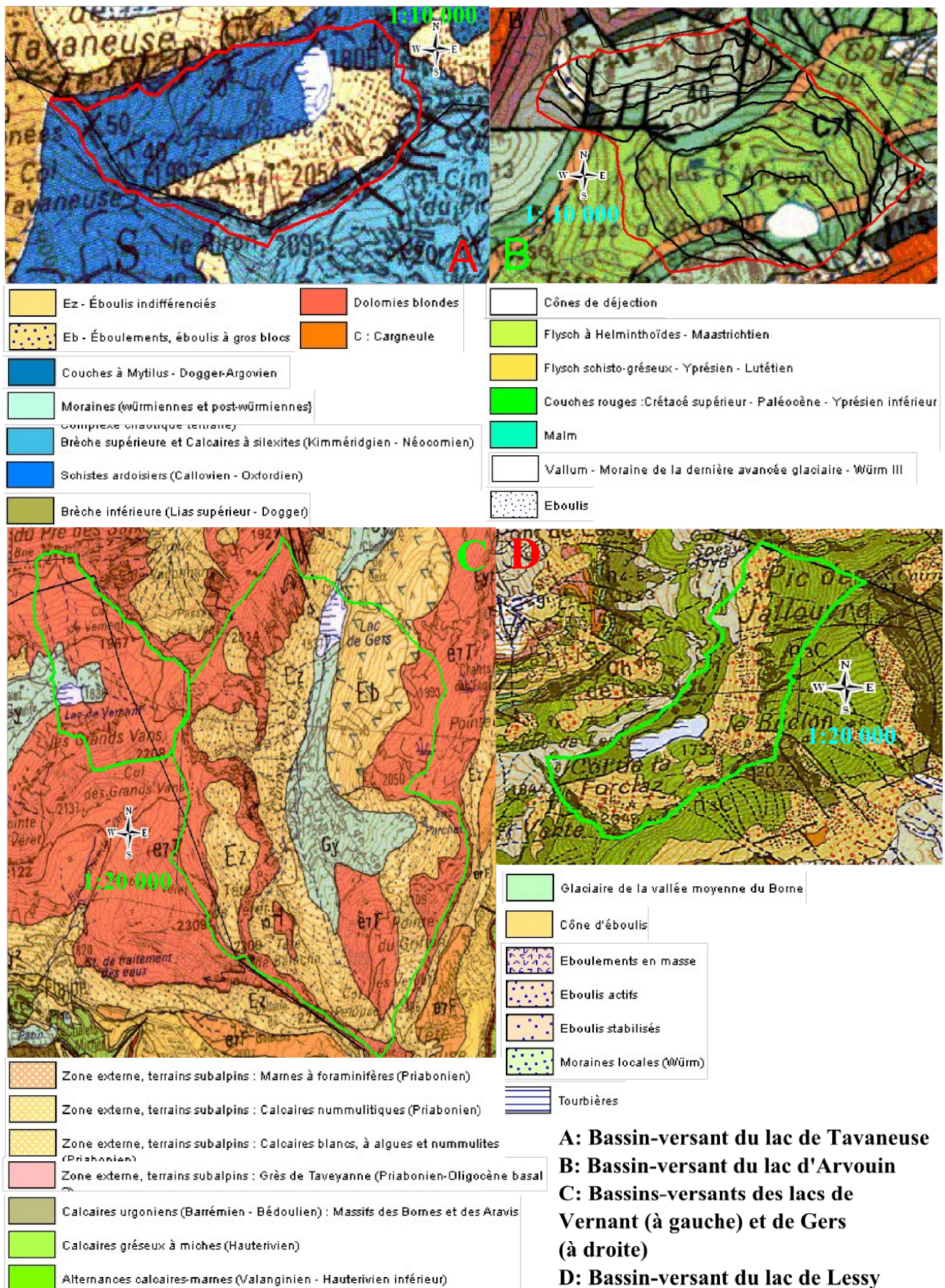


Figure II.7 : Géologie des bassins-versants des 5 lacs étudiés

v. Contexte climatiques des zones d'étude:

Actuellement, le département de Haute-Savoie est soumis au climat montagnard de type alpin mais il se situe aussi au carrefour d'influences climatiques très variées [Debray, 1991]. La pluviométrie relativement importante (plus de 1800mm/an à partir de 1500m d'altitude) relevée dans le département est à rattacher à l'influence océanique tandis que les courants venant de la Méditerranée apportent de violents orages en été. Quant aux influences continentales, elles provoquent une importante amplitude thermique annuelle. De plus, d'étonnants effets climatiques peuvent être observés au niveau départemental imputables aux nombreux reliefs escarpés dans lesquels se dispatchent les différents lacs alpins [Debray, 1991].

Le haut chablais, dans lequel les lacs d'Arvouin et de Tavaneuse se situent, connaît un climat frais et arrosé avec une moyenne annuelle de température d'environ 8°C et plus de 1500mm de précipitations dont une part importante tombe sous forme de neige (limite pluie/neige localisée entre 1200 et 1500m d'altitude) [SYNDICAT INTERCOMMUNAL DU CHABLAIS, 2008]. Ces précipitations se répartissent de manière homogène tout au long de l'année avec tout de même un pic en début d'hiver (Novembre – Décembre).

Dans le Faucigny et le massif des Aravis, les températures moyennes annuelles restent froides (10°C par exemple pour Chamonix (1000m)) avec des valeurs négatives 5 mois dans l'année. Les précipitations, aussi très abondantes dans cette partie du département, se font à 41% sous forme de neige.

B. Méthodologie mise en œuvre:

L'utilisation « d'échelles emboîtées » (Fig. II.8) allant d'une analyse à l'échelle globale (le bassin-versant) jusqu'à une échelle fine (la station) est effectuée pour diagnostiquer chaque entité.

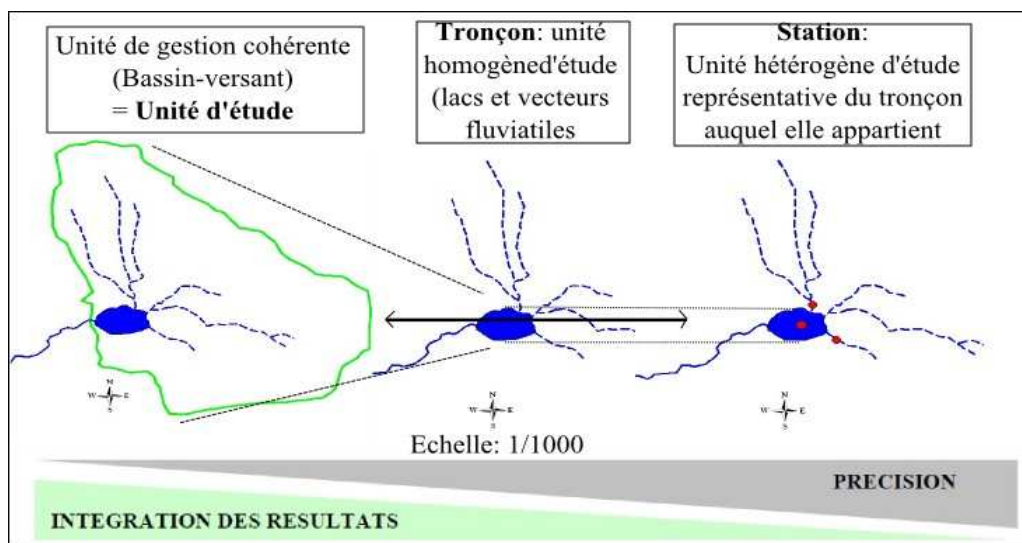


Figure II.8 : Illustration de l'approche par « échelles emboîtées » par l'exemple du lac de Vernant (stations fictives)

Chaque plan d'eau ainsi que chacun de ses vecteurs fluviaux représentent un tronçon sur lequel une unique station est placée. Ce principe apporte une vision globale tout en permettant une étude fine: en effet, dans un même regard, l'ensemble du bassin versant est appréhendé tandis que les détails apparaissent au niveau stationnel sur le lac et ses afférents/efférents. Ceci permettra de mettre en relation les variables biologiques et physico-chimiques d'un point avec les descripteurs du paysage alentour qui les influencent grandement. L'ensemble des investigations menées sont visibles en Annexe 4.

i. Échelle du bassin-versant

Le bassin-versant joue un grand rôle dans le fonctionnement des systèmes lacustres [Pourriot & Meybeck, 1995] souvent extrêmes et pauvres en montagne. Il est en effet la principale source d'eau, de sédiments (zones de production et de fourniture des sédiments pour les zones aval) et de biotes [SIDLE *ET AL.*, 2000]. Ainsi la cartographie du bassin-versant permet de quantifier globalement les flux de matières allochtones (organiques et minérales) pouvant alimenter les lacs. Le développement d'une faune riche et variée est favorisé par la variété des habitats et donc du paysage du bassin-versant, en particulier pour les macroinvertébrés qui peuvent constituer des apports nutritifs importants pour les poissons et les amphibiens [Füeder et al, 2006].

Compte-tenu du contexte karstique des cinq milieux étudiés, seul le bassin-versant topographique est pris en compte. Il est déterminé à partir de cartes IGN et de prospection sur le terrain. Les différentes unités paysagères seront interprétées en termes de pourcentage et de répartition spatiale. Les différents usages en cours sur le bassin versant seront également recensés.

ii. Échelle de la station:

Une typologie fonctionnelle des lacs d'altitude a été mise en place grâce à l'analyse des potentiels biologiques et du fonctionnement de plusieurs lacs de montagnes [Degiorgi, 2008]. Elle est basée sur l'étude de 5 lacs du massif de Belledonne (38) et 3 autres plans d'eau de massifs alpins différents (Lou (73); Flaine et Anterne (74)) présentant des caractéristiques morphologiques et altitudinales différentes [Degiorgi, 2008]. Le protocole présenté (Fig. II.9) permet de fonder rationnellement des règles de gestions piscicoles et halieutiques pour les lacs de montagne de petites tailles [Degiorgi, 2008; Degiorgi et al, 2010].

L'étude prévoit trois niveaux en fonction des systèmes rencontrés (Fig. II.9). La présente étude va correspondre à la première phase du protocole (encadré en rouge), c'est-à-dire à la diagnose rapide des plans d'eau d'altitude.

iii. Bathymétrie:

La connaissance de la morphologie des systèmes lacustres est essentielle pour connaître les différents espaces et habitats disponibles pour la faune et la flore. En raison des données déjà disponibles (équidistance minimum des isobathes: 2m) [Sesiano, 1993], la bathymétrie n'a pas été réalisée pour cette étude mais a été basée sur les cartes déjà existantes.

iv. Cartographie des mosaïques habitationnelles lacustres (Fig. II.9)

La diversité habitationnelle en zone littorale et la présence de vecteurs fluviaux sont relevées et cartographiées. Les pôles d'attraction littoraux sont cartographiés selon le protocole décrit par [DEGIORGI & GRANDMOTTET, 1993] à l'aide du schéma directif de description de l'espace lacustre (Annexe 5). 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.

La cartographie des pôles d'attraction piscicoles en zone littorale permet de mettre en évidence l'hétérogénéité et la diversité des mosaïques d'habitats qui sont nécessaires aux cycles de vie de l'ichtyofaune. Il s'agit donc de relever la capacité de l'espace littoral lacustre à accueillir les poissons selon les besoins propres à chaque espèce et à chaque stade de vie [Degiorgi et al, 1993]. La connectivité des annexes fluviales est aussi appréciée, notamment pour le poisson et pour évaluer les apports potentiels de la faune benthique dérivante pouvant être une ressource alimentaire importante pour l'ichtyofaune des lacs de montagne.

v. Qualité physico-chimique de l'eau (Fig. II.9):

• Colonne d'eau du lac

La qualité physico-chimique du milieu et plus particulièrement la capacité mésologique des lacs sera définie par :

- des mesures d'O₂ dissous, de % de saturation en O₂, de conductivité, de températures instantanées et de pH tous les mètres à partir de la surface sur l'ensemble de la colonne d'eau au point le plus profond en période estivale (3 périodes) à l'aide d'une minisonde Hach Hydrolab MS5.

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.

- des relevés de température en secteur littoral, à un mètre de profondeur, après le dégel, durant toute la période estivale, avec un pas de temps de mesure de 1 heure à l'aide d'une sonde thermique enregistreuse Prosensor HOB0 Pendant Temps Alarm. Le traitement des données thermiques sera exécuté à l'aide de la macro MACMA Salmo 1,0 [DUMOUTIER, VIGER & CAUDRON, 2010] développée en Haute-Savoie. Les données obtenues permettent de calculer la température maximale moyenne des 30 jours les plus chauds, qui est un descripteur du métabolisme thermique. Avec un pas de temps d'1 heure, la probabilité de sous-estimer d'au moins 1°C la température journalière maximale est très réduite [DUNHAM, CHANDLER, RIEMAN & MARTIN, 2005].

Des échantillons d'eau sont également prélevés sur la colonne d'eau, tous les mètres au point le plus profond à l'aide d'une bouteille de type Van Dorn, de manière à analyser les différentes formes d'azote (nitrates, nitrites et ammonium), les orthophosphates ainsi que le calcium et le magnésium. Les analyses sont effectuées, dans les 24h suivant le prélèvement 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).

• Vecteurs fluviatiles

Durant les prélèvements du macrobenthos et les pêches électriques, la température instantanée ainsi que la conductivité et le pH sont relevés. L'ensemble de ces paramètres est mesuré à l'aide du boîtier multi-sonde WMR *SymPHony SP90M5* et des sondes conductivité/température

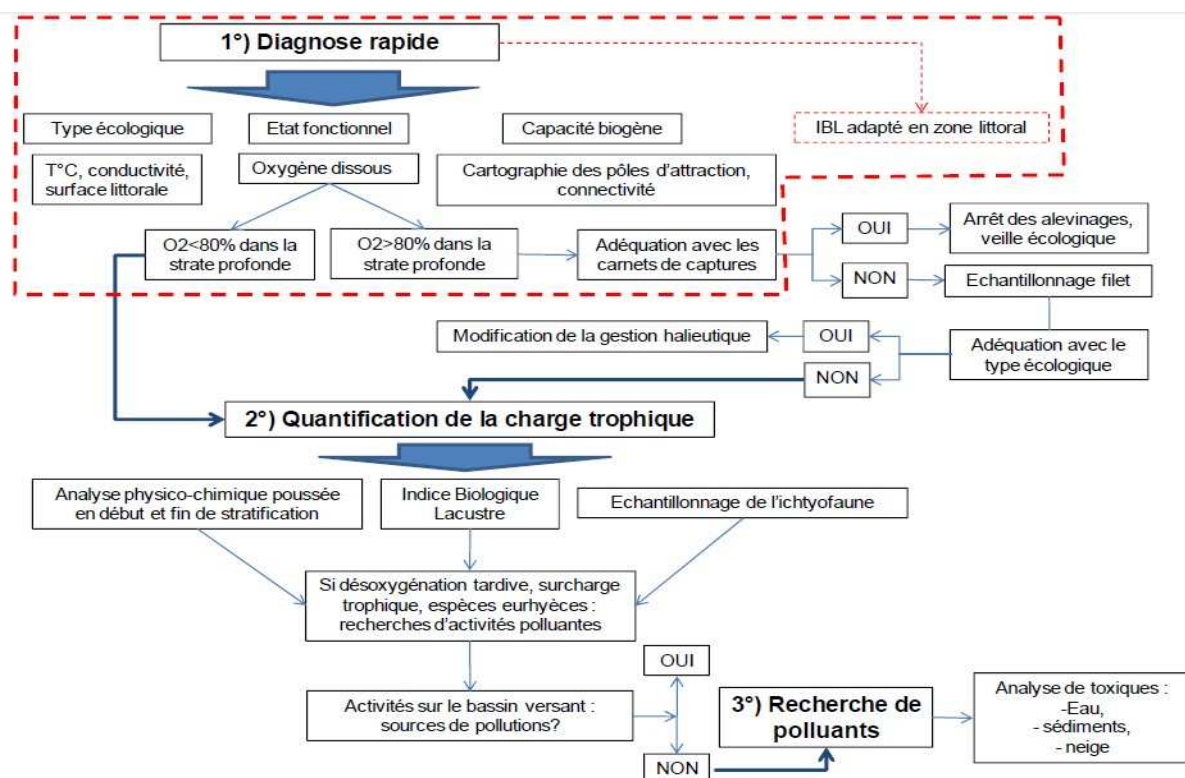


Figure II.9 : Étape de la typologie fonctionnelle des lacs d'altitude, d'après Degiorgi et al, 2008

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.

- **Type théorique lacustre**

Les données physico-chimiques récoltées permettront la détermination des types théoriques mésologiques « Tth » des lacs de montagne [Degiorgi, 2008] basés sur les paramètres les plus discriminants :

- ✓ la minéralisation : conductivité (**Cond**) moyenne de la colonne d'eau en $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$
- ✓ la température maximale moyenne du mois le plus chaud (**Tmm**) de l'eau dans la couche superficielle, en °C
- ✓ la proportion de la surface littorale (**Lit**) en pourcentage (profondeur < 2m)

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

- **Évaluation du degré de fonctionnalité du système lacustre**

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 sur toute sa hauteur d'eau durant toute la durée de stratification estivale [Verneaux et al, 2004; Degiorgi, 2008]. De plus, cette désoxygénation entraîne des dysfonctionnements au niveau des transferts trophiques, de l'espace et des ressources pour différentes espèces de salmonidés. La déduction du taux de dysfonctionnement à partir de l'intensité de la désoxygénation observée en milieu de stratification dans différentes strates de la colonne d'eau se fait à partir du tableau visible en Annexe 6.

vi. Compartiment macrobenthique:

Les macroinvertébrés benthiques jouent un rôle majeur dans l'évaluation écologique des masses d'eau en raison de leur « diversité », leurs « formes », et leurs « habitudes » [RESH & JACKSON, 1993]. Le macrobenthos est considéré comme un excellent détecteur de pollution et de perturbations à cause de son caractère d'intégrateur spatial et temporel [CRANSTON, 1988]. A cause d'une mobilité réduite pendant plusieurs mois et de leurs réponses à des conditions environnementales variées, les invertébrés benthiques peuvent donc être désignés comme indicateurs. De plus, ils sont un élément important de la chaîne alimentaire aquatique, ils sont relativement facile à collecter et sont abondants.

- **Zone littorale lacustre**

L'analyse de la macrofaune benthique est effectuée suivant une adaptation de la méthode de l'Indice Biologique Lacustre (Fig. II.9) [VERNEAUX ET AL., 2004] avec des prélèvements réalisés uniquement en zone littorale (profondeur < 2m). 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 (maille: 0,5 μm) dans la zone littorale. Ces prélèvements permettront d'avoir une image qualitative des peuplements macrobenthiques de la zone littorale.

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

$$\text{nl} = 4 \ln(10 \text{Ll} + 1)$$

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 pots 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 famille ou à la tribu.

Les prélèvements seront interprétés en terme de variété taxonomique et traits biologiques, physiologique et écologique associés [TACHET, RICHOUX, BOURNAUD & USSELGLIO-POLATERA, 2010] (Annexe 7) ainsi qu'en variété numérique.

- **Les vecteurs fluviaux**
- *Les méthodes indicelles:*

L'Indice Biologique Global Normalisé (**IBGN**) [AFNOR, 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, déterminée en supprimant le premier groupe indicateur de la liste faunistique, permet ainsi de juger l'estimation fournie par la note IBGN.

Le coefficient 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 aussi l'avantage d'être construit à partir de deux indices : l'indice nature (In) et l'indice variété (Iv). 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.

$$\mathbf{Cb2} = \mathbf{In} + \mathbf{Iv}$$

Iv (indice de variété taxonomique) = $0,22 * N$

N = nombre de taxons répertoriés appartenant à la liste des taxons utilisés pour le cb2.

In (indice nature de la faune) = $1,21 * [(\sum ki \text{ } i_{\max}) / K]$

K = $n/4$ et n : nombre de taxons indicateurs (affectés d'un indice i de sensibilité) présents dans la liste faunistique avec une densité supérieure ou égale à trois individus.

i_{\max} : indice de sensibilité des taxons indicateurs les plus sensibles présents dans la liste faunistique.

Chacun des deux indices In et Iv ont une note sur 10.

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.

$$\mathbf{m} = \mathbf{H}^{1/2} + \mathbf{H}'^{1/2} + \mathbf{N}^{1/2}$$

où $N = n * n'$

Avec n = nombre de substrats inventoriés sur la station

n' = nombre de classes de vitesses inventoriées sur la station

H = code substrat*code vitesse de l'habitat dominant sur la station

H' = code substrat*code vitesse de l'habitat le plus favorable répertorié sur la station

Ce coefficient repose sur la diversité habitationnelle de la station (**N**), l'attractivité globale des habitats présents (**H**) et la qualité de l'habitat le plus favorable pour les espèces macrobenthiques (**H'**). Le résultat obtenu est une note sur 20, et plus la note est proche de la valeur maximale, plus la mosaïque habitationnelle est favorable au développement d'une population macrobenthique diversifiée. Ainsi, ce coefficient permet d'émettre une interprétation plus puissante de la note IBGN en la pondérant par la qualité habitationnelle de la station.

Les méthodes d'analyse simplifiée des communautés benthiques, généralement exprimées sous forme indicelle, 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) et PARMENTIER (1994) a été mise en œuvre dans un second temps afin d'atteindre les objectifs de la présente étude.

– *Protocole d'analyse semi-quantitative*

L'échantillonnage des communautés macrobenthiques est réalisé selon le protocole d'analyse semi-quantitative (adapté de Bacchi, 1994 et Parmentier, 1994 finalisé par Teleos [DECOURCIERE & DEGIORGI, 2000]). Ce protocole est fondé sur une prospection beaucoup plus complète de l'espace fluvial (adapté pour cette étude à 12 placettes au lieu de 20) 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 dominants non échantillonnées, et en dernier lieu dans les hauteurs d'eau 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.

N.B.: Le niveau minimal de détermination exigé pour le macrobenthos est le genre (sauf taxons spécifiques, voir plus haut). Néanmoins, lorsque cela est possible, la détermination est poussée jusqu'à l'espèce, notamment pour les Trichoptères, Ephéméroptères et Plécoptères. Il s'agit alors de trouver un compromis entre le temps nécessaire à la détermination, la difficulté de celle-ci au niveau larvaire et le gain d'informations apporté par le niveau « espèce ». Les clés utilisées sont: WARINGER & GRAF (1997) pour les Trichoptères, AUBERT (1959), ZWICK (2004) et REDING (2011) pour les Plécoptères, STUDEMANN *ET AL.* (1992) pour les Ephéméroptères.

La vérification des taxons a été faite par la suite par Hervé DECOURCIERE (Teleos, Université de Franche-Comté).

vii. Compartiment piscicole:

Comme pour les macroinvertébrés benthiques, le groupe des poissons constitue un intégrateur particulièrement puissant de la nature et de l'efficacité des transferts trophiques [PERGA, 2004].

- **Les systèmes lacustres**

Aucune pêche n'a été réalisée dans les différents systèmes lacustres. L'approche des communautés piscicoles se fera donc à partir des données disponibles dont les chroniques d'alevinages tenues par les AAPPMA, gestionnaires des plans d'eau.

Les communautés piscicoles des lacs de montagne sont majoritairement constituées de Salmonidés (Tab. II.2) du fait des conditions qui règnent et de leurs exigences écologiques.

- **Les vecteurs fluviaux**

Des pêches électriques d'inventaire sont effectuées dans le but d'apporter une information complémentaire sur la fonctionnalité des systèmes lacustres. Ces pêches permettront d'apprécier l'accessibilité et la connectivité des vecteurs fluviatiles pour la faune piscicole et notamment la présence de frayères fonctionnelles pour les salmonidés exclusivement inféodés aux eaux courantes concernant leur reproduction et leurs premiers stades de vie (Tab. II.2). Ces pêches sont exécutées à l'aide d'un « martin pêcheur » en effectuant 2 passages avec enlèvements successifs pour estimer le stock disponible dans la station grâce au modèle de [CARLE & STRUB, 1978]. Pour chaque individu, l'espèce, le poids et la taille seront relevés. Les résultats seront pondérés à la surface de la station et interprétés en densité et en biomasse.

Les distributions des fréquences de taille des Truites fario pêchées seront comparées avec la fréquence moyenne relative (FMR), développée pour les peuplements de Haute-Savoie [CAUDRON & CATINAUD, 2008]. Cette méthode permet de visualiser l'état de la structure de la population par rapport à un standard déjà défini.

Tableau II.2: Quelques exigences écologiques de l'ichtyofaune retrouvée dans les lacs étudiés (Machino, 1991; Cavalli, 1997; Caudron, 2006 et 2008)

Nom vernaculaire	Nom latin	Autochtone / allochtone	Optimum thermique	Exigence en o2	Zone de reproduction
Truite fario	<i>Salmo trutta fario</i> (Linnaeus, 1758)	Autochtone	4 à 19°C	> 6 mg/l	Cours d'eau exclusivement
Omble chevalier	<i>Salvelinus alpinus</i> (Linnaeus, 1758)	Autochtone	0 à 22°C	> 2 mg/l	Lac et plus rarement en cours d'eau
Saumon de fontaine	<i>Salvelinus fontinalis</i> (Mitchill, 1814)	Allochtone	0 à 20°C	> 6 mg/l	Cours d'eau et rarement en lac
Truite arc en ciel	<i>Onchorynchus mykiss</i> (Walbaum, 1792)	Allochtone	5 à 25°C	> 4 mg/l	Très rares en France (non acclimaté)
Cristivomer	<i>Salvelinus namaycush</i> (Walbaum, 1792)	Allochtone	0 à 18°C	> 5 mg/l	Lac exclusivement
Vairon	<i>Phoxinus phoxinus</i> (Linnaeus, 1758)	Autochtone	2 à 20°C	Rhéophile	Cours d'eau, rarement en lac
Chabot	<i>Cottus gobio</i> (Linnaeus, 1758)	Autochtone	1 à 16°C	Rhéophile	Cours d'eau, rarement en lac

Les paramètres physico-chimiques relevés sur l'espace lacustre permettent de définir les types mésologiques théoriques. Ainsi la prédiction des peuplements ichtyologiques optimaux théoriques devient possible. En effet, la diagnose écologique des 8 lacs réalisée par Degiorgi (2008) a permis la mise en place d'une droite de corrélation entre les types mésologiques théoriques et ichtyologiques observés sur ces lacs (Fig. II.10). Les types ichtyologiques optimaux théoriques des différents systèmes peuvent donc être définis à partir des données physico-chimiques et par lecture graphique.

La valeur obtenue par le calcul du type théorique (arrondi à l'entier supérieur) donne plusieurs informations (Tab. II.3). 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.

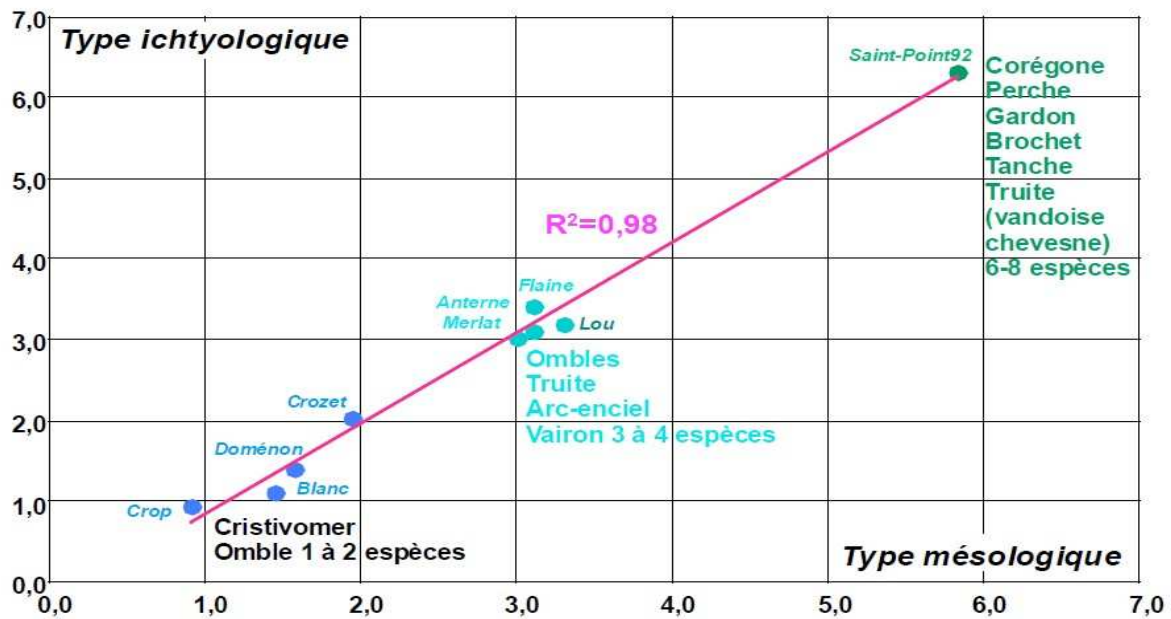


Figure II.10 : Régression linéaire entre le type ichtyologique observé et le type théorique calculé à partir des conditions physicochimiques et des peuplements piscicoles de 9 lacs, défini par Degiorgi (2008).

Tableau II.3: Typologie préliminaire des peuplements piscicoles des lacs d'altitude, adapté de Degiorgi et al, 2010

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	Réduite	Moyenne	Développée	Développée
Renouvellement hydrique	Très rapide	Rapide	Moyen	Lent	Lent
Variété optimale n	0 à 1	1	2-3	3-4	4-6
Productivité optimale	Très faible	Faible	Modérée	Moyenne	Forte
Composition type	(Saumon font.)	Omble chev. ou Truite fario	Omble chev. Truite fario ou Truite fario	Truite fario Omble chev. Vairon	Truite fario Vairon Loche Omble chev.
Avec afférence ou émissaire "frayable et circulaire"		Saumon font.	Vairon	Saumon font. ou Omble chev.	
			Saumon font. Vairon	Vairon c.	
Sans afférence ni émissaire "frayable et circulaire"	(Cristivomer)	Cristivomer ou Omble chev.	Omble chev. Cristivomer	Omble chev. Vairon Cristivomer	Loche Vairon Omble chev. Cristivomer

C. Données antérieures disponibles sur les 5 lacs étudiés:

i. Physico-chimie

Système	Date	Profondeur	Conductivité ($\mu S/cm$)	O ₂ (mg/l) (saturation, %)	pH	NO ₂ - (mg/l)	NO ₃ - (mg/l)	NH ₄ ⁺ (mg/l)	PO ₄ ³⁻ (mg/l)	Ca ²⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	SiO ₂ (mg/l)
Arvouin	1987	Surface	198	/	8,16	0,002	0,02	/	/	35,6	1,8	2,26
Gers	1992	Surface	/	8,90 (82)	/	/	/	0,15	0,19	/	/	/
		Fond	/	5,60 (51)	/	/	/	0,23	0,19	/	/	/
	11/06/87	Surface	122	/	7,5	/	0,31	/	/	/	0,9	5,46
		Fond	100	/	7,7	/	0,29	/	/	/	1,3	3,79
Lessy	30/12/99	Surface	128	/	7,93	/	/	/	/	26,7	0,7	2,7
		Fond	168	/	7,73	/	/	/	/	35,1	1	3,1
Tavaneuse	14/10/89	Fond	167	/	8,41	0	0,07	/	/	23,2	6,4	1,5
Vernant	13/10/83	Surface	72	/	7,06	/	/	/	/	/	0,3	3,5
		Surface	50	/	7,4	/	/	/	/	/	/	5,6
	29/06/87	Fond	52	/	7,5	/	0,33	/	/	/	/	5,7

Tableau II.4: Principaux paramètres physico-chimiques des 5 lacs étudiés [Bouclier et al, 1992; Sesiano, 1993].

• **Lac d'Arvouin**

Les eaux du lac sont considérées comme oligo-mésotrophes calcaires et riches en bases dissoutes (Tab. II.4) [Sesiano, 1993; DIREN Rhône-Alpes, 2007].

• **Lac de Gers**

Les eaux du lac apparaissent vertes et peu transparentes (variables suivant la saison) [Delebecque, 1898, Sesiano, 1993] à cause du zooplancton qui y est très abondant: les cladocères se développent au travers du phytoplancton grâce à des éléments fertilisants [Bouclier et al, 1993]. Des relevés physico-chimiques (Tab. II.4) [Bouclier et al, 1992] montrent une charge importante en ions ammonium et orthophosphates, signe d'une perturbation organique dont l'origine semble, selon les auteurs, être un troupeau de bovins fréquentant le secteur sud du lac. Néanmoins, d'après Sesiano (1993) citant TÖPFFER (1841), cet état eutrophe ne semble pas récent à cause de la présence de « mousses éclatantes tapissant le fond du lac ». La consommation/transformation de la matière organique provoque la désoxygénation des fonds du lac (Tab.II.4) [Bouclier et al, 1993].

• **Lac de Lessy**

La présence de chalet contribue à des apports de fertilisants et de matière organique par le bétail qui ont pour conséquence l'augmentation de la production primaire et une élévation du pH précipitant alors le carbonate de calcium [Sesiano & Muller, 1983]. Des dépôts de CaCO₃ sont observables au fond du lac sans dissolution. Le taux de sédimentation est très faible dans le plan d'eau [Sesiano & Muller, 1983]. Toutefois le lac subit une évolution lente vers l'eutrophisation (depuis au moins 500 ans) [Sesiano & Muller, 1983] et de ce fait les eaux sont peu transparentes en

été (Secchi relevé à 2,5m en 1987) [Sesiano, 1993].

- **Lac de Tavaneuse**

D'après Dussart (1952) et Sesiano (1993), le bassin-versant calcaire du système confère une alcalinité aux eaux du lac (concentration élevée en bicarbonates de calcium avec un gradient Nord-Sud et variable selon la profondeur), le pH de l'eau variant alors de 7,9 à 8,1 (Tab.II.4). La température est assez chaude pour ce type de plan d'eau et l'oxygénation est moyenne (7,3mg/l en surface pour une saturation de 88%). Aucune trace de sulfates ou encore de nitrates n'a été relevée à l'époque tandis que la concentration en fer avoisinait les 0,21mg/l.

- **Lac de Vernant**

La transparence de l'eau est variable, allant selon Sesiano (1993), de 3m à 5,5m selon la proximité d'épisodes de précipitations. Le lac apparaît plutôt oligotrophe avec des eaux moyennement basiques (pH de 7,4) [Sesiano, 1993].

ii. Biologie

- **Lac d'Arvouin**

Outre son intérêt touristique et piscicole, le lac d'Arvouin présente un grand intérêt écologique du fait de la présence d'une remarquable station de Potamot allongé (*Potamogeton praelongus*), ce qui fait que le site a été classé en Zone Naturelle d'Intérêt Écologique Faunistique et Floristique (ZNIEFF) de type I [DIREN RHÔNE-ALPES, 2007]. On y retrouve aussi des algues du genre Chara (*Chara sp.*). La frange marécageuse entourant le lac est, quant à elle, essentiellement composée par le Seneçon des alpes (*Senecio alpinus*), par deux Laïches (*Carex rostrata* et *C. paniculata*), et par le trèfle d'eau (*Menyanthes trifoliata*).

- **Lac de Tavaneuse**

La faune du lac est peu riche et composée par: du plancton crustacé (*Daphnia longispina*, *Alona affines*, *Cyclops stencus*, *Arctodiaptomus bacillifer*, *Echinocamptus luenensis* (sur les rives), *Gammarus*); des Hémiptères (*Corixa* en zone littorale); des Plécoptères (*Nemoura* en zone littorale); des Mégaloptères (*Sialis lutaria* en zone littoral); des Trichoptères (*Stenophylax*); des Coléoptères (*Agabus soleri*); des Ephéméroptères (*Ecdyonurus*); des Diptères (*Trichotanypus* (larve dans les vases et nymphes proches des rives)) tandis que la faune terrestre des alentours est plus abondante [Dussart, 1952].

iii. Données piscicoles

Les lacs, tous originellement apiscicoles, 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 [Machino, 1991]. Le développement de la pêche récréative a permis de poursuivre ces alevinages. Mais la plupart du temps, aucun plan de gestion n'est mis en place et les quantités d'alevins déversés fluctuent d'une année à l'autre.

- **Lac d'Arvouin**

Le lac a été aleviné en Chabot en 2000 et 2001 et en Truite fario et Truite Arc-en-Ciel depuis les années 2000 (Annexe 8). Auparavant du Cristivomer y a aussi été déversé mais ceci n'apparaît pas sur les chroniques d'alevinages disponibles. Aucun plan de gestion piscicole n'existe actuellement. En 2007, une forte mortalité de l'ichtyofaune du lac a été constatée après un épisode de dégel/reprise en glace/dégel du lac.

- **Lac de Gers**

Dans les années 90, le peuplement piscicole était composé par la truite Arc-en-Ciel et le

vairon, issu de déversements. Le Vairon se trouvait cantonné aux zones de bordures de faible profondeur [Bouclier et al, 1993]. Les truites Arc-en-Ciel, quant à elles, semblaient avoir adopté deux comportements alimentaires: l'un exclusivement composé de macroinvertébrés et l'autre mixte [Bouclier et al, 1993]. Depuis 2001, les alevinages pratiqués sur ce lac ont été plutôt sporadiques (Annexe 10). De plus, ils visaient à mettre en place un peuplement plurispécifique (Truites fario et Truites arc-en-ciel). En raison de perturbations minérales [Bouclier et al, 1993], un plan de gestion monospécifique composé d'une espèce robuste capable de coloniser indifféremment toutes les zones favorables du lac, le Saumon de fontaine, a été mis en place à hauteur de 3650 individus/an (selon l'optimum spécifique de 500ind./ha [Rivier, 1996]) [Huchet, 2009].

- **Lac de Lessy**

Sur ce lac, la gestion piscicole a débuté en 2007, faisant suite aux travaux. Elle consiste en un empoissonnement en Saumon de fontaine (3750 ind./an selon l'optimum spécifique de 500ind./ha [Rivier, 1996]) [Huchet, 2009].

- **Lac de Tavaneuse**

L'ichtyofaune du plan d'eau est issue de repeuplements artificiels de Saumon de Fontaine (500 alevins en 1949) car le lac originel est apiscicole. Le peuplement semblait bien adapté mais à l'époque, sa reproduction n'était pas constatée [Dussart, 1952]. Dans les années qui suivent, le Saumon de Fontaine est toujours contacté, mais on ne sait pas s'il s'agit d'une population fonctionnelle ou si c'est le résultats de déversement réguliers [MACHINO, 1991]. D'après les chroniques d'alevinages disponibles depuis 2000 (Annexe 9), le déversement est pluri-spécifique avec de la Truite fario et de l'Ombre chevalier. Aucun plan de gestion piscicole n'existe actuellement sur ce plan d'eau.

- **Lac de Vernant**

L'étude des chroniques d'alevinage du lac (Annexe 11) montre une pratique plurispécifique avec le déversement de Truite fario, de Truite arc-en-ciel, d'Ombre chevalier, de Saumon de fontaine et d'Ombre alis (hybride fécond issus d'un Ombre chevalier et d'un Saumon de fontaine). Le plan de gestion proposé en 2009 [Huchet, 2009] est de mettre en place un alevinage monospécifique en Saumon de fontaine à hauteur de 1500 individus par année (500 indiv/ha selon Rivier, 1996).

D. Traitements statistiques

Pour obtenir un échantillon statistique plus conséquent, les données issues d'autres diagnostics simplifiées de lacs de montagne (Isère [Estable, 2009]; Haute-Savoie [Hibon, 2010]) sont synthétisées et ajoutées à celles des lacs de la présente études. À partir des descripteurs mésologiques, des analyses en composantes multiples (ACP) sont réalisées.

III. Résultats:

A. Caractérisation des bassins-versants:

Les bassins-versants des 5 lacs étudiés sont assez diversifiés: si le minéral domine, les surfaces végétales sont aussi bien représentées surtout pour des systèmes de montagne (Tab.III.1). Ainsi les apports allochtones peuvent se révéler importants pour les systèmes lacustres étudiés.

Le bassin-versant du lac d'Arvouin, de petite taille et dont les pentes sont fortes, est dominé par les strates minérales et les pelouses alpines. La forêt et la lande se localisent essentiellement dans la partie sud-ouest du bassin. La seule activité anthropique visible est la présence d'un chalet au nord du lac. Quelques bovins (30 à 50 individus) prennent leur quartier d'été aux abords du lac.

Le bassin-versant du lac de Gers est important en regard à la surface du lac. La forêt et la lande alpine (myrtilles, aireselles) constituent les unités paysagères dominantes de la combe du lac; elles se localisent préférentiellement sur les pentes moyennes du bassin. Les unités minérales s'observent quant à elles sur les fortes pentes au niveau des hauteurs du bassin tandis que les prairies alpines se situent aux abords sud du lac dans lesquelles paissent durant la période estivale une cinquantaine de bovins.

La surface du lac de Lessy est importante en rapport à la taille de son bassin. Le système se situe dans une profonde cuvette fermée où les unités minérales se localisent sur les hauteurs du bassin alors que la lande (rhododendrons, myrtilles, aireselles, bruyère, ...) est quant à elle reléguée sur la partie sud du bassin. Les pelouses alpines sont valorisées par la présence d'ovins (environ 800 individus) et de caprins (50 individus). Enfin un groupement de chalets s'observe au nord du lac, dont les rejets contribuent probablement aux apports allochtones diffus.

Tableau III.1: Principales caractéristiques des bassins-versants et répartition des différentes unités paysagères

Paramètres	Détail	Unité	Gers	Vernant	Lessy	Arvouin	Tavaneuse
Situation plan d'eau	Massif		Faucigny	Faucigny	Borne-Aravis	Chablais	Chablais
Caractéristiques bassin-versant	superficie	Ha	539,2	111,4	114,9	72,7	56,01
	altitude maximale	m	2385	2208	2408	2093	2095
	point culminant		Les Verdets	Les Grands Vans	Pic de Jalouvre	Le Linleu	Le Piron
	orientation bassin		S.S.O - N.N.E	E-O	N.N.E-S.S.O	N.O-S.E	S-N
	pente moyenne	%	68,1	44,3	68,4	60,6	70,7
	géologie globale		grès/calcaire	grès/calcaire	calcaire	calcaire et marne	calcaire
Occupation du sol							
	Névé/Glacières	%	0	0	0	0	1
	Minéral	%	52	34,4	58,2	52,9	57,1
	Pelouses	%	3,65	45,3	24,7	30,9	6,5
	Landes alpines	%	21,2	15,7	9,6	5,1	31
	Forêts	%	21,5	0,5	0,1	7,3	0
	Urbanisation	%	0,1	1,4	0,9	0,7	0
	Plan d'eau	%	1,55	2,7	6,5	3,1	4,4

Le bassin-versant du lac de Tavaneuse est de taille réduite. Le minéral et la lande alpine (myrtilles, rhododendron, aulne, ...) constituent l'essentiel des unités paysagères de ce bassin. Les pelouses se cantonnent aux abords du plan d'eau et accueillent à la fin d'été une trentaine d'ovins. Quelques névés s'observent encore dans les excavations rocheuses, s'expliquant par l'orientation nord du bassin.

Les plaines alpines représentent la part la plus importante des unités paysagères du bassin-versant du lac de Vernant. Ceci s'explique par la présence de pistes de ski rattachées à la station de Flaine. Les unités minérales sont localisées sur les hauteurs du bassin et à proximité des aménagements anthropiques (remontées mécaniques). Le bassin connaît une pression anthropique non négligeable mais du fait de la présence de captage d'eau potable dans le lac, un périmètre de protection permet d'en limiter les impacts. La lande alpine (myrtilles, rhododendron, bruyère, ...) est cantonnée aux fortes pentes sud du bassin-versant. La forêt, quant à elle, est peu présente et se répartit en îlots au milieu de la lande et au pied des barres rocheuses.

Au sein des différents bassins-versants peuvent exister des annexes hydrauliques lentiques. Ainsi à Arvouin, s'observe, adjacente au lac, une zone marécageuse.

Dans la combe de Gers, un petit plan d'eau, le lac Parchet, est localisé au sud-est du lac (superficie avoisinant les 0,125Ha). Bien qu'apiscicole, il constitue un milieu très biogène, en particulier pour les amphibiens. On peut aussi signaler l'ennoyage régulier d'une partie des pelouses alpines au sud du lac créant ainsi des annexes biogènes supplémentaires.

À Vernant, de nombreuses petites gouilles dont la profondeur n'excède pas 20cm s'observent autour du lac. Bien que disparaissant en période estivale, elles offrent des habitats très biogènes, notamment pour la reproduction des amphibiens dont le triton alpestre (*Ichtyosaura alpestris*, Laurenti, 1768) qui a été observé en abondance lors de nos campagnes au mois de Mai.

La structure et la distribution des annexes hydrauliques des lacs étudiés montrent des différences notables selon les bassins-versants (Tab.III.2). Le lac d'Arvouin possède ainsi deux tributaires: l'un est temporaire tandis que l'autre est permanent. Ils coulent d'abord sur une pente forte (28%) avant de rejoindre une zone plus calme, marécageuse, où le bétail vient souvent s'y abreuver et y piétine les lits. Le lac de Gers est, quant à lui, alimenté par plusieurs torrents montagneux temporaire d'origine nival qui s'écoulent à travers les plaines alpines au sud du lac. Les bovins présents pataugent souvent au sein même des lits peu formés des cours d'eau. Une partie de ces torrent sont captés pour servir d'abreuvoir au bétail. À Lessy, Tavaneuse et Vernant, les torrents ont une origine mixte, nival et souterraine, et sont accompagnés par d'autres torrents temporaires alimentés eux exclusivement par la fonte des neiges. Ainsi à Tavaneuse, le torrent prend sa source au milieu de pierrier et s'écoule sur de fortes pentes à dominante minérale; il demeure toutefois déconnecté du lac en période estivale par une zone d'assec sur 50m. La plaine alluviale est, quant à elle, alimentée par une exurgence. Pour Lessy et Vernant, les torrents s'écoulent sur de fortes pentes. Certains possèdent une ripisylve plus ou moins développée tandis que des obstacles parsèment aussi le cheminement des torrents (petites chutes, embacles, etc.).

À Arvouin, la partie amont de l'exutoire, à la sortie du lac, est constituée par une petite chute du fait de la pente très importante à ce niveau et de la présence de blocs. L'efférence coule ensuite sur environ 200m et puis disparaît dans des fissures karstiques limitant ainsi son extension longitudinale qui d'ailleurs raccourcit au fur et à mesure de la saison estivale. Les lacs de Gers et de Lessy n'ont pas d'exutoire (déconnecté pour le premier, absent pour le second), l'essentiel de leurs pertes étant sous lacustres. Celui du lac de Vernant est un cas particulier puisqu'il est alimenté par les eaux du lac grâce à la présence d'une tour déversoir. De ce fait, il est complètement déconnecté physiquement du lac. Il s'écoule ensuite sur des pentes à fortes déclivité. Seul le lac de Tavaneuse présente un exutoire permanent, non déconnecté du système lacustre par la présence d'obstacles.

Annexes	Caractéristiques	Gers	Vernant	Lessy	Arvouin	Tavaneuse
Tributaire	Régimes hydrauliques	diffus	permanent	permanent	diffus	permanent
	Alimentation	névé	névé, sous-terrain	sous-terrain	névé	névé, sous-terrain
	Pente moyenne (%)		29,75	8,5	-	31,28
	Zone de fraie	non	potentielle	potentielle	non	non
	Présence piscicole	non	oui	oui	non	non
Exutoire	Régimes hydrauliques	pertes sous lacustres, temporaire	permanent	pertes sous lacustres	temporaire en hiver	permanent
	Obstacle pour la faune piscicole	-	tour déversoir	-	-	-
	Zone de fraie	non	oui	non	non	oui
	Pente moyenne (%)	-	22,6	-	15,8	14,5
	Présence piscicole	non	non	-	oui	oui
Annexes lénitiques	Nombre	1	nombreux	0	0	0
	Surface (Ha)	0,125	faibles	-	-	-
	Types	étangs	Gouilles	-	-	-

Tableau III.2: Principales caractéristiques des annexes hydrauliques dans les bassins-versants étudiés

Néanmoins, la pente du cours d'eau devient très vite importante, le linéaire étant ensuite ponctué de nombreuses cascades limitant ainsi la continuité hydraulique du système. Les exutoires permanents des lacs étudiés connaissent des maxima aux mois de Mai/Juin, les étiages sont eux automnaux et hivernaux.

B. Capacités habitationnelles en zone littorale des systèmes lacustres

Les caractéristiques morphologiques des 5 lacs étudiés (Tab. III.3) sont assez différentes d'un lac à l'autre. Hormis pour le lac d'Arvouin, les systèmes étudiés présentent un faible développement rivulaire (entre 1 et 1,23). Or un fort développement rivulaire est souvent synonyme d'une capacité d'accueil supérieure pour la faune piscicole.

Vernant et Arvouin ont un indice de creux nettement plus important que les autres lacs. Plus cet indice est important, plus le lac convient aux poissons pélagiques.

La surface relative de la zone littorale est variable d'un lac à l'autre (Fig. III.1 et III.2; Tab. III.3) et conditionne la productivité des espèces de surface et de la plupart des alevins. Ainsi la zone littorale du lac de Gers représente plus de la moitié de la cuvette lacustre. Elle est aussi bien développée à Tavaneuse (46,5%) et dans une moindre mesure à Lessy (34%) et Arvouin (26,5%). Seule la zone littorale du lac de Vernant n'est pas très développée sans toutefois être restreinte.

La qualité et l'hétérogénéité des mosaïques d'habitats en zone littorale sont potentiellement fortes sur les lacs de montagne, grâce à la diversité granulométrique et à l'abondance de caches fournies par les blocs et les galets non colmatés. Ceci est vrai pour les lacs de Tavaneuse et de Vernant (Fig. III.2; Tab. III.3). Cependant, les herbiers y sont aussi bien représentés tandis que la matière organique présente y est morcelée en petites tâches isolées.

À contrario les lacs d'Arvouin, de Gers et de Lessy ont une zone littorale très fortement dominée par la végétation (hydrophytes et hélophytes) (Fig. III.1; Tab. III.3). Celle-ci (Potamot, Characée, ect), peu présente en période post-dégel, se développe très fortement durant l'été pour arriver jusqu'au recouvrement cartographié (Tab. III.3). De plus, les éléments minéraux, non dominants, demeurent souvent colmatés, soit par des sédiments fins, soit par des développements algaux (Lessy). Enfin, la zone littorale du lac de Gers présente aussi une forte proportion de fonds nus organiques (Fig. III.1) dont l'origine est pour une partie les apports allochtones du bassin-versant et pour une autre la végétation fortement développée au sein du lac. De plus, ce système connaît des marnages importants qui se ressentent sur sa zone littorale, bridant ainsi l'attractivité des pôles habitationnels (notamment les blocs au pied d'un éboulement dans la partie nord-ouest du lac). Dans une moindre mesure, ceci est valable pour le lac de Lessy (pertes sous lacustres combinées aux faibles apports d'eau en période estivale) et pour le lac de Vernant (utilisation de l'eau pour les canons à neige en période hivernale).

Les zones d'afférences, lorsqu'elles sont permanentes, sont quant à elles essentiellement constituées par des graviers charriés et des sédiments fins.

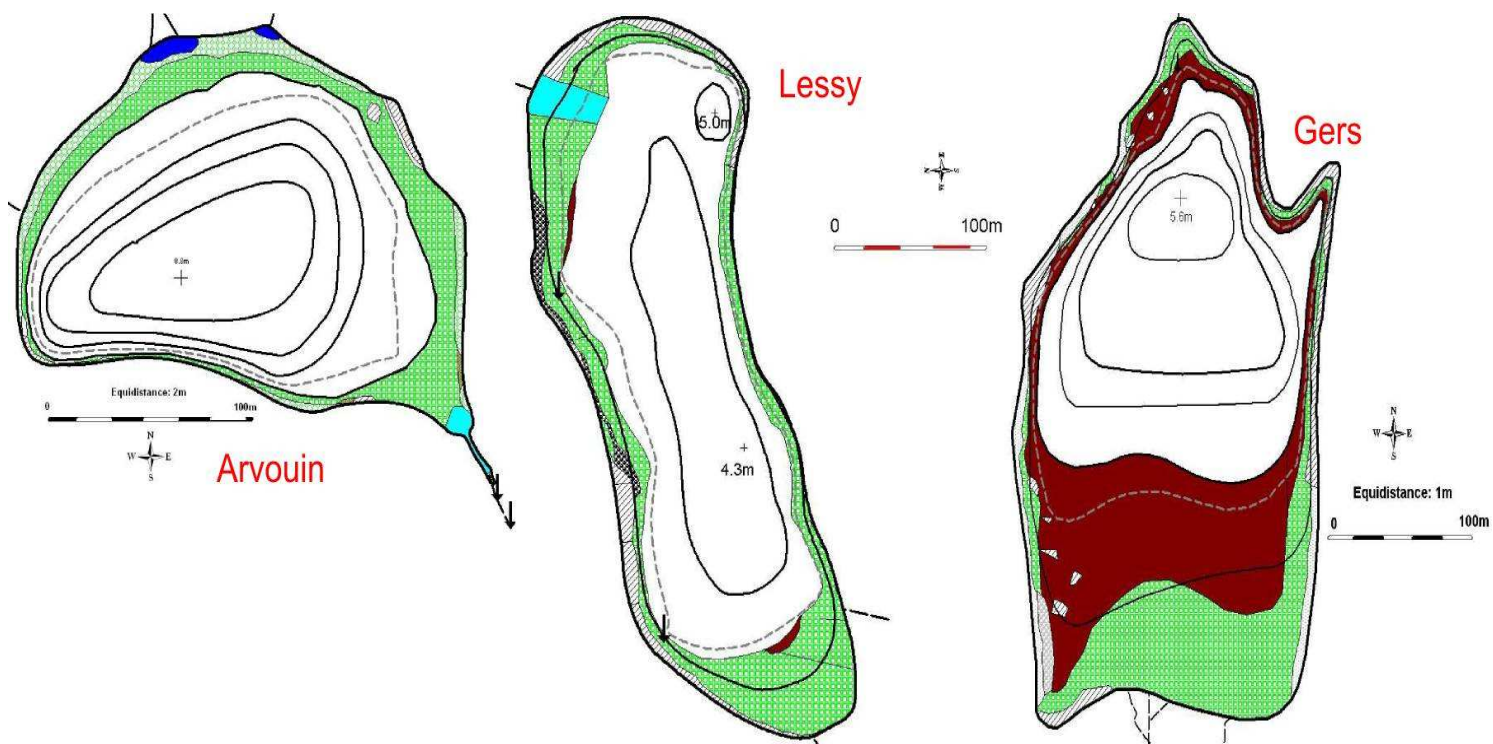


Figure III.1: Bathymétrie et cartographie des pôles d'attraction piscicoles en zone littorale des lacs d'Arvouin, de Lessy et de Gers

Descripteurs	Arvouin	Gers	Lessy	Tavaneuse	Vernant
superficie (Ha)	2,29	7,3	7,5	2,5	3
Volume (m3)	127000	150000	205000	59000	130200
Creux (lc) (‰) (1)	58,2	20,7	18,3	37,3	53,7
Creux moyen (lcm) (2)	3,7	0,8	1,0	1,5	2,5
surface littorale (Ha)	0,607	3,935	2,562	1,163	0,553
Représentativité surface zone littorale (%)	26,5	53,9	34,16	46,5	18,14
Developpement rivulaire	1,52	1,17	1,23	1,12	1,00
Pôles d'attraction zone littorale (%)					
Laff: afférence	2,5	-	3	5,4	7,2
Leff: efférence	1,7	-	-	5,9	-
Lfnm: fond nu minéral	-	-	4,3	36,7	29,8
Lfno: fond nu organique	0,7	41,6	1,3	-	0,7
Lhd: hélrophytes denses	24	34,1	-	1,6	1,9
LHyi: hydrophytes	60,1	-	73,7	10	21,7
Lblo: blocs	3,3	17,1	17,1	27,8	27,7
Lgal: graviers/galets	1,7	7,2	0,6	5,6	11
Nombre de pôles littoraux	7	4	6	7	7
Diversité de Shannon	1,48	1,76	1,23	2,17	2,29
Hydrologie					
Emissaires permanents	1	0	0	1	1
Afférences permanents	0	0	1	2	1

Tableau III.3: Caractéristiques morphologiques et habitationnelles des 5 lacs étudiés.
(1) Delebecque; (2) Pourriot & Meybeck

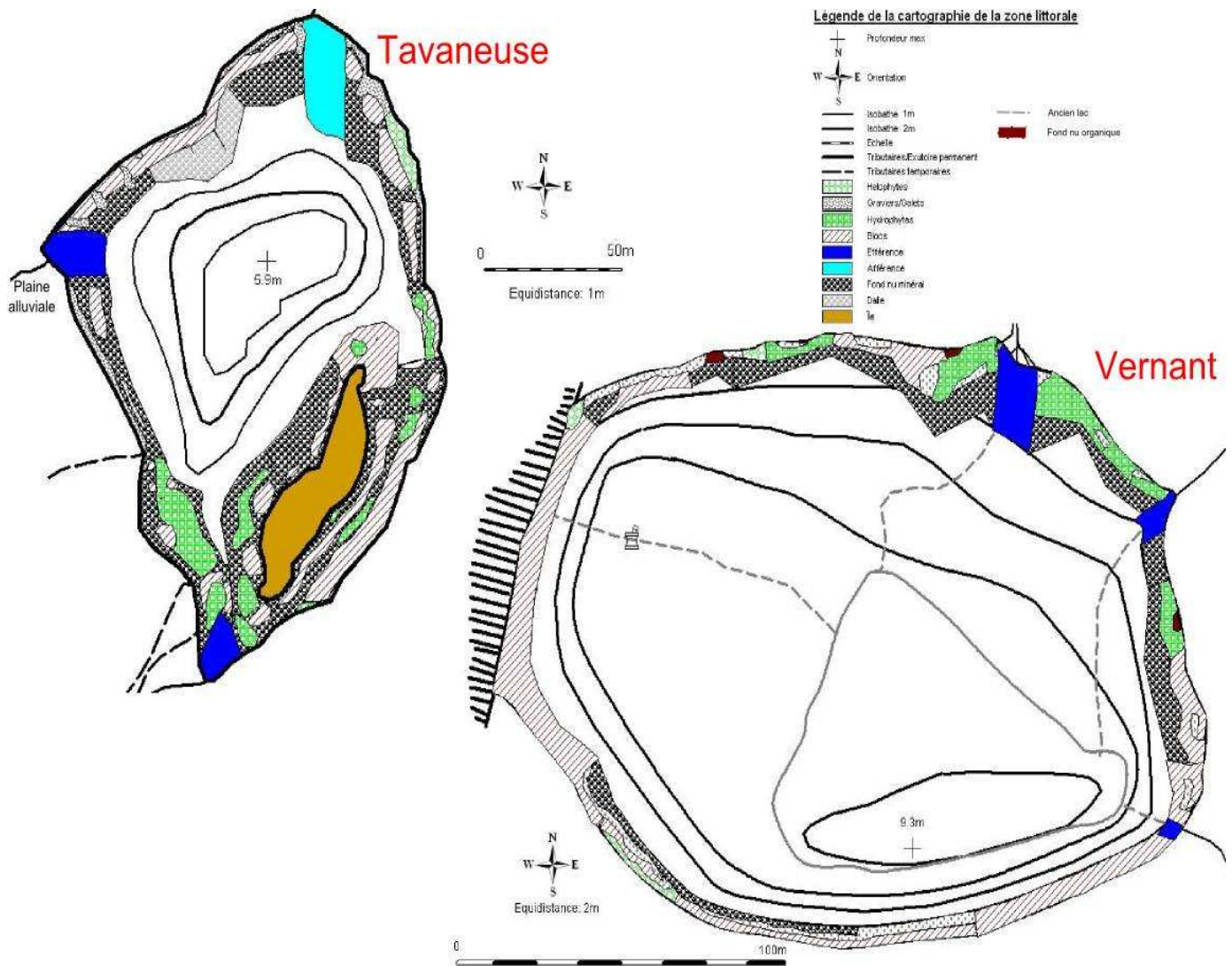


Figure III.2: Bathymétrie et cartographie des pôles d'attraction piscicoles en zone littorale des lacs de Tavaneuse et de Vernant

C. Métabolisme physico-chimique

La compréhension du fonctionnement d'un système lacustre passe nécessairement par l'étude des paramètres physico-chimique de ce système. Ces derniers vont être sous l'influence des apports (matières allochtones et autochtones) et des caractéristiques propres à chaque lac (capacité à transformer ces apports).

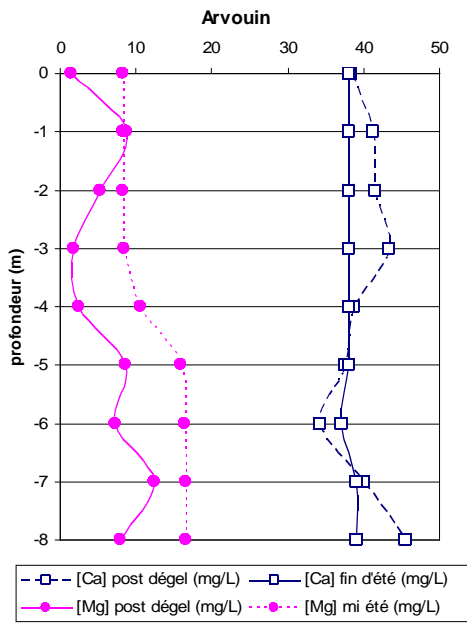


Figure III.5: Evolution spatiale des paramètres calcium et magnésium dans le lac d'Arvouin

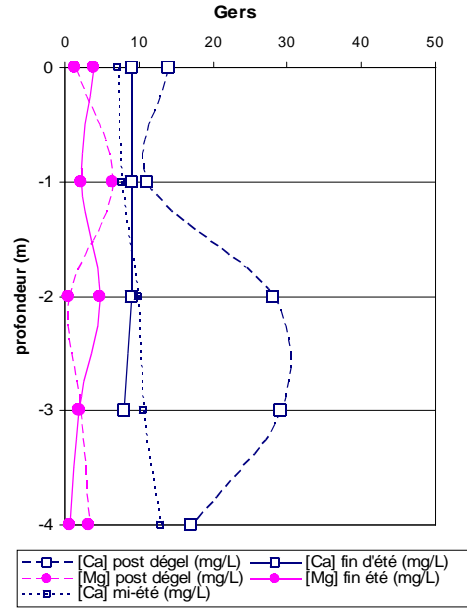


Figure III.4: Evolution spatiale des paramètres calcium et magnésium dans le lac de Gers

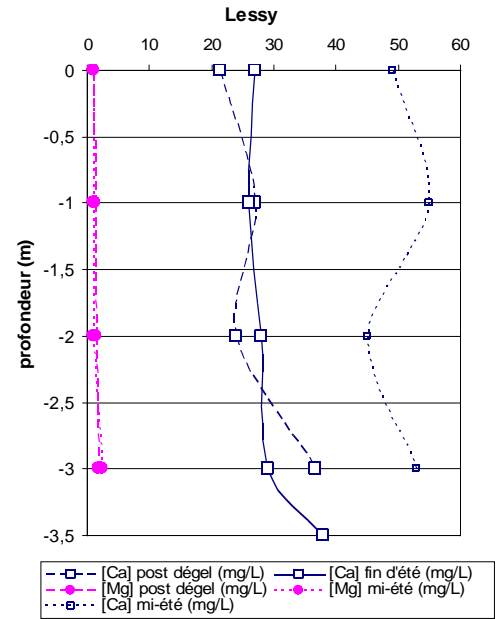


Figure III.3: Evolution spatiale des paramètres calcium et magnésium dans le lac de Lessy

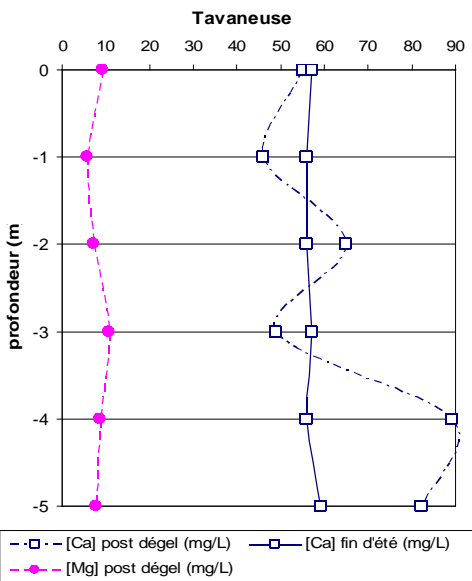


Figure III.7: Evolution spatiale des paramètres calcium et magnésium dans le lac de Tavaneuse

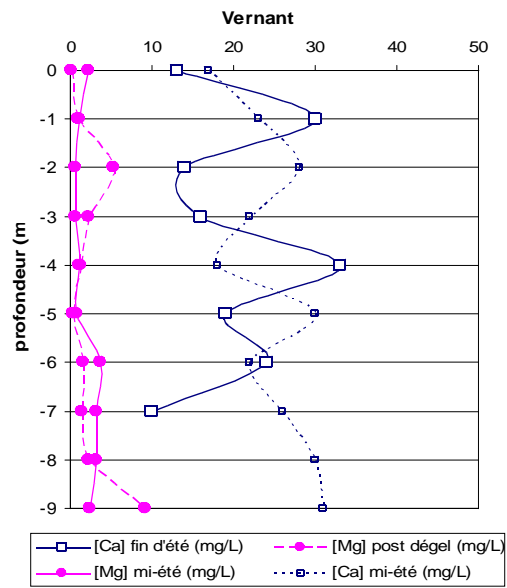
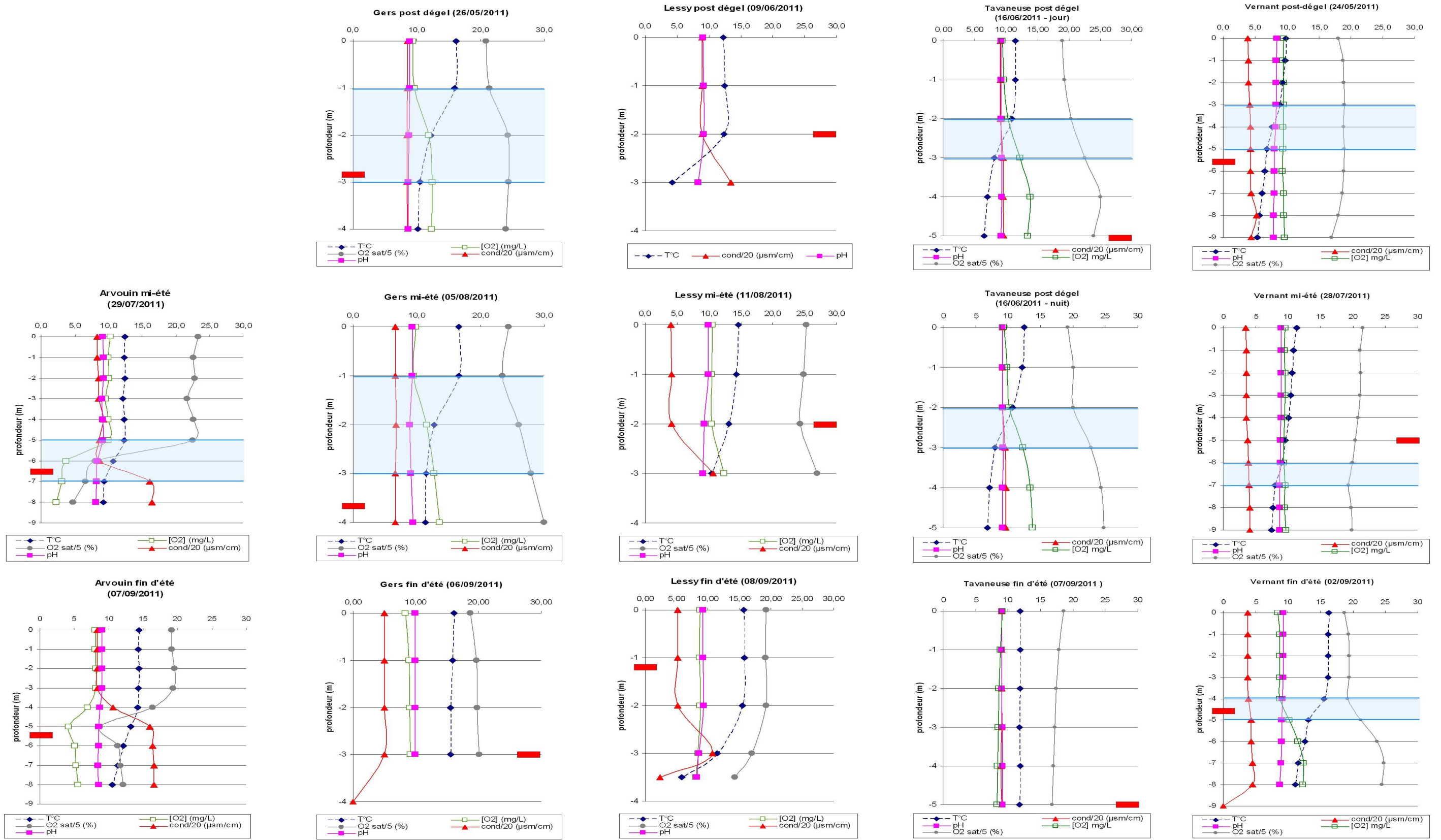


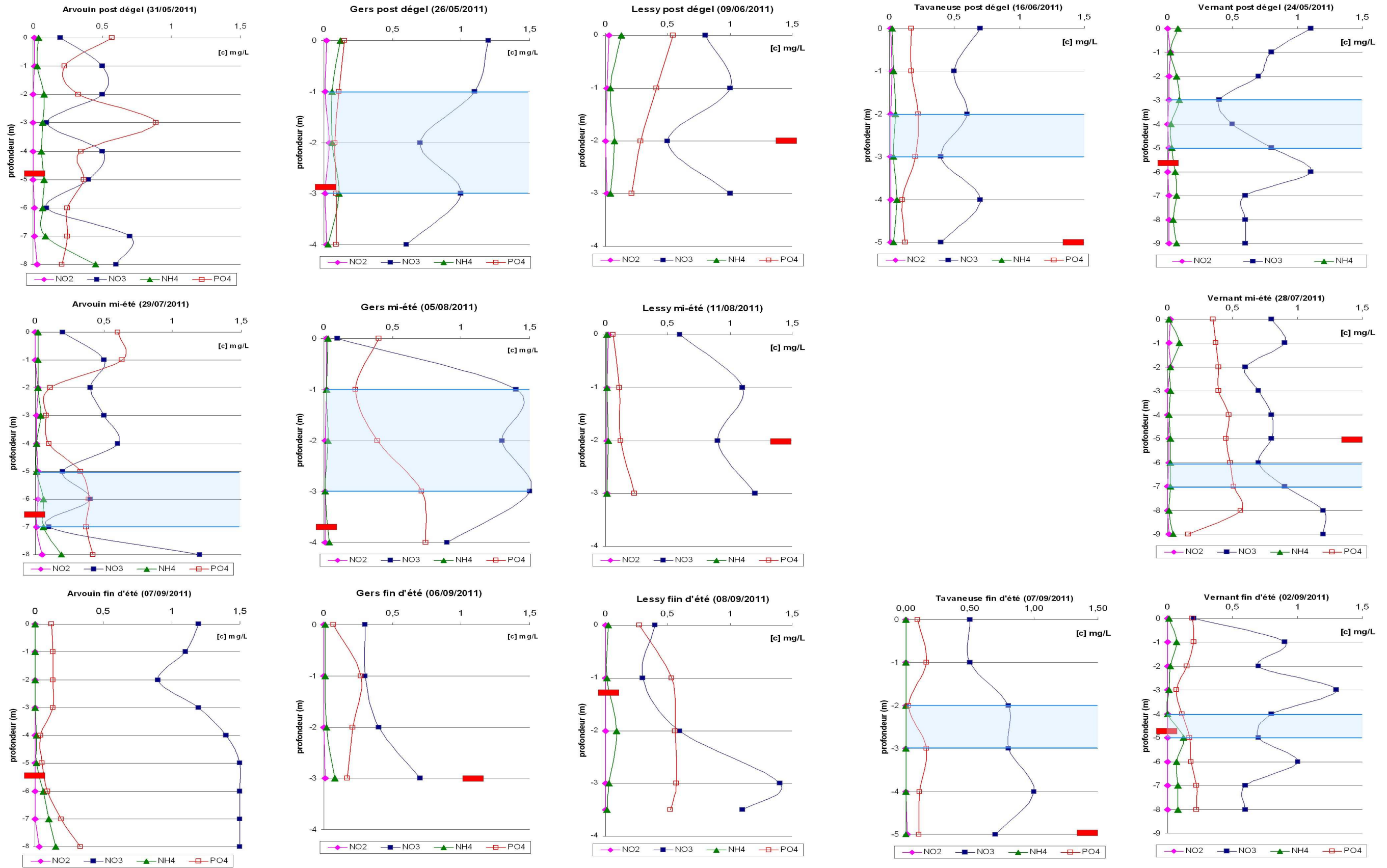
Figure III.6: Evolution spatiale des paramètres calcium et magnésium dans le lac de Vernant



Thermocline

Disque de secchi

Figure III.8: Présentation des paramètres physiques relevés sur les 5 lacs étudiés



Thermocline Disque de secchi

Figure III.9: Présentation des paramètres chimiques des 5 lacs étudiés

i. Thermie lacustre en continu

Le détail des variations de températures au cours des périodes prospectées est visible en Annexes 12; 13; 14; 15; 16. Pour tous les lacs, les maximas sont relevés durant le mois d'Août. Nous noterons aussi que pour les lacs de Tavaneuse et de Vernant, le relevé des sondes thermiques est tombé durant la période des 30 jours consécutifs les plus chauds.

À l'observation des quelques descripteurs thermiques synthétiques (Tab. III.4), la température des couches superficielles des 5 lacs étudiés semblent légèrement influencée par un gradient altitudinale. En effet, les moyennes thermiques et les Tmm30 les plus faibles sont relevées sur les lacs les plus élevés (Tavaneuse (1804m) et Vernant (1833m)).

Tableau III.4: Descripteurs thermiques en continue des 5 lacs étudiés à 1m de profondeur

Thermie (°C)	<u>Arvouin</u>	<u>Gers</u>	<u>Lessy</u>	<u>Tavaneuse</u>	<u>Vernant</u>
<i>Période de suivi</i>	01/06/11 - 06/09/11	27/05/11 - 05/09/11	10/06/11 - 07/09/11	16/06/11 - 06/09/11	25/05/11 - 01/09/11
Moyenne	15,6	15,35	16,02	13,02	13,73
Amplitude	10,1	10,5	10,9	10,8	11,4
Minimale	10,7	10,6	11,1	8,2	9,4
Maximale	20,8	21,1	22	19	20,8
Tmm30	16,44	17,24	17,39	14,23	15,83
Date Tmm30	05/08/11 - 03/09/11	05/08/11 - 03/09/11	05/08/11 - 03/09/11	08/08/11 - 06/09/11	03/08/11 - 01/09/11

L'amplitude de température ainsi que les minis et maxis sont assez homogènes entre les lacs et apparaissent élevées pour des systèmes de montagne. Il semblerait que cela soit dû à l'influence de la météorologie particulière du printemps 2011, compte tenu du caractère ponctuel de nos données thermiques (3 à 4 mois sur une année). En effet, l'enneigement durant l'hiver 2010 a été très faible tandis que le printemps 2011 a été très chaud. De ce fait, les lacs ont dégelés très tôt dans la saison et ont connu un déficit hydrique par rapport à une année standard.

Outre l'altitude, les différences notables entre les descripteurs thermiques sont la conséquence des caractéristiques propres à chaque lac.

Ainsi, en raison de son orientation Nord et de la clarté de ses fonds, Tavaneuse est le plan d'eau le plus froid. À Vernant, l'exposition Est-Ouest du plan d'eau ainsi que ses fonds sombres permettent un réchauffement légèrement plus important de l'eau de surface malgré une altitude similaire à Tavaneuse et la présence de tributaires d'origines mixtes (nival et souterrain) faisant office de tampon. Néanmoins leur assèchement progressif en été, limite cette fonction puisque sur quatre afférences, une seule reste en eau. À noter que durant 97% du temps, la température de surface est restée inférieure à 19°C.

Avec une moyenne de 15,6°C, la thermie de surface du lac d'Arvouin est élevée et s'explique par l'orientation plein Sud du système, par la présence de fonds sombres et l'absence d'afférences de gabarit important. Le seul tributaire d'apparence permanente, d'origine souterraine et de faible gabarit, n'est pas suffisant pour tamponner le réchauffement des eaux du lac.

Les eaux de surface du lac de Gers sont aussi relativement chaudes malgré l'orientation Nord du système et le renouvellement rapide des eaux. Ceci s'explique sans doute par l'absence de tributaires permanents et par la baisse conséquente du niveau d'eau dès la mi-été. À noter aussi que durant 92% du temps de prospection, la température est restée inférieure à 19°C.

À Lessy, les eaux de surface du lac sont les plus chaudes relevées. Bien que tamponnée par

un torrent encore en eau en été et d'origine souterraine, les fonds sombres, la variation du niveau d'eau et la bonne exposition du lac sont les causes de ce réchauffement important. Dès lors, la Tmm30 se révèle très élevée pour un lac de montagne (17,39°C). Malgré cela, la température en surface est restée inférieure à 19°C durant 87% du temps de suivi.

ii. Physico-chimie des systèmes étudiés

Les 5 lacs étudiés ont fait l'objet d'une campagne de mesures ponctuelles sur l'ensemble de la colonne d'eau à 3 périodes durant la saison estivale: une première fois trois semaines maximum après le dégel total des eaux des lacs (mai-juin suivant les systèmes); une seconde en milieu d'été (fin juillet-début août) et une dernière en fin d'été (début septembre). De plus, des relevés ont aussi été effectués dans les vecteurs fluviaux qui constituent des moyens d'apports et d'exports de flux d'eau, de matières et de thermie au système lacustre. Il convient donc de les prendre en compte pour appréhender et comprendre la dynamique du métabolisme lacustre.

• Lac d'Arvouin

Les afférences:

Les deux afférences se révèlent être des vecteurs de nitrates et d'orthophosphates pour les eaux du lac en début d'été (Tab. III.5) ce qui apparaît logique puisque le lessivage à cette période est important. Dans une moindre mesure, le même constat peut être fait pour le tributaire encore en eau en Août (Tributaire 1, bras 1), mais cette fois-ci l'origine des éléments semble devoir être imputée à la présence de bovins.

L'afférence pérenne présente une thermie inférieure de 5°C en moyenne (origine souterraine) par rapport aux eaux de surface du lac ce qui en fait un vecteur d'eau froide. Mais sa petite taille rend cette fonction presque négligeable.

Tableau III.5: Paramètres physico-chimiques des vecteurs du lac d'Arvouin.

	Dates	NO ₂ -	NO ₃ -	NH ₄ ⁺	PO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺
Tributaire 1 bras 1	31/05/2011	0,01	0,5	0,06	0,78	33,1	6,3
	02/08/2011	0,01	0,9	0,05	0,3	22	2,3
Tributaire 1 bras 2	31/05/2011	0,01	0,2	0,02	0,67	31,2	3,1
Tributaire 2	31/05/2011	0	0,4	0,05	0,39	34,5	5,2
Exutoire	31/05/2011	0	0,4	0,03	0,44	26,5	3,2
	02/08/2011	0,01	0,7	0,01	0,34	6	3,1

Le système lacustre

La campagne suivant la période de dégel n'a pu être réalisée pour les paramètres température, oxygène (concentration et saturation), pH et conductivité à cause de problèmes avec la sonde enregistreuse.

Les températures du lac apparaissent fraîches et homogènes en surface (5 premiers mètres) en milieu d'été puis elles passent sous les 10°C en zone profonde (Fig. III.8). La très légère stratification est imputable aux réchauffement des eaux de surface et au brassage par le vent qui n'influence pas les couches profondes. A la fin de l'été, le même phénomène est visible avec globalement un réchauffement de toute la colonne d'eau.

Des différences de concentrations et de saturation en O₂ apparaissent selon le même profil que la thermie. L'oxygénation des couches de surface est très bonne et homogène (brassage par le

vent) et à partir de la « thermocline », la concentration et la saturation chutent fortement avec l'apparition d'un phénomène d'hypoxie en zone profonde. Les conditions pour la vie (notamment salmonicole) deviennent alors très limitantes. Le lac se situant sur un ancien marais ennoyé et étant riche en végétation, la consommation de l'oxygène en profondeur est sans doute due à l'activité bactérienne hétérotrophe (dégradation de la matière organique). Les variations de concentrations et de saturation observées entre les deux périodes peuvent s'expliquer par les horaires différents d'échantillonnage (fin de matinée à la mi-estivale, fin d'après-midi à la fin d'été).

Les eaux du lac sont globalement basiques et le profil du pH est similaire à ceux de la température et de l'oxygène, avec une diminution en profondeur. En effet, l'hypoxie observée dans les strates profondes provoque des conditions réductrices dont la conséquence est la baisse du pH.

Le lac d'Arvouin apparaît bien minéralisé avec une conductivité importante comprise entre 227 et 244 μ S/cm sur les deux périodes échantillonnées. Toutefois, ces valeurs sont à relativiser. En effet, comme pour les paramètres précédents, la conductivité apparaît moyenne et homogène sur les 5 premiers mètres puis augmente très sensiblement avec la profondeur pour pratiquement doubler. Encore une fois, cette hausse importante est à relier avec les conditions hypoxiques et réductrices de la strate profonde qui provoquent un relargage d'éléments minéraux. La conductivité modérée relevée en surface traduit des apports allochtones non négligeables au système par le bassin-versant essentiellement calcaire.

La turbidité des eaux est variable dans le temps. Ainsi les eaux apparaissent troubles en période post-dégel (Secchi de 4,9m) à cause des lessivages couplés à un bloom de l'activité phytoplanctonique. Les eaux deviennent plus claires à la mi-été lorsque le lessivage des sols est moins marqué. En fin d'été, la clarté de l'eau diminue, probablement en lien avec les importants développements phytoplanctoniques que connaît encore le lac.

Les teneurs en différents éléments azotés apparaissent normales et sont bien assimilées par le métabolisme lacustre, excepté en zone profonde (Fig. III.9). En effet, les conditions hypoxiques et réductrices perturbent le cycle de l'azote, particulièrement visible à la période post dégel. Avec la reprise de l'activité biologique, les teneurs en ammonium, nitrites et nitrates diminuent sans disparaître. À la fin de l'été, les concentrations en nitrates deviennent plus élevées dans la masse d'eau du fait d'une consommation moindre par la végétation (début de dégradation des herbiers).

Les teneurs en orthophosphates sont caractéristiques d'un milieu à forte productivité. Le lessivage des sols est la principale source en phosphates en début de saison. L'apparition de bovins à la mi-été est aussi une source d'apports au lac. Les orthophosphates sont l'élément limitant de la végétation; ainsi lorsqu'ils sont présents, les éléments azotés sont consommés et leurs concentrations diminuent sensiblement., et lorsqu'ils sont pratiquement absents (fin de saison), les teneurs en azote (nitrates notamment) s'élèvent puisqu'elles ne peuvent plus être mobilisées. Comme pour les éléments azotés, les concentrations sont plus élevées dans l'hypolimnion (relargage, non consommation).

Les données calcium (entre 35 et 45mg/l) et magnésium (entre 1,5 et 12,5mg/l) sont typiques des zones amonts des régions calcaires (Fig.III.5) , et correspondent aux valeurs relevées antérieurement [Sesiano, 1993].

En résumé, le lac d'Arvouin apparaît comme un système mésotrophe. En effet, les apports du bassin-versant, notamment à la fonte des neiges, enrichissent le milieu mais sont bien mobilisés par l'activité biologique et notamment par la végétation aquatique qui n'apparaît jamais comme limitante pour le milieu. Enfin, en zone profonde, la matière organique en excès est dégradée, occasionnant un phénomène d'hypoxie. Cependant, ce type de fonctionnement semble naturel. Enfin, il serait intéressant d'avoir, à la période post dégel, un profil de la thermie et de l'oxygénation pour avoir un aperçu global. Et une colonne d'eau sous la glace serait aussi recommandée afin d'observer l'évolution de la dégradation des herbiers en conditions hivernales.

L'exutoire

Les eaux de l'exutoire, sont par contre, proches thermiquement de celles du lac en surface (Fig. III.8 et III.10), ce qui n'est pas surprenant puisqu'il est justement alimenté par ces eaux. Au niveau de l'oxygénation, les eaux du tributaire et de l'exutoire sont similaires (environ 9mg/l pour 100% de saturation) et restent légèrement en-deçà des eaux de surface du plan d'eau. Une très nette différence apparaît par contre concernant la conductivité où l'afférence est deux fois plus minéralisée que le lac et l'exutoire (apports du bassin-versant).

Par contre, les eaux de l'exutoire sont plus pauvres en éléments (Tab. III.5) que les eaux de surface du lac, que se soit en période post dégel ou en période estivale. Ainsi le lac joue le rôle de « puits » de rétention.

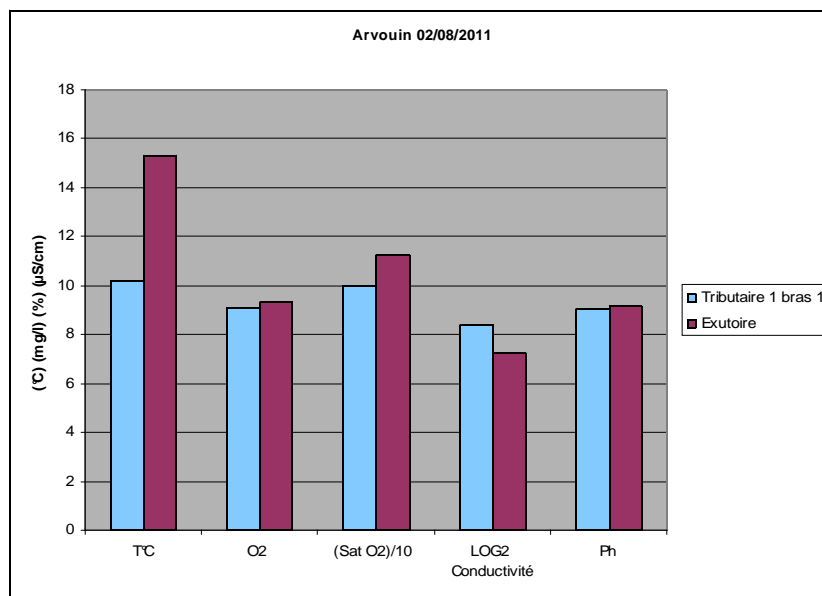


Figure III.10: Paramètres mésologiques des vecteurs fluviaux du lac d'Arvouin le 02/08/2011

• Lac de Gers

Le lac de Gers est un système peu profond qui connaît de fortes variations de son niveau d'eau. À la période post-dégel et à la mi-été, le lac se trouvait en pleine eau (+/- 30cm). À la fin de l'été, le niveau d'eau avait considérablement diminué et la surface du lac ne représentait plus qu'un tiers de sa surface en pleine eau. L'interprétation des données physico-chimiques se fera donc en conséquence.

Les températures de surface du lac apparaissent élevées et homogènes dans le temps et sont sans doute sous l'influence du vent (Fig. III.8). Seule la zone profonde présente une thermie plus basse en début de saison (pas de brassage sans doute dû à la hauteur d'eau et à la présence d'herbiers). À la baisse du volume d'eau en fin d'été, le vent est capable de brasser et donc d'homogénéiser toute la colonne qui présente alors des températures plus élevées.

Le lac demeure très bien oxygéné durant toute la saison (Fig. III.8). Le vent (en surface) et l'activité photosynthétique (en surface et au fond) font varier quelque peu les paramètres oxygènes, mais ces derniers restent globalement homogènes. En fin de saison, la légère baisse de l'oxygénation peut être imputable à la dégradation de la matière organique accumulée, qui prend le pas sur l'activité photosynthétique.

Les eaux du lac sont basiques et le pH tend à augmenter durant la période estivale sous l'impulsion de l'activité photosynthétique pour atteindre une valeur très élevée (9,9) en fin de l'été.

L'eau apparaît globalement moyennement minéralisée et traduit des apports modérés au système. Les plus fortes valeurs de conductivité sont relevées à la période post-dégel, suivant la

fonte des neiges (lessivage). La conductivité diminue ensuite progressivement jusqu'à la fin de l'été, les éléments minéraux étant mobilisés par la végétation.

La turbidité est forte en période post-dégel à cause du lessivage et de la reprise de l'activité phytoplanctonique. Ensuite, la clarté de l'eau augmente au cours de l'été (dépôt des MES) puis, conséquemment à la baisse du volume d'eau du lac en fin d'été, le Secchi atteint le fond (profondeur maximale de 3m)

Les apports d'éléments par l'eau de fonte plus importants en période post-dégel se traduisent par des concentrations plus élevées en azote, notamment en surface (nitrates et ammonium) (Fig. III.9). Cet élément est ensuite bien assimilé par le métabolisme lacustre. À la mi-été, l'azote est surtout représenté sous forme de nitrates, et les concentrations tendent à s'homogénéiser sur toute la hauteur d'eau. En fin d'été, les teneurs azotées demeurent très faibles, l'élément étant sans doute stocké dans la végétation.

Les concentrations en orthophosphates apparaissent faibles en période de fonte et peuvent être limitantes pour la végétation. Elles connaissent un pic à la mi-été corrélées avec l'apparition des bovins au sud du lac (Fig. III.9). La productivité du lac apparaît donc moyenne.

Comme pour les autres paramètres chimiques, les données calcium et magnésium sont élevées à la fonte des neiges (lessivage) puis sont ensuite mobilisées par la végétation. Elles demeurent dans la gamme des zones amonts des régions calcaires (Fig. III.4).

Au final, le lac de Gers peut être qualifié de milieu mésotrophe. Le fonctionnement du plan d'eau demeure sous l'influence marquée du vent et de son herbier, phénomène amplifié par la faible profondeur moyenne et les importants marnages auquel est soumis le système lacustre.

• Lac de Lessy

L'afférence

À Lessy, sur les trois tributaires répertoriés, un seul est encore en eau durant la saison estivale. Il n'y a pas d'exutoire (pertes sous lacustres).

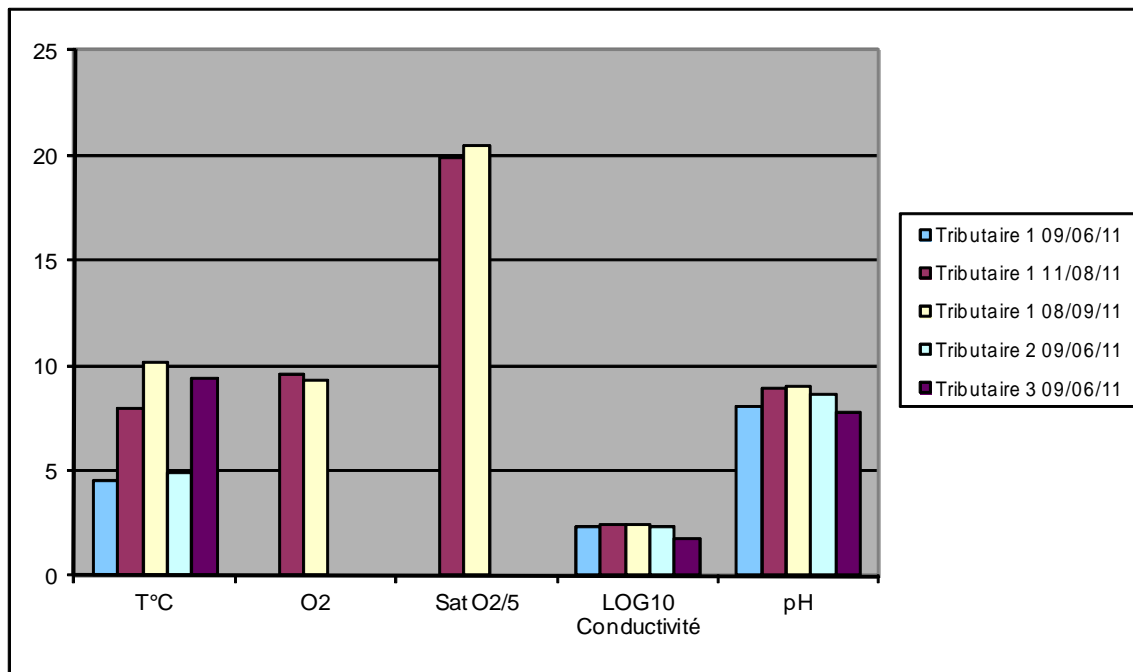


Figure III.11: Paramètres mésologiques des tributaires du lac de Lessy

À la période post dégel, les températures des deux premières afférences (tributaires 1 et 2) sont très froides (4,5°C et 4,9°C avec respectivement une origine souterraine et des névés) (Fig.

III.11). Leur conductivité est très légèrement supérieure à celle du lac, et révèle une minéralisation assez élevée (apports par le bassin-versant). L'eau y est basique. Le tributaire 3 constitue un système particulier: il se rapproche plus d'un petit milieu stagnant temporaire que réellement d'un cours d'eau; de ce fait l'absence de courant provoque le réchauffement de la lame d'eau, une hausse de la conductivité et une baisse du pH. En été, le torrent encore en eau (tributaire 1) se réchauffe mais sa température reste toujours en deçà de celle de l'eau de surface du lac et présente une très bonne oxygénation stable dans le temps.

La principale forme de l'azote visible dans les vecteurs fluviaux du lac de Lessy sont les nitrates avec toutefois des concentrations quantitativement faibles (Tab. III.6). Les teneurs les plus élevées sont relevées en début de saison, à la suite de la fonte des neiges. Compte tenu de la faible distance à la source, ces concentrations peuvent être considérées comme importantes.

Tableau III.6: Paramètres physico-chimiques des tributaires du lac de Lessy.

station	Date	NO ₂ -	NO ₃ -	NH ₄ ⁺	PO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺
Tributaire 1	09/06/2011	< seuil	1,8	0,13	0,21	35,5	3,4
	11/08/2011	0,01	1,2	0,01	0,47	75	2,5
	08/09/2011	0	0,8	0,2	0,2	38	/
Tributaire 2	09/06/2011	< seuil	0,9	0,03	0,16	36	0,6
Tributaire 3	09/06/2011	0,02	0,8	0,06	0,1	40,1	2,2

Les autres formes de l'azote présentent des teneurs très faibles (nitrites) à fortes (ammonium). Les concentrations en ammonium font état d'un léger dysfonctionnement du cycle de l'azote en début et en fin de saison. Les concentrations en phosphates sont aussi très importantes pour ce type de milieu, en particulier dans le tributaire 1 en milieu d'été. D'ailleurs, le recouvrement algale sur le lac demeure très important au niveau de l'arrivée d'eau de cette afférence. Il apparaît donc que les afférences du lac, bien que de petites tailles, soient des vecteurs thermiques importants (eau froide) et contribuent à l'enrichissement du lac en éléments minéraux provenant du bassin-versant.

Le système lacustre

La campagne suivant la période de dégel n'a pu être réalisée pour les paramètres oxygènes (concentration et saturation) à cause de problèmes avec la sonde enregistreuse.

La thermie du lac est moyenne en surface sur les deux premiers mètres et froide en profondeur à la période post dégel (Fig. III.8). Les températures se réchauffent en été mais le schéma reste le même avec une zone profonde toujours nettement plus froide que la surface sans stratification visible. Le vent joue donc un rôle important dans la régulation thermique de la masse d'eau et notamment des couches de surface.

La colonne d'eau apparaît très bien oxygénée quelque soit la période (Fig. III.8). Les eaux de surface sont sursaturées en O₂ en raison du brassage par le vent et d'un fort développement algale. La zone profonde présente, quant à elle, une sursaturation plus prononcée (jusqu'à 135%) imputable à l'activité photosynthétique de l'herbier qui est bien développé jusqu'au fond du lac et qui contribue à la réoxygénation par le fond de la masse d'eau. En fin d'été, l'oxygène tend à diminuer tout comme la saturation en O₂ du fait de la hausse de la dégradation de la matière organique, notamment en profondeur (algues).

Le pH de l'eau est basique et homogène dans l'espace avec toutefois une légère diminution au point le plus profond du fait de la décomposition de la matière organique. À la mi-été, sous l'action de l'activité photosynthétique (algues et herbier), il s'approche de 10. À la fin de l'été, les algues commencent à se décomposer, l'activité photosynthétique diminue globalement et le pH

baisse en conséquence. L'analyse des données pH doit cependant être relativisée, car ce paramètre peut varier très rapidement dans ce type de milieu peu profond et très peu tamponné en fonction de l'ensoleillement [Winiarski 2000].

La conductivité est plus élevée en début de saison (lessivage des sols en lien avec la fonte des neiges) puis diminue au cours de l'été. Elle traduit à Lessy des apports modérés. Toutefois, la minéralisation demeure très importante au fond du plan d'eau, sous l'effet de la dégradation de la matière organique.

Les valeurs de Secchi relevées sur le lac sont très faibles, traduisant une activité phytoplanctonique bien développée qui s'accroît en fin d'été.

Les apports azotés sont plus importants en période post-dégel mais sont bien assimilés tout au long de la saison par le métabolisme lacustre (Fig. III.9). La dégradation de la matière organique provoque la formation de nitrates en zone profonde, particulièrement visible à la fin de l'été.

Un pic en orthophosphates est observé en surface à la période post dégel lorsque le lessivage est le plus important. Les phosphates sont ensuite bien assimilés par le système. Durant l'été, les phosphates demeurent disponibles dans toute la masse d'eau et ne sont donc jamais limitants au développement de la végétation. Une hausse des concentrations globales s'observe en fin de saison, à la dégradation des algues qui remet à disposition une fraction de cet élément. Des apports diffus par le bassin-versant peuvent aussi être suspectés.

En résumé, le lac de Lessy est un milieu productif, mésotrophe. La faible profondeur du système fait que le vent influence la masse d'eau par brassage même si la zone profonde reste peu affectée par ce phénomène. Les apports, sans doute excessifs de par la présence en grand nombre d'ovins et de caprins, enrichissent fortement le milieu, souligné par le développement des algues et provoquent un léger dysfonctionnement trophique (visible en profondeur). La légère baisse de l'oxygénation qui en résulte n'est cependant pas préjudiciable à la faune piscicole.

• Lac de Tavaneuse

Les afférences

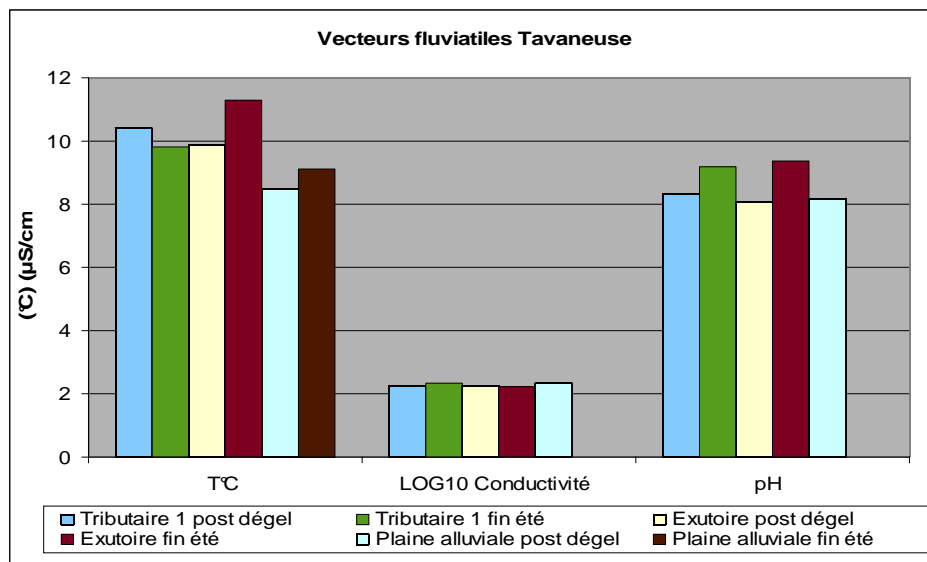


Figure III.12: Paramètres mésologiques des vecteurs fluviaux du lac de Tavaneuse le 15/06/11

À la période post dégel, le tributaire principal du lac est déconnecté sur 50m environ du système. Il apparaît froid (1°C inférieure aux eaux de surface), moyennement minéralisé et ses eaux sont basiques (Fig. III.12). Le tributaire coulant dans la plaine alluviale présente quant à lui un gabarit beaucoup plus petit. Il s'agit d'une exurgence; de ce fait, sa température est beaucoup plus froide ($8,5^{\circ}\text{C}$) tandis que sa conductivité et son pH sont semblables au tributaire principal. Ces deux afférences ont des concentrations en matières azotées très faibles, dominées par les nitrates (Tab. III.7). Les teneurs en orthophosphates sont aussi faibles mais dénotent tout de même des apports.

À la fin de l'été, les eaux, bien qu'encore froides, se sont réchauffées sauf pour le tributaire principal (-0,4°C). Ce dernier est bien oxygéné, tout comme la plaine alluviale. Les eaux restent toujours moyennement minéralisées et basiques. D'ailleurs le pH augmente sans doute avec le développement de l'activité photosynthétique. L'azote n'est représenté dans ces vecteurs que par les nitrates, et ce à des concentrations nettement supérieures à la période post-dégel mais quantitativement toujours très faibles (III.7). Les teneurs en orthophosphates sont aussi nettement plus élevées qu'à la première période de prélèvement et sont moins limitantes. Il y a donc eu des apports diffus au système (ovins).

Globalement, la plaine alluviale (et le tributaire lorsqu'il est connecté) contribue aux flux thermiques (refroidissement), aux flux de matières (azote, phosphates, calcium, magnésium) et aux flux d'eau vis-à-vis du lac.

Le système lacustre

Compte-tenu des difficultés d'accès au site, seules deux campagnes de prélèvements ont eu lieu, l'une après le dégel du lac et l'autre en fin d'été.

La campagne suivant la période de dégel pour les paramètres température, oxygène (concentration et saturation), pH et conductivité a été réalisée de jour et de nuit. Pour les autres paramètres, les prélèvements ont été faits de jour.

Aucune différence n'est constatée pour les paramètres mesurés entre le jour et la nuit (Fig. III.8).

À la première période de mesure, une thermocline peu marquée apparaît entre 2 et 3m.. En fin d'été, la thermie est homogène sur toute la colonne d'eau, le brassage par le vent ayant homogénéisé toute la masse d'eau

La colonne d'eau est bien oxygénée sur toute sa hauteur du début à la fin de l'été. En période post dégel, la strate profonde est mieux oxygénée que la surface et présente une sursaturation probablement due à l'activité photosynthétique.

Le pH est basique et reste très stable dans l'espace et dans le temps. La nature géologique calcaire du bassin-versant explique les valeurs relevées .

Les apports modérés du bassin-versant se traduisent par une conductivité légèrement élevée. L'évolution entre la période post-dégel et la fin de l'été est minime.

Les eaux sont très claires avec peu de particules en suspension puisque le Secchi atteint le fond du lac (5,9m) durant toute la saison estivale, les développements phytoplanctoniques semblent modérés.

Les teneurs en azote (nitrites, nitrates, ammonium) sont très faibles reflétant une productivité moyenne et un très bon fonctionnement du métabolisme lacustre.

Bien que les concentrations en orthophosphates soient aussi faibles, elles sont supérieures aux concentrations que l'on pourrait attendre d'un tel milieu et expliquent en partie la présence d'herbiers. Des apports diffus par le bassin-versant, notamment à cause de la présence d'ovins, peuvent être suspectés. Les concentrations sont moins importantes à la fin de l'été par rapport à la période post-dégel (consommation par la végétation aquatique).

Les concentrations en calcium et magnésium sont représentatives du contexte calcaire du milieu (Fig.III.7).

Le système apparaît donc modérément oligotrophe, et le peu d'apports allochtones semble bien assimilé par le métabolisme lacustre.

L'exutoire:

L'exutoire demeure quant à lui proche thermiquement et chimiquement des eaux de surface du lac et donc apparaît plus riche en éléments que les tributaires. De ce fait, la végétation y est présente et développée. Les teneurs en nitrates y sont par contre plus faibles tout comme celles en calcium. Ceci résulte sans doute du développement de la végétation et des algues, consommateurs de ces éléments. Le lac n'apparaît pas jouer le rôle de « puits » d'éléments.

Tableau III.7: Paramètres chimiques des vecteurs fluviatiles du lac de Tavaneuse.

station	Date	NO ₂ -	NO ₃ -	NH ₄ ⁺	PO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺
Tributaire 1	16/06/2011	0	0,2	0,01	0,17	52	11,2
	07/09/2011	0	0,8	0	0,28	57	/
Tributaire 2	16/06/2011	0	0,1	0,02	0,13	44	11,5
Exutoire	16/06/2011	0,01	0,3	0,05	0,18	28	9,2
	07/09/2011	0	1,1	0	0,26	44	/

• Lac de Vernant

Les afférences

Lors de la première période de prélèvements, quatre tributaires étaient en eau alors que seules 2 afférences l'étaient encore en fin d'été. Néanmoins, l'une des deux afférence (tributaire 4) alterne les périodes en eau et les périodes sans eau. C'était par exemple le cas le 02/09/11 où seuls le tributaire 3 coulait. Globalement les eaux du bassin-versant du lac de Vernant sont fraîches, peu minéralisées et basiques. L'afférence 4 se distingue à la mi-été des deux autres vecteurs par une température élevée (15,7°C), une teneur en O₂ plus faible et une conductivité plus forte (Fig. III.13). Le même cas de figure se présente pour le tributaire 3 encore en eau à la fin de l'été. Il s'agit des signes caractérisant un cours d'eau qui s'assèche.

Les données chimiques (Tab. III.8) sont similaires entre les vecteurs fluviatiles avec des eaux globalement oligo-mésotrophes. Les tributaires sont donc des vecteurs d'eau, de thermie et dans une moindre mesure d'éléments minéraux pour le système lacustre.

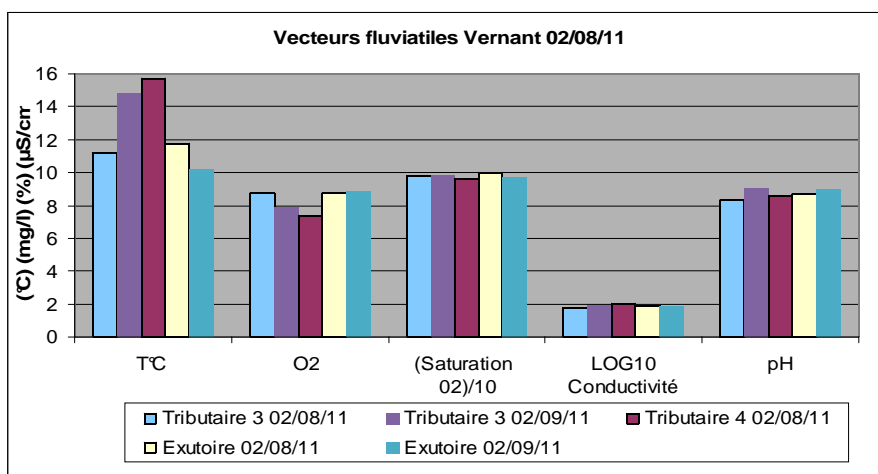


Figure III.13: Paramètres mésologiques des vecteurs fluviatiles du lac de Vernant

Le système lacustre

Le lac se trouve à son niveau d'eau le plus bas à la fin de l'été (30 à 40cm en moins par rapport au niveau le plus haut constaté). Le système ne sur-verse plus à cette époque par la tour déversoir et n'alimente plus directement son exutoire.

En période post-dégel, les températures sont fraîches en surface et froides en profondeur avec présence d'une thermocline très peu marquée (Fig. III.8). Durant l'été, la colonne d'eau se réchauffe avec toujours présence d'une très légère thermocline et des couches supérieures brassées par le vent.

Les teneurs en oxygène sont homogènes sur toute la colonne d'eau et sont bonnes (Fig. III.8). Il en est de même pour la saturation. Une petite réoxygénation de la zone profonde s'observe à la fin de l'été accompagnée d'une sursaturation.

Les eaux sont légèrement basiques en début d'été puis le pH augmente (activité photosynthétique). Alors qu'il demeure très stable à la période post-dégel, le pH passe de 9,2 en surface à 8,7 dans la zone profonde à la fin de l'été sous l'influence de la dégradation de la matière organique.

La minéralisation de l'eau est peu marquée, les apports au système étant peu importants. La conductivité reste stable dans le temps. Elle augmente légèrement à l'approche du substrat.

Les eaux sont transparentes permettant une bonne pénétration de la lumière. La turbidité augmente légèrement durant l'été et traduit une activité phytoplanctonique modérée.

Les concentrations azotées sont faibles sur la colonne d'eau (Fig. III.9). Les apports sont donc peu importants et bien assimilés par le métabolisme lacustre.

Les teneurs en phosphates traduisent une production moyenne (Fig. III.9). Ils demeurent disponibles dans toute la masse d'eau à la mi-été. Leurs concentrations diminuent à la fin de l'été.

Les valeurs en calcium et magnésium sont peu élevées et sont typiques d'une zone amont en sous influence calcaire (Fig. III.6).

Au final, le lac de Vernant apparaît comme oligo-mésotrophe et fonctionne parfaitement.

L'exutoire

L'exutoire demeure proche chimiquement des eaux de surface du lac. Néanmoins lorsqu'il n'est plus alimenté directement par les eaux du lac (fin d'été), il demeure toujours en eau. De plus, les paramètres (T°C, oxygénation, conductivité et pH) diffèrent significativement de ceux de la colonne du lac mais les eaux restent tout de même chimiquement proches. L'exutoire serait donc peut-être alimenté aussi par des arrivées souterraines (pertes sous-lacustres, exsurgence, etc.). Au final, le lac apparaît donc comme un faible « puits » de rétention en éléments.

Tableau III.8: Paramètres chimiques des vecteurs fluviaux du lac de Vernant.

Stations	Date	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	PO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺
Tributaire 1	24/05/2011	0	0,5	0,08	/	/	2,7
Tributaire 2	24/05/2011	0	0,5	0,29	/	/	1,3
Tributaire 3	24/05/2011	0	0,6	0,3	/	/	1,1
	02/08/2011	0,01	0,8	0,13	0,18	14	0,4
	02/09/2011	0	0,6	<seuil	0,27	11	/
Tributaire 4	24/05/2011	0	0,7	0,14	/	/	2,9
	02/08/2011	0,02	0,7	0,09	0,1	3	0,3
Exutoire	24/05/2011	0,02	0,3	0,051	/	/	3
	02/08/2011	0,01	1,3	< seuil	0,09	18	3,22
	02/09/2011	0	0,5	0,01	0,2	18	/

iii. Évaluation du degré de fonctionnalité piscicole des lacs:

Système	Période	Arvouin	Gers	Lessy	Tavaneuse	Vernant
Degré de dysfonctionnement	Mi-été	30,00%	25,00%	15,00%	10,00%	0,00%
	Fin été	30,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Tableau III.9: Taux de dysfonctionnement évalué sur les 5 lacs étudiés en période estivale

Les degrés de fonctionnalité des métabolismes lacustres ont été déduits d'après les paramètres oxygènes (concentration et saturation) relevés une fois qu'une stratification thermique a été constatée.

Le lac d'Arvouin présente un dysfonctionnement marqué en profondeur (Tab. III.9), ce qui a été déjà constaté avec les paramètres physico-chimiques (voir partie III/C/ii). La désoxygénation accompagnée d'une sous-saturation prononcée à partir de la thermocline est donc le signe d'une perturbation du métabolisme lacustre.

Les lacs de Gers, de Lessy et de Tavaneuse montrent les signes d'un dysfonctionnement (Tab.III.9) mais celui-ci est exclusivement dû à la présence de strates en zone profonde en sursaturation en O₂ à la mi-été. Ce phénomène disparaît à la fin de l'été.

Le lac de Vernant fonctionne parfaitement, quelque soit la période.

L'évaluation du degré de fonctionnalité piscicole apparaît donc limitée avec des lacs peu profonds qui ne sont pas toujours stratifiés thermiquement.

iv. Typologie et potentiel piscicole théorique

À partir des paramètres mésologiques relevés sur les 5 lac étudiés, les potentiels biologiques et piscicoles théoriques peuvent être approchés d'après la typologie mise en place par Degiorgi (2008) (voir Fig. II.10). Cette approche offre la possibilité de proposer, en l'absence de perturbations, un peuplement piscicole type fonction des caractéristiques propres à chaque lac (voir Tab. II.3). Les paramètres mésologiques utilisés sont ceux relevés en milieu d'été (fin Juillet/début Août) sauf pour le lac de Tavaneuse (Juin).

Les types mésologiques des 5 lacs étudiés ne sont pas typiques des lacs de montagne hormis pour Vernant (gamme 0 à 3). Ils correspondent plus à des lacs de moyenne altitude.

Avec un niveau mésologique important (respectivement 4,67, 4,92 et 5,25), les lacs de Lessy, d'Arvouin et de Gers présente une capacité biogène plutôt bonne. Avec une conductivité importante pour des systèmes de montagne, une Tmm30 élevée et une surface littorale développée (Arvouin et Lessy) à très développée (Gers), les plans d'eau peuvent accueillir 5 à 6 espèces (Fig. II.10). En l'absence de vecteurs fluviaux frayables, le peuplement recommandé est composé de Vairon, Loche, Omble chevalier et Cristivomer (Tab. II.3).

Le type théorique du lac de Tavaneuse est aussi élevé (4,82) mais pour des raisons différentes. Bien que les eaux soient relativement fraîches, elles demeurent bien minéralisée pour un système de montagne et la surface littorale demeure très développée. En conséquence, ce système est susceptible d'abriter 4 à 5 espèces (Fig. II.10), composé essentiellement par la Truite fario, l'Omble chevalier, le vairon et la loche (Tab. II.3) en raison de la présence d'afférences/efférences frayables.

Tableau III.10: Prédiction du type piscicole théorique à partir des paramètres mésologiques relevés en période estivale sur les 5 lacs étudiés

Système	<u>Arvouin</u>	<u>Gers</u>	<u>Lessy</u>	<u>Tavaneuse</u>	<u>Vernant</u>
Cond (µS/cm)	226,97	133,7	115,4	186,7	75,5
Tmm30 (°C)	16,44	17,24	17,39	14,23	15,83
Lit (%)	26,5	53,9	34,16	46,5	18,14
Tth	4,92	5,25	4,67	4,82	3,32

Le lac de Vernant, avec un type ichtyologique théorique de 3,32, est le lac le moins biogène des systèmes étudiés. Toutefois, la capacité d'accueil reste bonne pour un système de montagne avec une variété optimale de 3 à 4 espèces. Le peuplement préconisé est ainsi composé par la Truite fario (ou le Saumon de fontaine), l'Omble chevalier et le vairon suivant le caractère frayable ou non de l'afférence pérenne.

D. Compartiment du macrobenthos

i. Peuplements des zones littorales lacustres

Le nombre de placettes échantillonnées est fonction du périmètre de chaque lac. À Arvouin et Vernant, 8 placettes ont été prélevées, 9 à Gers et à Tavaneuse et 10 à Lessy. Les listes faunistiques sont présentes en annexe. La variété taxonomique apparaît faible sur tous les lacs (Fig.III.14) et peu homogène. Ainsi elle est à Gers (4) et à Lessy (8) extrêmement faible à faible. Pour les trois autres lacs, elles oscillent entre 11 et 14 taxons.

Les densités sont aussi assez hétérogènes d'un milieu à l'autre: comme pour la variété, la densité est extrêmement faible à Gers (113 ind/m²). Elle apparaît homogène à Lessy, Tavaneuse et Vernant (entre 883 et 1322 ind/m²) et élevée à Arvouin (3605 ind/m²).

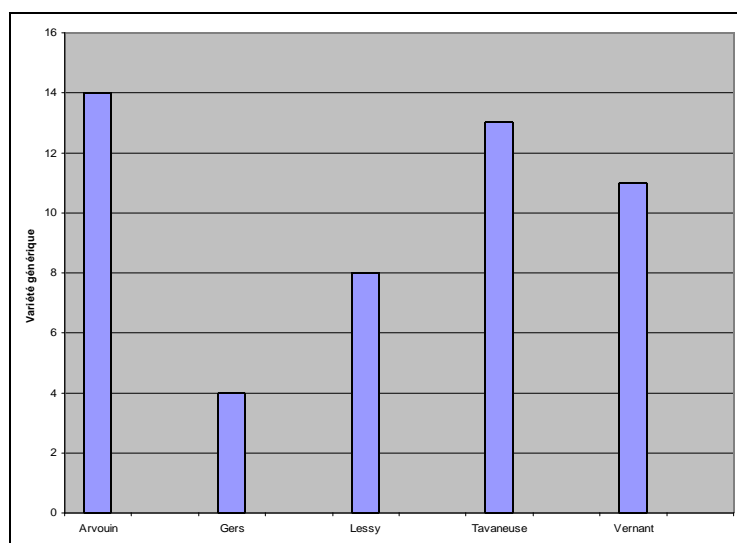


Figure III.14: Variété générique sur les 5 lacs étudiés

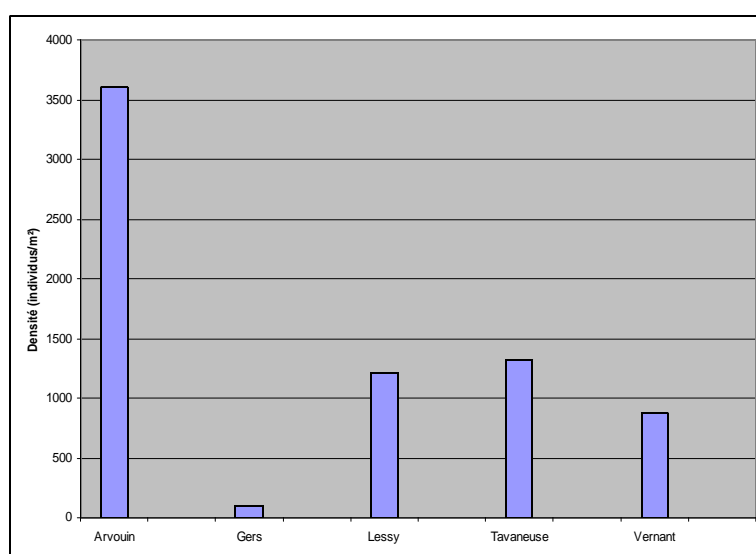


Figure III.15: Densité (ind/m²) sur les 5 lacs étudiés

Globalement, les diptères et les Oligochètes dominent très largement la faune macrobenthique des zone littorale des 5 lacs étudiés (Fig. III.16). Les Chironomidae représentent la plus forte proportion des diptères. Par contre, la proportion Chironomidae/Oligochètes est variable dans les zones littorales d'un lac à l'autre: elle est en faveur des premiers à Arvouin et Tavaneuse et des seconds dans les trois autres lacs. Les autres taxons sont bien représentés, toute proportion gardée, à Arvouin, Tavaneuse et Vernant.

Sur les 37 taxons observés seuls les Chironomii (Diptères Chironomidae) et les Oligochètes sont répertoriés sur l'ensemble des 5 lacs étudiés. Si l'on excepte la faune de la zone littorale du lac de Gers qui est un cas particulier (voir plus bas), la similitude porte sur 5 taxons (Chironomii, Tanytarsini, Orthocladiinae, Pisidium et Oligochètes). Or ces taxons sont aussi souvent les plus abondants. De ce fait, le peuplement benthique apparaît plutôt homogène. Les présences/absences des taxons marginaux peut ainsi être imputable à un biais d'échantillonnage où à un prélèvement dans une placette peu représentative du système et contenant des taxons ultra-spécialisés.

À Arvouin, les taxons saprophiles dominent très largement la faune littorale (98,6% de l'abondance totale). Et 74,1% des taxons récoltés proviennent des hydrophytes (2 placettes).

Les taxons non insectes sont représentés majoritairement par les Oligochètes (9,3%) et surtout par les gastéropodes dont *Planorbarius corneus* (Linnaeus, 1758) qui constitue à lui seul 21% de l'abondance totale récoltée. Ce taxon présente une forte affinité pour la végétation.

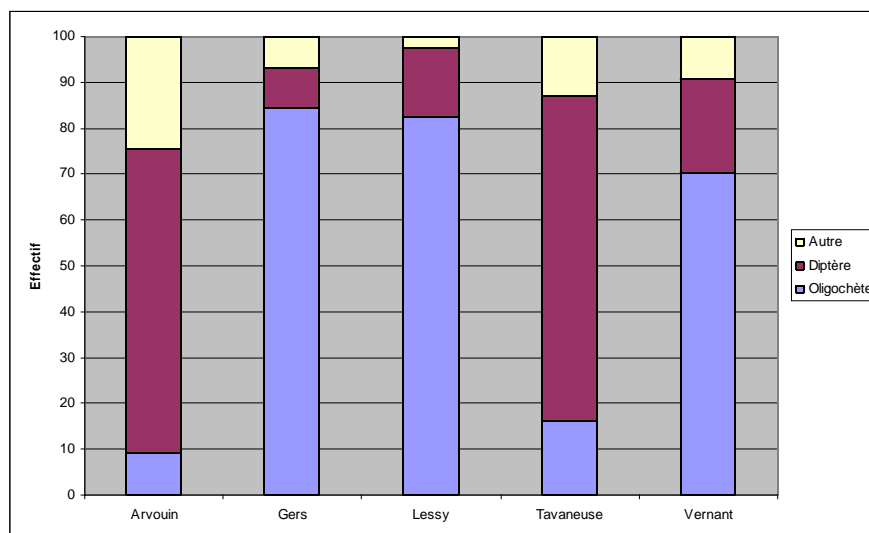


Figure III.16: Proportions des oligochètes, diptères et autres taxons dans la zone littorale des 5 lacs étudiés

Chez les insectes, la Chironomini constitue la quasi-totalité (96%) des Chironomidae tandis que les Orthocladiinae et les Tanypodinae sont très minoritaires. Parmi les autres insectes, les Plécoptères sont absents des prélèvements, tandis que les Epheméroptères, les Coléoptères et les Trichoptères ne sont représentés que par quelques individus. Deux genres seulement d'Epheméroptères sont ainsi répertoriés dont *Cloeon* exclusivement contacté dans les hydrophytes et *Baetis*. Trois espèces de Trichoptères sont observés: *Athripsodes atterimus* (Stephens, 1836), *Agrypnia varia* (Fabricius, 1793) et *Oligotrichia striata* (Milne, 1934). Ces espèces présentent aussi une forte affinité pour la végétation en milieu lentique.

L'étude des traits biologiques met en donc évidence quelques particularités du macrobenthos comme la forte affinité pour la végétation (habitat, alimentation, reproduction). La majorité des taxons ne sont pas caractéristiques des hautes altitudes et seulement 10% sont sténothermes d'eau froide. Enfin, les macroinvertébrés répertoriés sont plutôt caractéristiques d'un milieu mésotrophe.

La relative faiblesse de la communauté d'invertébrés en zone littorale du lac s'explique essentiellement par les conditions difficiles qui peuvent régner dans ce milieu montagnard. En conséquence, seuls des taxons adaptés ou généralistes s'y installent. Mais la bonne oxygénation de la zone littorale constitue un atout de choix par rapport à la désoxygénation de la zone profonde. De plus, la trophie prononcée du milieu permet l'apparition d'une végétation très développée ayant pour conséquence l'élargissement à un cortège d'espèces spécialisées qui y trouvent refuge. Les taxons épibenthiques (Epheméroptères, Plécoptères) et pétricoles (Plécoptères) ne trouvent par contre pas d'habitats véritablement favorables.

La communauté d'invertébrés en zone littorale du lac de Gers se révèle extrêmement pauvre et peu diversifiée. Seuls les Oligochètes ont une abondance supérieure à 7 individus et constituent pratiquement 85% du « peuplement ». Les Chironomidae ne sont représentés que par la tribu des Chironomini, et forment avec les Ceratopogonidae l'ensemble des Diptères. Deux individus de *Somatochlora metallica* (Odonates, Vander Linden, 1825) ont aussi été contactés. Il est, dès lors, difficile de tirer des conclusions d'après l'étude de l'édifice biologique. L'hypothèse la plus probable quant à la pauvreté de la zone littorale est la présence de marnages importants qui rendent cette zone très peu hospitalière pour la faune macrobenthique. Cependant, la variation du niveau d'eau peut aussi cacher d'autres phénomènes discriminatoires vis à vis du macrobenthos qu'il n'est actuellement pas possible d'identifier.

Dans la zone littorale du lac de Lessy, les Oligochètes présentent les effectifs les plus importants avec 82,7% de l'abondance totale. Viennent ensuite les Chironomidae (14,8%) dont les

Orthocladinae constituent la majorité, suivis par les Chironominae puis les Tanypodinae. Les autres taxons sont ultra-minoritaires. Les taxons saprophiles forment 98,2% des effectifs totaux alors que 78,4% des invertébrés ont été récoltés dans les matières fines déposées.

Les Ephéméroptères et les Plécoptères sont absents tandis que 2 genres sont représentés chez les Trichoptères (*Agrypnia varia*, *Limnephilus bipunctatus* (Curtis, 1834) qui présentent une affinité marquée pour la végétation en zone lentique) et 1 genre chez les coléoptères (*Haliplus*).

D'après l'étude des traits biologiques, l'alimentation préférentielle de la communauté d'invertébrés de la zone littorale est la végétation (broyeurs) avec tout de même la présence de détritivores et de prédateurs. Les taxons sont essentiellement eurythermes et caractéristiques d'un milieu mésotrophe.

La faiblesse de l'édifice benthique peut être imputée aux conditions d'habitats peu propices aux macroinvertébrés. En effet, les substrats présents sont souvent colmatés par les algues. Ainsi le peuplement en place est plutôt caractéristiques d'un milieu envégété (*Phryganeidae*) et surtout organique (*Oligochètes*, *Chironomidae*). Enfin, la présence de marnages (variation du niveau de 50 à 70 cm constatée lors de notre étude) limite aussi l'hospitalité de la zone littorale. À noter aussi que le lac de Lessy est sans doute un système à la recherche de son équilibre du fait des travaux récents au sein de la cuvette lacustre ce qui peut avoir des conséquences sur la communauté d'invertébrés benthiques.

La communauté macrobenthique de la zone littorale du lac de Tavaneuse est peu abondante et peu diversifiée. Les diptères et notamment les *Chironomidae* composent l'essentiel de cette communauté. Parmi ces derniers, les *Podominae* ne sont contactés qu'exclusivement dans les hydrophytes. Les herbiers, bien que peu représentés en zone littorale, sont un substrat très intéressant pour le macrobenthos. Ils renferment ainsi 6 taxons qui lui sont exclusifs tels que *Nemoura cinerea* (Retzius, 1783), *Limnephilus rhombicus* (Linnaeus, 1758) ou encore *Cloeon*, pour 21,1% de l'abondance totale.

Les plécoptères, éphéméroptères et trichoptères ne sont que peu représentés (respectivement par 2, 3 et 1 genre pour 7,38% de l'abondance totale). Les taxons non insectes ne forment que 18,46% du cortège d'espèces dont la majorité sont des oligochètes. La faible proportion de ces derniers est à mettre en relation avec le peu de matière organique observé dans la zone littorale. Malgré cela, 58,3% des taxons prélevés sont saprophiles et représentent 93,6% de l'abondance totale. D'ailleurs, 32,9% des taxons prélevés l'ont été dans les matières fines (1 placette). En effet, les fines minérales se trouvent souvent mélangées à d'autres substrats. C'est ainsi que l'on retrouve des *Limnephilidae* et des *Tabanidae*, affectionnant les matières fines et grossières déposées, dans des placettes autres que celle de matière organique (gravier, hydrophyte). Enfin, 42,5% des effectifs sont répertoriés dans les galets-graviers, ce qui n'est pas surprenant puisque la zone littorale est essentiellement minérale.

La faible abondance des invertébrés dans la zone littorale est à imputer au développement important du fond nu minéral et des blocs qui sont des habitats peu biogènes. La présence d'autres substrats, certes minoritaires (herbiers, galets-graviers, ect), permet tout de même une diversité de l'édifice benthique malgré l'oligotrophie du milieu.

À Vernant, les oligochètes constituent 70,25% du macrobenthos et les *Chironomidae* 15%. Les autres taxons sont ultra-minoritaires, et les plécoptères et éphéméroptères y sont absents.

La matière organique est très peu présente en zone littorale, pourtant elle contribue à 32,1% des taxons récoltés (1 placette). Les taxons saprophiles constituent 91,5% du peuplement. Les hydrophytes, formant 21,7% de la zone littorale, ne renferment que 7,1% de l'abondance totale; mais ils abritent 8 genres ce qui en fait l'habitat le plus diversifié. Le pôle habitationnel majeur reste le fond nu minéral (dalle) qui est très peu biogène vis à vis du macrobenthos.

Au final, l'oligo-mésotrophie du milieu est pénalisante pour la macrofaune benthique accentuée par la faible présence d'habitats très favorables. Cependant la dominance minérale en

zone littorale pourrait convenir à des taxons épibenthiques ou encore pétricoles, qui sont pourtant absents. La présence de marnages (prélèvements pour l'eau potable ou les canons à neige) peuvent diminuer l'hospitalité de la zone littorale. Enfin, l'artificialité du système peut aussi être une des causes des faibles abondances et du peu de diversité de la faune macrobenthique.

ii. Peuplements des vecteurs fluviatiles

L'exutoire d'Arvouin:

La station, localisée dès la sortie des eaux du lac après une petite chute, est située sur un tronçon dont la déclivité est peu prononcée: les vitesses de courants y sont généralement moyennes (dominées par la classe 25/75cm/s) mais des zones plus calmes sont tout de même présentes; 7 substrats y sont répertoriés avec une dominance des galets-graviers (substrat le plus biogène) mais aussi avec des zones de dépôts. Les apports organiques proviennent essentiellement du système lacustre même si ce dernier joue plutôt le rôle de « puits ». Les températures de l'eau y sont aussi tamponnées en raison de la proximité du lac (peu de taxons psychrosténothermes). Ainsi le caractère torrentiel du cours d'eau y est atténué.

	Arvouin	Lessy	Tavaneuse		Vernant	
	Exutoire	Tributaire	Tributaire	Exutoire	Tributaire	Exutoire
Nb placettes	12	8	8	12	8	12
IBGN	11	10	13	14	14	14
GI	Nemouridae (6)	Nemouridae (6)	Chloroperlidae (9)	Odontoceridae (8)	Perlodidae (9)	Perlodidae (9)
Variété familiale	17	17	16	21	19	20
Robustesse	7	5	11	13	12	13
Var substrats	7	5	3	9	4	5
Var vitesses	4	3	4	5	4	4
Cb2	10,5	9,5	13	12,5	13	14
Iv	3,7	2,9	3,5	4,6	4,2	4,4
In	6,9	6,7	9,3	7,9	8,8	9,4
m	15	13,6	14,4	17	13,4	16,7
Hospitalité	Bonne	Moyenne	Bonne	Très bonne	Moyenne	Très bonne
Densité	4563	2755	438	10918	780	3208
Nb genre Ephemeroptères	1	1	3	1	4	4
Nb genre Trichoptères	2	1	2	8	4	4
Nb genre Plécoptères	1	2	5	3	4	5
Nb genre Coléoptères	1	1	1	3	1	1
% de taxons i >7	47,3%	31,25%	43,75%	71,40%	57,90%	66,70%
% de taxons i < 3	47,3%	68,75%	25,00%	23,80%	31,60%	33,33%
Taxons saprobiontes	59,9%	74,0%	67,4%	78,5%	56,7%	60,9%

Figure III.17: Caractéristiques des stations des vecteurs fluviatiles des 5 lacs étudiés

Il en résulte des valeurs de variété taxonomique faible (17) et de densités moyennes (4563 indiv/m²) mais relativement élevées pour un torrent alpin. Néanmoins, les indices biotiques (Fig. III.17) de l'efférence du lac décrivent une situation très moyenne et peu robuste. En effet, la note IBGN de 11 n'est retenue que par la présence de *Nemoura* (Plécoptère, Nemouridae) alors que pratiquement la moitié des taxons ne sont représentés que par moins de 3 individus. L'hospitalité du milieu semble plutôt bonne (coefficient morphodynamique de 15) même si l'indice Iv (3,7/10) du Cb2 ne va pas dans ce sens. En effet, celui-ci sanctionne la faible variété taxonomique qui est un caractère naturel de ce type de cours d'eau.

Les taxons rhéophiles (Simulidae, *Baetis alpinus* (Pictet, 1843)) et psychrosténothèmes sont peu représentés en proportion et en variété. En outre, le caractère mésotrophe du milieu qui est dans la continuité du système lacustre, est marqué par la présence en proportion non négligeable de taxons affectionnant la matière organique fine ou grossière dans les zones de dépôts lenticules (Chironomidae, Oligochètes, *Chaetopteryx villosa* (Limnephilidae, Fabricius, 1798)). Les taxons saprobiontes représentent ainsi 59,9% des taxons présents sur la station et contribuent à la diversité du milieu. La qualité de l'eau ne semble pas remise en cause même si elle n'est pas excellente

comme en témoigne l'indice *In* (6,9/10) du Cb2 ou encore la présence de taxons plus ou moins polluo-sensibles (*Nemoura*).

La limitation du peuplement macrobenthique semble donc venir d'une combinaison de phénomènes: les conditions rigoureuses du milieu, notamment en hiver, limitent la diversité même si le lac peut jouer le rôle de tampon; d'ailleurs ce dernier permet en période estivale un réchauffement de l'eau sans doute préjudiciable aux taxons les plus psychosténothermes souvent adaptés à ce genre de milieu; la qualité de l'eau n'est pas excellente sans être dégradée et peut être responsable de l'absence des taxons les plus polluo-sensibles; mais surtout, à l'étude des cycles de vie des taxons présents, il apparaît une nette dominance des cycles inférieurs à 1 année qui pourrait tendre à un caractère temporaire du milieu en phase hivernal (assec ou lame d'eau gelant). Ce dernier point se révèle être vraiment rédhibitoire à l'installation d'une communauté d'invertébrés riche et diversifiée.

L'afférence de Lessy

La station se localise une vingtaine de mètres en amont de la confluence avec le lac et environ 200 mètres après la source. La déclivité est moyennement marquée comme en témoigne la dominance de la classe de vitesse 5-25cm/s mais le cours d'eau est de faible gabarit. La variété des substrats est moyenne avec 5 habitats répertoriés surtout minéraux (galets-graviers). Alors que l'on peut s'attendre à un milieu plutôt oligotrophe vu la situation apicale de la station et du fait de la faible température de l'eau, le torrent coule sur un substrat calcaire à travers une ripisylve et collecte les rejets des chalets plus en amont, ce qui a pour résultat d'enrichir le milieu.

En conséquence, la variété taxonomique est faible (13) sans être minimale alors que la densité reste plutôt importante (2755 indiv/m², Fig. III.17). Il en découle des indices biotiques médiocres et peu robustes. D'ailleurs, seules 5 familles présentent au moins 3 individus (Nemouridae, Chironomidae, Limoniidae, Planariidae, Oligochètes). L'hospitalité du milieu peut être en partie responsable de cet état de fait puisqu'elle est très moyenne (coefficient morphodynamique de 13,6, *Iv* de 2,9) mais n'est pas suffisante pour expliquer la faible diversité. Les notes IBGN (10/20) et du Cb2 (9,5/20) sont principalement dues à la présence de *Nemurella pictetii* (Klapalek, 1900), espèce crénophile et psychosténotherme qui représente pratiquement 21% du peuplement en place. Mais la station est essentiellement dominée par des taxons dont l'afférence pour la matière organique fine ou grossière est connue (Oligochète, Chironomidae, Limoniidae, *Consorophyllax consors* (Limnephilidae, McLachlan, 1880)). Ainsi les taxons saprobiontes forment 74% de l'abondance totale de la station, résultat de l'enrichissement du milieu (apports, proximité du système lacustre). La qualité de l'eau ne paraît pas dégradée, sans être optimale (*In* de 6,7/10), comme en témoigne la présence de *Nemoura* ou de *Nemurella pictetii*, taxons plutôt polluo-sensibles.

Comme pour l'exutoire du lac d'Arvouin, la limitation du peuplement semble donc venir d'une combinaison de paramètres: la proximité de la source du torrent restreint naturellement le cortège d'espèces présentes, accentuée par les conditions extrêmes qui peuvent régner en montagne; une qualité d'habitat limitée par le faible gabarit et par les conditions naturelles du milieu (torrenticole) mais aussi influencée par la proximité du lac, formant ainsi un écotone entre un milieu lotique et lentique; une qualité d'eau non optimale limitant l'installation des taxons les plus polluo-sensibles; enfin, à l'étude de l'édifice biologique présent, il apparaît que le cycle de vie des taxons en milieu aquatique est inférieur à 1 année, présageant du probable caractère temporaire du torrent durant la phase hivernale (assec ou gel de la lame d'eau).

Les vecteurs fluviatils du lac de Tavaneuse

L'afférence

La station, très apicale, présente un caractère torrentiel prononcé du fait de la forte déclivité: les vitesses y sont fortes à très fortes (présence de taxons rhéophiles tels que *Ecdyonurus* ou de Simuliidae), la variété des substrats faible du fait du petit gabarit du torrent et les zones de dépôts sporadiques. En outre, le milieu apparaît comme oligotrophe comme l'illustre les très faibles

abondances des Chironomidae et des Oligochètes, du fait du peu de matières organiques allochtones (végétation arbustive, proximité de la source) et de la faible température de l'eau (taxons psychrosténothermes tels que *Siphonoperla*, *Protonemura*).

Il en résulte une variété taxonomique et une densité très faibles (16 taxons pour 438 indiv/m², Fig. III.17) dont les conséquences sont des indices biotiques moyens avec une robustesse médiocre. Le coefficient morphodynamique (14,4/20) et l'indice *Iv* (3,5/10) du Cb2 sanctionnent la faible diversité de la mosaïque habitationnelle et donc l'hospitalité du milieu qui limite clairement la diversité et l'abondance des macroinvertébrés.

En revanche, la très bonne qualité de l'eau est mise en avant par l'indice *In* (9,3/10) et par la présence de taxons à la polluo-sensibilité marquée (*Siphonoperla*, *Nemoura*, *Protonemura*, *Isoperla*, *Leuctra*, *Ecdyonurus*, *Sericostoma personnatum* (Kirby & Spence, 1826)).

L'influence du système lacustre à proximité ne se fait pas sentir sur le peuplement en place. En effet, les taxons présents sont caractéristiques d'un milieu torrenticole. La déconnexion du cours d'eau au lac une partie de l'année couplée à l'importante déclivité en sont sans doute les raisons.

En conclusion, le peuplement du tributaire du lac de Tavaneuse ne semble connaître aucune perturbation particulière, les valeurs indicielles moyennes ne reflétant que le petit gabarit et les conditions extrêmes naturelles imposées par la situation géographique de la station.

Le torrent de Tavaneuse

La station, située juste à la sortie du lac, apparaît très diversifiée en terme de mosaïques habitationnelles avec la présence de 9 substrats et de 5 classes de vitesses favorisées par un gabarit plus important du cours d'eau. Le milieu lacustre influence aussi la trophie du milieu (eau de surface, apports de matière organique) et contribue au caractère mésotrophe de la station.

Il découle de ces caractéristiques une variété taxonomique (21) et une densité (10 918 indiv/m², Fig. III.17) élevées pour un torrent de montagne. Les indices biotiques apparaissent moyens mais robustes et stables (seuls 23,8% des taxons présentent moins de 3 individus). La qualité habitationnelle de la station est excellente (coefficient morphodynamique de 17) bien que l'indice *Iv* du Cb2 soit moyen sans être mauvais (4,6/10). Comme pour l'exutoire d'Arvouin, celui-ci sanctionne la relative faible variété taxonomique qui est un caractère naturel de ce type de cours d'eau.

L'observation de la composition macrobenthique vient confirmer cet état de fait. On note au sein de l'édifice biologique la bonne représentation des taxons rhéophiles (*Rhyacophila*, *Protonemura*, Simuliidae, *Drusus discolor* (Rambur, 1842)) et psychrosténothermes (*Protonemura*) échantillonnés essentiellement dans les bryophytes en aval de la station, là où la pente devient prononcée. Mais des taxons comme *Ecdyonurus* sont absents. Les taxons plutôt lénitiques sont aussi présents en bonne proportion et sont pour la plupart connus pour affectionner la matière organique fine ou grossière disponible (Chironomidae, Oligochètes, Limnephilidae), confirmant la mésotrophie du système. D'ailleurs la famille des Limnephilidae est bien représentée en diversité (6 genres), bien qu'en faible abondance. 38,1% des taxons sont saprobiontes pour 78,5% de l'abondance totale alors que les Chironomidae et les Oligochètes constituent 76,42% de l'abondance totale.

La qualité de l'eau paraît plutôt bonne comme en atteste la présence de taxons polluo-sensibles (*Nemoura*, *Protonemura*, *Leuctra*, *Odontocerum albicorne*, *Empididae*) mais pas excellente. On note ainsi les absences de *Siphonoperla* ou encore d'*Isoperla* par rapport à la station de l'afférence et une diminution de l'indice *In* du Cb2 (7,9), sans doute dues aux caractéristiques mésotrophes du milieu.

Au final, la communauté macrobenthique de l'exutoire du lac de Tavaneuse ne semble souffrir d'aucune perturbation majeure, les valeurs indicielles moyennes ne reflétant que les conditions naturelles du milieu et notamment l'influence du système lacustre qui favorise une mosaïque habitationnelle diversifiée et biogène et contribue à l'enrichissement trophique du cours d'eau. Il serait intéressant de vérifier si cet état perdure, notamment en fin d'été où le développement

des algues devient très important.

Les vecteurs fluviatils du lac de Vernant

L'afférence

La station se situe quelques mètres avant la confluence avec le lac, à la sortie d'une zone recouverte par la ripisylve, lorsque la pente diminue. En conséquence, les vitesses de classes moyennes dominent les écoulements, alors que la variété de substrat y est faible (4) à cause du petit gabarit du cours d'eau. On y retrouve ainsi des taxons pétricoles rhéophiles (*Ecdyonurus*, *Epeorus alpicola* (Eaton, 1871), *Isoperla*, *Rhyacophila*) mais aussi plus lenticques (*Baetis*, Limnephilidae comme *Lithax niger* (Hagen, 1859)).

La variété taxonomique (19) est quantitativement faible mais correcte pour ce type de cours d'eau. La densité (780 indiv/m²) est par contre faible. Il en découle des indices biotiques moyens, modérément robustes avec une population plus ou moins instable (31,6% des taxons ont moins de 3 individus (Fig. III.17)).

Le peu de variété de la mosaïque habitationnelle est sanctionné par le coefficient morphodynamique (13,4) et l'indice *Iv* du Cb2 (4,2). L'habitat est essentiellement minéral et de bonne qualité (présence caractéristique de *Habroleptoides confusa* (Sartori & Jacob, 1986)). A contrario, la bonne qualité de l'eau est illustrée par l'indice *In* (8,8/10) et par la présence de taxons à la polluo-sensibilité marquée (*Isoperla*, *Leuctra*, *Nemoura*, *Protonemura*, *Epeorus alpicola*). Alors que les Chironomidae sont très peu représentés, les Oligochètes constituent 27,9% du peuplement. Pourtant les taxons saprobiontes ne représentent que 56,7% des effectifs, valeur très basse. Le milieu apparaît donc comme oligotrophe mais sous l'influence du système lacustre à proximité.

Au final, le peuplement du tributaire du lac de Vernant est conforme à ce que l'on pourrait attendre d'une afférence d'altitude. Son développement est limité par le petit gabarit du lit et par les conditions rigoureuses inhérentes au caractère alpin du cours d'eau tandis que la proximité du lac tempère ces conditions, constituant ainsi un petit écotone.

Le torrent de l'Epine (exutoire)

La station se situe dans une zone où la déclivité est prononcée. En conséquence, les vitesses d'écoulements sur la station sont moyennes à élevées, et les zones de dépôts demeurent rares. Ainsi les taxons pétricoles rhéophiles et psychrosténothermes sont dominants (*Perla grandis* (Rambur, 1842), *Protonemura*, *Nemoura*, *Isoperla*, *Ecdyonurus venosus* (Fabricius, 1775), *Epeorus alpicola*, *Rhyacophila*, Simuliidae). La mosaïque habitationnelle est peu diversifiée (5 habitats). Le caractère torrentiel apparaît donc prononcé.

Il en résulte des valeurs de variété taxonomique et de densité moyennes (respectivement 20 et 3208 indiv/m²) desquelles découlent des indices biotiques moyens mais robustes (Fig. III.17). La qualité habitationnelle de la station est plutôt bonne (coefficient morphodynamique de 6,7) mais encore une fois sanctionnée par l'indice *Iv* du Cb2, moyen sans être mauvais (4,4/10), mettant en cause la faible variété taxonomique. Les substrats sont de bonne qualité et peu colmatés (présence de *Habroleptoides confusa*) malgré la présence de tâches très sporadiques d'algues.

La présence de taxons très polluo-sensibles (*Perla grandis*, *Isoperla*, *Nemoura*, *Protonemura*, *Leuctra*, *Epeorus alpicola*, *Philopotamus montanus* (Donovan, 1813), *Odontocerum albicorne*) atteste de la très bonne qualité de l'eau, confirmée aussi par l'indice *In* de 9,4. En outre, la faible proportion de Chironomidae et de Limnephilidae, ainsi que la quasi-absence d'oligochètes témoignent de l'oligotrophie du milieu, et en particulier du peu de matière organique disponible sur la station.

Au final, l'édifice biologique est seulement freiné par les conditions naturelles extrêmes du milieu. La déconnexion physique au lac (tour déversoir) piège la matière organique dans la cuvette, accentuant l'oligotrophie de l'exutoire qui ne se trouve alors pratiquement plus sous l'influence du système lacustre.

E. Analyse des peuplements piscicoles des vecteurs fluviatiles

- **L'exutoire d'Arvouin**

Les tributaires du lac ne sont pas piscicoles en raison de leur caractère temporaire (tributaire 2), de l'accessibilité et de leur gabarit (tributaires 1 et 2). Deux espèces, le Vairon et la Truite Arc-en-Ciel, ont été contactées dans l'exutoire en très faible abondance provenant du système lacustre (dévalaison). Aucune population fonctionnelle n'est donc présente dans l'efférence.

- **L'afférence de Lessy**

La pêche d'inventaire a répertorié du Saumon de Fontaine et du Vairon. Tous proviennent du système lacustre. Les Saumons de Fontaine sont issus des déversement réalisés quelques jours avant l'inventaire piscicole. L'afférence n'est donc sans doute pas piscicole, notamment du fait de son faible gabarit.

- **Le torrent de Tavaneuse**

Les deux afférences du lac sont apiscicoles. La plaine alluviale présente une lame d'eau trop faible pour accueillir une ichthyofaune tandis que l'autre tributaire est déconnecté du lac une grande partie de l'année.

À la suite des pêches, deux espèces ont été contactées dans l'exutoire: la Truite fario et le Vairon. La présence de ce dernier est anecdotique (22 ind/10ares et 1kg/ha) et les poissons proviennent probablement du lac. La Truite fario est présente quant à elle de manière significative avec une densité de 622 ind/10ares pour une biomasse de 86,3kg/ha. Ces valeurs correspondent à un optimum pour un tel milieu apical.

La population semble structurée (Fig. III.18) avec la présence en grand nombre de juvéniles. La comparaison avec la Fréquence Moyenne Standard calculée dans le département (Annexe 19) met en évidence une population caractéristique d'une zone apicale.

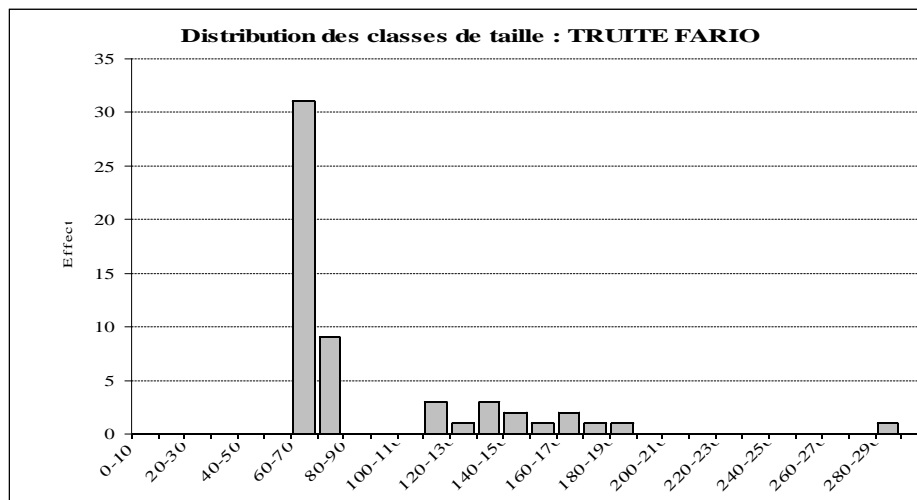


Figure III.18: Distribution des classes de taille des truites fario issues des pêches électrique dans le torrent de tavaneuse

Chez les juvéniles, deux groupes se distinguent: l'un probablement issus des alevinages sur le lac, l'autre composé de plus petits individus pouvant être issus d'une reproduction naturelle. La récolte d'œufs de salomonidés lors de l'échantillonnage du macrobenthos vient étayer l'hypothèse d'une reproduction naturelle de Truite fario dans l'exutoire. D'autres investigations seront cependant nécessaires pour confirmer cet état de fait, notamment un marquage des individus déversés.

Le torrent de Tavaneuse ne présente qu'un cours linéaire pouvant accueillir du poisson. En effet, la succession de cascades empêche la dévalaison des individus. Un sondage a été réalisé sur un replat en contre-bas de ces cascades, révélant la caractère apiscicole du cours d'eau plus en aval.

- **Vecteurs fluviatiles de Vernant**

Seuls des juvéniles issus des alevinages récents (Saumon de Fontaine) ont été contactés dans

les tributaires du lac qui n'abritent donc pas de populations fonctionnelles.

L'exutoire du lac demeure apiscicole même si des zones de fraie potentielles sont présentes et que les conditions du milieu sont suffisantes pour la vie salmonicole et cyprinicole (vairon). D'ailleurs, du poisson est présent plus en aval de l'exutoire. Néanmoins, la déconnexion avec le lac en amont, ainsi que la présence de cascades et la forte déclivité moyenne (23%) du torrent de l'Épine ont pour conséquence l'isolation du tronçon étudié, empêchant ainsi les migrations piscicoles.

F. Traitements statistiques

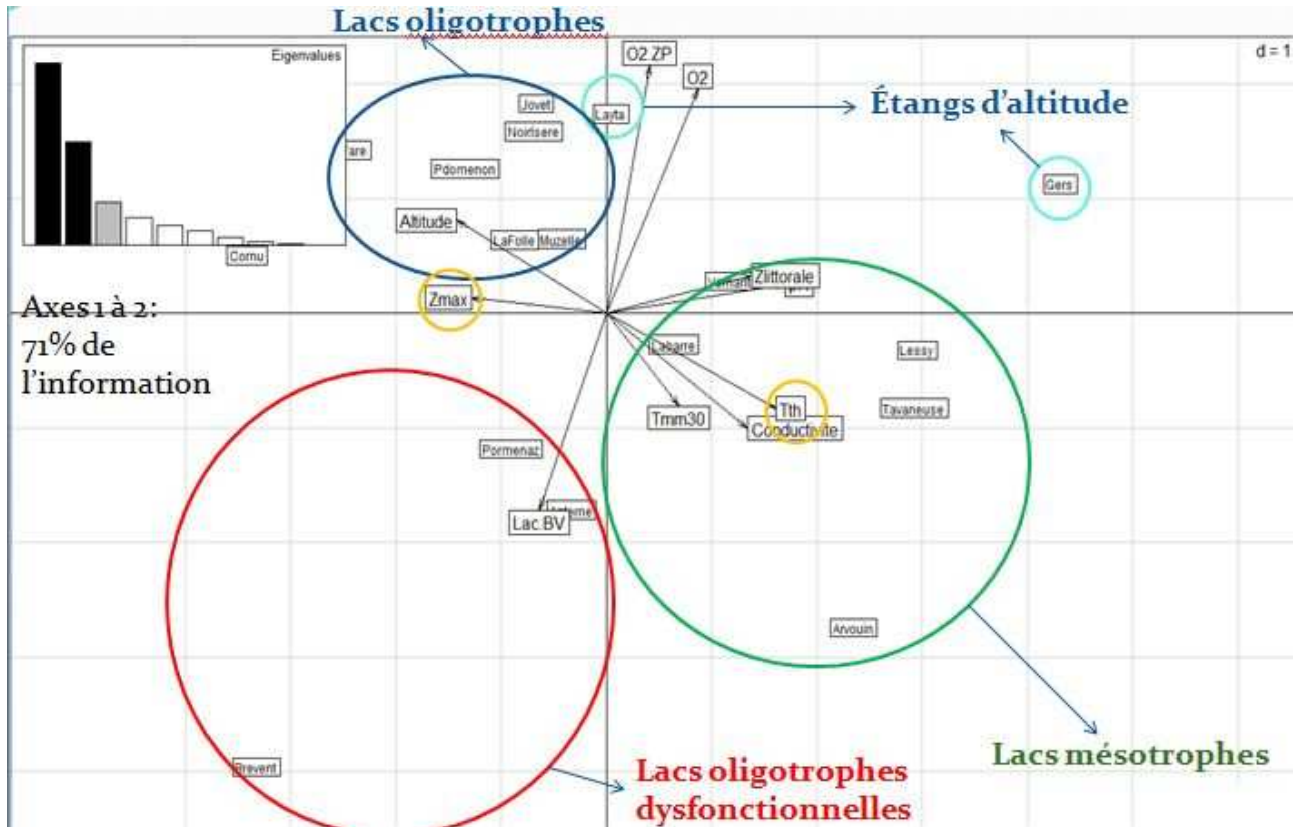


Figure III.19: Axes 1 et 2 de l'ACP issue de 10 paramètres mésologiques de 17 lacs alpins. Lac BV: surface du lac/ surface du bassin-versant; O2 ZP: moyenne de la concentration en oxygène dans l'hypolimnion; Zlittoral: surface de la zone littorale; O2: concentration moyenne en oxygène; Tth: type théorique piscicole; Zmax: profondeur maximale. *Sources: Estable, 2009; Hibon, 2010, Martin, 2011*

Bien que l'échantillon statistique soit faible, la comparaison des caractéristiques mésologiques des différents lacs alpins met en évidence 4 groupes distincts (Fig. III.19): (i) un premier regroupant les lacs oligotrophes fonctionnels (Cornu, Jovet, LaFolle, Lafare, Muzette, Noire, Petit Domenon) qui rentrent dans la définition d'un lac de montagne eufonctionnel (altitude élevée, températures froides, faible conductivité, zone littorale peu développée, faible Type théorique, ect); (ii) un second renfermant les lacs plutôt mésotrophes (Arvouin, Labarre, Lessy, Tavaneuse, Vernant) qui se démarquent par une altitude moins élevée, des températures plus chaudes, une conductivité plus importante, un Tth élevé et une zone littorale plus développée. Entre ces deux groupes s'en distinguent deux autres intermédiaires. (iii) les lacs oligotrophes dysfonctionnels (Anterne, Brévent, Pormenaz) caractérisés par une zone profonde désoxygénée et (iv) les étangs de montagne (Gers, Layta) discriminés par une très bonne oxygénation de toute la colonne sans distinction entre la surface et la zone profonde.

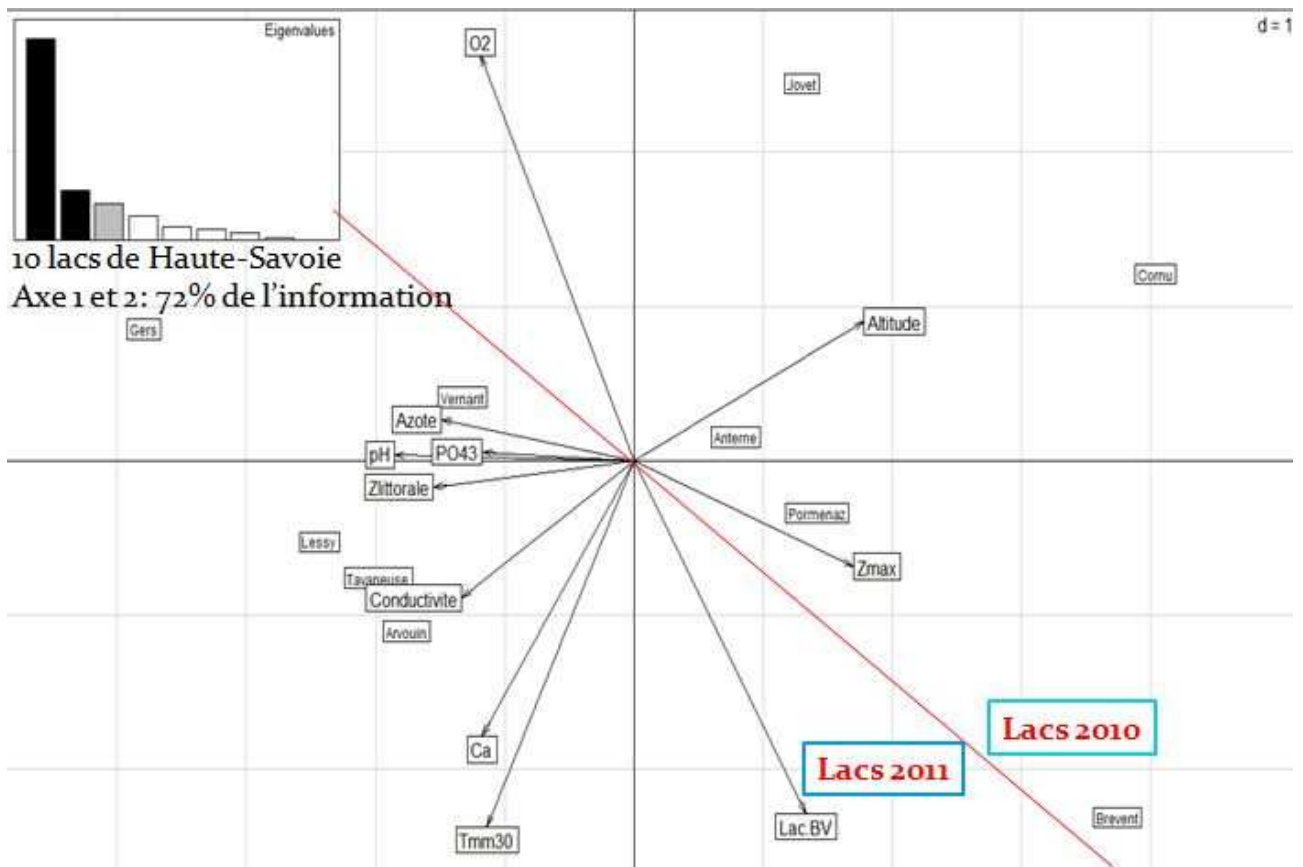


Figure III.20: Axes 1 et 2 de l'ACP issue de 14 paramètres physico-chimiques de 10 lacs de montagne en Haute-Savoie. Lac BV: surface du lac/ surface du bassin-versant; O2 ZP: moyenne de la concentration en oxygène dans l'hypolimnion; Zlittoral: surface de la zone littorale; O2: concentration moyenne en oxygène; Tth: type théorique piscicole; Zmax: profondeur maximale. Sources: Hibon, 2010, Martin, 2011

Lorsque l'on compare les paramètres physico-chimiques des 10 lacs montagne piscicoles de Haute-Savoie, deux groupes se distinguent (Fig. III.20) et renferment respectivement les lacs étudiés en 2010 et ceux étudiés par cette présente étude en 2011. Le premier est constitué par des lacs de plus haute altitude, plus profonds et à fonctionnement oligotrophe (Anterne, Brévent, Cornu, Jovet et Porménaz) tandis que le second est constitué par les lacs mésotrophes (Arvouin, Gers, Lessy, Tavaneuse et Vernant)

IV. Discussion

Les 5 lacs étudiés apparaissent contrastés en raison des caractéristiques mésologiques propres à chaque plan d'eau, de leur fonctionnement trophique, voir même selon l'intensité du degré de perturbation. Chacornac (1986), d'après la mésologie, mettait en évidence deux groupements parmi ces 5 lacs. Le même constat peut être fait avec le fonctionnement trophique: Arvouin, Gers et Lessy sont des milieux mésotrophes, caractérisés par des apports importants; Tavaneuse et Vernant, quant à eux, sont plutôt des systèmes oligo à oligo-mésotrophes en raison de transferts plus faibles depuis leur bassin-versant. Cependant, ce regroupement n'est plus valable lorsque l'on prend en compte la fonctionnalité globale des systèmes. À une échelle plus large, les 5 lacs de cette étude restent dans une gamme similaire de système mésotrophe.

A. Bilan sur le fonctionnement des lacs et éléments d'explication

i. Lac d'Arvouin

Du fait de la configuration et de l'occupation des sols du bassin-versant, les transferts de flux d'eau, de matière et de biotes peuvent être rapides et importants vers le lac d'Arvouin, accentués par la présence de bovins en été. Seule la présence d'une zone marécageuse au nord du lac peut faire office de tampon mais cette dernière va aussi influencer le métabolisme lacustre de part sa production trophique et sa qualité en tant qu'habitat refuge.

Globalement le lac demeure sous l'influence des conditions externes de part sa position et sa faible profondeur. Les apports allochtones demeurent bien assimilés par le métabolisme lacustre, notamment grâce à la présence d'un important herbier recouvrant la majeure partie de la cuvette lacustre. Ce dernier influence les conditions physico-chimiques des eaux du lac (oxygène, pH, mobilisations d'éléments, ect.), sans que celles-ci se révèlent rédhibitoires pour la vie dans le système. La communauté d'invertébrés, limitée en raison des conditions naturelles du lac, reflète d'ailleurs, à travers la présence d'espèces spécialisées, la forte proportion de macrophytes. Cependant, l'artificialisation du système a provoqué la submersion d'une partie des marais, concourant ainsi notablement à la mésotrophie du milieu.

Dès lors, les excès de matière organique, qui, dégradés au fond du lac par des bactéries hétérotrophes, occasionnent un phénomène d'hypoxie ainsi que des conditions réductrices. En conséquence, à partir de 5m de profondeur, les conditions deviennent critiques pour la faune piscicole (notamment salmonicole [Cavalli, 1997; CAUDRON, CHAMPIGNEULLE & LARGE, 2006]. L'influence de cette désoxygénation s'observe aussi sur les invertébrés benthiques, notamment à travers le rapport diptères/Oligochètes de la zone littorale, qui est largement en faveur des premiers. En effet, la diminution de l'hospitalité des fonds (substrat, oxygénation) en montagne est connue pour provoquer la migration des taxons vers des zones plus propices à la vie comme la zone littoral [Boggero et al, 2006; TATOSOVA & STUHLIK, 2006; Ciamporova-Zat'ovicova et al, 2010]. L'apparition de conditions critiques en profondeur résulte sans doute du fonctionnement naturel du milieu actuel et est la conséquence des modifications ultérieures du niveau d'eau.

L'exutoire du lac apparaît temporaire à l'étude de la faune d'invertébrés, hypothèse corroborée par l'absence de population piscicole fonctionnelle. En effet, il existe une différence des communautés entre les émissaires permanents et temporaires avec une proportion plus importantes pour ces derniers en Chironomidae et en Simulidae qui sont des taxons capables de terminer leur développement en quelques mois et qui peuvent survivre le reste du temps dans des habitats plus propices [Hieber et al, 2005]. De plus, ce milieu lotique n'est connecté, du point de vue de la faune piscicole, que dans le sens de la dévalaison depuis le système lacustre.

Au final, le lac possède des capacités limitées du point de vue de l'ichtyofaune: la désoxygénation des fonds réduit l'espace potentiel de vie dans le système alors que les vecteurs fluviaux ne sont pas aptes à accueillir une population pérenne. Il serait néanmoins intéressant de connaître la variation des paramètres oxygène en hiver et l'état de la désoxygénation des fonds. En effet, en 2007, un phénomène massif de mortalité piscicole a été observé; il a fait suite au dégel du lac, suivi d'une reprise en glace après le développement des herbiers, ce qui a sans doute eu pour conséquence une désoxygénation prononcée de la colonne d'eau.

Le lac d'Arvouin est donc un milieu mésotrophe de montagne actuellement fortement influencé par son bassin-versant mais aussi par les conditions naturelles et anthropiques.

ii. Lac de Gers

Le lac de Gers est un système mésotrophe avec des eaux basiques, moyennement minéralisées. La grande taille de son bassin-versant carbonaté ainsi que la forte proportion des strates arborées et arbustives lui assurent des apports importants de flux d'eau et de matières,

accentués par la présence de bovins en été. Néanmoins les valeurs en azotes et phosphores n'apparaissent jamais excessives et sont relativement bien assimilées par le système, en particulier grâce à la végétation aquatique bien développée. Le métabolisme lacustre apparaît donc fonctionnel.

La faible profondeur du lac couplée aux variations de niveau d'eau, l'absence d'afférences, la petite taille du système et l'altitude sont responsables d'un réchauffement important qui devient préjudiciable pour la faune piscicole salmonicole et pour les invertébrés benthiques, en particulier dans la zone littorale [POIREL, MERLE, SALENÇON & TRAVADE, 2001; WHITE *ET AL.*, 2008]. Seuls les herbiers offrent des conditions de vie favorables (habitats, source de nourriture, oxygénation, ect.). Au final, les conditions externes comme le vent ou encore l'ensoleillement influencent notablement le fonctionnement de la masse d'eau. La qualification de système lacustre devient alors floue pour ce lac qui s'apparente plus à un étang de montagne.

iii. Lac de Lessy

Les eaux du lac de Lessy sont basiques, moyennement minéralisées et le système apparaît comme mésotrophe. Le bassin-versant est plus minéral que celui des deux lacs précédents mais la lande alpine reste encore bien développée. Les principaux apports allochtones au système proviennent donc essentiellement de la présence de caprins, mais surtout d'ovins en densité variable selon les années. De plus, des apports diffus liés à la présence de chalets d'estive sont aussi à prendre en compte.

Ainsi, des concentrations élevées en éléments azotés et phosphorés sont constatées dans les afférences du lac ainsi que dans les eaux de surface. Par conséquent, même si la masse d'eau apparaît globalement fonctionnelle, un léger dysfonctionnement trophique s'observe, provoquant l'apparition d'algues qui colmatent les hauts fonds et les herbiers du lac. L'oxygène n'apparaît par contre jamais limitant contrairement aux températures des eaux de surface qui peuvent être contraignantes pour le développement d'une population salmonicole. De plus, l'afférence principale se révèle apiscicole: bien qu'accessible dans sa partie basse, le gabarit du cours d'eau ne permet pas l'instauration d'une population fonctionnelle, d'autant plus qu'à l'étude du macrobenthos, le torrent semble temporaire durant la saison hivernale. Enfin, malgré des travaux récents, le plan d'eau connaît encore des marnages importants. Ceci a pour conséquence de limiter l'attractivité des pôles habitationnels du point de vue piscicole ainsi que le développement de la faune benthique en zone littorale. De plus, le système n'a sans doute pas encore retrouvé un état d'équilibre.

Au final, le système connaît une légère dystrophie en raison d'apports diffus notables. Il sera donc nécessaire de surveiller l'évolution du lac jusqu'à ce qu'il puisse retrouver son nouvel équilibre. Mais encore une fois comme à Gers, la définition de l'entité « lac » trouve ses limites et le système connaît un fonctionnement situé entre celui d'un véritable lac de montagne et celui d'un étang d'altitude.

iv. Lac de Tavaneuse

Le lac de Tavaneuse est le seul lac oligotrophe des 5 plans d'eau étudiés. Il demeure tout même plus riche que des milieux véritablement oligotrophes situés à des altitudes plus élevées [KOWNACKI, GALAS, DUMNIKA & MIELEWCZYK, 2000; Winiarski, 2000; Estable, 2009, Hibon, 2010]. La faible superficie et les fortes pentes du bassin-versant assurent un transfert rapide par ruissellement. Les apports allochtones par le bassin, essentiellement carbonaté et minéral, sont donc modérés et diffus, et pour une partie ne sont pas étrangers à la présence d'ovins en période estivale. En plus du ruissellement, l'alimentation du lac se fait par l'intermédiaire de deux afférences de faible gabarit et dont la qualité d'eau demeure très bonne, comme le confirme les analyses chimiques ou leurs communautés d'invertébrés, constituant ainsi des vecteurs de flux d'eau, de matières et de biotes vers le lac

Les eaux du lac sont froides, basiques, bien minéralisées et bien oxygénées. Le métabolisme

apparaît fonctionnel, les apports allochtones étant bien assimilés. Toutefois, en raison de la faible profondeur, il demeure sous l'influence des conditions externes, notamment du vent.

Le peuplement du macrobenthos de la zone littorale est diversifié mais peu abondant du fait de l'oligotrophie moyenne du système, en dépit de la présence d'herbiers. Malgré cette ressource alimentaire limitée, les conditions physico-chimiques et habitationnelles sont favorables au développement d'une population piscicole salmonicole.

L'exutoire du lac présente lui aussi une très bonne qualité globale sous influence directe du système lacustre. En effet, les lacs alpins de petite taille et de surface limitée ont une influence importante sur leur émissaire [ROBINSON & UEHLINGER, 2002] notamment comme régulateurs thermiques et hydrologiques [Hieber et al, 2002; HIEBER, ET AL., 2005]. De ce fait, la diversité d'habitats et des écoulements est plus importante par rapport à l'afférence principale. Ainsi la communauté macrobenthique apparaît très riche et très diversifiée pour un cours d'eau alpin [Fureder et al, 2002 ; Robinson & Uehlinger, 2002]. Ceci s'explique par le fait que les émissaires de lacs constituent une zone de transition entre une masse d'eau stagnante et une eau courante [HIEBER, BURGHERR, UEHLINGER & TOCKNER, 2003] et forment à ce titre un environnement aquatique unique en son genre [HIEBER, ET AL., 2002]. La qualité de l'eau demeure toujours très bonne mais en deçà de celle de l'afférence principale et des développement algaux apparaissent en fin de saison. Malgré cela, les conditions sont encore très favorables à l'ichtyofaune puisqu'une population de truite fario structurée et apparemment fonctionnelle, y est observée. Cependant, des investigations supplémentaires sont nécessaires pour établir si véritablement il y a reproduction dans l'exutoire et si celle-ci est suffisante pour soutenir la population du lac.

Au final, le lac de Tavaneuse constitue un système moyennement oligotrophe dont le métabolisme est parfaitement fonctionnel mais principalement sous l'influence des conditions externes

v. Lac de Vernant

Les eaux du lac de Vernant sont oligo-mésotrophes, basiques et peu minéralisées. Le bassin-versant du lac est typique d'un milieu oligotrophe [Chacornac, 1986; Winiarski, 2000]; les apports allochtones y sont donc faibles. Cependant l'artificialisation du système, qui a permis l'ennoyage de l'ancien étang et de ses annexes, a provoqué un enrichissement trophique global de la masse d'eau.

Bien qu'étant le plan d'eau le plus profond étudié, il demeure encore sous l'influence des conditions externes et notamment du vent et de l'ensoleillement. Les températures restent fraîches en été et l'oxygénation de la masse d'eau est toujours bonne. Cependant, en raison de captages (eau potable, canons à neige), le système connaît des variations d'eau qui peuvent être préjudiciables à l'attractivité de la zone littorale (macrobenthos, poissons). Malgré cela, de nombreux habitats favorables et attractifs y sont observés et la communauté piscicole semble pouvoir s'y développer même si soutenue par des alevinages réguliers. En effet, aucune communauté pérenne n'est présente. De plus, le caractère non frayable des tributaires limite les espèces potentiellement capables de s'acclimater à ce système. Enfin, la déconnexion de l'exutoire (tour déversoir) empêche tout échange direct avec le reste du réseau hydrographique. D'ailleurs l'influence du lac sur ce système est peu prononcée. Le cours d'eau ressemble en effet plus à un cours d'eau alpin typique plutôt qu'à un exutoire de lac.

Au final, aucun dysfonctionnement n'est constaté à Vernant, cependant le fonctionnement du système est influencé par l'artificialité du milieu et par l'usage qui en est fait.

B. Bilan sur les lacs étudiés

Les lacs présentés dans cette étude ne montrent pas de dysfonctionnement majeur en regard de leurs caractéristiques intrinsèques, seul Lessy connaît une légère perturbation trophique

Les caractéristiques des 5 lacs étudiés diffèrent quelque peu de celles des lacs de montagne

au sens strict [ESTABLE, 2009; Hibon, 2010].

En premier lieu, la gamme altitudinale est plus faible puisque tous les lacs se situent entre 1500 et 1800m d'altitude alors que la majorité des lacs de montagne se localisent dans l'étage alpin [Edouard, 1983; Ward, 1994; Psenner, 2003]. La conséquence est un réchauffement plus important des masses d'eau et la présence de bassins-versants plus diversifiés avec une proportion de végétation plus importante conduisant à des apports allochtones potentiellement plus élevés. La trophie s'en trouve par conséquent modifiée; ainsi les 5 lacs étudiés se situent dans une gamme allant de moyennement oligotrophe à mésotrophe alors que les lacs de montagne sont plutôt considérés comme ultra-oligotrophe à oligotrophe [Chacornac, 1986; Roche & Loyde-Pilot, 1989; Cavalli, 1997; Kownacki et al, 2000; Winiarski, 2000; Boggero et al, 2006; CIAMPOROVA ZAT'OVICOVA ET AL., 2010]. De plus, l'assimilation des apports allochtones par les métabolismes lacustres diffèrent entre les systèmes oligotrophes et mésotrophes: ainsi, les premiers sont plus sensibles à des apports importants par rapport aux seconds comme en attestent la dystrophie marquée observée au lac de Brévent [Hibon, 2010] alors qu'avec des apports plus importants, Lessy reste globalement fonctionnel. Cependant, les apports allochtones plus élevés pour les systèmes mésotrophes accélèrent le « vieillissement » de ces systèmes et leur évolution naturelle vers un fonctionnement de type étang d'altitude.

Ensuite, les faibles profondeurs et les marnages constituent des composantes essentielles du fonctionnement des 5 lacs étudiés. De ce fait, les systèmes se trouvent parfois entièrement sous l'influence de paramètres externes, alors que cela n'est pas le cas pour les lacs de montagne, du moins en zone profonde [Estable, 2009; Hibon, 2010]. Des paramètres comme le vent peuvent avoir ainsi une influence considérable sur la masse d'eau [ROCHE & LOYDE-PILOT, 1989]. Dès lors, la définition comme entité « lac » peut se poser (exemple de Gers et dans une moindre mesure de Lessy) et du fait d'une trophie prononcée, leur fonctionnement se rapproche plutôt de celui d'étangs de montagne.

Enfin, les systèmes étudiés demeurent souvent sous une influence anthropique marquée contrairement à la majorité des lacs de montagne considérés comme préservés [Füreder et al, 2002; Ciamporova-Zat'vicova et al, 2010]. Cependant, il est aujourd'hui difficile de mesurer véritablement l'impact que cela a eu sur ces écosystèmes mais originellement ces milieux étaient déjà des systèmes à la trophie prononcée.

Au final, et au regard des caractéristiques des cinq plan d'eau étudiés, seul le lac de Tavaneuse semble correspondre à un lac de montagne au sens strict.

C. Application à la gestion piscicole

La présence et la variation rapides des conditions de vie plutôt extrêmes dans ces milieux posent la question du maintien et du développement d'une population salmonicole dont le cycle est par définition pluriannuel (maturité au-delà de 2 ans pour la plupart des espèces salmonicoles) [BAGLINIÈRE & MAISSE, 2002]. Même si les Salmonidés peuvent supporter des conditions environnementales très difficiles [Delacoste et al, 1997] leur présence est surtout la conséquence d'alevinages massifs pratiqués durant des années qui ont permis de réempoissonner ces milieux avec plus ou moins de succès [Delacoste et al, 1997 ; Degiorgi, 2008 ; Huchet, 2009] mais pas sans conséquences pour les écosystèmes [Chacornac, 1986 ; Cavalli, 1997 ; Delacoste et al, 1997 ; Schindler et al, 2001 ; Psenner, 2003]. Il convient donc de prendre en compte à la fois les données écologiques de ces milieux avec les paramètres socio-économiques et culturels propres à chaque lieu pour pratiquer une gestion piscicole raisonnée et en adéquation avec toutes les composantes.

Du fait des caractéristiques particulières des lacs étudiés, le modèle de proposition de gestion piscicole développé par Degiorgi (2008) n'apparaît pas toujours en accord avec le fonctionnement et les caractéristiques de ces systèmes.

Sur le lac d'Arvouin, la typologie théorique préconise un peuplement composé du Cristivomer, de l'Ombre Chevalier, du Vairon et de la Loche. Clairement, les deux salmonidés

pélagiques ne sont pas adaptés en raison de la faible profondeur du système, de la désoxygénation des fonds du lac et de la thermie relativement élevée de la masse d'eau, du moins en surface. Actuellement seules les Truite fario et Truite Arc-en-Ciel sont déversées dans le lac selon les chroniques d'alevinage. Il semble judicieux, si les déversements devaient continuer, de poursuivre les alevinages en Truite fario (1145 ind/an maximum selon l'optimum de 500ind/ha [Rivier, 1996]), qui semble être l'espèce autochtone la plus adaptée au plan d'eau en raison de sa capacité à coloniser les eaux de surface et notamment les herbiers qui lui serviront de caches [CAUDRON, 2008]. Néanmoins ce choix ne permettra pas l'instauration d'une population fonctionnelle puisque les conditions pour la reproduction de cette espèce ne sont pas réunies à Arvouin.

Sur le lac de Gers, la typologie préliminaire préconise entre 5 à 6 espèces dont le Cristivomer et l'Omble chevalier. Le nombre d'espèces apparaît excessif pour ce plan d'eau en raison de sa taille et des marnages qu'il subit et les deux espèces de Salmonidés précitées n'y sont pas adaptées. Actuellement, seules des Truite Arc-en-Ciel y sont déversés, le Vairon s'y reproduisant quant à lui. Le succès d'une pratique d'alevinage en juvéniles de quelque espèce que ce soit ne semble pas garantir du fait de caractéristiques du plan d'eau. Une gestion halieutique du plan d'eau par déversement de Truite Arc-en-Ciel adultes, telle qu'elle est pratiquée actuellement, semble être l'option la plus favorable au maintien d'une activité de pêche sur le lac. Cependant, l'abandon des déversements devrait être envisagé.

Sur lac de Lessy, le peuplement conseillé, de 5 à 6 espèces dont le Cristivomer et l'Omble chevalier, n'est encore une fois clairement pas adapté en raison de la faible profondeur du système au regard du caractère pélagique de ces espèces. Actuellement, le lac est aleviné en Saumon de Fontaine. En raison de sa plasticité et de son opportunisme [Cavalli, 1997; Huchet, 2009], il semble convenir au milieu qui connaît un léger dysfonctionnement trophique. Les déversements ne devraient pas dépasser 3750 ind/an. Mais comme pour Arvouin, les conditions actuelles ne permettent pas l'installation d'une population piscicole fonctionnelle.

À Tavaneuse, la Truite fario, l'Omble chevalier, le Vairon et la Loche constituent le peuplement théorique proposé par le modèle. Le lac est déjà aleviné en Truite et en Omble alors que le Vairon demeure déjà présent dans le plan d'eau. S'il s'avérait que la population de Truite présente est bien fonctionnelle, la poursuite des déversements devraient être sérieusement remis en question. S'ils devaient continuer, il s'agira de poursuivre avec de la Truite fario et de l'Omble à hauteur de 500ind/ha, soit 1250 alevins/an pour les deux espèces. Cependant, un marquage des poissons à déverser est indispensable pour établir la fonctionnalité des populations déjà en place.

À Vernant, le peuplement conseillé est constitué de la Truite fario, de l'Omble chevalier et du Vairon et semble en adéquation avec le fonctionnement du système. Actuellement, le plan de gestion préconise une seule espèce, le Saumon de Fontaine. Une deuxième espèce peut être envisagée. Mais en raison, de la faible profondeur du système, l'Omble chevalier n'est pas forcément recommandé puisque des phénomènes de compétition interspécifique pourraient apparaître et nuire à la productivité piscicole [Rivier, 1996; Cavalli, 1997]. Les alevinages plurispécifiques pourraient donc comporter la Truite fario et le Saumon de Fontaine à hauteur de 500 ind/ha, soit 1500 alevins/an pour l'ensemble des deux espèces sans toutefois permettre l'installation d'une population pérenne puisque les conditions de reproduction ne sont pas réunies.

Au final, la principale lacune du modèle du type théorique piscicole pour les systèmes de la présente étude semble être la non prise en compte de la profondeur, le choix d'espèces pélagiques ou de fond semblant peu judicieux sur les plans d'eau peu profonds. Il serait donc nécessaire soit de reprendre le modèle pour y intégrer les lacs mésotrophes peu profonds (hormis les étangs de montagne), soit de créer un nouveau modèle propre à ce type de système.

De plus, on peut aussi se poser la question quant à un modèle prédictif fiable à partir de peuplements piscicoles artificiels, dépendant le plus souvent entièrement des pratiques d'alevinage pour le moins fluctuantes d'un site à l'autre, voir sur un même site de manière inter-annuelle.

D. Perspectives

Cette présente étude a permis de recueillir des données sur des milieux encore mal connus et d'établir une première approche sur leur fonctionnement. Néanmoins, la diagnose écologique simplifiée pose quelques limites lors d'un état initial:

- Les investigations menées restent ponctuelles et ne permettent pas de visualiser les variations inter-annuelles potentiellement importantes sur les milieux de montagne [Psenner, 2003]. Il conviendrait donc de mettre en place un suivi scientifique sur plusieurs années.
- Des données hivernales seraient aussi intéressantes pour observer les conditions physico-chimiques régnant sous la glace et notamment le devenir de la matière organique.
- Une investigation plus fine des bassins-versant devraient être envisager pour identifier les pressions et pour mieux prendre en compte les annexes hydrauliques.
- La réalisation d'un IBL complet pourrait être envisagée sur ces lacs, notamment sur Arvouin afin d'établir le degré de dysfonctionnement réel de la zone profonde.
- Un élargissement de la matrice d'étude des paramètres physico-chimiques (comme les sédiments par exemple) devrait aussi être programmé pour rechercher d'éventuels contaminations par des polluants hydrophobes (hydrocarbures, éléments traces métalliques, pesticides). En effet, les systèmes de montagne ne sont pas exempts de pollutions anthropiques et sont particulièrement affecté par les retombées atmosphériques [VEYSSEYRE ET AL., 2001a; VEYSSEYRE ET AL., 2001b; Psenner, 2003; Huchet, 2009].

Les lacs étudiés constituent donc des cas particuliers dans les « systèmes de montagne » qu'il conviendrait d'étudier plus précisément afin de les intégrer dans la compréhension globale du fonctionnement des hydrosystèmes de montagne. Ainsi un élargissement de la vision des lacs de montagne à ces systèmes mésotrophes semblerait intéressante. La mise en place en cours d'un réseau de suivi scientifique des lacs de montagne à l'échelle de l'arc alpin (AlpLakes, Alpine Lake Networks) permettra peut être de pallier aux limites temporelles et méthodologiques de la présente étude, et d'approfondir les connaissances sur le fonctionnement de ces milieux.

V. Bibliographie

- AFNOR (1992, 2004) : *Détermination de l'indice biologique global normalisé (I.B.G.N)*, Norme NF.T 90-350, 9 p.
- ARGILLIER C., PRONIER O. & IRZ P. (2002) : *Approche typologique des peuplements piscicoles lacustres français. I. Les communautés des plans d'eau d'altitude supérieure à 1500m*, Bull. Fr. Pêche Piscic., Vol 365/366, pp. 373-387.
- AUBERT J. (1959) : *Plecoptera*, Insecta Helvetica, Vol 1, p. 140.
- BACCHI, M. (1994) : *Recherche sur la macrofaune benthique de la Haute-Loue, Structuration des habitats, Évolution des peuplements macrobenthiques depuis 1973*, Mémoire D.E.S.S. Eaux continentales Univ. Franche-Comté, 30 p.
- BAGLINIÈRE J. L. & MAISSE G. (2002) : *La biologie de la truite commune (Salmo trutta L.) dans la rivière Scorff, Bretagne: une synthèse des études de 1972 à 1997.*, INRA Prod. Anim., Vol 15 (5), pp. 319-331.
- BOUCLIER, A., BERTOLINO, J. P., RAYMOND, J. C. & SOLER, G. (1992) : *Echantillonnage piscicole du lac de Gers*, CSP, 5 + Annexes p.
- CAPBLANCQ J. & LAVILLE H. (1983) : *Le lac de Port Biehl (Pyrénées): exemple de fonctionnement d'un écosystème lacustre de haute montagne*, Lamotte & Bourlière (Ed.), 53-57 p.
- CARLE F. L. & STRUB M.R. (1978) : *A new method for estimating population size from removal data*, Biometrics, Vol 34, pp. 621-630.
- CAUDRON, A. (2008) : *Etude pluridisciplinaire des populations de truite commune (Salmo trutta L.) des torrents haut-savoyards soumises à repeuplements: diversité intra-spécifique, évaluation de*

pratiques de gestion et ingénierie de la conservation de populations natives, Thèse de doctorat de l'Université de Savoie, Ecole doctorale Sciences et Ingénierie des Systèmes de l'Environnement et des Organisations, INRA, 181 p.

CAUDRON, A. & CATINAUD, L. (2008) : *Utilisation des fréquences de taille relative pour évaluer les structures de tailles des populations de truites en Haute-Savoie*, Note technique. Fédération de Haute-Savoie pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique, 8 p.

CAUDRON, A., CHAMPINEULLE, A. & LARGE, A. (2006) : *Etats et caractéristiques des populations autochtones de truite commune identifiées en Haute-Savoie et qualité globale du milieu.*, In programme INTERREG III. A- Identification, sauvegarde et réhabilitation des populations de truites autochtones en Vallée d'Aoste et en Haute-Savoie. Rapport final., 55-118 pp.

CAVALLI, L. (1997) : *Biologie des populations de Salmonidés des lacs de haute altitude du Parc National des Ecrins*, Thèse de doctorat de l'Université de Provence, 213 p.

CEMAGREF (1985) : *Les lacs de montagne. Inventaire diagnostique d'un patrimoine naturel*, Cemagref - Ministère de l'Environnement (DPN, ACE), 198 p.

CHACORNAC, J. M. (1986) : *Lacs d'altitude: Métabolisme oligotrophe et approche typologique des écosystèmes*, Thèse de doctorat de l'Université Lyon I, 214 p.

CHAROLLAIS, J. (1988) : *Notice explicative de la carte géologique Annecy-Bonneville N°678 au 1:50 000*, BRGM, Orléans, .

CHIMITS P. (1955) : *Repeuplement des lacs de montagne des hautes et basses pyrénées*, Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems, Vol 6, p. 7.

CIAMPOROVA ZAT'OVICOVA Z., HAMERLIK L., SPORKA F. & BITUSI P. (2010) : *Littoral benthic macroinvertebrates of alpine lakes (Tatra Mts) along an altitudinal gradient: a basis for climate change assessment*, Hydrobiologia, Vol 648, pp. 19-34.

CRANSTON P. S. (1988) : *Biomonitoring and invertebrate taxonomy*, Environmental Monitoring and Assessment, Vol 14, pp. 265-273.

DECOURCIERE H. & DEGIORGI F. (2000) : *Protocole d'analyse semi-quantitative des communautés benthiques: le MAG20*, Note technique interne TELEOS, Vol , p. 4.

DEGIORGI F. & GRANDMOTTET J.P. (1993) : *Relation entre la topographie aquatique et l'organisation spatiale de l'ichtyofaune lacustre: définition des modalités spatiales d'une stratégie de prélèvements reproductible*, Bull. Fr. Pêche Piscic., Vol 329, pp. 199-220.

DEGIORGI F., GUILLARD J., GRANDMOTTET J. P. & GERDEAUX D. (1993) : *Les techniques d'étude de l'ichtyofaune lacustre utilisées en France - Bilan et perspectives*, Hydroécol. Appl., Vol 2, pp. 27-42.

DEGIORGI, F. (2008) : *Synthèse des études de 5 lacs du massif de Belledonne en Isère: Essai de typologie fonctionnelle, fondements pour la gestion piscicole*, Teleos, ONEMA, Fédération des AAPPMA 38, 31 p.

DEGIORGI, F., DÉCOURCIÈRE, H., BOURLET, G. & RAYMOND, J.C. (2010) : *Diagnose simplifiée du type écologique et du fonctionnement des lacs d'altitude, V2.1*, Teleos, Université de Franche-Comté, Fédération des APPMA de l'Isère et ONEMA, 4 p.

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., Vol 344/345, pp. 205-219.

DIREN RHÔNE-ALPES (2007) : *ZNIEFF de type I: le lac d'Arvouin*, 2ème édition, InfoSIG cartographie, Annecy (74), 3 p.

DUMOUTIER, Q., VIGER, L. & CAUDRON, A. (2010) : *Macro Excel d'Aide au Calcul de variables thermiques appliquées aux Milieux Aquatiques Salmonicoles (MACMA Salmo). Version 1,0*, INRA UMR Carrtel, Fédération de Haute-Savoie pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique, 26 p.

DUNHAM, J., CHANDLER, G., RIEMAN, B. & MARTIN, D. (2005) : *Measuring stream temperature with digital data loggers: a user's guide*, Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-150-WWW. Fort

- Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 15 p.
- DUSSART B. (1952) : *Contribution à l'étude des lacs du Chablais: le lac de Tavaneuse.* , Bull. fr. Piscic., Vol 167, pp. 63-68.
- ESTABLE, B. (2009) : *Diagnose écologique de 7 lacs de montagne en Isère*, Rapport Master 2 QuEST, 74 p.
- FÜREDER L., ETTINGER R., BOGGERO A., THALER B. & THIES H. (2006) : *Macroinvertebrate diversity in Alpine lakes: effects of altitude and catchment properties*, Hydrobiologia, Vol 562, pp. 123-144.
- FUREDER L., VACHA C., AMPROSI K., BÜHLER S., HANSEN C. M. E. & MORITZ C. (2002) : *Reference conditions of Alpine streams: physical habitat and ecology*, Water, Air, and Soil Pollution, Vol 2, pp. 275-294.
- GONTHIER M. & LAMORY J. M. (1995) : *Lacs de montagne en Haute-Savoie/Mont-Blanc*, Didier Richard (Ed.), 80 p.
- GRIFFITHS D. (2006) : *The direct contribution of fish to lake phosphorus cycles*, Ecology of Freshwater Fish, Vol 15, pp. 86-95.
- HIBON, L. (2010) : *Diagnose simplifiée de 5 lacs d'altitude hauts savoyards*, Rapport d'étude de Master 2 Qualité des Eaux, des Sols et Traitement, Université de Franche-Comté, Fédération de Haute-Savoie pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique, 97 p.
- HIEBER M., BURGHERR P., UEHLINGER U. & TOCKNER K. (2003) : *Alpine Streams: Diverse and Sensitive Ecosystems*, EAWAG news, Vol 55, pp. 9-11.
- HIEBER M., ROBINSON C. T. & UEHLINGER U. (2002) : *Alpine lake outlets: distinctive alpine stream types ?*, EAWAG news, Vol 54, pp. 9-11.
- HIEBER M., ROBINSON C. T., UEHLINGER U. & WARD J.V. (2002) : *Are alpine lake outlets less harsh than other alpine streams ?*, Archiv für Hydrobiologie, Vol 154, pp. 199-223.
- HIEBER M., ROBINSON C. T., UEHLINGER U. & WARD J.V. (2005) : *A comparison of benthic macroinvertebrate assemblage among different types of alpine streams*, Freshwater Biology, Vol 50, pp. 2087-2100.
- HODKINSON I. D. & JACKSON J.K. (2005) : *Terrestrial and Aquatic Invertebrates as Bioindicators for the Environmental Monitoring, with Particular Reference to Mountain Ecosystems*, Environmental Management, Vol 35 (5), pp. 649-666.
- 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 + Annexes p.
- INSTITUT DU TEMPS GÉRÉ (2005) : *Caractérisations des circulations et flux de matière liés au lac de Lessy. Assistance aux investigations conduites durant l'été 2005*, Communauté de Commune du Petit-Bornand les Glières, .
- KNAPP R. A. & MATTHEWS K.R. (2000) : *Effects on non-natives fishes on wilderness lake ecosystems in the Sierra Nevada and recommendations for reducing impacts*, USDA Forest Service Proceedings, Vol 5, pp. 312-317.
- KOWNACKI A., GALAS J., DUMNIKA E. & MIELEWCZYK S. (2000) : *Invertebrate communities in permanent and temporary high mountain lakes (Tatra Mts)*, Annls. Limnol, Vol 36 (3), pp. 181-188.
- LÉGER M. L. (1937) : *Economie biologique générale des cours d'eau alpins*, Bulletin français de pisciculture, Vol 109, p. 9.
- MACHINO, Y. (1991) : *Répartition géographique de l'Ombre chevalier (Poisson, Salmonidae, Salvelinus alpinus) en France*, Thèse de doctorat de l'Université Joseph Fourier, Grenoble I, 438 p.
- MARTINOT (1989) : *Les lacs de montagne: mieux connaître et bien gérer*, Parc national de la Vanoise - Colloque IIGGE: la gestion environnementale des plans d'eau, 19 p.
- MARTINOT, J. P. & RIVET, A. (1985) : *Typologie écologique des lacs de haute altitude du parc de*

- la Vanoise en vue de leur gestion*, Parc National de la Vanoise - Ministère de l'Environnement, 63 + Annexes p.
- MCGREGOR G., PETTS G. E., GURNELL A. M. & MILNER A.M. (1995) : *Sensitivity of alpine streams ecosystem to climate change and human impact*, Aquatic Conservation, Vol 5, pp. 233-247.
- PAIRIS, B. (1975) : *Contribution à l'étude stratigraphique, tectonique et métamorphique du massif de Piaté (Haute-Savoie)*, Thèse de doctorat de l'Univ. Grenoble, .
- PARMENTIER, E. (1994) : *Étude de la biocénose benthique du Drugeon. Application d'un nouveau protocole d'échantillonnage. Bilan de la qualité habitacionnelle. Analyse biocénétique générique. Bilan de la qualité faunistique.*, Mém. D.U.E.H.H Lab. Hydrobiol. Univ. Franche-Comté, 69 p.
- PERGA, M. E. (2004) : *Origine et flux de carbone dans les réseaux trophiques lacustres : Etude par analyse de la composition en isotopes stables du carbone et de l'azote du zooplancton et des poissons*, Thèse de doctorat de l'Université de Savoie. Centre Alpin de Recherche sur les Réseaux Trophiques et Ecosystèmes Limniques (CARRTEL), 198 p.
- POIREL, A., MERLE, G., SALENÇON, M. J. & TRAVADE, F. (2001) : *Gestion hydraulique et ressources piscicoles dans les retenues hydroélectriques*, *Gestion piscicole des grands plans d'eau*, Paris, 3-34 pp.
- PSENNER R. (2003) : *Alpine lakes: extreme ecosystems under the pressure of global change*, EAWAG news, Vol 55, pp. 12-14.
- REDING, J. P. (2011) : *Guide pratique d'identification des plécoptères du Jura franco-suisse, Partie I: larves.* , Version 0.9, 120 p.
- RESH V. H. & JACKSON J. K. (1993) : *Rapid assessment approaches to biomonitoring using benthic macroinvertebrates*, L. Chapman & Hall (Ed.), 195-223 p.
- RICKLEFS R. & MILLER G. (2005) : *Ecologie*, De Boeck (Ed.), 821 p.
- RIVIER B. (1996) : *Lacs de haute altitude: Méthodes d'échantillonnage ichtyologique - Gestion piscicole*, Cemagref (Ed.), 122 p.
- ROBINSON C. T. & UEHLINGER U. (2002) : *Glacial streams in Switzerland: a dominant feature of Alpine landscapes*, EAWAG news, Vol 54, pp. 6-8.
- ROCHE B. & LOYDE-PILOT M.D. (1989) : *Eutrophisation récente d'un lac de montagne sous occupation humaine (Lac de Bastani, Corse). Conséquence d'agents atmosphériques*, Rev. Sci. Eau, Vol 2, pp. 681-707.
- SCHINDLER D. E., KNAPP R. A. & LEAVITT P.R. (2001) : *Alteration of Nutrient Cycles and Algal production Resulting from Fish Introduction into Mountain Lakes*, Ecosystems, Vol 4, pp. 308-321.
- SERRA-BETRAL, G. (1976) : *Etude morphométrique, physico-chimique et sédimentologique de quelques lacs de montagne des Préalpes du Chablais (Haute-Savoie).*, Thèse de doctorat de l'Ingénieur Géodynamique Ext. Paris, 237 p.
- SESIANO J. & MULLER A. (1983) : *Quelques observations d'hydrogéologie au lac de Lessy (Haute-Savoie)*, Hypogées, Vol 48, pp. 5-17.
- SESIANO, J. (1993) : *Monographie physique des plans d'eau naturels du département de la Haute-Savoie, France*, Annecy, Conseil Général de Haute-Savoie, 140 p.
- SIAC (2010) : *Aspiring Chablais Geopark: application dossier for nomination as european geopark network and UNESCO global geoparks network*, Le Chablais, 54 p.
- SIDLE R. C., TSUBOAMA Y., NOGUSHI S., HOSODA I., FUJIEDA M. & SHIMIZU T. (2000) : *Stormflow generation in steep forested headwaters: a linked hydrogeomorphic paradigm*, Hydrological Processes, Vol 14, pp. 369-385.
- STUDEMANN D., LANDOLT P., SARTORI M., HEFTI D. & TOMKA I. (1992) : *Ephemeroptera*, F. 9. Insecta Helvetica (Ed.), 175 p.
- SYNDICAT INTERCOMMUNAL DU CHABLAIS (2008) : *Gestion intégrée de l'eau et des milieux aquatiques sur le bassin-versant des Dranses et de l'Est Lémanique. Étude d'opportunité*,

CG haute-Savoie, AGRESTIS, 92+ annexes p.

TACHET H., RICHOUX P., BOURNAUD M. & USSELGLIO-POLATERA P. (2010) : *Invertébrés d'eau douce: systématique, biologie, écologie*, CNRS éditions (Ed.), 607 p.

TATOSOVA J. & STUHLIK E. (2006) : *Seasonal dynamics of chironomids in the profundal zone of a mountain lake (L'adové pleso, the Tatra Mountains, Slovakia)*, Biologia (Lahore, Pakistan), Vol 61, pp. 203-212.

TÖPFFER R. (1841) : *Nouvelles genevoises*, Charpentier (Ed.), 435 p.

TOUCHART L. (2000) : *Les lacs: origine et morphologie*, L'Harmattan (Ed.), 209 p.

VERNEAUX V., VERNEAUX J., SCHMITT A., LOVY C. & LAMBERT J. (2004) : *The Lake Biotic Index (LBI): an applied method for assessing the biological quality of lakes using macrobenthos; the Lake Châlain (French Jura) as an example*, Annales de Limnologie, Vol 40, pp. 1-9.

VERNEAUX, J. (1982) : *Un coefficient d'aptitude biogène : le Cb2*, Université de Besançon, 17 p.

VEYSSEYRE A., BOLLHÖFER A. F., ROSMAN K. J., FERRARI C. P. & BOUTRON C.F. (2001a) : *Tracing the origin of pollution in French Alpine snow and aerosols using lead isotopic ratios*, Environ. Sci. Technol, Vol 35(22), pp. 4463-4469.

VEYSSEYRE A., MOUTARD K., FERRARI C., VAN DE VELDE K., BARBANTE C., COZZI G. ET AL. (2001b) : *Heavy metals in fresh snow collected at different altitudes in the Chamonix and Maurienne valleys, French alps: initial results*, Atmospheric Environment, Vol 35, pp. 415-425.

WARD J. V. (1994) : *Ecology of alpine streams*, Freshwater Biology, Vol 32, pp. 277-294.

WARD J. V. (2002) : *The Ecology of Alpine streams*, EAWAG news, Vol 54, pp. 3-6.

WARINGER, J. & GRAF, W. (1997) : *Atlas des larves de Trichoptères. Larves d'Autriche et de ses pays limitrophes*, Université de Vienne, 258 p.

WHITE K. M., ROTHHAUPT K. O., MÖRTL M., CANTONATI M. & TOHT G.L. (2008) : *Ecological effects of water-level fluctuations in lakes: an urgent issue*, Hydrobiologia, Vol 613 (1), pp. 1-4.

WINIARSKI T. (2000) : *Les lacs montagnards: indicateurs de la qualité du milieu. Application aux lacs d'altitude des réserves de Haute-Savoie.*, Revue géographique alpine, Vol 88, pp. 9-22.

ZWICK, P. (2004) : *A key to the West Palaearctic genera of stoneflies (Plecoptera) in the larval stage*, Forschungsinstitut Senckenberg, Forschungsstation für Mittelgebirge, 38 p.

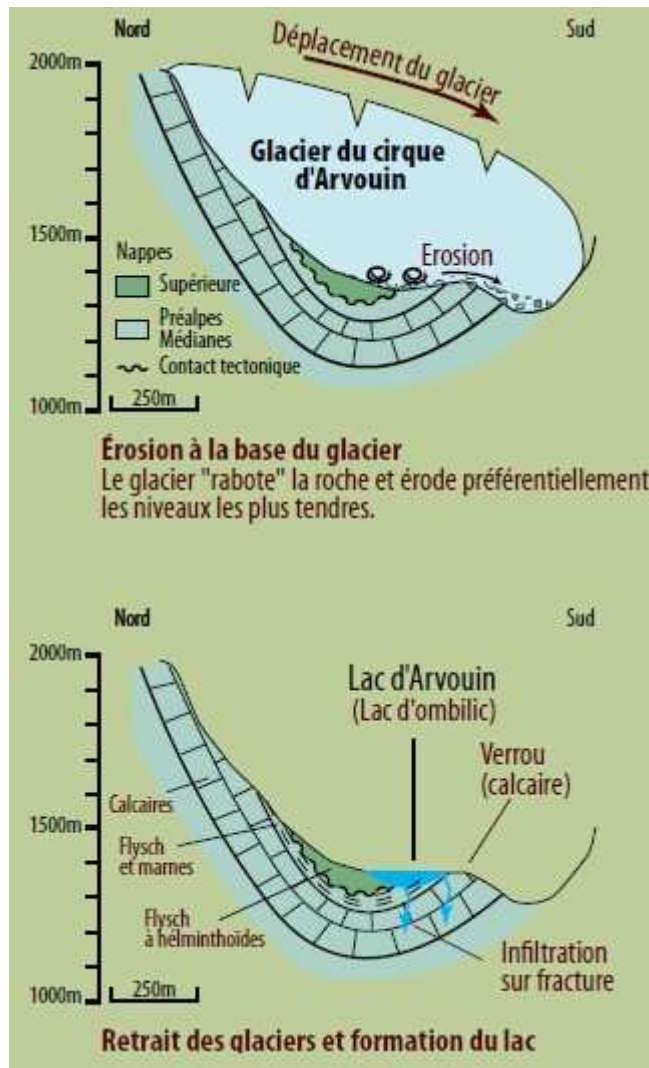
VI. ANNEXES

Variabiles	G1	G2	G3	G4	G5	G6
Altitude du bassin versant (m)	1950	1870	1900	2440	2390	2200
	100	140	130	180	140	
Surface du bassin versant (ha)	93,5	13,5	7,4	11,5	3,6	25
	26,1	14,9	4,6	9,5	2,4	
Altitude du lac (m)	1600	1620	1710	2260	2300	2060
	240	140	260	170	150	
Surface du lac (ha)	3,3	2,3	1,6	1,4	3,8	11,5
	1,5	1,7	1,1	2,4	1,3	
Profondeur maximum (m)	7,7	4,9	6,1	5,5	20,2	12,5
	1,6	2,6	2,9	3,0	1,3	
Durée du gel (mois)	6,3	5,9	6,2	7,8	8,7	8
	0,4	1,3	1,1	0,4	0,4	

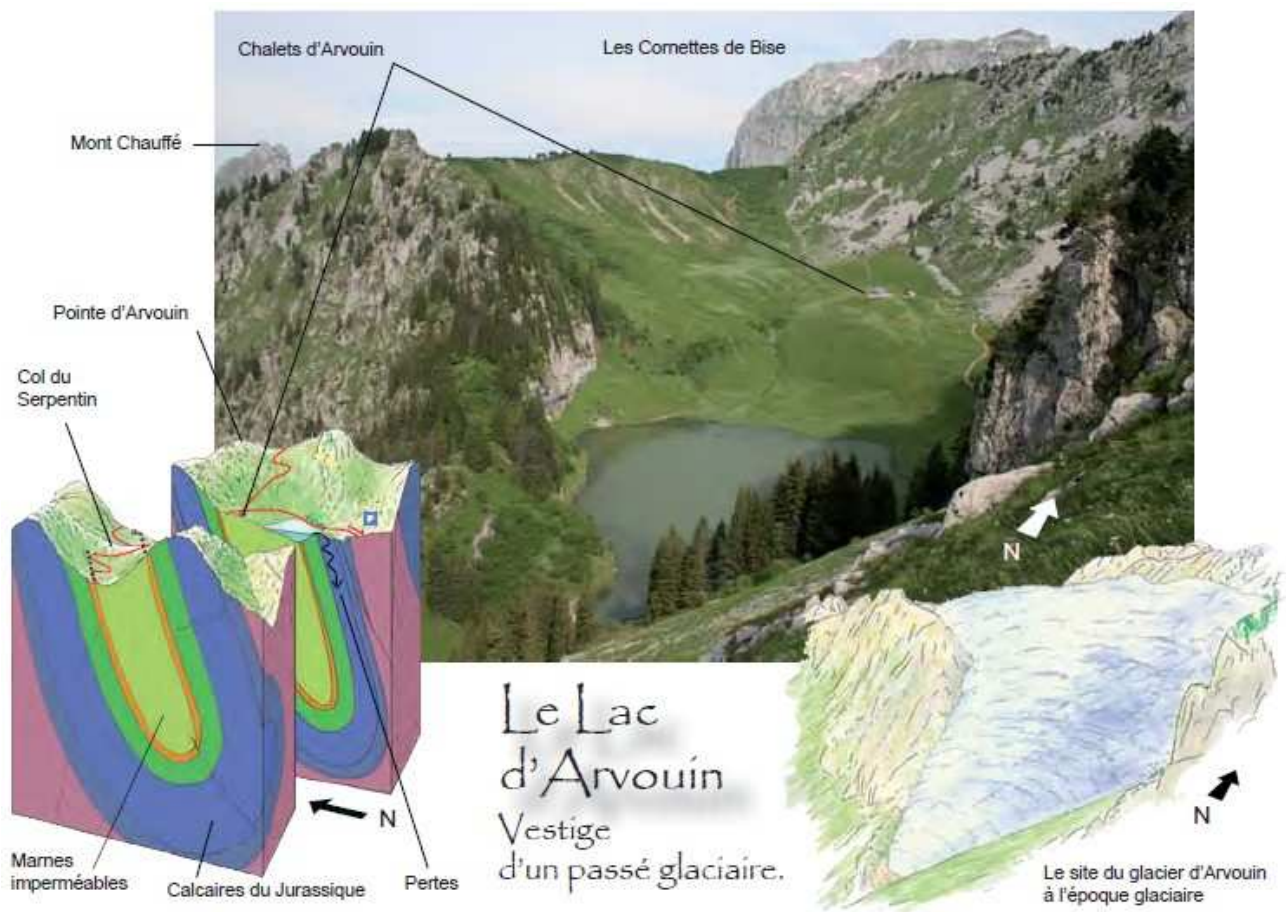
Tableau 1 : Interprétation des groupes de lacs basée sur la moyenne et l'écart type (en gras) des descripteurs invariants

G1 : lac Benit, lac de Pormenaz, lac de Flaine ; G2 : lac d'Arvouin, lac des Confins, lac Damoz des Moulins, lac de Darbon, lac de Gers, lac Lessy, lac d'Oche, lac de Petetoz, lac de Roi ; G3 : Laouchet, lac de Tavaneuse, lac de Vernant, lac Vert ; G4 : lac de l'Aiguillette, lac Blanc, lac Bleu, lacs des Cheserys, lac du Creux aux Marmottes, lac Jovet, lac du Plan du Buet, lac de Remuaz ; G5 : lac du Brévent, lac Cornu, lacs Noirs ; G6 : lac d'Anterne (d'après Chacornac, 1986)

Annexe 1: Interprétation des groupes de lacs basée sur la moyenne et l'écart-type (en gras) des descripteurs invariants. G1: lac Bénit, lac de Pormenaz, lac de Flaine; G2: lac d'Arvouin, lac des Confins, lac Damoz des Moulins, lac de Darbon, lac de Gers, lac de Lessy, lac d'Oche, lac de Petetoz, lac de Roi; G3: Laouchet, lac de Tavaneuse, lac de Vernant, lac Vert; G4: lac de l'Aiguillette, lac Blanc, lac Bleu, lac de Cheserys, lac du Creux aux Marmottes, lac Jovet, lac du Plan du Buet, lac de Remuaz; G5: lac du Brévent, lac du Cornu, lacs Noirs; G6: lac d'Anterne. D'après Chacornac, 1986



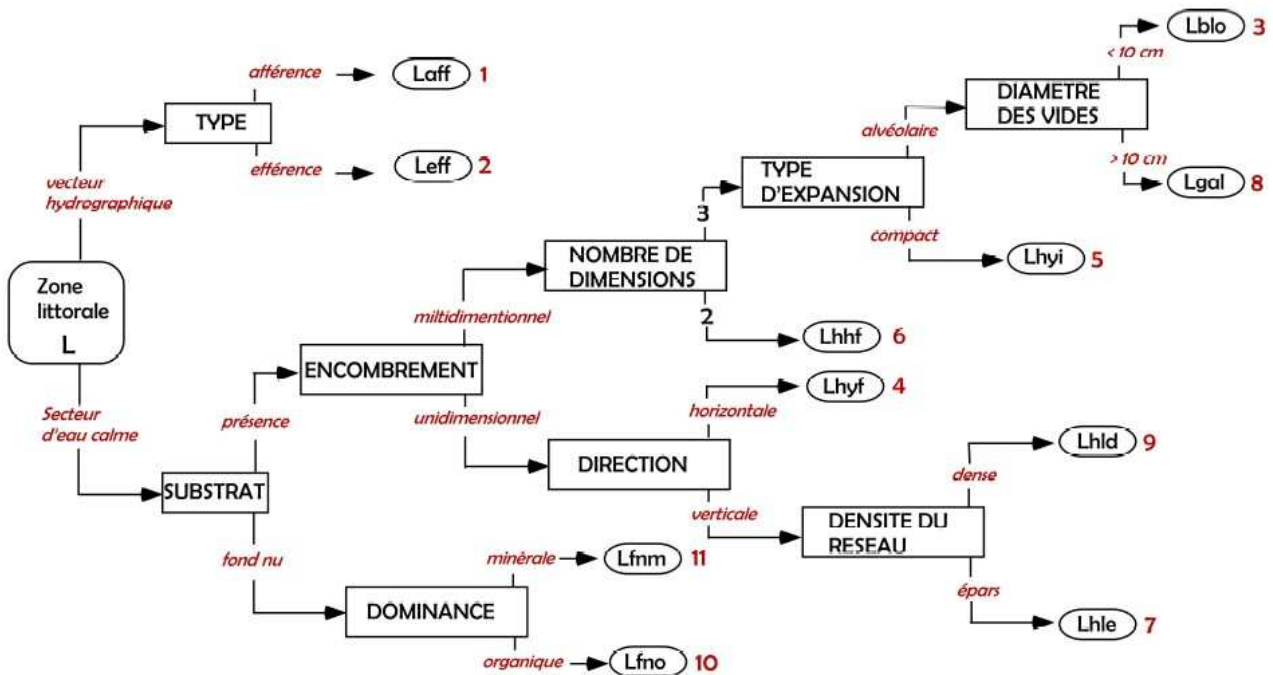
Annexe 2: Formation du lac d'Arvouin par le retrait du glacier d'Arvouin



Annexe 3: Panorama et géologie du lac d'Arvouin, d'après [SIAC (2010)]

	Arvouin	Gers	Lessy	Tavaneuse	Vernant
Prospection du bassin versant					
Occupation du sol	X	X	X	X	X
Cartographie du lac					
Isobathe 2 m	-	-	-	-	-
Diversités habitationnelles	X	X	X	X	X
Présence/absence de vecteurs fluviaux	X	X	X	X	X
Ichtyologie					
PE émissaires/ tributaires	*	*	*	*	*
Faune benthique					
Prélèvement littoraux selon protocole IBL	X	X	X	X	X
« MAG 12 » tributaires/émissaires	*	*	*	*	*
Chimie					
<i>Analyse terrain</i>					
O ₂ dissous	X	X	X	X	X
Températures instantanées	X	X	X	X	X
Températures continues	X	X	X	X	X
Conductivité	X	X	X	X	X
<i>Analyse 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
Alcalinité	X	X	X	X	X
Dureté calcique/magnésique	X	X	X	X	X
Turbidité	X	X	X	X	X
pH	X	X	X	X	X

Annexe 4: Ensemble des investigations menées sur les 5 lacs étudiés



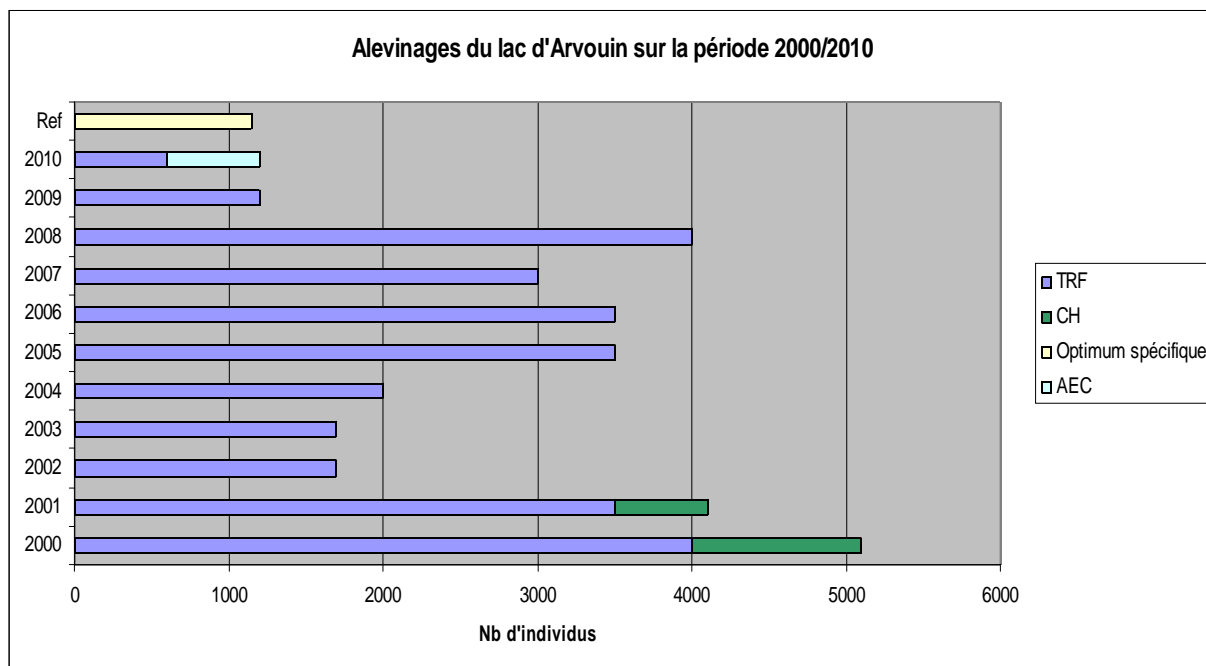
Annexe 5: Schéma de description de l'espace lacustre, d'après Degiorgi & Grandmottet, 1993. 1 Laff: afférence; 2 Leff: efférence; 3 Lblo: blocs ou branchages ménageant des anfractuosités (> 10cm); 4 Lhyf: hydrophytes flottantes; 5 Lhyi: hydrophytes immergées; 6 Lhhf: association hydrophytes flottantes et hélrophytes; 7 Lhle: Hélophytes éparses (espace intertige > 10cm); 8 Lgal: galets-graviers non colmatés (anfractuosités < 10cm); 9 Lhld: hélrophytes denses (espace intertige < 10cm); 10 Lfno: fond nu organique (vase, tourbe, ...); 11 Lfnm: fond nu minéral (sables, craies, dalles).

Seuils Sat. (%) [O₂](mg/L)	120>Sat>90 [O₂] ≥7	120≤Sat<140 90≥Sat>60 7>[O₂]≥5	140≤Sat<160 60≥Sat>30 5>[O₂]≥3	160≤Sat<180 30≥Sat>10 3>[O₂]≥1	180≤Sat<200 10≥Sat>0 1>[O₂]>0	Sat < 200 0 0
Score	25	20	15	10	5	0
Strates						
Surface	X					
Thermocline		X				
2/3 Zmax			X			
Zmax-1m				X		

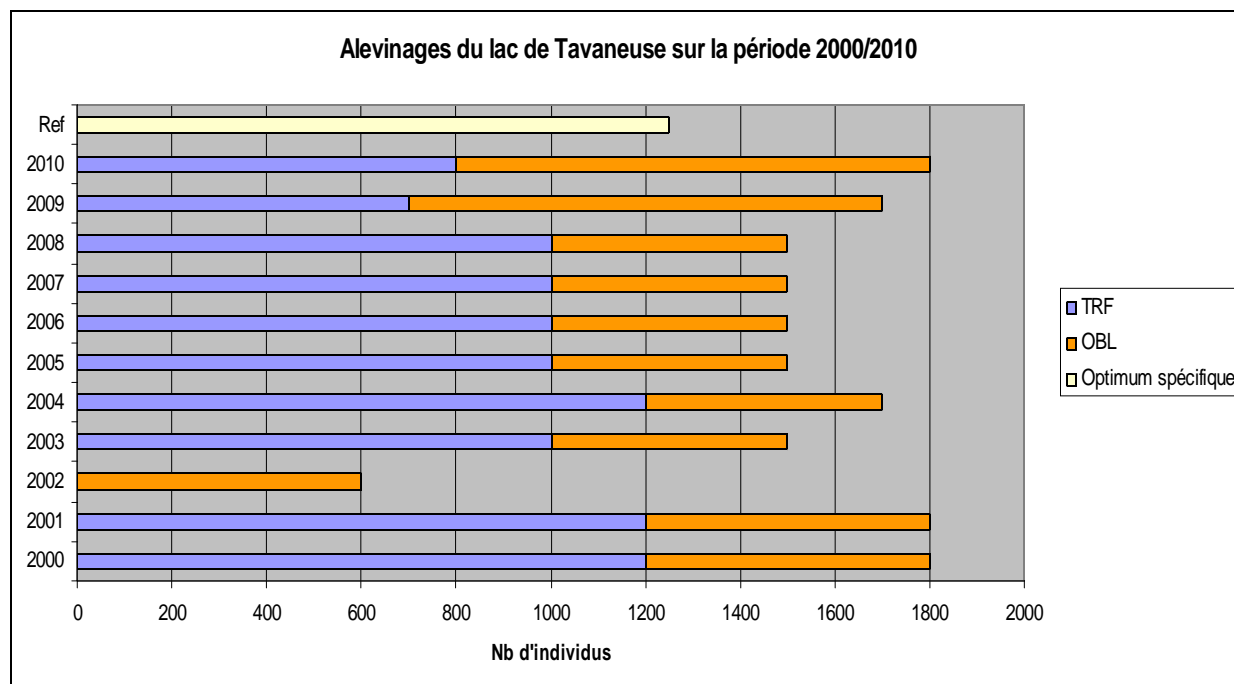
Annexe 6: Calcul du degré de fonctionnalité piscicole des lacs. Degiorgi et al, 2010

Traits primaires	Traits secondaires
Biologie	Type de nourriture
Physiologie	Température
	Degré de trophie
	Valeur saprobiale
Écologie	Préférendum habitationnel

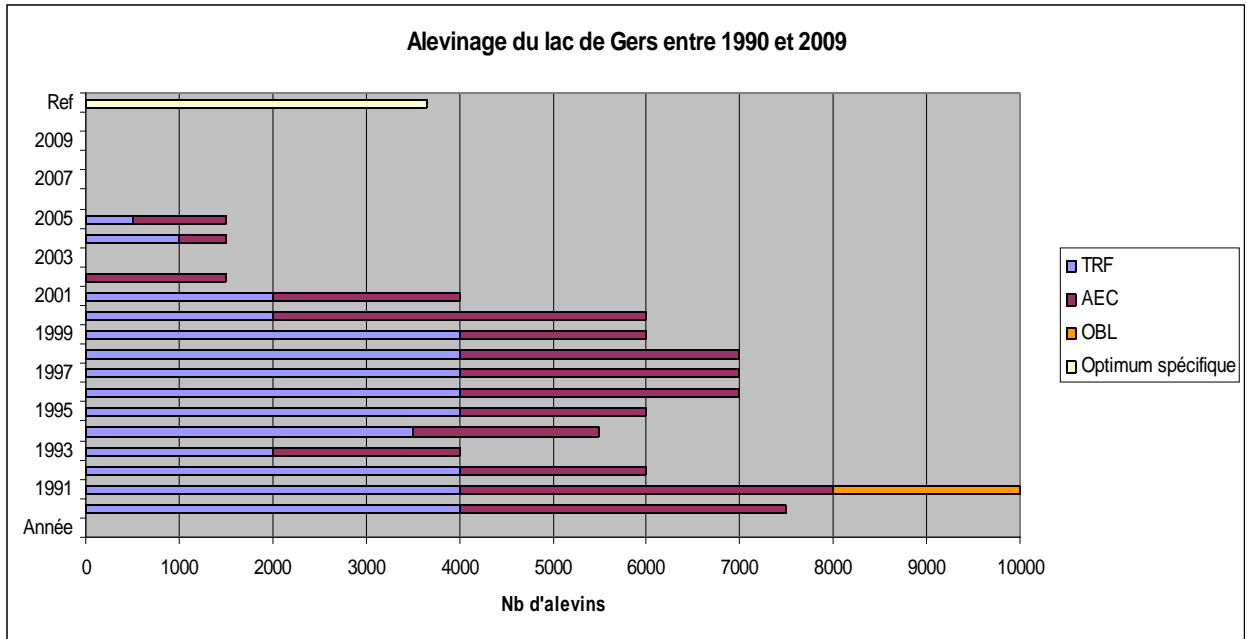
Annexe 7: Traits biologiques, physiologiques et écologiques, d'après Tachet et al, 2010



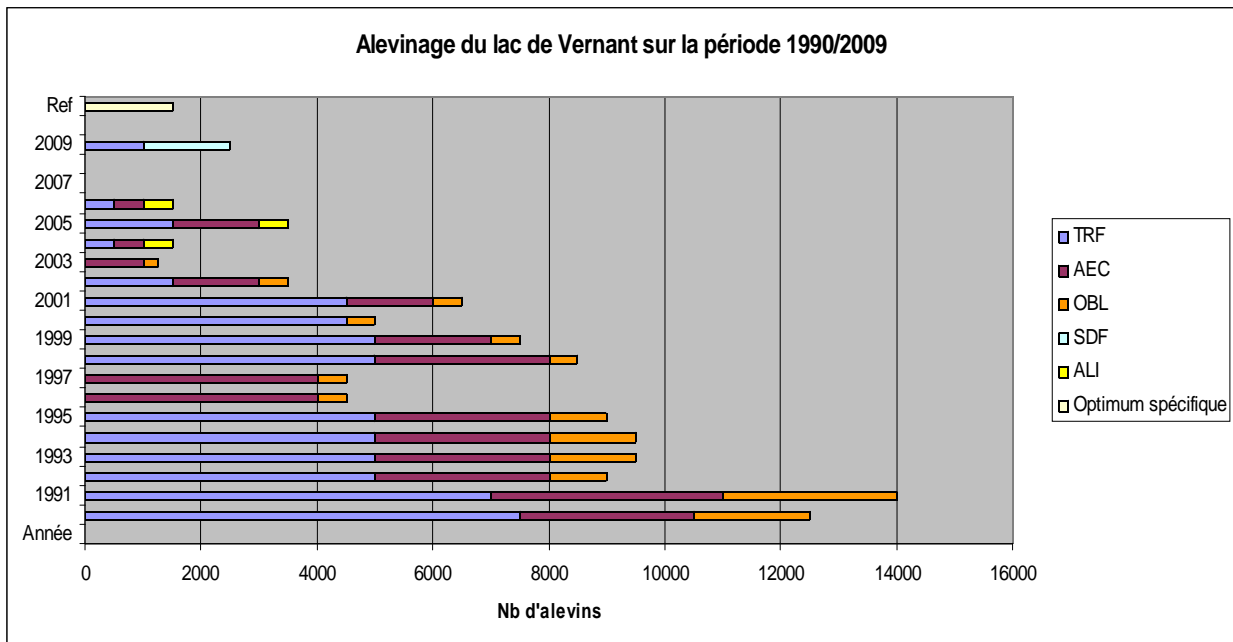
Annexe 8: Bilan sur les alevinages pratiqués entre 2000 et 2010 sur le lac d'Arvouin



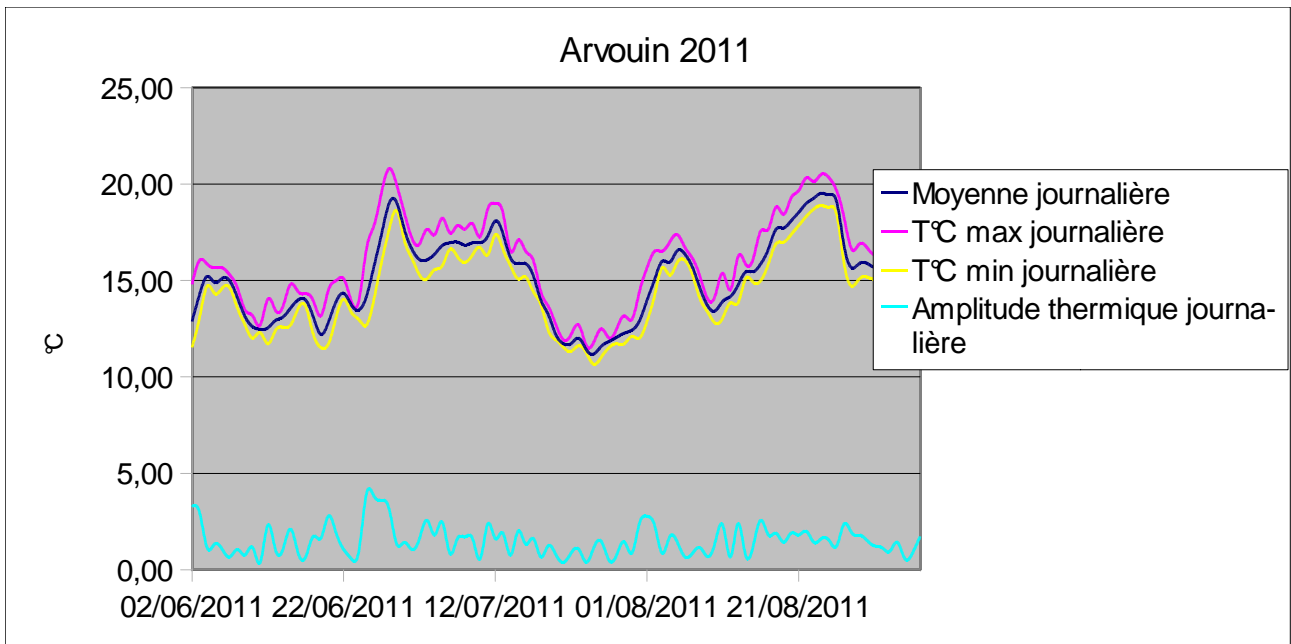
Annexe 9: Bilan sur les alevinages pratiqués entre 2000 et 2010 sur le lac de Tavaneuse



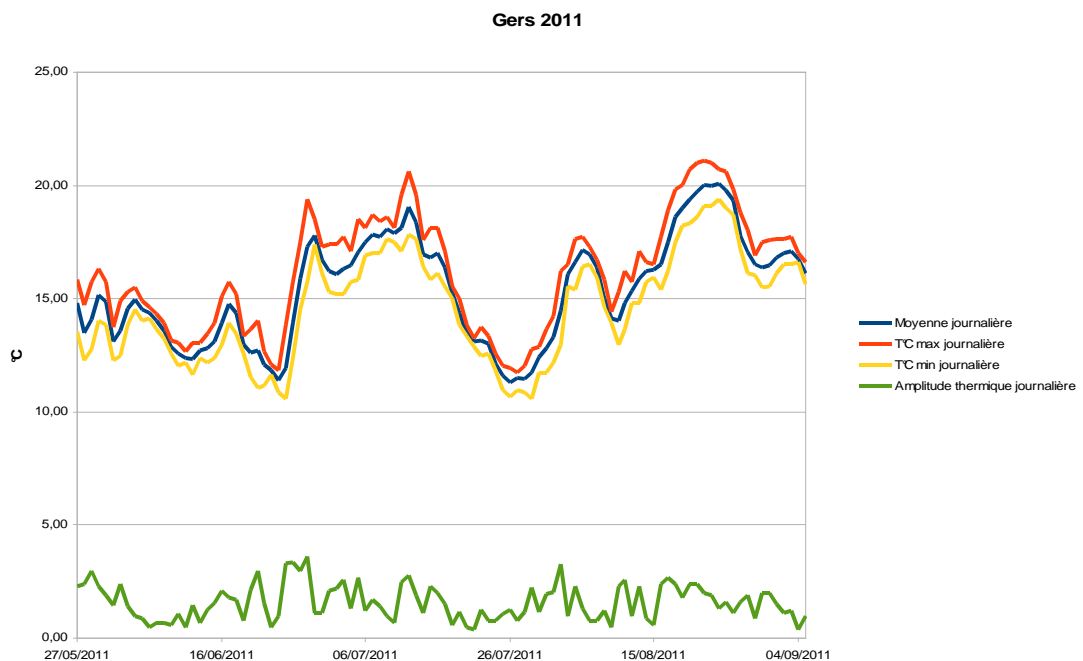
Annexe 10: Bilan sur les alevinages pratiqués entre 1990 et 2009 sur le lac de Gers



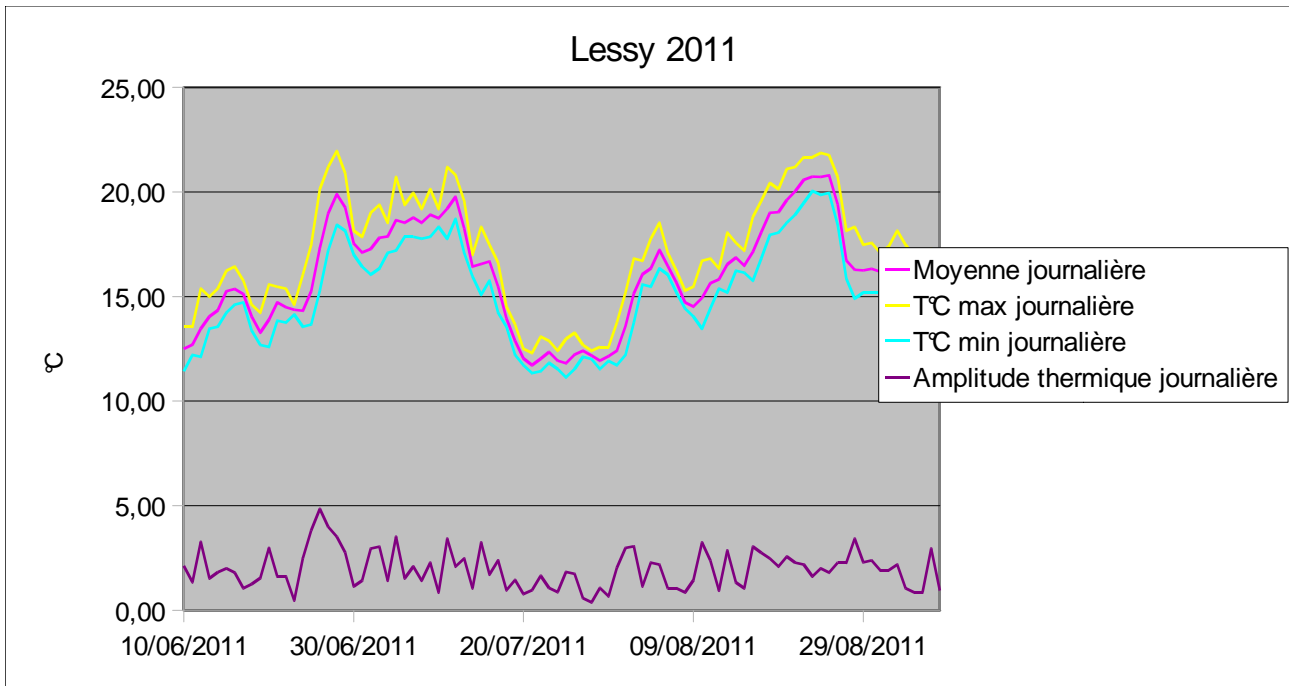
Annexe 11: Bilan sur les alevinages pratiqués entre 1990 et 2009 sur le lac de Vernant



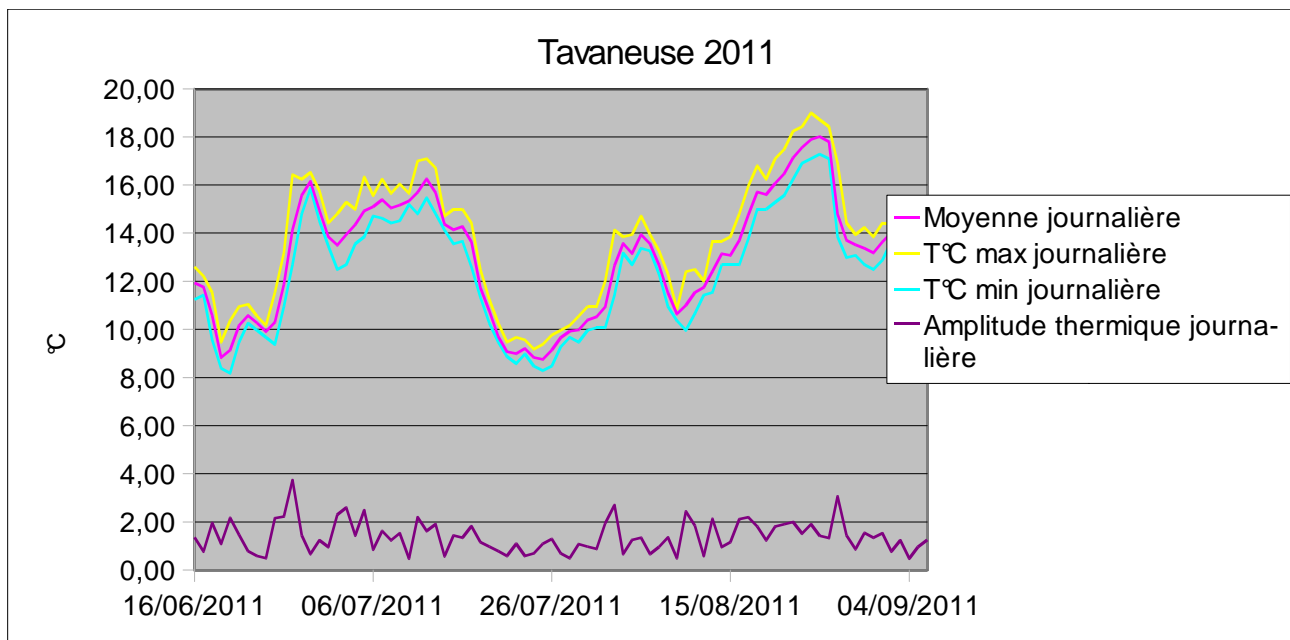
Annexe 12: Evolution temporelle de la température des eaux à 1m de profondeur du lac d'Arvouin durant la période du 02/06/11 au 06/09/11



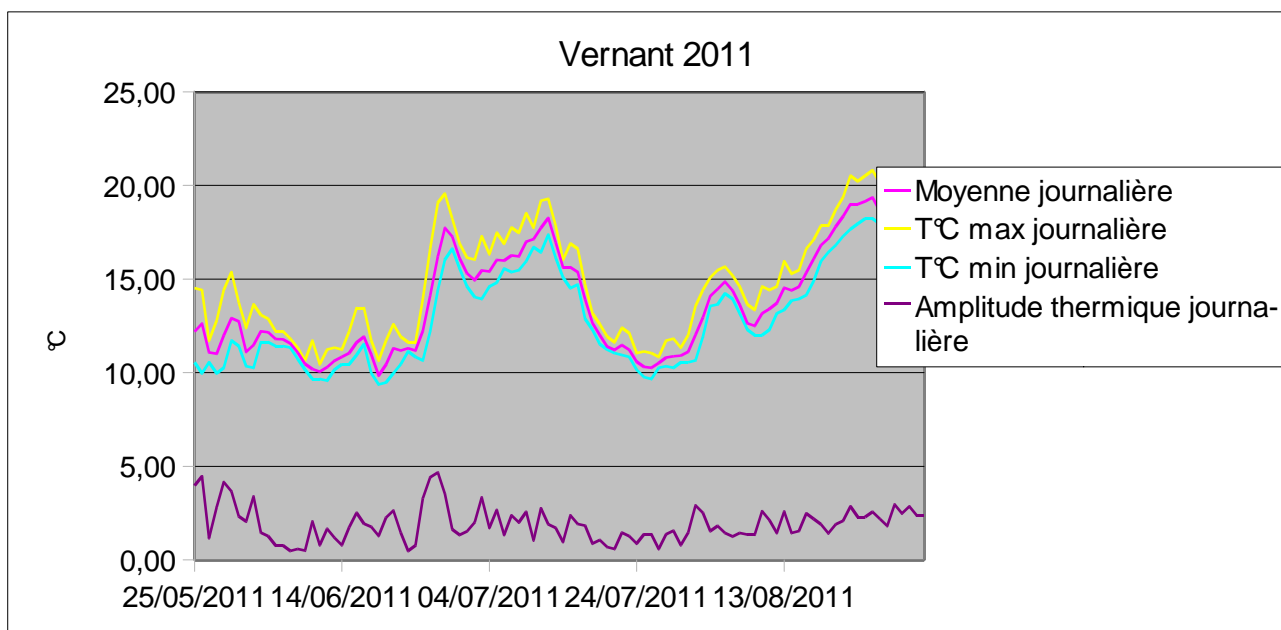
Annexe 13: Evolution temporelle de la température des eaux à 1m de profondeur du lac de Gers durant la période du 25/06/11 au 05/09/11



Annexe 14: Evolution temporelle de la température des eaux à 1m de profondeur du lac de Lessy durant la période du 10/06/11 au 08/09/11



Annexe 15: Evolution temporelle de la température des eaux à 1m de profondeur du lac de Tavaneuse durant la période du 16/06/11 au 06/09/11

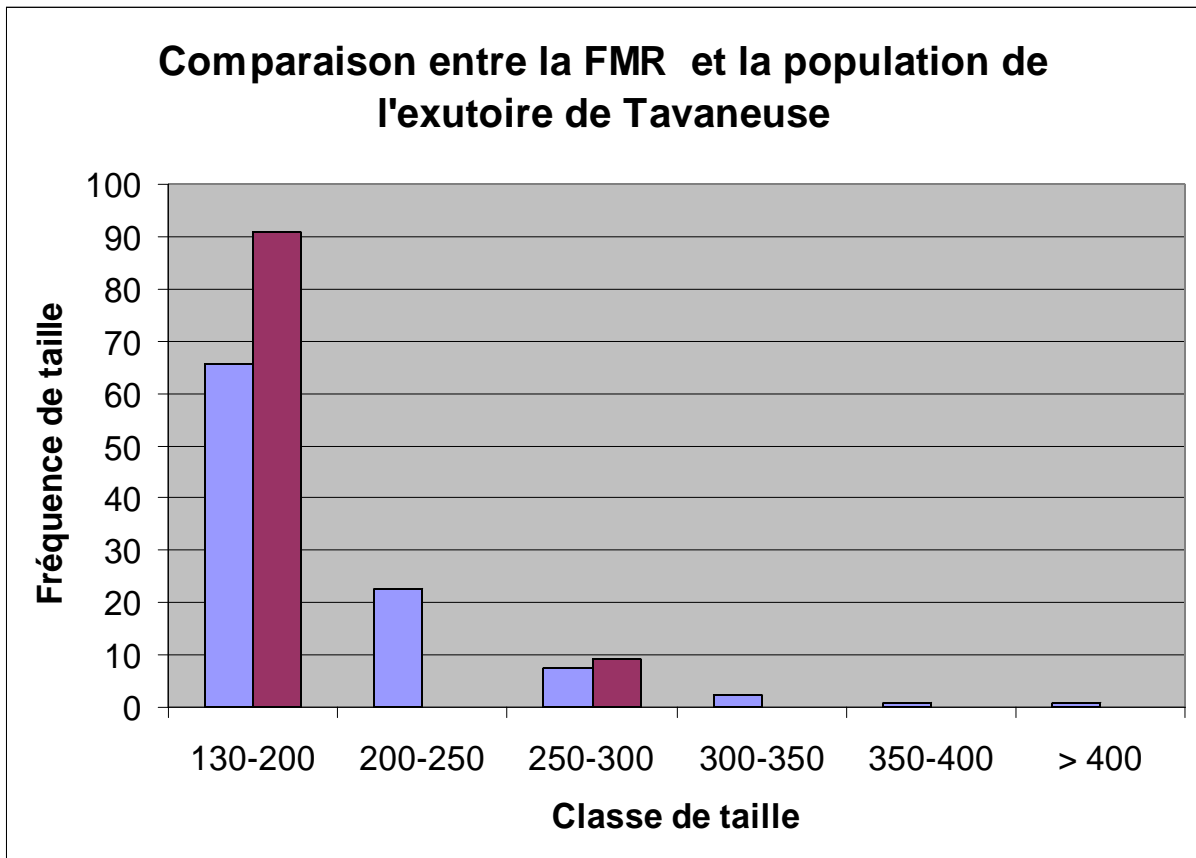


Annexe 16: Evolution temporelle de la température des eaux à 1m de profondeur du lac de Vernant durant la période du 25/05/11 au 01/09/11

			Arvouin		Gers		Lessy		Tavaneuse		Vernant	
			Eff	Occ (%)	Eff	Occ (%)	Eff	Occ (%)	Eff	Occ (%)	Eff	Occ (%)
Plécoptères									30	5,03		
Leuctridae	<i>Leuctra</i>	Genre							1	0,17		
Nemouridae	<i>Nemoura cinerea</i>	Espèce							29	4,87		
Trichoptères			7	0,49			5	0,82	5	0,84	9	2,55
Leptoceridae	<i>Athripsodes aterrimus</i>	Espèce	4	0,28								
	<i>Limnephilus bipunctatus</i>	Espèce					2	0,33				
Limnephilidae	<i>Limnephilus rhombicus</i>	Espèce							1	0,17		
	<i>Limnephilus sp.</i>	Genre									9	2,55
	<i>Tr. Stenophylacini et Tr. Chaetopterygini</i>	Tribu							3	0,50		
Odontoceridae	<i>Odontocerum albicorne</i>	Espèce							1	0,17		
Phryganeidae	<i>Agrypnia varia</i>	Espèce	2	0,14			1	0,16				
	<i>Oligotrichia striata</i>	Espèce	1	0,07								
Trichoptères	<i>Limnephilidae indéterminée</i>	Nymphe					2	0,33				
Ephéméroptères			4	0,28					9	1,51		
Baetidae	<i>Baetis</i>	Genre	2	0,14								
	<i>Cleon dipterum</i>	Espèce	2	0,14					9	1,51		
Coléoptères			2	0,14			1	0,16	1	0,17	11	3,12
Chrysomelidae	<i>Donacii</i>	Genre	1	0,07								
Curculionidae	Genre non identifié ad.								1	0,17	9	2,55
	<i>Agabus l.</i>	Genre	1	0,07								
Dytiscidae	<i>sF. Copelatinae (g. Copeletus) ad.</i>	Sous famille									1	0,28
	Genre non identifié l.										1	0,28
Halipidae	<i>Halipus ad.</i>	Genre					1	0,16				
Diptères			956	66,30	4	8,89	90	14,83	420	70,47	72	20,40
Ceratopogonidae	<i>Ceratopogoninae</i>	sous famille	1	0,07								
	<i>Dasyhelainae</i>	sous famille									19	5,38
	<i>Leptoconopinae</i>	sous famille			1	2,22						
Chironomidae	Chironomini	Tribu	842	58,39	3	6,67	22	3,62	222	37,25	26	7,37
	Chironomini (nymphe)	Tribu		0,00			3	0,49	1	0,17		
	Tanytarsini	Tribu	73	5,06			11	1,81	145	24,33	16	4,53
	Tanytarsini (nymphe)	Tribu	1	0,07					9	1,51	4	1,13
	<i>Orthoclaadiinae lato sensus</i>	sous famille	30	2,08			42	6,92	2	0,34	6	1,70
	<i>Orthoclaadiinae lato sensus (nymphe)</i>	sous famille	5	0,35			5	0,82	3	0,50	1	0,28
	<i>Podominae</i>	Sous famille							35	5,87		
	<i>Tanypodinae</i>	sous famille	4	0,28			7	1,15	3	0,50		
Tabaridae	Genre non identifié							1	0,17			
Odonates					3	6,67						
Corduliidae	<i>Somatochlora metallica metallica</i>	Espèce			3	6,67						
Mégaloptères			6	0,42					21	3,52	9	2,55
Sialidae	<i>Sialis</i>	Genre	6	0,42					21	3,52	9	2,55
Crustacés									1	0,17	1	0,28
Gammaridae	<i>Gammarus</i>	Genre							1	0,17	1	0,28
Bivalves			29	2,01			1	0,16	11	1,85	2	0,57
Sphaeriidae	<i>Pisidium</i>	Genre	29	2,01			1	0,16	11	1,85	2	0,57
Gastéropodes			299	20,74								
Planorbidae	<i>Planorbarius corneus</i>	Espèce	299	20,74								
Oligochètes			134	9,29	38	84,44	502	82,70	98	16,44	248	70,25
Achètes			5	0,35			4	0,66				
Glossiphoniidae	<i>Helobdella stagnalis</i>	Espèce	5	0,35			4	0,66				
Nématodes							4	0,66				
Hydracariens											1	0,28
Abondance Total			1442	100,00	45	100,00	607	100,00	596	100,00	353	100,00
Individus/m²			3605		100		1214		1322		883	
Nombre de famille			12		4		8		12		10	
Nombre de genre			14		4		8		13		11	
Rapport Chironome/oligochète			7,13		0,08		0,18		4,29		0,21	

Annexe 17: Répertoire faunistique établis par les prélèvements en zone littorale selon le protocole IBL sur les 5 lacs étudiés

			Arvouin		Lessy		Tavaneuse		Vernant		Exutoire			
			Exutoire	Tributaire	Exutoire	Tributaire	Exutoire	Tributaire	Exutoire	Tributaire	Exutoire	Tributaire		
			Eff	Occ (%)	Eff	Occ (%)	Eff	Occ (%)	Eff	Occ (%)	Eff	Occ (%)		
PLECOPTERA		ORDRE	6	0,22	236	21,42	31	17,71	610	9,31	64	20,51	508	26,39
Chloroperlidae		Famille					4	2,29						
	<i>Siphonoperla</i>	Genre					4	2,29						
Leuctridae		Famille					19	10,86	92	1,40	27	8,65	19	0,99
	<i>Leuctra</i>	Genre					19	10,86	92	1,40	27	8,65	19	0,99
Nemouridae		Famille	6	0,22	236	21,42			518	7,91	22	7,05	386	20,05
	<i>Nemoura</i>	Genre	6	0,22	3	0,27			111	1,69	9	2,88	144	7,48
	<i>Nemurella pictetii</i>	Espèce			233	21,14	3	1,71					242	12,57
	<i>Protonemura</i>	Genre					4	2,29	407	6,21	13	4,17	1	0,05
Perlidae	<i>Perla grandis</i>	Espèce											1	0,05
Perlodidae		Famille					1	0,57			15	4,81	102	5,30
	<i>Isoperla</i>	Genre					1	0,57			15	4,81	102	5,30
TRICHOPTERA		ORDRE	11	0,40	2	0,18	14	8,00	64	0,98	17	5,45	31	1,61
Goeridae		Famille									1	0,32		
	<i>Lithax niger</i>	Espèce									1	0,32		
Limnephilidae		Famille	10	0,37	2	0,18	11	6,29	46	0,70	10	3,21	1	0,05
	<i>sF. Drusinae</i>	Sous-famille					11	6,29	4	0,06			1	0,05
	<i>Drusus annulatus</i>	Espèce											1	0,05
	<i>Drusus discolor</i>	Espèce							4	0,06				
	<i>Metanoea flavipennis</i>	Espèce					11	6,29						
	<i>sF. Limnephilinae</i>	Sous-famille	10	0,37	2	0,18			42	0,64				
	<i>Autre Limnephilinae</i>	Sous-famille							2	0,03	10	3,21		
	<i>Chaetopteryx villosa</i>	Espèce	10	0,37					31	0,47				
	<i>Conosopylax</i>	Genre			2	0,18								
	<i>Tr. Stenophylacini et Tr. Chaetopterygini</i>	Tribu							9	0,14				
	<i>Allogamus</i>	Genre							7	0,11				
<i>Halesus</i>	Genre							1	0,02					
<i>Potamophylax</i>	Genre							1	0,02					
Odontoceridae		Famille	1	0,04					3	0,05			2	0,10
	<i>Odontocerum albicorne</i>	Espèce	1	0,04					3	0,05			2	0,10
Philopotamidae		Famille											10	0,52
	<i>Philopotamus montanus</i>	Espèce											10	0,52
Rhyacophilidae		Famille						13	0,20	2	0,64	18	0,94	
	<i>Rhyacophila</i>	Genre						13	0,20	2	0,64	18	0,94	
Sericostomatidae		Famille					3	1,71	2	0,03	4	1,28		
	<i>Sericostoma personatum</i>	Espèce					3	1,71	2	0,03	4	1,28		
EPHEMEROPTERA		ORDRE	30	1,10	2	0,18	45	25,71	19	0,29	90	28,85	594	30,86
Baetidae		Famille	30	1,10	2	0,18	42	24,00	19	0,29	45	14,42	450	23,38
	<i>Baetis sp.</i>	Genre					10	5,71	19	0,29			3	0,16
	<i>Baetis alpinus</i>	Espèce	30	1,10	2	0,18	32	18,29			45	14,42	447	23,22
Heptageniidae		Famille					3	1,71			27	8,65	110	5,71
	<i>Ecdyonurus sp.</i>	Genre					3	1,71			26	8,33	5	0,26
	<i>Ecdyonurus venosus</i>	Espèce											101	5,25
Leptophlebiidae		Famille								18	5,77	34	1,77	
	<i>Habroleptoides confusa</i>	Genre								18	5,77	34	1,77	
HETEROPTERES		SOUS ORDRE	1	0,04	1	0,09								
Mesoveliidae		Famille	1	0,04	1	0,09								
	<i>Mesovela</i>	Genre	1	0,04	1	0,09								
COLEOPTERA		ORDRE	1	0,04	1	0,09	1	0,57	14	0,21	1	0,32	2	0,10
Chrysomelidae		Famille							1	0,02				
	<i>Platymaris l.</i>	Genre							1	0,02				
Curculionidae		Famille			1	0,09					1	0,32		
	<i>sF. Colymbetinae</i>	Sous famille			1	0,09								
Dytiscidae		Famille			1	0,09								
	<i>Agabus l.</i>	Genre			1	0,09								
Elmidae		Famille						12	0,18					
	<i>Limnius l.</i>	Genre						12	0,18					
Hydraenidae		Famille					1	0,57	1	0,02			2	0,10
	<i>Hydraena ad.</i>	Genre					1	0,57	1	0,02			2	0,10
Hydrophilidae		sous famille	1	0,04										
	<i>sF. Sphaeridiinae (g. Coelbstoma) ad.</i>													
DIPTERA		ORDRE	1358	49,60	356	32,30	74	42,29	3830	58,47	90	28,85	658	34,18
Anthomyiidae		Famille	27	0,99									1	0,05
	<i>Ceratopogoninae</i>	sous famille					1	0,57	1	0,02			1	0,05
Chironomidae	<i>Chironiminae</i>	Famille	305	11,14	351	31,85	57	32,57	3724	56,85	20	6,41	563	29,25
	Chironomini	Tribu	26	0,95	26	2,36	4	2,29	256	3,91				
	Tanytarsini	Tribu					4	2,29	352	5,37			10	0,52
	<i>Orthocladiinae lato sensus</i>	sous famille	142	5,19	289	26,23	46	26,29	2482	37,89	17	5,45	406	21,09
	<i>Podonominae</i>	sous famille							147	2,24				
	<i>Tanypodinae</i>	sous famille	137	5,00	36	3,27	3	1,71	487	7,44	3	0,96	147	7,64
Dixidae		Famille									1	0,32		
	<i>Dixa</i>	Genre									1	0,32		
Empididae		Famille	3	0,11			7	4,00	38	0,58			13	0,68
	<i>Hemerodromiinae</i>	sous famille	1	0,04			6	3,43	9	0,14			8	0,42
	<i>Clinocerinae</i>	sous famille	2	0,07			1	0,57	29	0,44			5	0,26
Limoniidae		Famille	1	0,04	3	0,27	9	5,14	20	0,31	12	3,85	1	0,05
	<i>Hexatomini</i>	Tribu					4	0,06						
	<i>Limonini</i>	Tribu			1	0,09	1	0,57	10	0,15	6	1,92		
	<i>Pediciini</i>	Tribu	1	0,04	2	0,18	8	4,57	6	0,09	6	1,92	1	0,05
Psychodidae		Famille	1	0,04	1	0,09			11	0,17				
	<i>Simulini</i>	Famille	1018	37,18					32	0,49	12	3,85	80	4,16
Simuliidae		Tribu	1018	37,18			6	3,43	28	0,43	12	3,85	48	2,49
	<i>Prosimulini</i>	Tribu							4	0,06			32	1,66
Stratiomyidae		Famille						4	0,06					
Tipulidae		Famille	3	0,11	1	0,09						0,00		
LEPIDOPTERES		ORDRE	1	0,04							1	0,32		
Crambidae = Pyralidae		Famille									1	0,32		
	<i>Paraponyx stratiotata</i>	Espèce	1	0,04							1	0,32		
MOLLUSQUES		EMBRANCH EMENT	1008	36,82					10	0,15				
BIVALVES		CLASSE	836	30,53					8	0,12				
Sphaeriidae		Famille	836	30,53					8	0,12				
	<i>Psidium</i>	Genre	836	30,53					8	0,12				
GASTEROPODES		CLASSE	172	6,28					2	0,03				
Lymnaeidae		Famille							2	0,03				
	<i>Lymnaea stagnalis</i>	Espèce							2	0,03				
Planorbidae		Famille	172	6,28										
	<i>Anisus</i>	Genre	1	0,04										
<i>Planorbarius</i>	Genre	171	6,25											
ANNELIDES = VERS		EMBRANCH EMENT	319	11,65	504	45,74	5	2,86	2003	30,58	94	30,13	131	6,81
HIRUDINEA = ACHETES		CLASSE	208	7,60	2	0,18					7	2,24		
Glossiphoniidae		Famille	208	7,60	2	0,18								
	<i>Glossiphonia</i>	Genre	41	1,50	2	0,18								
	<i>Helobdella stagnalis</i>	Espèce	167	6,10										
TURBELLARIA		CLASSE			43	3,90	1	0,57	728	11,11	7	2,24	124	6,44
TRICLADES		ORDRE			43	3,90	1	0,57	728	11,11	7	2,24	124	6,44
Dugesidae		Famille			1	0,09	1	0,57	37	0,56	2	0,64	8	0,42
	<i>Dugesia</i>	Genre			1	0,09	1	0,57	37	0,56	2	0,64	8	0,42
Planariidae		Famille			42	3,81			691	10,55	5	1,60	116	6,03



Annexe 19: Comparaison entre la FMR et la distribution des fréquences relatives de la population de Truite de l'exutoire de Tavaneuse

n° de prélèvement			codes SANDRE			Littoral selon IBL								Total	Tot Fam	Fam 8 prlvt	
Couple substrat/vitesse			GI	I	S	M-O - 70cm	Dal - 45cm	Dal - 25	M-O - 40	Hyd - 50	Dal - 25	Gal - 30cm	Hyd - 40				
TRICHOPTERA						181											
Leptoceridae		ORDRE				310									4	4	4
Leptoceridae	<i>Athripsodes aterrimus</i>	Famille	4	5		311	1	1		1			1	4			
Phryganeidae		Espèce				254				1	1			2			
Phryganeidae	<i>Agrypnia varia</i>	Famille	X	6		256				1				1			
Phryganeidae	<i>Oligotrichia striata</i>	Espèce				348											
EPHEMEROPTERA						348											
Baetidae		ORDRE				363											
Baetidae		Famille	2*	2	S	364				1	1			2			
Baetidae	<i>Baetis</i>	Genre				387				2				2			
Baetidae	<i>Cloeon dipterum</i>	Espèce				511											
COLEOPTERA						511											
Chrysomelidae		ORDRE				642											
Chrysomelidae		Famille	X			645				1				1	1	1	
Chrysomelidae	<i>Donacia l.</i>	Genre				527											
Dytiscidae		Famille	X	4		2395											
Dytiscidae	<i>sF. Colymbetinae</i>	Sous famille				2395				1				1			
Dytiscidae	<i>Agabus l.</i>	Genre				746											
DIPTERA						746											
Ceratopogonidae		ORDRE				819											
Ceratopogonidae		Famille	X	5	S	819								1	1	1	
Ceratopogonidae	<i>Ceratopogoninae</i>	sous famille				807											
Chironomidae		Famille	1*	1	S	807											
Chironomidae	Chironomini	Tribu				807	166	12	3	1	524	1	10	125	842		
Chironomidae	Tanytarsini	Tribu				807	7	7			36		2	22	74		
Chironomidae	<i>Orthoclaadiinae lato sensus</i>	sous famille				807	5	1	3		1	1	13	11	35		
Chironomidae	<i>Tanypodinae</i>	sous famille				807	3				1				4		
MEGALOPTERA						702											
Sialidae		ORDRE				703											
Sialidae		Famille	X	5	S	704											
Sialidae	<i>Sialis</i>	Genre				965											
MOLLUSQUES						965									328		0
BIVALVES						5125									29		0
Sphaeriidae		CLASSE	[2]			1042											
Sphaeriidae		Famille	2	4	S	1043											
Sphaeriidae	<i>Pisidium</i>	Genre				5123											
GASTEROPODES						5123									299		0
Planorbidae		CLASSE				1009											
Planorbidae		Famille	2	2	S	1022											
Planorbidae	<i>Planorbarius corneus</i>	Espèce				1022	8	15	13	32	94	8	24	105	299		
ANNELIDES = VERS						3327											
HIRUDINEA = ACHETES						907											
Glossiphoniidae		CLASSE	[1]			908											
Glossiphoniidae		Famille	1	2		912											
Glossiphoniidae	<i>Helobdella stagnalis</i>	Espèce				912	1			1	2		1		5		
OLIGOCHETES						933											
Effectif						933	8		13	2	25		2	84	134	134	134
Effectif Relatif 8 placettes (%)						199	13,8%	2,6%	2,3%	2,8%	47,9%	0,7%	3,7%	26,2%	100,0%	100,0%	100,0%

Annexe 20: Liste faunistique des prélèvements en zone littorale du lac d'Arvouin

n° de prélèvement				codes SANDRE	IBL littoral										Total	Tot Fam	
Couple substrat/vitesse			GI		I	S	Dal - 20cm	Gra - 50cm	Hel - 40cm	Gra - 60cm	Gal - 35cm	Dal - 30cm	Hel - 70cm	Gra - 60cm			Dal - 50cm
DIPTERA						746											
Ceratopogonidae		Famille	X	5	S	819										1	1
Ceratopogonidae	<i>Leptoconopinae</i>	sous famille				819						1				1	
Chironomidae		Famille	1*	1	S	807										3	3
Chironomidae	<i>Chironominae</i>	sous famille				807										0	
Chironomidae	Chironomini	Tribu				807			2	1						3	
ODONATA						648											
Corduliidae		Famille	X			690										3	3
Corduliidae	<i>Somatochlora</i>	Genre				693			1	2						3	
ANNELIDES = VERS						3327											
OLIGOCHETES						933											
Effectif							0	2	0	3	5	0	30	5	0	45	45
Effectif Relatif 9 placettes (%)							0,0%	4,4%	0,0%	6,7%	11,1%	0,0%	66,7%	11,1%	0,0%	100,0%	

Annexe 21: Liste faunistique des prélèvements en zone littorale du lac de Gers

n° de prélèvement				codes SANDRE	IBL Littoral										Total	Tot Fam	Fam 8 prlv		
Couple substrat/vitesse			GI		I	S	Alg - 40cm	Dal - 20cm	Alg - 30cm	Hyd - 30cm	Hyd - 35cm	Hyd - 40cm	Fin - 20cm	Fin - 15cm				Hyd - 30cm	Fin - 35cm
TRICHOPTERA						181													
Limnephilidae		Famille	3*	4		276										4	4	4	
Limnephilidae		Genre non identifié (nymphé)							1			1				2			
Limnephilidae	<i>sF. Limnephilinae</i>	Sous-famille				3163										2			
Limnephilidae	<i>Tr. Limnephilini</i>	Tribu				3162										2			
Limnephilidae	<i>Limnephilus bipunctatus</i>	Espèce				3162	1						1			2			
Phryganeidae		Famille	X	6		251										1	1	1	
Phryganeidae	<i>Agrypnia varia</i>	Espèce				254			1							1			
COLEOPTERA						511													
Haliplidae		Famille	X	6		517										1	1	1	
Haliplidae	<i>Haliplus ad.</i>	Genre				518				1						1			
DIPTERA						746													
Chironomidae		Famille	1*	1	S	807										90	90	68	
Chironomidae	Chironomini	Tribu				807	2		8	1	1	5			8	25			
Chironomidae	Tanytarsini	Tribu				807					2		1	6	2	11			
Chironomidae	<i>Orthoclaadiinae lato sensus</i>	sous famille				807	7	20	1	2	4	6	2	4	1	47			
Chironomidae	<i>Tanypodinae</i>	sous famille				807	4				1		1		1	7			
MOLLUSQUES						965												0	
BIVALVES						5125												0	
Sphaeriidae		Famille	2	4	S	1042										1	1	1	
Sphaeriidae	<i>Pisidium</i>	Genre				1043							1			1			
ANNELIDES = VERS						3327													
HIRUDINEA = ACHETES						907													
Glossiphoniidae		Famille	1	2		908										4	4	4	
Glossiphoniidae	<i>Helobdella stagnalis</i>	Genre				912		2				1	1			4			
OLIGOCHETES						933												473	
NEMATHELMINTHES						3111												3	
NEMATODES						1089													
Effectif							14	25	10	12	18	35	425	16	17	35	607	607	555
Effectif Relatif 10 placettes (%)							2,3%	4,1%	1,6%	2,0%	3,0%	5,8%	70,0%	2,6%	2,8%	5,8%	100,0%		91,4%

Annexe 22: Liste faunistique des prélèvements en zone littorale du lac de Lessy

n° de prélèvement						codes SANDRE	IBL Littoral							Total	Tot Fam		
Couple substrat/vitesse			Gl	I	S		Dal - 5cm	Gra - 30cm	Alg - 10cm	Gal - 50cm	Gra - 25cm	Fin - 40cm	Dal - 20cm			Gra - 35cm	Hyd - 15cm
PLECOPTERA		ORDRE				1											
Leuctridae		Famille	7	6		66									1	1	
Leuctridae		Genre non identifié								1					1		
Nemouridae		Famille	6	6		20									29	29	
Nemouridae	<i>Nemoura</i>	Genre				26				3			4	22	29		
TRICHOPTERA		ORDRE				181											
Limnephilidae		Famille	3*	4		276									4	4	
Limnephilidae	<i>sF. Limnephilinae</i>	Sous-famille				3163									4		
Limnephilidae	<i>Tr. Stenophylacini et Tr. Chaetopterygini</i>	Tribu				3146							1	2	3		
Limnephilidae	<i>Tr. Limnephilini</i>	Tribu				3162									1		
Limnephilidae	Autre genre (dont limnephilius)					3162								1	1		
Odontoceridae		Famille	8	7		338									1	1	
Odontoceridae	<i>Odontocerum albicorne</i>	Genre				339								1	1		
EPHEMEROPTERA		ORDRE				348											
Baetidae		Famille	2*	2	S	363									9	9	
Baetidae	<i>Cloeon</i>	Genre				387								9	9		
COLEOPTERA		ORDRE				511											
Curculionidae		Famille	X			647									1	1	
Curculionidae	Genre non identifié ad.													1	1		
DIPTERA		ORDRE				746											
Chironomidae		Famille	1*	1	S	807									419	419	
Chironomidae	Chironomini	Tribu				807		8	1	30	8	146	2	10	18	223	
Chironomidae	Tanytarsini	Tribu				807		2	7	9	100	7	2	11	16	154	
Chironomidae	<i>Orthocladiinae lato sensus</i>	sous famille				807				2				2	4		
Chironomidae	<i>Podonominae</i>	sous famille				807								35	35		
Chironomidae	<i>Tanypodinae</i>	sous famille				807					2			1	3		
Tabanidae		Famille	X	4	S	837				1					1	1	
MEGALOPTERA		ORDRE				702											
Sialidae		Famille	X	5	S	703									21	21	
Sialidae	<i>Sialis</i>	Genre				704			4		17				21		
CRUSTACEA		CLASSE				859											
MALACOSTRACES		SOUS CLASSE				3270											
AMPHIPODES		ORDRE				3114											
Gammaridae		Famille	2*	3	S	887									1	1	
Gammaridae	<i>Gammarus</i>	Genre				892								1	1		
MOLLUSQUES		EMBRANCHEMENT	[2]			965									11		
BIVALVES		CLASSE				5125									11		
Sphaeriidae		Famille	2	4	S	1042									11	11	
Sphaeriidae	<i>Pisidium</i>	Genre				1043			6		5				11		
ANNELIDES = VERS		EMBRANCHEMENT				3327											
OLIGOCHETES		CLASSE	1*	1	S	933		29	3	2	7	19		21	17	98	98
Effectif							0	39	17	45	122	196	4	47	126	596	596
Effectif Relatif 9 placettes (%)							0,0%	6,5%	2,9%	7,6%	20,5%	32,9%	0,7%	7,9%	21,1%	100,0%	

Annexe 23: Liste faunistiques des prélèvements en zone littorale du lac de Tavaneuse

n° de prélèvement						codes SANDRE	Zone littorale selon IBL							Total	Tot Fam	Fam 8 prlv	
Couple substrat/vitesse			GI	I	S		GRA - 50cm	SAB - 60cm	DAL - 55cm	GRA - 45cm	LIT - 70cm	DAL - 35cm	GAL - 30cm				HYD- 30cm
TRICHOPTERA		ORDRE				181											
Limnephilidae		Famille	3*	4		276									9	9	9
Limnephilidae	<i>sF. Limnephilinae</i>	Sous-famille				3163									9		
Limnephilidae	<i>Tr. Limnephilini</i>	Tribu				3162									9		
Limnephilidae	<i>Limnephilus</i>	Genre				3162				7			2		9		
COLEOPTERA		ORDRE				511											
Curculionidae		Famille	X			647								9	9	9	
Curculionidae		Genre non identifié ad.											9	9			
Dytiscidae		Famille	X	4		527								1	1	2	
Dytiscidae		Genre non identifié l.											1	1			
Dytiscidae	<i>sF. Copelatinae (g. Copelatus)</i>	Sous famille				5195								1			
Dytiscidae	<i>sF. Copelatinae (g. Copelatus) ad.</i>	Sous famille				5195							1	1			
DIPTERA		ORDRE				746											
Ceratopogonidae		Famille	X	5	S	819								19	19	19	
Ceratopogonidae	<i>Dasyhelainae</i>	sous famille				819	1	2	9	7				19			
Chironomidae		Famille	1*	1	S	807								53	53	53	
Chironomidae	Chironomini	Tribu				807	7	4	4	6		2	3	26			
Chironomidae	Tanytarsini	Tribu				807	5	4	2	8			1	20			
Chironomidae	<i>Orthoclaadiinae lato sensus</i>	sous famille				807			1	4		1		7			
MEGALOPTERA		ORDRE				702											
Sialidae		Famille	X	5	S	703								9	9	9	
Sialidae	<i>Sialis</i>	Genre				704	2		3	1			3	9			
CRUSTACEA		CLASSE				859											
MALACOSTRACES		SOUS CLASSE				3270											
AMPHIPODES		ORDRE				3114											
Gammaridae		Famille	2*	3	S	887								1	1	1	
Gammaridae	<i>Gammarus</i>	Genre				892			1					1			
MOLLUSQUES		EMBRANCHEMENT	[2]			965								2		0	
BIVALVES		CLASSE				5125								2		0	
Sphaeriidae		Famille	2	4	S	1042								2	2	2	
Sphaeriidae	<i>Pisidium</i>	Genre				1043							2	2			
ANNELIDES = VERS		EMBRANCHEMENT				3327											
OLIGOCHETES		CLASSE	1*	1	S	933	25	66	67	80		7	3	248	248	248	
HYDRACARIENS		ORDRE	X			906						1		1	1	1	
Effectif							40	76	1	87	113	0	11	25	352	352	353

Annexe 24: Liste faunistique des prélèvements en zone littorale du lac de Vernant

n° de prélèvement							IBGN								4 suppl				Total	Tot Fam	Fam 8 prlvt					
Couple substrat/vitesse			GI	I	S	codes SANDRE	Gal - 25/75	Gra - 5/25	Hel - 5/25	Fin - 5/25	Sab - 5/25	Dal - 75/150	Alg - 25/75	Gal - 5/25	Gal - 75/150	Gra - 5/25	Gal - <5	Gra - 75/150								
PLECOPTERA							1																			
Nemouridae			Famille				20													6	6	6				
Nemouridae			Genre				26													6						
TRICHOPTERA							181																			
Limnephilidae			Famille				276													10	10	8				
Limnephilidae			sF. <i>Limnephilinae</i>				3163													10						
Limnephilidae			Espèce				284													10						
Odontoceridae			Famille				338													1	1	1				
Odontoceridae			Espèce				339													1						
EPHEMEROPTERA							348																			
Baetidae			Famille				363													30	30	26				
Baetidae			Espèce				364	4	14	4	1	2		1		1	1	2		30						
HETEROPTERES							3155																			
Mesoveliidae			Famille				741													1	1	1				
Mesoveliidae			Genre				742	1												1						
COLEOPTERA							511																			
Hydrophilidae			Famille				571													1	1	1				
Hydrophilidae			sF. <i>Sphaeridiinae</i> (g. <i>Coelostoma</i>)				5194													1						
Hydrophilidae			sF. <i>Sphaeridiinae</i> (g. <i>Coelostoma</i>) ad.				5194													1						
DIPTERA							746																			
Anthomyiidae			Famille				847	X			S													27	27	21
Chironomidae			Famille				807	1*	1		S													305	305	259
Chironomidae			Tribu				807			2	9	2			2		6	5		26						
Chironomidae			sF. <i>Orthoclaadiinae lato sensus</i>				807	6	15	55	9		5	33	2	8			9	142						
Chironomidae			sF. <i>Tanypodinae</i>				807	5	5	35	10	1	2	57	4	6	2	6	4	137						
Empididae			Famille				831	X	7										3	3	3					
Empididae			sF. <i>Hemerodromiinae</i>				831					1								1						
Empididae			sF. <i>Clinocerinae</i>				831			2										2						
Limoniidae			Famille				757	X	5		S													1	1	1
Limoniidae			Tribu				757		1											1						
Psychodidae			Famille				783	X	6										1	1	0					
Simuliidae			Famille				801	X	4		S													1018	1018	524
Simuliidae			Tribu				801	99	79	166	22	6	2	143	7	275	3	9	207	1018						
Tipulidae			Famille				753	X	5		S													3	3	1
LEPIDOPTERES							849																			
Crambidae = Pyralidae			Famille				2947	X											1	1	0					
Crambidae = Pyralidae			Espèce				2948										1			1						
MOLLUSQUES							965													1008		0				
BIVALVES							5125													836		0				
Sphaeriidae			Famille				1042	2	4		S													836	836	598
Sphaeriidae			Genre				1043	7	28	141	62	114		246	14	71	80	73	836							
GASTEROPODES							5123													172		0				
Planorbidae			Famille				1009	2	2		S													172	172	132
Planorbidae			Genre				1010											1		1						
Planorbidae			Genre				1022	4	5	28	19	22	1	16	37	1	23	8	7	171						
ANNELIDES = VERS							3327																			
HIRUDINEA = ACHETES							907																			
Glossiphoniidae			Famille				908	1	2										208	208	119					
Glossiphoniidae			Genre				909	5	3	2	6	8		1	7		7	1	1	41						
Glossiphoniidae			Espèce				912	3	2	4	32	44		2		49	12	19	167							
OLIGOCHETES							933	1*	1		S													111	111	86
CNIDAIRES							1075																			
HYDROZOAIRE							3166															2				
Hydridae			Famille				1076													3	3					
Hydridae			Genre				1077													3						
Effectif								139	161	459	196	224	10	278	322	306	189	129	325	2738	2738	1789				
Effectif Relatif 12 placettes (%)								5,1%	5,9%	16,8%	7,2%	8,2%	0,4%	10,2%	11,8%	11,2%	6,9%	4,7%	11,9%	100,0%		65,3%				

Annexe 25: Liste faunistique des prélèvements dans l'exutoire du lac d'Arvouin

n° de prélèvement					codes SANDRE	IBGN							Total	Tot Fam	Fam 8 prlvt		
Couple substrat/vitesse		GI	I	S		Gal - 25/75	Gra - 5/25	Hel - 5/25	Fin - 5/25	Dal - 25/75	Gal - 5/25	Gal - <5				Gra - <5	
PLECOPTERA		ORDRE			1												
Nemouridae		Famille	6	6									236	236	236		
Nemouridae	<i>Nemoura</i>	Genre			26		1					2	3				
Nemouridae	<i>Nemurella pictetii</i>	Espèce			44	31	4	82		2	1	66	47	233			
TRICHOPTERA		ORDRE			181												
Limnephilidae		Famille	3*	4									2	2	2		
Limnephilidae	<i>sF. Limnephilinae</i>	Sous-famille			3163								2				
Limnephilidae	Conisorophylax	Genre			285						2		2				
EPHEMEROPTERA		ORDRE			348												
Baetidae		Famille	2*	2	S								2	2	2		
Baetidae	<i>Baetis alpinus</i>	Genre			364	2							2				
HETEROPTERES		SOUS ORDRE			3155												
Mesoveliidae		Famille	X										1	1	1		
Mesoveliidae	<i>Mesovelia</i>	Genre			742							1	1				
COLEOPTERA		ORDRE			511												
Dytiscidae		Famille	X	4									1	1	1		
Dytiscidae	<i>sF. Colymbetinae</i>	Sous famille			2395								1				
Dytiscidae	<i>Agabus l.</i>	Genre			2395			1					1				
DIPTERA		ORDRE			746												
Chironomidae		Famille	1*	1	S								351	351	351		
Chironomidae	Chironomini	Tribu			807				26				26				
Chironomidae	<i>Orthoclaadiinae lato sensus</i>	sous famille			807	54	48	7		17	56	84	23	289			
Chironomidae	<i>Tanypodinae</i>	sous famille			807	6	3	2			7	9	9	36			
Limoniidae		Famille	X	5	S								3	3	3		
Limoniidae	<i>Limoniini</i>	Tribu			757		1						1				
Limoniidae	<i>Pediciini</i>	Tribu			757		2						2				
Psychodidae		Famille	X	6									1	1	1		
Tipulidae		Famille	X	5	S								1	1	1		
ANNELIDES = VERS		EMBRANCHEMENT			3327								504				
HIRUDINEA = ACHETES		CLASSE	[1]		907								2				
Glossiphoniidae		Famille	1	2									2	2	2		
Glossiphoniidae	<i>Helobdella stagnalis</i>	Espèce			912		1					1	2				
TURBELLARIA		CLASSE			3326								43				
TRICLADES		ORDRE			1054								43				
Dugesidae		Famille	X	4									1	1	1		
Dugesidae	<i>Dugesia</i>	Genre			1056		1						1				
Planariidae		Famille	X	5									42	42	42		
Planariidae	<i>Crenobia alpina</i>	Espèce			1068	3	3	9			9	18	42				
OLIGOCHETES		CLASSE	1*	1	S	933	51	58	2	161	2	4	1	180	459	459	459
Effectif						147	123	103	188	21	68	171	281	1102	1102	1102	
ctif Relatif 20 placettes (%)						13,3%	11,2%	9,3%	17,1%	1,9%	6,2%	15,5%	25,5%	100,0%		100,0%	

Annexe 26: Liste faunistique des prélèvements dans l'afférence du lac de Lessy

n° de prélèvement							IBGN											
Couple substrat/vitesse			GI	I	S	codes SANDRE	Gal - 25 à 75	Gra - 25 à 75	Dal - 25 à 75	Gal - 75 à 150	Gal - 5 à 25	Gra - 5 à 25	Gra - <5	Gal - 25 à 75	Total	Tot Fam	Fam 8 priv	
PLECOPTERA							1											
Chloroperlidae		Famille	9	9		169									4	4	4	
Chloroperlidae	<i>Siphonoperla</i>	Genre				174				3				1	4			
Leuctridae		Famille	7	6		66									19	19	19	
Leuctridae	<i>Leuctra</i>	Genre				69	3	3		5		2	6		19			
Nemouridae		Famille	6	6		20									7	7	7	
Nemouridae	<i>Nemoura</i>	Genre				26							3		3			
Nemouridae	<i>Protonemura</i>	Genre				46				4					4			
Perlodidae		Famille	9	9		127									1	1	1	
Perlodidae	<i>Isoperla</i>	Genre				140						1			1			
TRICHOPTERA							181											
Limnephilidae		Famille	3*	4		276									11	11	11	
Limnephilidae	<i>sF. Drusinae</i>	Sous-famille				3120									11			
Limnephilidae	<i>Metanoea flavipennis</i>	Espèce				3120		1			1	3	5	1	11			
Sericostomatidae		Famille	6	7		321									3	3	3	
Sericostomatidae	<i>Sericostoma personnatum</i>	Espèce				322						2	1		3			
EPHEMEROPTERA							348											
Baetidae		Famille	2*	2	S	363									42	42	42	
Baetidae	<i>Baetis alpinus</i>	Espèce				364	5	5	2	8	1	3	3	5	32			
Baetidae	<i>Baetis sp.</i>	Genre				365	2	1	2	5					10			
Heptageniidae		Famille	5	7		399									3	3	3	
Heptageniidae	<i>Ecdyonurus sp.</i>	Genre				421								3	3			
COLEOPTERA							511											
Hydraenidae		Famille	X	5		607									1	1	1	
Hydraenidae	<i>Hydraena ad.</i>	Genre				608				1					1			
DIPTERA							746											
Ceratopogonidae		Famille	X	5	S	819									1	1	1	
Ceratopogonidae	<i>Ceratopogoninae</i>	sous famille				819						1			1			
Chironomidae		Famille	1*	1	S	807									57	57	57	
Chironomidae	Chironomini	Tribu				807		1		1			2		4			
Chironomidae	Tanytarsini	Tribu				807		1					3		4			
Chironomidae	<i>Orthoclaadiinae lato sensus</i>	sous famille				807	3	7	1	9		6	19	1	46			
Chironomidae	<i>Tanypodinae</i>	sous famille				807							3		3			
Empididae		Famille	X	7		831									7	7	7	
Empididae	<i>Hemerodromiinae</i>	sous famille				831							6		6			
Empididae	<i>Clinocerinae</i>	sous famille				831							1		1			
Limoniidae		Famille	X	5	S	757									9	9	9	
Limoniidae	<i>Limoniini</i>	Tribu				757		1							1			
Limoniidae	<i>Pediciini</i>	Tribu				757				2		3	3		8			
Simuliidae		Famille	X	4	S	801									6	6	6	
Simuliidae	<i>Simuliini</i>	Tribu				801				2			3	1	6			
ANNELIDES = VERS							3327											
TURBELLARIA							3326									1		
TRICLADES							1054									1		
Dugesiiidae		Famille	X	4		1055									1	1	1	
Dugesiiidae	<i>Dugesia</i>	Genre				1056							1		1			
OLIGOCHETES							933									3	3	3
Effectif							13	20	5	40	2	22	60	13	175	175	175	
Effectif Relatif 8 placettes (%)							7,4%	11,4%	2,9%	22,9%	1,1%	12,6%	34,3%	7,4%	100,0%		100,0%	

Annexe 27: Liste faunistique des prélèvements dans l'afférence de Tavaneuse

n° de prélèvement		codes SANDRE	IBGN										4 suppl				Total	Tot Fam	Fam 8 privt		
Couple substrat/vitesse			Gl	I	S	Bryo - 75 à 150	Sper - 25 à 75	Gal - 25 à 75	Gra - 5 à 25	Hel - <5	Sab - 5 à 25	Dal - >150	Alg - 5 à 25	Gal - 75 à 150	Gal - 5 à 25	Gal - < 5				Gra - 5 à 25	
PLECOPTERA		ORDRE				1												610			
Leuctridae		Famille	7	6		66												92	92	47	
Leuctridae		Genre				69		16	23	1	1		6	13	21	1	10	92			
Nemouridae		Famille	6	6		20												518	518	460	
Nemouridae		Genre				26	9	25	13	17	13		1	2	8	21	2	111			
Nemouridae		Genre				46	379		1					19	8			407			
TRICHOPTERA		ORDRE				181												64			
Limnephilidae		Famille	3*	4		276												46	46	40	
Limnephilidae		sF. Drusinae				3120												4			
Limnephilidae		Genre				3120	4											4			
Limnephilidae		sF. Limnephilinae				3163												42			
Limnephilidae		Chaetopteryx villosa				284	2	5		1	11	10					1	31			
Limnephilidae		Autre limnephilinae				284		1			1							2			
Limnephilidae		Tr. Stenophylacini et Tr. Chaetopterygini				3146												9			
Limnephilidae		Allogamus				3146					1	3				1	2	7			
Limnephilidae		Halesus				3146											1	1			
Limnephilidae		Potamophylax				3146								1				1			
Odontoceridae		Famille	8	7		338												3	3	3	
Odontoceridae		Odontocerum albicorne				339				3								3			
Rhyacophilidae		Famille	4	6		182												13	13	12	
Rhyacophilidae		Rhyacophila				183	8		3					1				13			
Sericostomatidae		Famille	6	7		321												2	2	2	
Sericostomatidae		Sericostoma personatum				322	1			1								2			
EPHEMEROPTERA		ORDRE				348															
Baetidae		Famille	2*	2	S	363												19	19	1	
Baetidae		Baetis				364	1							18				19			
COLEOPTERA		ORDRE				511															
Chrysomelidae		Famille	X			642												1	1	1	
Chrysomelidae		Plateumaris l.				646					1							1			
Elmidae		Famille	2*	5		614												12	12	9	
Elmidae		Limnius l.				623			4	4					2	1		12			
Hydraenidae		Famille	X	5		607												1	1	1	
Hydraenidae		Hydraena ad.				608	1											1			
DIPTERA		ORDRE				746															
Ceratopogonidae		Famille	X	5	S	819												1	1	1	
Ceratopogonidae		Ceratopogoninae				819	1											1			
Chironomidae		Famille	1*	1	S	807												3724	3724	3571	
Chironomidae		Chironomini				807	170		18	1			9	2	3	16	6	256			
Chironomidae		Tanytarsini				807	300	23	6	1	2	10		7			3	352			
Chironomidae		Orthoclaadiinae lato sensus				807	2002	102	54	56	111	5	28	18	8	78	5	15	2482		
Chironomidae		Podonominae (Trichotanyrsus)				807		65			82							147			
Chironomidae		Tanypodinae				807	425		42	1	1		1	7	9		1	487			
Empididae		Famille	X	7		831												38	38	38	
Empididae		Hemerodromiinae				831	8	1										9			
Empididae		Clinocerinae				831	28		1									29			
Limoniidae		Famille	X	5	S	757												20	20	18	
Limoniidae		Hexatomini				757					2						1	4			
Limoniidae		Limoniini				757	10											10			
Limoniidae		Pediciini				757	5									1		6			
Psychodidae		Famille	X	6		783	10	1										11	11	11	
Simuliidae		Famille	X	4	S	801												32	32	30	
Simuliidae		Prosimuliini				801	2		2									4	4		
Simuliidae		Simuliini				801			26									28			
Stratiomyidae		Famille	X	5		824	4							1	1			4	4	4	
MOLLUSQUES		EMBRANCHEMENT	[2]			965												10		0	
BIVALVES		CLASSE				5125												8		0	
Sphaeriidae		Famille	2	4	S	1042												8	8	0	
Sphaeriidae		Pisidium				1043										8		8			
GASTEROPODES		CLASSE				5123												2		0	
Lymnaeidae		Famille	2	3	S	998												2	2	2	
Lymnaeidae		Lymnaea stagnalis				999					1	1						2			
ANNELIDES = VERS		EMBRANCHEMENT				3327															
TURBELLARIA		CLASSE				3326												728			
TRICLADES		ORDRE				1054												728			
Dugesiiidae		Famille	X	4		1055												37	37	33	
Dugesiiidae		Dugesia				1056	27			3	3			4				37			
Planariidae		Famille	X	5		1061												691	691	676	
Planariidae		Crenobia alpina				1068	583	30	21	40				2	3	1	11	691			
OLIGOCHETES		CLASSE	1*	1	S	933	120	588	207	24	422	110		4		3		1275	1275	1268	
Effectif							4100	841	207	177	650	172	30	51	85	147	36	54	6550	6550	6228
Effectif Relatif 12 placettes (%)							62,6%	12,8%	3,2%	2,7%	9,9%	2,6%	0,5%	0,8%	1,3%	2,2%	0,5%	0,8%	100,0%		95,1%

Annexe 28: Liste faunistiques des prélèvements dans l'exutoire du lac de Tavaneuse

n° de prélèvement			codes SANDRE			IBGN								Total	Tot Fam	Fam 8 prlvt
Couple substrat/vitesse			GI	I	S	Gal - 5/25	Gra - 5/25	Sab - 5/25	Dal - 75/150	Gra 25/75	Gra - <5	Gal - 25/75	Gal - <5			
PLECOPTERA			ORDRE													
Leuctridae		Famille	7	6		66								27	27	27
Leuctridae	<i>Leuctra</i>	Genre				1	10	5		7		1	3	27		
Nemouridae		Famille	6	6		20								22	22	22
Nemouridae	<i>Nemoura</i>	Genre				1						3		4		
Nemouridae	<i>Protonemura</i>	Genre					1			5		7		13		
Perlodidae		Famille	9	9		127								15	15	15
Perlodidae	<i>Isoperla</i>	Genre				3				8		4		15		
TRICHOPTERA			ORDRE													
Goeridae		Famille	7	8		286								1	1	1
Goeridae	<i>Lithax niger</i>	Espèce											1	1		
Limnephilidae		Famille	3*	4		276								10	10	10
Limnephilidae	<i>sF. Limnephilinae</i>	Sous-famille				1				7	2			10		
Rhyacophilidae		Famille	4	6		182								2	2	2
Rhyacophilidae	<i>Rhyacophila</i>	Genre					1	1						2		
Sericostomatidae		Famille	6	7		321								4	4	4
Sericostomatidae	<i>Sericostoma personnatum</i>	Espèce						1		3				4		
EPHEMEROPTERA			ORDRE													
Baetidae		Famille	2*	2	S	363								45	45	45
Baetidae	<i>Baetis alpinus</i>	Espèce				4	6			7		15	13	45		
Heptageniidae		Famille	5	7		399								27	27	27
Heptageniidae	<i>Ecdyonurus sp.</i>	Espèce					3			14	1	6	2	26		
Heptageniidae	<i>Epeorus alpicola</i>	Genre										1		1		
Leptophlebiidae		Famille	7	6		473								18	18	18
Leptophlebiidae	<i>Habroleptoides confusa</i>	Genre					1	2		8	2	3	2	18		
COLEOPTERA			ORDRE													
Curculionidae		Famille	X			647								1	1	1
Curculionidae		Genre non identifié ad.						1						1		
DIPTERA			ORDRE													
Chironomidae		Famille	1*	1	S	807								20	20	20
Chironomidae	<i>Orthoclaadiinae lato sensus</i>	sous famille					1	3	1	5	5	2		17		
Chironomidae	<i>Tanypodinae</i>	sous famille					1			1			1	3		
Dixidae		Famille	X		S	793								1	1	1
Dixidae	<i>Dixa</i>	Genre								1				1		
Limoniidae		Famille	X	5	S	757								12	12	12
Limoniidae	<i>Limoniini</i>	Tribu					1	2			3			6		
Limoniidae	<i>Pediciini</i>	Tribu					2			1	3			6		
Simuliidae		Famille	X	4	S	801								12	12	12
Simuliidae	<i>Simuliini</i>	Tribu				6					1		5	12		
LEPIDOPTERES			ORDRE													
Crambidae = Pyralidae		Famille	X			2947								1	1	1
Crambidae = Pyralidae		Genre non identifié					1							1		
ANNELIDES = VERS			EMBRANCHEMENT			3327										
TURBELLARIA			CLASSE			3326								7		
TRICLADES			ORDRE			1054								7		
Dugesidae		Famille	X	4		1055								2	2	2
Dugesidae	<i>Dugesia</i>	Genre					1			1				2		
Planariidae		Famille	X	5		1061								5	5	5
Planariidae	<i>Crenobia alpina</i>	Espèce				2	1			1	1			5		
OLIGOCHETES			CLASSE			933								87	87	87
Effectif						19	90	28	1	77	21	47	29	312	312	312
Effectif Relatif 8 placettes (%)						6,1%	28,8%	9,0%	0,3%	24,7%	6,7%	15,1%	9,3%	100,0%		100,0%

Annexe 29: Liste faunistique des prélèvements dans l'afférence du lac de Vernant

n° de prélèvement			codes SANDRE			IBGN										4 suppl				Total	Tot Fam	fam 8 prlv
Couple substrat/vitesse			GI	I	S	Bry - 25/75	Gal - 25/75	Gra - 5/25	Dal - 25/75	Alg - 25/75	Gal - 75/150	Gal - 5/25	Gra - 25/75	Gal - <5	Gra - <5	Dal - 5/25	Bry - 5/25					
PLECOPTERA			ORDRE																			
Leuctridae		Famille	7	6		66												19	19	13		
Leuctridae	<i>Leuctra</i>	Genre				69	1	1	1			2	6		2		6					
Nemouridae		Famille	6	6		20												386	386	227		
Nemouridae	<i>Nemoura sp.</i>	Genre				26	22	11	2		8	6	57	7	5		26	144				
Nemouridae	<i>Protonemura</i>	Genre				46	70	2		1	1	23	2	10			133	242				
Perlidae		Famille	9	8		155												1	1	1		
Perlidae	<i>Perla grandis</i>	Espèce				164					1							1				
Perlodidae		Famille	9	9		127												102	102	77		
Perlodidae	<i>Isoperla</i>	Genre				140	22	7	1		6	6	27	7	1	1	24	102				
TRICHOPTERA			ORDRE																			
Limnephilidae		Famille	3*	4		276												1	1	1		
Limnephilidae	<i>sF. Drusinae</i>	Sous-famille				3120												1				
Limnephilidae	<i>Drusus annulatus</i>	Espèce				3120	1											1				
Odontoceridae		Famille	8	7		338												2	2	2		
Odontoceridae	<i>Odontocerum albicorne</i>	Espèce				339	1		1									2				
Philopotamidae		Famille	8	8		206												10	10	10		
Philopotamidae	<i>Philopotamus montanus</i>	Espèce				209	1				9							10				
Rhyacophilidae		Famille	4	6		182												18	18	16		
Rhyacophilidae	<i>Rhyacophila</i>	Genre				183	5	3		1		5		1			2	18				
Nymphe	Indéterminée							1										1				
EPHEMEROPTERA			ORDRE																			
Baetidae		Famille	2*	2	S	363												450	450	383		
Baetidae	<i>Baetis</i>	Genre				364	2						1					3				
Baetidae	<i>Baetis alpinus</i>	Espèce				364	50	65	8	19	25	114	9	81	7	2	3	64	447			
Heptageniidae		Famille	5	7		399												110	110	107		
Heptageniidae	<i>Ecdyonurus</i>	Genre				421	0	0	0		0	0	2	0	0		3	5				
Heptageniidae	<i>Ecdyonurus venosus</i>	Espèce				421	2	42	10		1	16	4	21	4	1		101				
Heptageniidae	<i>Epeorus alpicola</i>	Espèce				400					3		1					4				
Leptophlebiidae		Famille	7	6		473												34	34	33		
Leptophlebiidae	<i>Habroleptoides confusa</i>	Espèce				485		7	4			2	17		3	1		34				
COLEOPTERA			ORDRE																			
Hydraenidae		Famille	X	5		607												2	2	2		
Hydraenidae	<i>Hydraena ad.</i>	Genre				608		1			1							2				
DIPTERA			ORDRE																			
Ceratopogonidae		Famille	X	5	S	819												1	1	1		
Ceratopogonidae	<i>Ceratopogoninae</i>	sous famille				819							1					1				
Chironomidae		Famille	1*	1	S	807												563	563	379		
Chironomidae	Tanytarsini	Tribu				807	1						8		1			10				
Chironomidae	<i>Orthoclaadiinae lato sensus</i>	sous famille				807	266	3		1	2	26				104		406				
Chironomidae	<i>Tanypodinae</i>	sous famille				807	66								1	80		147				
Empididae		Famille	X	7		831												13	13	11		
Empididae	<i>Hemerodromiinae</i>	sous famille				831	6											2	8			
Empididae	<i>Clinocerinae</i>	sous famille				831	5											5				
Limoniidae		Famille	X	5	S	757												1	1	1		
Limoniidae	<i>Pediciini</i>	Tribu				757	1											1				
Simuliidae		Famille	X	4	S	801												80	80	71		
Simuliidae	<i>Prosimuliini</i>	Tribu				801		10	1		4	10	1	5	1	0		32	32			
Simuliidae	<i>Simuliini</i>	Tribu				801	5	21			1	7	1	3		1		9	48			
ANNELIDES = VERS			EMBRANCHEMENT																			
TURBELLARIA			CLASSE																			
TRICLADES			ORDRE																			
Dugesidae		Famille	X	4		1055												8	8	5		
Dugesidae	<i>Dugesia</i>	Genre				1056		1		1			3					3	8			
Planariidae		Famille	X	5		1061												116	116	34		
Planariidae	<i>Crenobia alpina</i>	Espèce				1068	23	1	1		6		3					82	116			
OLIGOCHETES			CLASSE																			
HYDRACARIENS			ORDRE																			
Effectif							550	176	29	22	35	235	33	0	26	0	189	355	1925	1925	1380	
Effectif Relatif 12 placettes (%)							28,6%	9,1%	1,5%	1,1%	1,8%	12,2%	1,7%	0,0%	1,4%	0,0%	9,8%	18,4%	100,0%	100,0%	71,7%	

Annexe 30: Liste faunistique des prélèvements dans l'exutoire du lac de Vernant