

Mise en place d'un monitoring de la biodiversité des étangs de Macun (Parc National Suisse)

Travail de diplôme



Diplômant: Aurélien Stoll

Professeur responsable: Beat Oertli

Responsable de l'encadrement: Jean-François Rubin

Errata

-

Note aux lecteurs

Les données concernant les Chironomidés ont subi des corrections.

Ces corrections ne remettent pas en cause les conclusions proposées dans le cadre de ce travail.

Le seul point remis en question est l'identification des espèces de Chironomidés indicatrices (p.50, 53, 55, 59). *Procladius sp.* ne doit plus être considérée comme indicatrice des étangs à faible variation du volume d'eau.

1. Introduction

Remerciements

Je remercie :

Beat Oertli pour la supervision de ce diplôme et la transmission de son savoir

Nicola Indermuehle pour l'encadrement de cette étude

Vera Lauf pour sa lecture appliquée du manuscrit

Marianna Massa pour son aide durant la campagne de terrain et pour son soutien technique

Zoé Fleury pour son aide durant la campagne de terrain

Brigitte Lods-Crozet pour la détermination des Chironomidés et ses indications sur cette famille

Narcisse Giani pour la détermination des Oligochètes

Verena Lubini pour la détermination des Trichoptères, des Plécoptères et ses explications

Nigel Thew pour la détermination des Sphaeriidés

Gilles Carron pour la détermination des Coléoptères

Jakob Damgaard pour la détermination d'un Hétéroptère

Michelle Price pour la détermination des Bryophytes

Patrice Prunier pour la détermination des plantes vasculaires

Emmanuel Castella pour son enseignement sur les programmes de statistiques

l'EAWAG et plus particulièrement Christopher T. Robinson pour l'analyse des échantillons d'eau

la commission de recherche du Parc National Suisse pour son soutien financier et pour m'avoir permis d'accéder au site extraordinaire de Macun.

Table des Matières

Résumé.....	5
1 Introduction.....	6
2 Site d'étude	8
2.1 Caractéristiques générales du site	8
2.1.1 Géographie	8
2.1.2 Climat.....	11
2.1.3 Géologie	11
2.1.4 Hydrologie.....	12
2.1.5 Flore	13
2.1.6 Faune	13
2.2 Choix des plans d'eau	14
2.2.1 Définitions.....	14
2.2.2 Critères de choix des plans d'eau.....	14
3 Matériel et méthode	16
3.1 Campagne de terrain	16
3.2 Biodiversité	16
3.2.1 Flore	16
3.2.2 Faune	18
3.2.3 Calcul des indicateurs de diversité	20
3.3 Variables du milieu	21
3.3.1 Choix des variables	21
3.3.2 Morphologie	21
3.3.3 Physico-chimie de l'eau	21
3.3.4 Autres variables.....	23
3.4 Traitement statistique	24
4 Résultats.....	25
4.1 Tests de qualité	25
4.1.1 Objectifs	25
4.1.2 Typologie basée sur les Coléoptères	26
4.1.3 Typologie basée sur les Coléoptères et les autres taxa.....	27
4.1.4 Typologie basée sur les Chironomidés.....	27
4.1.5 Typologie basée sur les Oligochètes	28
4.1.6 Conclusion.....	28

1. Introduction

4.2	Comparaison des étangs et des lacs	29
4.2.1	Objectifs	29
4.2.2	Typologie basée sur les Coléoptères	30
4.2.3	Typologie basée sur les Coléoptères et les autres taxa.....	30
4.2.4	Typologie basée sur les Chironomidés.....	31
4.2.5	Typologie basée sur les Oligochètes	31
4.2.6	Conclusion.....	32
4.3	Caractéristiques générales des étangs	33
4.3.1	Physico-chimie	33
4.3.2	Morphologie	35
4.3.3	Autres variables.....	36
4.4	Diversité biologique des étangs	37
4.4.1	Objectifs	37
4.4.2	Valeurs des indicateurs par groupe taxonomique	37
4.4.3	Flore	38
4.4.4	Faune	39
4.4.5	Relation entre la biodiversité et les variables du milieu.....	45
4.5	Typologie des étangs	47
4.5.1	Objectifs	47
4.5.2	L'influence de la temporalité sur la composition faunistique des étangs	48
4.5.3	Comparaison basée sur le type d'alimentation en eau.	55
4.5.4	Influence des rivières sur la diversité des étangs	58
4.5.5	Conclusion.....	59
5	Proposition d'une méthode de monitoring	61
5.1	Introduction	61
5.2	Choix des groupes biologiques	61
5.3	Choix des variables du milieu	64
5.4	Stratégie d'échantillonnage	65
5.5	Choix des étangs	66
5.6	Fréquence d'échantillonnage	68
6	Conclusion	69

Résumé

Pour évaluer l'influence des changements climatiques sur la biodiversité et afin de mettre en place un système pour détecter des modifications de l'environnement à long terme, un monitoring de la biodiversité du site de Macun a été prévu par la commission de recherche du Parc National Suisse. Un des volets de ce monitoring concerne le suivi des étangs permanents ou temporaires. Le travail de diplôme présenté ici a comme objectif la mise en place du monitoring des étangs de Macun.

Un premier travail réalisé par Hinden (2004) a consisté à étudier la biodiversité de 9 plans d'eau à Macun. Cette étude lui a permis de proposer une adaptation de la méthode PLOCH (Oertli *et al.*, 2005), utilisée lors de l'évaluation des petits plans d'eau de plaine, aux petits plans d'eau d'altitude. Dans un deuxième temps, Hinden a formulé des propositions pour le monitoring de Macun. Mais l'hétérogénéité des résultats obtenus laissait suspecter l'existence d'autres espèces et ne permettait pas de proposer une sélection d'étangs représentatifs de la biodiversité.

Le travail de diplôme présenté ici permet de compléter les propositions de Hinden. Ces compléments concernent essentiellement: le choix des groupes biologiques, la sélection des étangs, l'élaboration d'une stratégie d'échantillonnage adaptée aux plans d'eau de Macun et le choix d'une fréquence d'échantillonnage. Dans ce sens, 21 plans d'eau supplémentaires ont été échantillonnés au cours de l'été 2004. A partir des résultats obtenus, des propositions de groupes taxonomiques à retenir en priorité ont été formulées. Il s'agit des Coléoptères, des Oligochètes, des Chironomidés et des Trichoptères. En effet, ces groupes sont particulièrement représentatifs des étangs de Macun. Concernant la flore, les Bryophytes et les plantes vasculaires sont également prises en compte. D'autre part, les groupes actuellement absents de Macun (ou faiblement représentés) peuvent potentiellement coloniser le site. Il est donc important de les inclure dans le monitoring. Il s'agit notamment des Odonates et des Amphibiens.

Une typologie basée sur la composition faunistique des étangs a permis de distinguer 3 catégories d'étangs : les étangs permanents à faible variation du volume d'eau, les étangs permanents à forte variation du volume d'eau et les étangs temporaires. Cette classification a permis la sélection pour le monitoring de 3 étangs représentatifs de ces catégories.

Par ailleurs, une comparaison basée sur la composition faunistique entre les lacs et les étangs a été réalisée. Elle a mis en évidence des différences potentielles entre ces deux types de plans d'eau, ce qui a justifié la séparation des deux monitorings (lacs/étangs).

Concernant la stratégie d'échantillonnage à adopter, un essai a été réalisé en 2004 avec l'échantillonnage des sédiments, car certaines espèces de Chironomidés se trouvent uniquement dans les sédiments. Il est apparu que ces prélèvements n'étaient pas indispensables au monitoring.

Pour déterminer la fréquence d'échantillonnage, des tests de variabilité effectués sur des étangs échantillonnés deux fois montrent une faible variation inter-annuelle et intra-annuelle de la composition spécifique. Par conséquent, il est envisageable de réaliser un monitoring tous les 2 ans.

A partir de ces résultats, la méthode de monitoring pourra être complétée et le monitoring de Macun débutera au cours de l'été 2005.

1 Introduction

Cadre général

Les écosystèmes aquatiques d'altitude sont des objets naturels de valeur. Ce constat est actuellement reconnu et d'importants moyens sont mis en œuvre pour améliorer leur connaissance et leur conservation. D'autre part, l'année 2002 a été déclarée «année internationale de la montagne» et l'OFEFP a consacré un bulletin entier à ce thème, soulignant notamment l'importance des Alpes comme source et refuge de la biodiversité (OFEFP 2002).

De nombreuses études récentes ont mis en évidence l'extrême sensibilité de ces écosystèmes aux changements climatiques globaux (réchauffement climatique, dépôt de nutriments et de polluants, augmentation des rayonnements UV et du CO₂). Cette sensibilité est visible dans les changements des conditions physiques, chimiques, hydrologiques et biologiques des plans d'eau (Lotter & Psenner, 2004). Par ailleurs, de nombreuses questions auxquelles sont confrontés les chercheurs ne peuvent se résoudre que par l'intermédiaire d'études à long terme ou de monitorings. Dans ce contexte, le Parc National Suisse paraît être un endroit privilégié pour développer ce genre de projet.

Contexte de l'étude

La première étape du projet d'agrandissement du Parc National Suisse a été franchie le premier août 2000 avec le rattachement de la région des «Lajs da Macun», située sur la commune de Lavin dans le canton des Grisons. La région des «Lajs da Macun» ou «Lac des Bouquetins» est un haut plateau de 3.6 km² situé à une altitude de plus de 2500 m sur lequel se trouve une trentaine d'étangs, 6 petits lacs et plusieurs cours d'eau. L'inaccessibilité de ce site a limité par le passé les activités anthropiques et sa nouvelle affectation au Parc National interdit toute présence humaine hors des sentiers balisés. De par sa richesse en milieux aquatiques et sa situation protégée, ce plateau constitue un lieu idéal pour étudier l'évolution de la biodiversité des milieux aquatiques dans des conditions naturelles. Pour cette raison, le Parc National, par l'intermédiaire de sa commission de recherche, a lancé en 2001 divers études concernant la biodiversité aquatique, dans le but de mettre en place un monitoring à long terme qui permettra de suivre l'évolution de l'environnement à Macun. Deux objectifs ont été fixés pour ce monitoring. Premièrement, ce monitoring doit permettre de montrer l'influence des changements climatiques sur la biodiversité. Deuxièmement, il pourrait mettre en évidence d'éventuelles modifications liées à des causes encore inconnues aujourd'hui (Rüegg, 2003).

A l'origine, les recherches étaient menées par l'EAWAG et le bureau d'étude Hydra sous la direction de la commission de recherche du Parc National. Initialement, le monitoring prévoyait le suivi des 5 plus grands plans d'eau et de 6 tronçons de rivières.

Dans le cadre d'un travail de diplôme de l'université de Genève (Hinden, 2004), le LEBA (Laboratoire d'Ecologie et de Biologie Aquatique de l'Université de Genève) a proposé d'intégrer le suivi de la biodiversité des plans d'eau de petite taille, les étangs permanents et les étangs temporaires. En effet, une étude récente (l'étude PLOCH, Oertli *et al.*, 2000) a mis en évidence l'intérêt de ces milieux pour la conservation de la biodiversité aquatique d'eau douce et la nécessité de les intégrer dans des programmes de suivi à long terme. Dans ce contexte, le monitoring des étangs de Macun pourrait s'avérer intéressant à deux niveaux. En premier lieu, le suivi de l'évolution de la biodiversité devrait améliorer l'état des connaissances concernant le comportement des communautés faunistiques et floristiques des étangs dans des conditions naturelles. La faible richesse spécifique des étangs d'altitude (le

1. Introduction

climat est trop froid pour la majorité des espèces) facilite le suivi de ces communautés. En second lieu, le monitoring des étangs pourrait mettre en évidence l'apparition de nouvelles espèces liées à des changements climatiques (réchauffement climatique) (Oertli *et al.*, 2004). Le travail de Hinden (2004) a consisté à étudier la biodiversité de 9 plans d'eau (7 étangs et 2 lacs) en utilisant la méthode standardisée PLOCH (Oertli *et al.*, 2005). Cette exploration avait deux objectifs.

Il s'agissait tout d'abord d'établir les liens entre les facteurs environnementaux et la biodiversité des petits plans d'eau de l'étage alpin. Ensuite, à partir des résultats obtenus, il s'agissait de faire des propositions pour le monitoring des étangs de Macun. Comme attendu pour des sites situés en altitude, la diversité des groupes échantillonnés s'est avéré très faible. Les groupes les mieux représentés sont les Oligochètes, les Diptères (surtout les Chironomidés), et les Coléoptères. On a également recensé quelques représentants des Mollusques Sphaeriidés, des Trichoptères et des Tricladida. Un seul étang contenait des plantes aquatiques. Par ailleurs, on n'a observé aucun Gastéropode, Odonate et Amphibien (groupes pris en compte dans la méthode PLOCH). Des propositions ont été réalisées pour le monitoring de Macun incluant notamment l'adaptation de la méthode PLOCH aux plans d'eau d'altitude.

Ces propositions ont été intégrées dans un manuel de monitoring qui propose une synthèse des premiers résultats obtenus par les différentes équipes de chercheurs Rüegg (2003). Ce manuel doit encore être perfectionné en fonction des recherches en cours ou planifiées.

Les résultats obtenus par Hinden (2004) concernant la distribution des espèces s'avèrent toutefois hétérogènes et laissent supposer l'existence d'espèces encore non identifiées. De ce fait, il est important de compléter l'inventaire de la biodiversité des étangs avant de formuler des directives pour le monitoring des étangs. En effet, un monitoring ne pourra retenir qu'une sélection d'étangs et ce choix devra être représentatif de la diversité présente dans l'ensemble des étangs du site de Macun.

Le travail de diplôme présenté ici propose donc de compléter l'inventaire de Hinden (2004) en échantillonnant 21 nouveaux plans d'eau. La biodiversité sera échantillonnée et évaluée selon la méthodologie standardisée proposée par Hinden (2004) et Rüegg (2003). Ce travail complémentaire permettra d'améliorer la stratégie d'échantillonnage et de choisir une sélection d'étangs à inclure prioritairement dans le monitoring. Ainsi, le manuel de Rüegg (2003) pourra être adapté à ces nouvelles connaissances et le monitoring pourra débuter au cours de l'été 2005.

Objectifs:

- **Réunir les informations de base permettant de mettre en place un monitoring de la biodiversité des étangs de Macun**
 - Evaluation de la biodiversité des petits plans d'eau du site de Macun : inventaires et valeurs patrimoniales (en danger et/ou classée sur liste rouge) des espèces.
 - Comparaison avec les lacs de Macun.
- **Adapter le protocole de monitoring en fonction des nouvelles connaissances**
 - Déterminer la fréquence d'échantillonnage
 - Choisir des groupes biologiques à retenir
 - Définir la stratégie d'échantillonnage (nombre de plans d'eau à prendre en compte, nombre de prélèvements par plan d'eau).
 - Choix des étangs à inclure prioritairement dans le monitoring

2 Site d'étude

2.1 Caractéristiques générales du site

2.1.1 Géographie

Le site de Macun est situé sur le territoire de la commune de Lavin, dans le canton des Grisons, à une altitude moyenne de 2660 m. C'est un plateau de 3.6 km², ouvert au nord sur la vallée d'Engadine et encerclé de montagnes dont les sommets varient entre 2800 m et 3000 m d'altitude. (Figure 1, 2, 3)

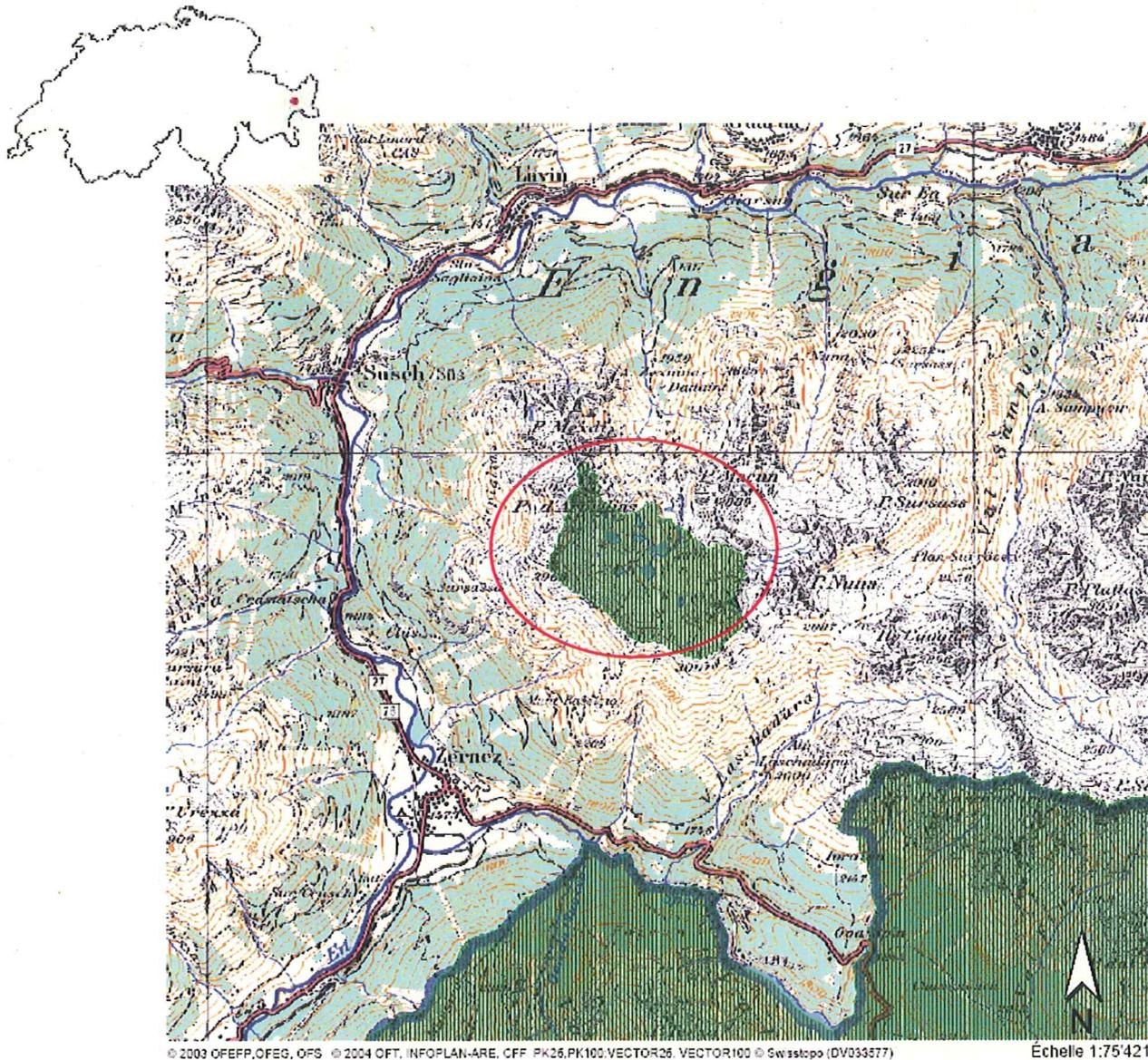


Figure 1. Situation régionale du site de Macun. Les surfaces affectées au Parc National Suisse sont hachurées en vert. Le cercle rouge le site de Macun.

2. Site d'étude

Situation locale

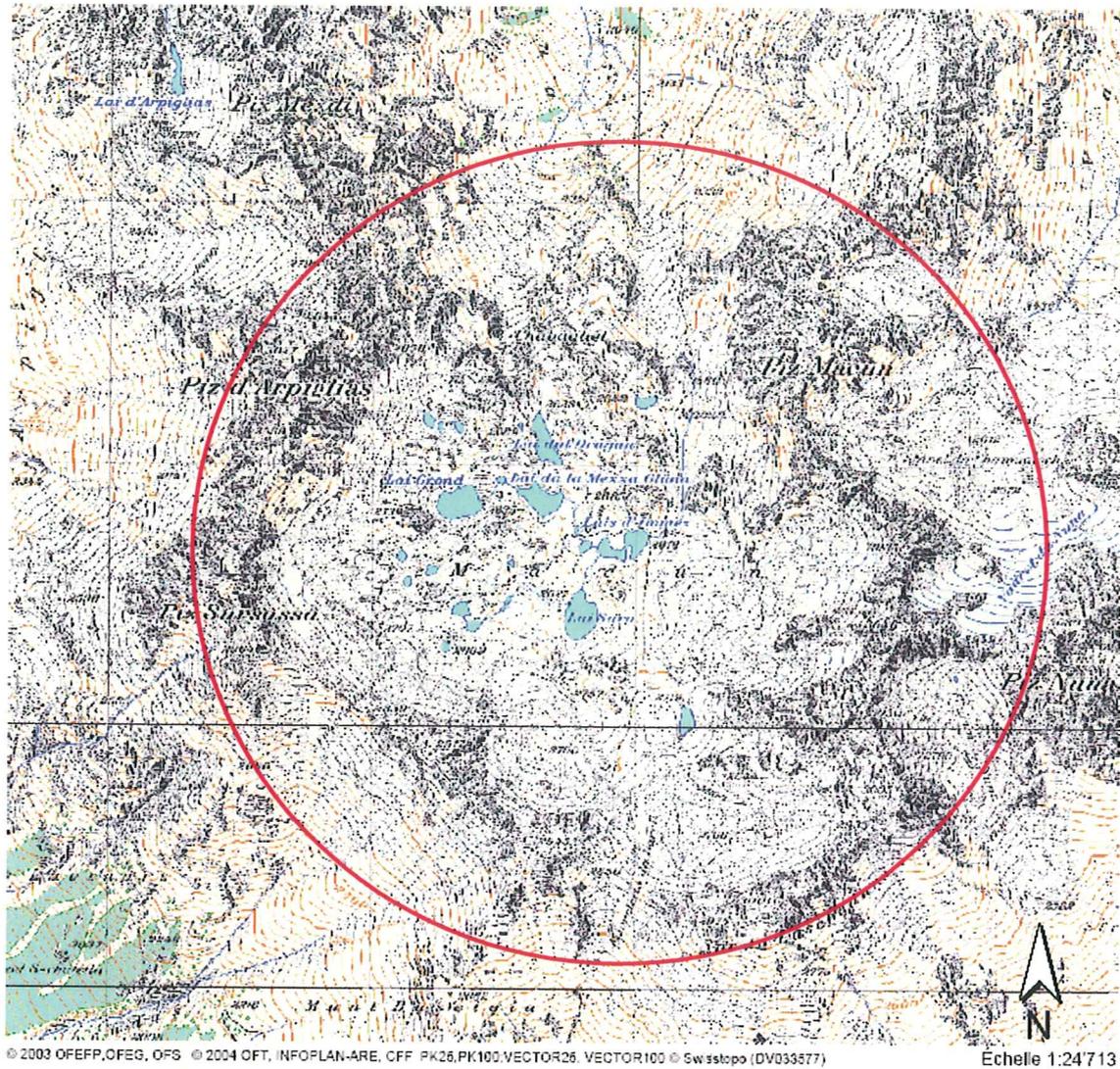


Figure 2. Situation locale du site de Macun

2. Site d'étude

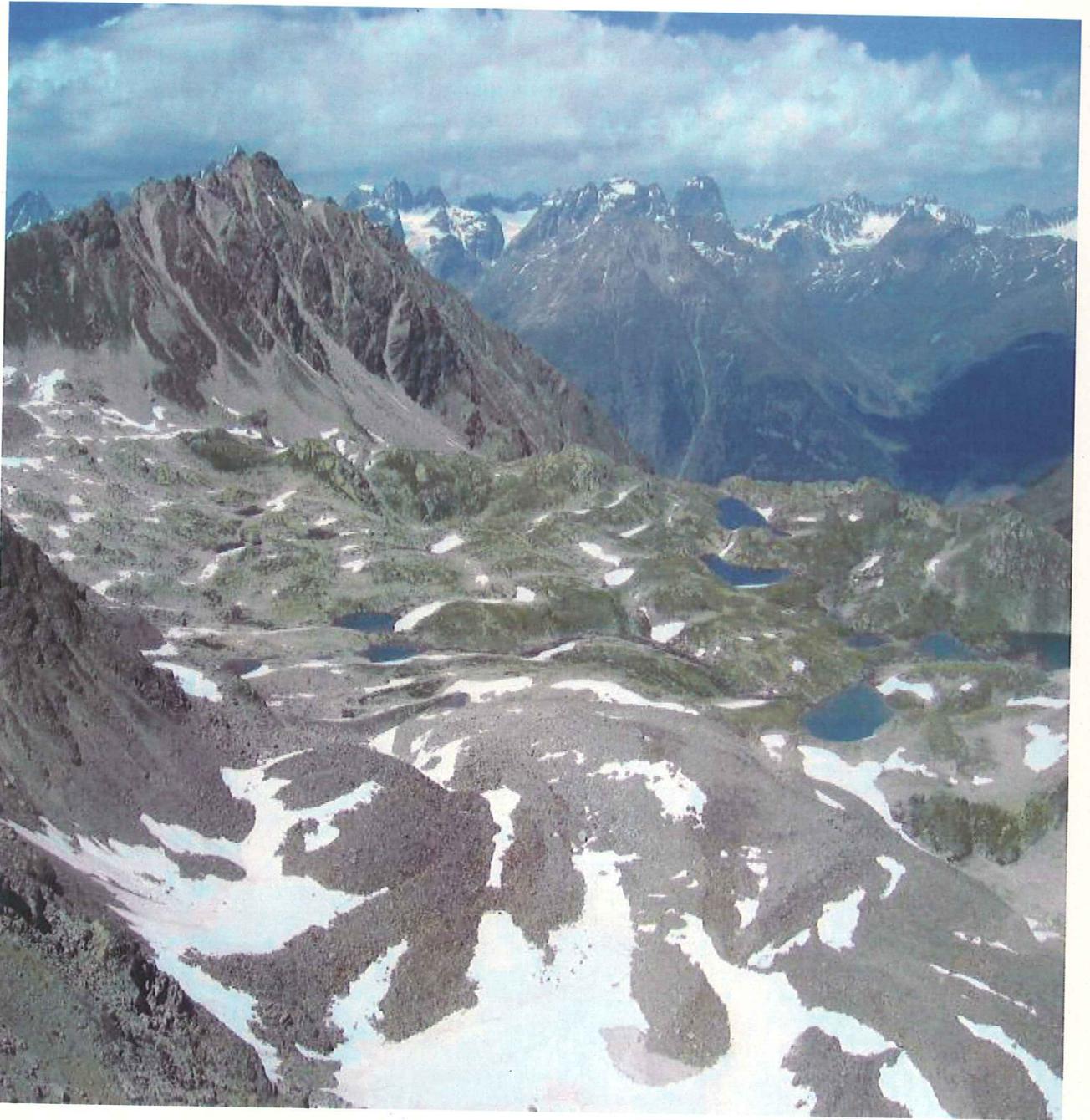


Figure 3. . Situation générale du plateau de Macun. Au premier plan, un glacier rocheux (août 2004)

2. Site d'étude

2.1.2 Climat

Le climat qui règne à Macun est de type continental avec de grandes variations de température journalières et annuelles et de faibles précipitations. La présence de massifs montagneux au nord, au sud-ouest et au sud-est empêche l'arrivée de masses d'air humides (Mürle, 2000) ce qui limite les précipitations annuelles (850mm / an). Les données climatiques de l'année 2001 (Matthaei, 2003) qui proviennent de la station climatique de Buffalora (située à 14 km au sud-est de Macun à une altitude de 1968 m) montrent des amplitudes annuelles et journalières qui atteignent 52.8 °C et 22°C. Les températures maximale et minimale étaient de 24.5 °C le 31 juillet et de -28.3°C le 24 décembre.

2.1.3 Géologie

Les roches dominantes sont des roches cristallines, le gneiss et l'amphibole (Boesch & Ladisch, 1948)(annexe 5). Les caractéristiques de ces roches sont à l'origine de l'acidité des milieux aquatiques. La présence de glaciers, il y a 4000 ans, a permis la formation de moraines et de dépôts de sédiments situés à la base et en bordure des anciens glaciers. Ces moraines étanches, ainsi que l'effet de la topographie vallonnée, de l'hydrologie et d'un permafrost plus ou moins marqué selon les zones ont favorisé la formation des nombreux plans d'eau de Macun (Burki & Schlüchter, 2004).

Une autre caractéristique du site de Macun est la présence de glaciers rocheux (Burki & Schlüchter, 2004) (figure 4). Selon la définition proposée par Schoenheich (1922), les glaciers rocheux sont des corps de sédiments gelés en permanence, contenant de la glace interstitielle et/ou des lentilles de glace, soumis à des mouvements de reptation causés par la déformation de la glace qu'ils contiennent.



Figure 4. Le glacier rocheux de Macun (Août 2004).

2. Site d'étude

2.1.4 Hydrologie

Le site de Macun compte 6 petits lacs, une trentaine d'étangs (permanents ou temporaires) et plusieurs rivières. La taille des plans d'eau varie de 1 ha pour les lacs à quelques dizaines de m² pour les étangs temporaires. Les cours d'eau et certains plans d'eau sont interconnectés et forment deux réseaux distincts (nord-sud) (figure 5) qui se rejoignent dans le lac d'Immex. A la sortie de ce lac, les eaux quittent le plateau de Macun et s'écoulent en direction de la rivière Inn dans la vallée d'Engadine.

Le régime hydrologique du site de Macun est variable. Deux types de variation ont été mises en évidence (Matthaei, 2003). D'une part, il y a des variations temporelles dans l'alimentation en eau. Ces variations sont causées par le régime hydrologique du glacier rocheux et par la fonte des neiges. Par exemple, lorsque la température baisse et que le glacier rocheux cesse de fondre, l'alimentation en eau diminue. Ce phénomène provoque des variations importantes de la surface et de la profondeur des ruisseaux et des plans d'eau au cours de l'année. Entre juin et le début de l'automne, 60 % des ruisseaux s'assèchent (Robinson & Kawecka, 2004). La deuxième variation est spatiale. Elle est liée à l'alimentation en eau. Le réseau sud est alimenté essentiellement par des eaux issues de la fonte du glacier rocheux alors que le réseau nord est alimenté par des eaux provenant de la nappe phréatique et de la fonte des neiges (Matthaei, 2003). Cette différence influence les caractéristiques physico-chimiques des eaux (température de l'eau, concentration en éléments chimiques).

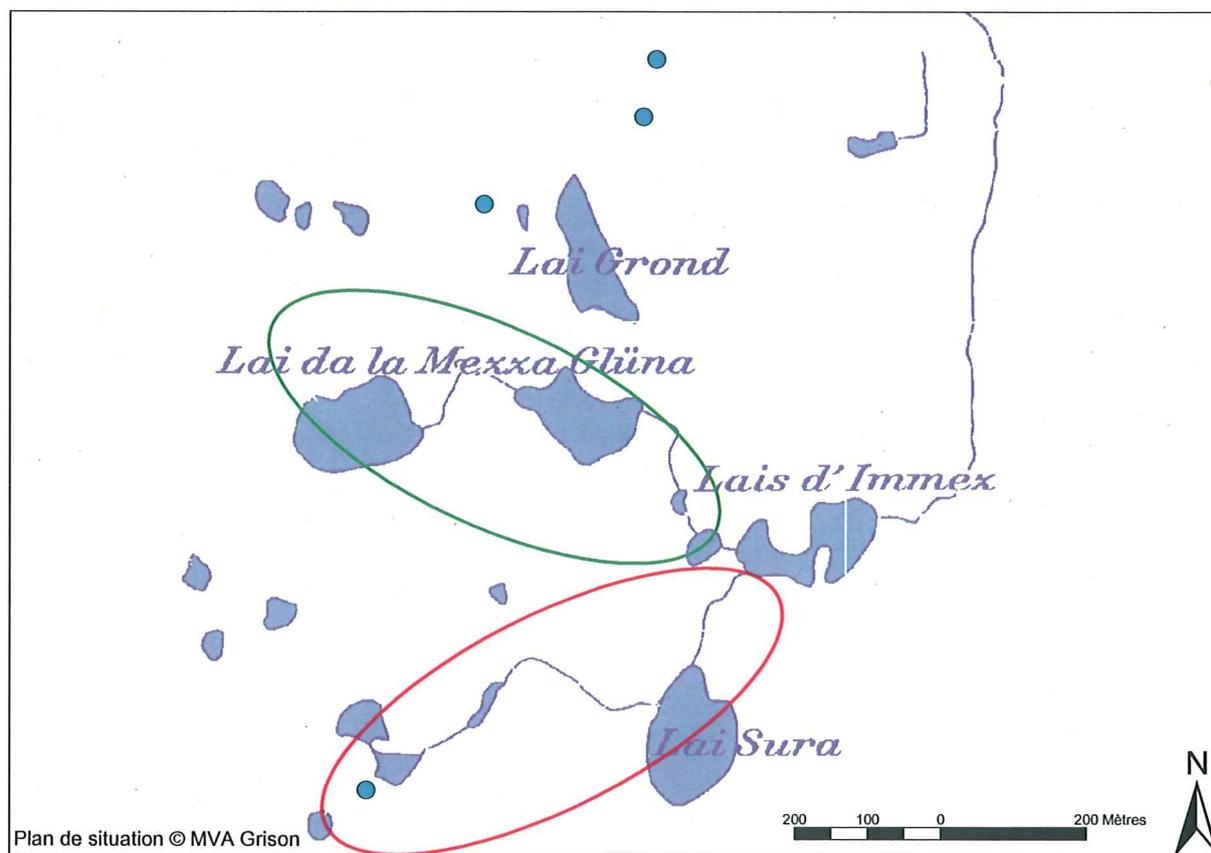


Figure 5. Les 2 réseaux hydrographiques de Macun. En vert le réseau nord, en rouge le réseau sud. (Plan de situation © Parc National Suisse).

2. Site d'étude

2.1.5 Flore

Les formations dominantes du site de Macun sont les pelouses acides de l'étage alpin supérieur, les éboulis silicieux d'altitude et les combes à neige (selon la classification de Delarze *et al.*, (1998)). La flore aquatique est principalement composée de Diatomées, de Phytoplancton et de Bryophytes. Une étude qui concerne la distribution des Diatomées dans les lacs et les ruisseaux a mis en évidence l'influence de la physico-chimie des eaux sur la composition spécifique de ces communautés. Par conséquent, les communautés du réseau nord sont différentes de celles du réseau sud (Robinson & Kawecka, 2004).

2.1.6 Faune

Macun est un site particulièrement prisé par les marmottes, les chamois et les bouquetins. Ces derniers sont à l'origine du nom du site, qui signifie bouquetin en romanche. On peut également y observer des espèces d'oiseaux emblématiques des Alpes comme l'aigle royale ou le lagopède alpin. La faune aquatique se compose essentiellement de Zooplanctons, d'Oligochètes, de Diptères (larves), de Coléoptères (larves et adultes), de Trichoptères (larves), de Plécoptères (larves) et d'Ephéméroptères (larves). Certains de ces groupes sont présents dans les milieux aquatiques de manière permanente (Oligochètes), d'autre temporairement (stade larvaire des insectes), certains affectionnent les eaux plutôt stagnantes (Coléoptères) et d'autres les eaux courantes (Ephéméroptères).

Des différences dans la composition faunistique des communautés de macro-invertébrés des rivières ont été constatées. La composition faunistique diffère entre les ruisseaux permanents et les ruisseaux temporaires. La composition faunistique est également différente entre les ruisseaux de la partie nord et ceux de la partie sud (différence liée au type d'alimentation en eau de ces ruisseaux). Les communautés présentes dans les rivières du réseau nord se rapprochent des communautés typiques des ruisseaux alpins, alors que celles du réseau sud se rapprochent des communautés typiques des rivières glacières (Robinson & Kawecka, 2004). Les lacs de Macun abritent également 3 espèces de poissons : la Truite fario (*Salmo trutta fario* L, 1758), la Truite des lacs canadiens (*Salvelinus namaycush*, Walbaum, 1792) et le Vairon (*Phoxinus phoxinus* L, 1758). Ces espèces ont été introduites entre 1964 et 1993 à des fins halieutiques. Elles se reproduisent naturellement malgré les conditions climatiques extrêmes (les lacs sont recouverts de glace 8 mois par année) et survivent en s'alimentant d'invertébrés aquatiques et terrestres (surtout des Diptères et des Coléoptères) (Rey & Pitsch, 2004). La prédation des invertébrés aquatiques par les poissons pourrait influencer la comparaison prévue entre la biodiversité des étangs et des lacs.

Une étude qui a comparé la diversité du Zooplankton entre les lacs de Macun et d'autres lacs exempt de poissons a déjà mis en évidence une influence négative des poissons sur la diversité du Zooplankton (Spaak *et al.*, 2004).

2. Site d'étude

2.2 Choix des plans d'eau

2.2.1 Définitions

Pour ce travail, les définitions adoptées pour les différents types de plans d'eau sont celles proposées dans le cadre de l'étude PLOCH (Oertli *et al.*, 2000)

- **Un lac** est une cuvette naturelle ou artificielle contenant des eaux qui subissent une stratification thermique saisonnière et dont la profondeur maximale est supérieure à 8 mètres. Dans un lac, l'hétérogénéité verticale des conditions du milieu (lumière, température, concentration des éléments chimiques) permet de reconnaître une zone littorale peu profonde (moins de 8 m, colonisée par les plantes aquatiques), une zone pélagique (zone de pleine eau, colonisée par le Phytoplancton) et une zone profonde (plus de 8 m, éventuellement colonisée par des Microphytes si les conditions lumineuses le permettent).

Remarque: dans le cadre de ce travail, le lac M4 a une profondeur maximale de 7 m, néanmoins, la possible variabilité de cette mesure et les caractéristiques générales de ce plan d'eau (surface) permettent de le classer dans la catégorie des lacs. Pour le lac M23, la profondeur maximale n'a pas pu être déterminée, mais elle a été estimée à plus de 8 m. (Hinden, 2004). De plus, la surface de ce plan d'eau est proche de celle des autres lacs. Ces caractéristiques ont déterminé le classement de ce plan d'eau dans la catégorie des lacs.

- **Un étang** est un plan d'eau dont la profondeur maximale est inférieure à 8 mètres et qui offre la possibilité aux plantes aquatiques supérieures de se développer sur la plus grande partie de la surface des fonds.(Oertli *et al.*, 2000).
- **Un étang temporaire** est défini comme un plan d'eau douce stagnante dont la surface est comprise entre 25 m² et 2 ha et qui est en eau au moins 4 mois par année et à sec presque chaque année (Nicolet *et al.*, 2004).

2.2.2 Critères de choix des plans d'eau

Les plans d'eau étudiés en 2004 ont été choisis en fonction des critères suivants :

- Etangs non-étudiés en 2002
- Répartition géographique sur le site
- Type de plan d'eau

Au total, les campagnes de terrain de 2002 et 2004 ont permis l'étude de 22 étangs et 3 lacs (figure 6). En 2002, Hinden a étudié 7 étangs et 2 lacs. En 2004, 21 nouveaux plans d'eau ont été étudiés. Par ailleurs, 4 étangs étudiés en 2002 ont à nouveau été étudiés en 2004 et un étang a été étudié deux fois en 2004, ceci afin d'observer les variations inter-annuelles et intra-annuelles. Au niveau de la répartition géographique, la sélection retenue permet d'avoir une bonne représentativité de la biodiversité des étangs au niveau du site de Macun. Dans la sélection, des étangs temporaires ont également été retenus, car les conditions environnementales particulières de ces milieux favorisent parfois la présence d'espèces absentes dans les plans d'eau permanents (Williams, 1997). Ces étangs ont été identifiés sur place en fonction de leur profondeur. Les lacs ont été étudiés dans le but de comparer leur biodiversité avec celle des étangs. La mise en évidence de différences justifierait la distinction de 2 monitorings (lacs/ étangs) (tableau 1).

2. Site d'étude

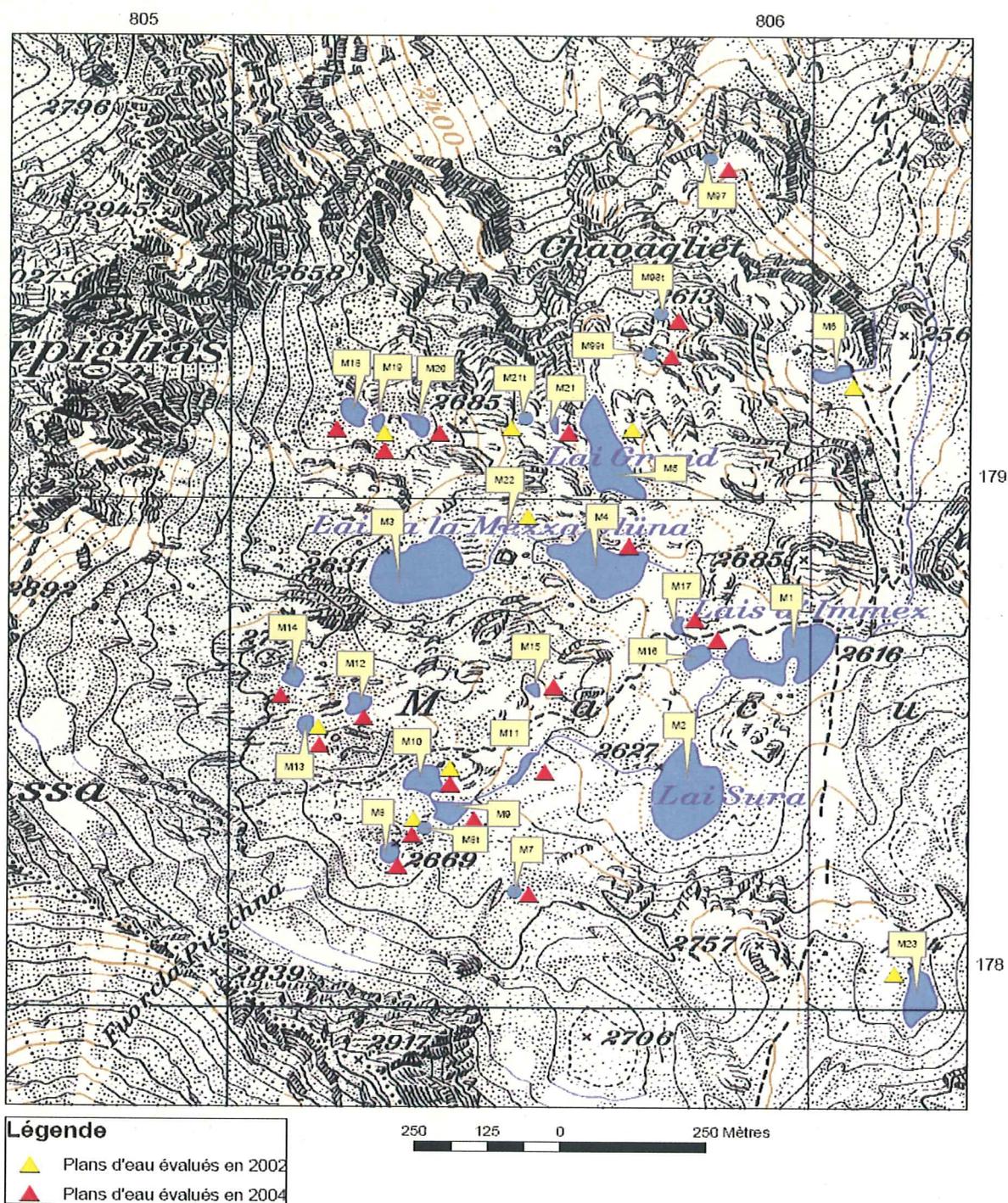


Figure 6. Situation géographique des étangs échantillonnés en 2002 et 2004 (Plan de situation © Parc National Suisse).

Tableau 1. Nombre de plans d'eau échantillonnés entre 2002 et 2004.

	Echantillonnés en 2002	Echantillonnés en 2004	Echantillonnés en 2002 et 2004	Echantillonnés 2 fois en 2004	Total
Etangs	7	20	4	1	22
Lacs	2	1	0		3

Remarque : 4 étangs échantillonnés en 2002 ont été rééchantillonnés en 2004 et un étang a été échantillonné deux fois en 2004.

3 Matériel et méthode

La méthode employée dans le cadre de cette étude se base sur les propositions de Hinden (2004) qui concerne l'adaptation de la méthode PLOCH (Oertli *et al.* 2005) aux petits plans d'eau d'altitude. Ces propositions sont présentées dans le manuel du monitoring (Rüegg, 2003) (voir annexe 6).

3.1 Campagne de terrain

La campagne de terrain a été réalisée entre le 23 juillet et le 2 août 2004. Les relevés physico-chimiques peuvent être effectués à cette période en altitude, en raison du décalage de la période de dégel par rapport aux régions situées en plaine. Le brassage qui suit le dégel homogénéise le plan d'eau entier et la faible présence de végétation à cette période évite la mobilisation des nutriments qui pourrait induire une sous-estimation de leur concentration lors des analyses (Oertli *et al.*, 2000).

3.2 Biodiversité

3.2.1 Flore

3.2.1.1 Choix des taxons

Parmi les groupes aquatiques, les plantes vasculaires constituent l'un des groupes les plus menacés (Landolt, 1991). De plus, elles jouent un rôle important dans le fonctionnement des écosystèmes d'eau stagnante peu profonds. Elles influencent la physico-chimie du milieu et sont à la base de la chaîne alimentaire. De plus, en contribuant à la diversité des habitats, elles influencent la diversité des vertébrés et des invertébrés aquatiques. Ce groupe est couramment utilisé pour évaluer la qualité des milieux aquatiques, notamment avec la méthode PLOCH ou encore par l'intermédiaire de l'Indice Macrophytique en Rivière (IBMR) (AFNOR, 2003). A Macun, les plantes vasculaires sont peu présentes et la végétation est constituée essentiellement de Diatomées et de Bryophytes. La prise en compte des Bryophytes permet de compenser en partie l'absence des plantes vasculaires. Par ailleurs, les Bryophytes ont déjà été prises en compte dans des monitorings destinés à évaluer la pollution des rivières (Vanderpoorten, 1999).

Lors de l'évaluation des étangs, seules les plantes aquatiques avec un indice d'humidité 5 et parfois de 4 (Landolt, 1977) ont été retenues et déterminées jusqu'au rang de l'espèce.

3.2.1.2 Relevé in situ

- Une seule campagne d'échantillonnage a été effectuée entre juillet et août 2004.
- La végétation vasculaire et les Bryophytes ont été inventoriés de façon exhaustive le long de transects, dans des quadrats (figure 7) de 0.25 m² (50 x 50cm) placés tous les 5, mètres perpendiculairement à la rive et jusqu'à une profondeur de 3 m Les quadrats vides ont été comptabilisés au même titre que ceux contenant de la végétation. Les deux interfaces eau-terre doivent être prises en compte. Le recouvrement de chaque espèce dans les quadrats est estimé en % et transformé en classes (Oertli *et al.*, 2000):
 - classe 1 0-5 % de la surface du quadrat
 - classe 2 5-25 %
 - classe 3 25-50 %
 - classe 4 50-75 %
 - classe 5 >75 %

3. Matériel et méthode

L'emplacement du transect est géoréférencé avec un GPS.

Les espèces présentes hors quadrat sont aussi inventoriées afin d'obtenir une liste d'espèces aussi complète que possible.

- Le nombre de relevés (n) est proportionnel à la surface (A en m^2) du plan d'eau. Il peut être défini à l'aide d'un graphique de référence (une courbe logarithmique indique un nombre de prélèvements à effectuer en fonction de la surface du plan d'eau) ou selon la formule : $n=1.96-2.8*\log_{10}(A)+2.6*(\log_{10}(A))^2$ (Oertli *et al.*, 2000).
- Dans la mesure du possible, les plantes relevées sont déterminées in situ et mises sous presses pour être séchées et constituer ainsi un herbier afin de compléter la détermination en laboratoire. Les mousses prélevées sont conservées dans des enveloppes et déterminées en laboratoire.
- Un relevé des espèces présentes hors quadrat permet de compléter la liste des espèces présentes dans le plan d'eau.

3.2.1.3 Identification des taxons

Les plantes vasculaires et les Bryophytes sont déterminées au rang de l'espèce. La détermination et la confirmation des échantillons ont été réalisées en collaboration avec des spécialistes :

- M. Price du Conservatoire du Jardin Botanique de Genève (Bryophytes)
- P. Prunier de la HES Lullier (Plantes supérieures)



Figure 7. Quadrat (50 x 50 cm) utilisé pour les relevés de végétation. (Etang M98t, août 2004)

3. Matériel et méthode

3.2.2 Faune

3.2.2.1 Choix des taxons

Les macro-invertébrés sont bien adaptés à l'étude des écosystèmes aquatiques. Ils jouent un rôle important dans les réseaux trophiques en tant que producteurs secondaires, consommateurs et décomposeurs. Ils sont couramment utilisés lors de l'évaluation des conditions de vie d'un milieu, notamment par l'intermédiaire de l'indice biologique global normalisé (IBGN) (AFNOR, 1992). Dans la méthode PLOCH, les groupes pris en compte sont : les Coléoptères aquatiques, les Gastéropodes, les Odonates et les Amphibiens. Parmi ces groupes, le seul présent à Macun est celui des Coléoptères. L'absence des autres groupes a nécessité la prise en compte des Chironomidés et des Oligochètes. En effet, ces groupes sont bien représentés à Macun et ils ont déjà fait l'objet d'études approfondies (Lang & Lods-Crozet, 1997). Par ailleurs, les Oligochètes sont également utilisés pour évaluer le niveau d'eutrophisation des milieux aquatiques (Lang, 1998). D'autre part, des groupes moins bien représentés ont aussi été étudiés afin d'avoir une idée précise de la biodiversité présente à Macun, information nécessaire à la mise en place du monitoring. Ces autres groupes sont : les Turbellariés (Planaridés), les Bivalves (Sphaeriidés), les Trichoptères (larves), les Plécoptères (larves).

3.2.2.2 Echantillonnage des invertébrés

- Une seule campagne d'échantillonnage est effectuée entre juillet et août 2004.
- Les échantillons sont prélevés avec un filet PLOCH (figure 8) (ouverture 10 x 14 cm, vide de maille inférieure à 0.5 mm, manche de 2 m) agité énergiquement avec des mouvements de va-et-vient pendant 30 secondes.
- Le nombre de prélèvements (n) à effectuer est proportionnel à la surface (A en m²) du plan d'eau. Il peut être défini avec l'aide d'un graphique de référence, (une courbe logarithmique indique un nombre de prélèvements à effectuer, en fonction de la surface du plan d'eau) ou selon la formule : $n=4.01+0.25*e^{(\log_{10}(A))}$ (Oertli *et al.*, 2000). Au total, 284 prélèvements ont été effectués, avec une moyenne de 9 par plans d'eau, un maximum de 22 et un minimum de 2.
- Les prélèvements sont répartis en fonction du recouvrement des différents habitats définis préalablement par une observation visuelle. 1/3 des «n» prélèvements sont pris au niveau des interfaces eau-terre. Les zones situées à proximité d'affluents et d'émissaires ne sont pas échantillonnées. En effet, ces zones présentent un risque plus élevé d'être contaminées par des espèces d'eau courante.
- Les échantillons sont tamisés avec un tamis de 0.5 mm de diamètre, puis fixés avec de l'alcool à 70 % et conservés dans des récipients en plastique de 0.5 l de contenance.



Figure 8. Prélèvement et tamisage d'un échantillon d'invertébrés avec le filet PLOCH (août 2004)

3. Matériel et méthode

Echantillonnage de sédiments

Certaines espèces d'Oligochètes et de Chironomidés ne se trouvent que dans les sédiments, mais la méthodologie présentée ci-dessus ne tient compte que partiellement des sédiments. A partir de ce constat, il a été décidé de procéder à 2 prélèvements supplémentaires de sédiments par étang. La méthode à appliquer pour ces prélèvements a été définie à partir de la méthode utilisée par Crozet (com. pers. Menetrey, 2004). Initialement, cette méthode prévoit le prélèvement de 5 carottes sur 10-15 cm de profondeur tous les 5 m. Pour Macun, cette méthode a été simplifiée. En effet, il est nécessaire de limiter le nombre de prélèvements pour des raisons pratiques de transport des échantillons. On a donc procédé à deux prélèvements par étang, un sur la zone littorale à faible profondeur, un autre au centre du plan d'eau dans une zone plus profonde (la profondeur maximale est dictée par la longueur du manche du filet qui mesure 2 mètres). Chaque prélèvement est effectué avec un filet PLOCH de 14 cm de largeur, déplacé sur une distance de 20 cm et qui récolte des sédiments sur une profondeur maximale de 15 cm. (Cette méthode, comparée à la méthode initiale, prélève plus de sédiments et comporte donc un risque de surévaluation. Néanmoins, pour les plans d'eau d'altitude, cette méthode se justifie, car la densité d'organismes est plus faible qu'en plaine. S'il n'y a pas de sédiment, les prélèvements ne sont pas effectués.)

Dans le cas des étangs temporaires, un seul prélèvement est suffisant. En 2004, 33 prélèvements de sédiments ont été effectués.

Les sédiments récoltés sont ensuite tamisés avec un tamis vide de maille de 30 mm, fixés dans de l'alcool à 70 % et conservés dans des récipients en plastique d'une contenance de 0.5 l.

3.2.2.3 Tri des échantillons en laboratoire

Les échantillons sont tamisés et rincés avec un tamis de 0.5 mm de diamètre pour les échantillons standards et avec un tamis de 0.3 mm de diamètre pour les sédiments. Les échantillons sont ensuite transférés dans un bac blanc et triés à vue ou avec une loupe binoculaire. Les invertébrés aquatiques sont triés par groupes et par plan d'eau sauf pour les Coléoptères qui sont triés par prélèvement. Ils sont ensuite stockés dans des tubes en verre du type «tubes à comprimés», remplis d'alcool à 70 %. Pour les Oligochètes, il faut utiliser de l'éthanol afin d'éviter la macération des tissus. Pour les Bivalves, il est nécessaire de mettre les individus dans une solution de KOH 3% pendant 3 heures afin d'ouvrir les valves pour extraire le Mollusque. Les valves sont ensuite conditionnées dans des tubes à air comprimé de type «Eppendorf».

3.2.2.4 Identification des taxons

Les Oligochètes, les Planaires, les Coléoptères, les Diptères Chironomidés, les Trichoptères, les Plécoptères, les Sphaeriidés et l'Hétéroptère sont déterminés au niveau taxonomique de l'espèce. Les autres Diptères sont déterminés au niveau de la famille. Les Coléoptères, les Chironomidés et les Oligochètes ont été comptés. Pour les autres groupes, le nombre d'individus a été estimé en fonction de classes d'abondances (1 : 1 individu, 2 : 2-5 individus, 3 : 6-10 individus, 4 : 11-50 individus, 5 : >50 individus).

La confirmation et la détermination de ces groupes a nécessité la collaboration des spécialistes suivant:

- B. Lods-Crozet du Musée Cantonal de Zoologie de Lausanne (détermination des Chironomidés)
- N. Giani de l'Université Paul Sabatier de Toulouse (détermination des Oligochètes)
- G. Carron de l'Université de Genève (confirmation des déterminations de Coléoptères)
- V. Lubini du «Büro für Gewässerökologie» de Zurich (détermination de Plécoptères et des Trichoptères)

3. Matériel et méthode

- N. Thew du Service Cantonal d'Archéologie de Neuchâtel (détermination des Sphaeriidés)
- J. Damgaard de l'Université de Copenhague (détermination de l'Hétéroptère)

Par ailleurs, la détermination des Coléoptères (adultes et larves), des Planaires et des Diptères (familles) a été effectuée par A. Stoll au laboratoire de la HES de Lullier.

3.2.3 Calcul des indicateurs de diversité

Le calcul d'indicateurs permet d'évaluer le potentiel d'un plan d'eau en terme de richesse spécifique, de richesse en espèces menacées ou de diversité biologique. Il existe un consensus international sur les critères à employer pour définir la qualité écologique d'un plan d'eau. Ces critères sont généralement la richesse spécifique et/ou la richesse en espèces menacées. L'absence de liste rouge pour les Chironomidés et les Oligochètes compromet l'estimation de la richesse en espèces menacées. Par contre, un indice de diversité a été mesuré, l'indice de Margalef qui est bien adapté à la méthodologie proposée.

3.2.3.1 Mesure de la richesse spécifique

La richesse spécifique d'un plan d'eau est généralement sous-estimée lors de l'échantillonnage. Afin d'estimer la richesse spécifique totale à partir de la richesse spécifique observée, on peut utiliser l'estimateur Jackknife (Burnham & Overton, 1979). Cet estimateur se calcule selon la formule :

$$S_{jk} = S_{obs} + ((n-1)/n) * K$$
 avec

S_{jk} : richesse totale (équivalent à un inventaire exhaustif)

S_{obs} : nombre d'espèces observées dans les n prélèvements (ou quadrats)

n : nombre de prélèvements.

K : nombre d'espèces uniques (espèces rencontrées une seule fois dans les n prélèvements ou quadrats)

Dans le cas où l'on ne connaît pas le détail du nombre d'espèces par prélèvement, on peut utiliser l'estimateur Chao1 :

$$S^* = S_{obs} + (a^2 / (2b))$$

a : nombre d'espèces représentées par un seul individu

b : nombre d'espèces représentées par 2 individus.

3.2.3.2 Mesure de l'indice de Margalef

Cet indice de diversité se réfère à la relation entre le nombre d'espèces échantillonnées et le nombre total d'individus échantillonnés.

Cet indice est calculé avec la formule de Margalef (Neto *et al.*, 1976)

$$\alpha = S - 1 / \ln N$$

α : indice de diversité

S : nombre de taxon échantillonné

N : nombre total d'individus collectés dans la surface échantillonnée

Remarque : pour permettre l'utilisation de cette formule, les étangs avec une seule espèce représentée par un seul individu, ont été majorés d'un deuxième.

3. Matériel et méthode

3.3 Variables du milieu

3.3.1 Choix des variables

Lors de son travail, Hinden (2004) a étudié les relations entre la biodiversité des petits plans d'eau alpins et les variables environnementales. Son travail a permis la mise en évidence des variables principales à utiliser pour caractériser les plans d'eau et évaluer leur relation avec la biodiversité (Hinden, 2005). Ce travail a déterminé la sélection des variables mesurées à Macun. Les variables sélectionnées sont :

- La profondeur maximale et la profondeur moyenne
- La surface
- La température
- La conductibilité
- Le pH
- L'azote total
- Le phosphore total
- Le recouvrement en % du plan d'eau par la végétation
- La présence ou l'absence de poissons
- La présence d'émissaires et d'affluents

3.3.2 Morphologie

3.3.2.1 Profondeur

La profondeur a été mesurée avec un double mètre ou un échosondeur «Echotest II de Plastimo». Des relevés ont été réalisés sur l'ensemble du plan d'eau afin d'estimer la profondeur moyennée et maximale.

3.3.2.2 Surface

La surface du plan d'eau a été estimée in situ avec un distomètre «Rangefinder Yardage Pro 1000 de BUSHNELL» qui mesure la distance entre l'observateur et un point visé. La surface en m² est calculée à partir de ces mesures.

3.3.3 Physico-chimie de l'eau

3.3.3.1 Température

A l'étage alpin, les variations journalières de la température des plans d'eau sont importantes. Afin de prendre en compte les différences induites par l'heure à laquelle les mesures sont prélevées, des enregistreurs de température «HOBO® Water Temp Pro» ont été utilisés. Ces enregistreurs ont relevé la température avec une fréquence établie à 10 minutes. Pour connaître la température moyenne d'un plan d'eau, il est nécessaire de procéder à un enregistrement à la surface et un autre en profondeur (1 m 50 sous la surface de l'eau). Au total, 6 enregistreurs ont été positionnés dans 2 étangs, un lac et un étang temporaire. Pour avoir des informations sur l'évolution de la température au cours d'une semaine, les data logger ont pris des mesures durant 5 jours.

3.3.3.2 pH et Conductibilité :

Ces paramètres sont mesurés in situ à l'aide de sondes portatives WTW (Weinheim, Germany). En l'absence de stratification et afin d'avoir des résultats homogènes, les mesures sont effectuées dans la zone de profondeur maximale, 30 cm en dessous de la surface de l'eau. En 2002, tous les étangs présentaient le même pH. Pour cette raison, il est apparu inutile de mesurer ce paramètre en 2004.

3. Matériel et méthode

3.3.3.3 Azote total et Phosphore total

Les prélèvements d'eau ont lieu dans la zone de profondeur maximale, 30 cm au-dessous de la surface du plan d'eau. Les échantillons sont conservés dans des bouteilles en polyéthylène de 500 ml. Ils doivent être conservés au froid et à l'abri de la lumière, ceci afin d'empêcher des transformations chimiques. Les échantillons ont été analysés par l'EAWAG. L'eau prélevée est filtrée avec une pompe manuelle à travers un filtre en fibres de verre (Whatman GF/F, 47 mm, maille $\sim 0.7\mu\text{m}$) préalablement chauffé à 500°C . Les filtres sont conservés dans des boîtes de petri. L'eau filtrée est conservée dans une bouteille en polyéthylène après acidification avec du HNO_3 . L'eau filtrée et les filtres sont conservés entre 1 et 3 jours à 4°C (eau) ou congelés (filtres) avant l'analyse en laboratoire. Un filtre est utilisé pour l'analyse de l'azote et du phosphore particulaire (PN, PP). L'eau filtrée est utilisée pour les analyses d'ammonium ($\text{NH}_4\text{-N}$), de nitrite ($\text{NO}_2\text{-N}$), de nitrate ($\text{NO}_3\text{-N}$), d'azote dissous (DN), de phosphate ($\text{PO}_4\text{-P}$), de phosphate dissous (tableau 2).

Tableau 2. Méthode et matériel de mesure des caractéristiques chimiques de l'eau.

	Méthode de mesure des concentrations	Référence
Azote et phosphore particulaire (PN, PP)	Digestion des filtres par une solution de $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ à 121°C et 1.1bar . Les composés azotés sont hydrolysés en nitrate, le phosphore en orthophosphate.	Ebina <i>et al.</i> (1983)
Ammonium ($\text{NH}_4\text{-N}$)	méthode du bleu d'indophénol .	Eidgenössisches Departement des Inneren (1983)
Nitrite ($\text{NO}_2\text{-N}$)	spectrophotométrie (Spectrophotomètre Hitachi U 1000).	DEV (1989)
Nitrate ($\text{NO}_3\text{-N}$)	Réaction de Griess (« red azo dye ») suivie d'une réduction en nitrite par de l'hydrazine. L'analyse se fait dans un spectrophotomètre à flux continu.	Downes (1978) et Stöckli (1985)
Azote et phosphore dissous (DN, DP)	Oxydation du P et N en orthophosphate et nitrate avec du $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ à 121°C et 1.1 bar. Mesure des concentrations par colorimétrie.	Ebina <i>et al.</i> (1983)
Phosphate (phosphore réactif soluble, ortho phosphate, $\text{PO}_4\text{-P}$)	La concentration $\text{PO}_4\text{-P}$ est mesurée par un spectrophotomètre en flux continu après traitement selon la méthode du bleu de Molybdène.	Vogler (1965)

3. Matériel et méthode

Indices de la teneur en nutriments de l'eau

L'OCDE (1982) a établi des indices trophiques permettant de catégoriser les plans d'eau en fonction de leur concentration en azote total et en phosphore total. L'azote total correspond à l'addition de l'azote dissous et de l'azote particulaire. Le phosphore total correspond à l'addition du phosphore dissous et du phosphore particulaire.

P total en microgrammes par litre (d'après l'OCDE, 1982):

- classe 1 : oligotrophe ($<10\mu\text{g Ptot/l}$),
- classe 2 : mésotrophe ($\leq 35\mu\text{g Ptot/l}$),
- classe 3 : eutrophe ($\leq 100\mu\text{g Ptot/l}$),
- classe 4 : hypertrophe ($>100\mu\text{g Ptot/l}$)

N total en mg par litre (d'après l'OCDE, 1982):

- classe 1 : oligotrophe ($<0.3\text{mg Ntot/l}$),
- classe 2 : mésotrophe ($<0.65\text{ mg Ntot/l}$),
- classe 3 : eutrophe ($<1.5\text{ mg Ntot/l}$),
- classe 4 : hypertrophe ($>1.5\text{ mg Ntot/l}$).

3.3.4 Autres variables

3.3.4.1 Recouvrement par la végétation aquatique

Le recouvrement en % du plan d'eau par la végétation est calculé en effectuant le rapport du nombre de quadrats occupés par de la végétation aquatique sur le nombre total de quadrats.

3.3.4.2 Présence de poissons

La présence de poissons, ainsi que des indications sur leur taille (petits, moyens, grands) ont été relevées.

3.3.4.3 Présence d'émissaires et d'affluents

La présence, l'importance et la provenance d'affluents dans les étangs ont été relevées.

3.3.4.4 Habitats aquatiques

Les différents mésohabitats composant les étangs sont répertoriés et leur recouvrement est estimé. Les habitats sont séparés en deux groupes : les habitats de pleine eau et les habitats se trouvant à l'interface eau-terre.

3.4 Traitement statistique

- Les corrélations entre les groupes biologiques et les facteurs environnementaux ont été calculés par des corrélations de Spearman.

La mise en évidence de l'influence de facteurs tels que le positionnement géographique des étangs sur le site ou la temporarité a nécessité le chiffrage de ces variables.

Une note variant entre 1 et 3 a été attribuée aux étangs en fonction de leur situation géographique sur le site. La note 1 a été attribuée aux étangs situés au nord et la note 3 aux étangs situés au sud (la situation géographique détermine le type d'alimentation en eau des étangs, les étangs sud étant alimentés essentiellement par le glacier rocheux et les étangs nord par la fonte des neiges et par la nappe phréatique).

Une note variant entre 1 et 3 a été attribuée aux étangs en fonction de leur temporarité déterminée in situ en fonction de la profondeur de l'eau. La note 1 a été attribuée aux étangs permanents, la note 3 aux étangs temporaires.

Une note variant entre 1 et 3 a été attribuée aux étangs en fonction de la présence d'affluents. La note 1 a été attribuée aux étangs sans affluents, la note 3 aux étangs connectés à un affluent important.

- Pour comparer la composition faunistique des différents plans d'eau, des analyses typologiques ont été réalisées. Ces typologies ont été réalisées pour les différents groupes taxonomiques, car le nombre de plans d'eau pris en compte varie en fonction des groupes (les Chironomidés et les Oligochètes n'ont été échantillonnés qu'en 2004). De plus, dans une typologie incluant plusieurs groupes, l'existence d'un groupe dominant pourrait masquer des informations fournies par un groupe moins bien représenté.

L'analyse typologique peut être découpée en plusieurs phases.

1. **Elaboration d'un tableau de données**

Il s'agit de réaliser un tableau de base avec les différents taxa et l'abondance de ces taxa, représentées sous forme de classes (1 : 1 individu, 2 : 2-5 individus, 3 : 6-10 individus, 4 : 11-50 individus, 5 ; >50 individus). Plusieurs critères sont pris en considération lors de l'élaboration de ce tableau. Tout d'abord, les espèces utilisées lors des analyses doivent être des espèces d'eau stagnante. Celles exclusivement d'eau courante sont éliminées.

Dans un deuxième temps, les espèces rares qui n'apparaissent que dans un ou deux étangs avec une faible abondance (classe d'abondance 1 ou 2) sont écartées du jeu de données. En effet, ces espèces peuvent influencer la discrimination de 2 étangs proches.

2. **Ordination des données**

Les méthodes d'ordination produisent des axes factoriels (axe1, axe 2) qui sont des résumés unidimensionnels du tableau de données et qui permettent d'ordonner symétriquement les espèces et les étangs (Oertli *et al.*, 2000). L'analyse utilisée est une Analyse en Composantes Principales (ACP).

3. **Classification des données**

Une classification hiérarchique selon la méthode de Ward a été réalisée. Cette classification est représentée par un dendrogramme qui permet l'identification de groupes d'étangs. Le dendrogramme utilisé pour la typologie a été obtenu avec la méthode de Ward (1992) de classification ascendante hiérarchique.

4 Résultats

4.1 Tests de qualité

4.1.1 Objectifs

- Evaluer la variabilité de la diversité biologique des étangs au cours du temps (variabilité inter-annuelle et intra-annuelle). Une faible variabilité inter-annuelle permettrait de rassembler les données collectées en 2002 et 2004. Cette variabilité influencera l'interprétation des résultats.
- Comparer la diversité des lacs à celle des étangs. La constatation de différences entre ces deux types de plans d'eau justifierait l'exclusion des lacs du monitoring des étangs.

Afin de tester la variabilité inter-annuelle, 4 étangs (M10, M13, M19, M8t) ont été échantillonnés en 2002 et 2004 entre fin juillet et début août. Pour tester la variabilité intra-annuelle, un étang (M10) a été échantillonné 2 fois en 2004 sur un intervalle de 5 jours (27 juillet 2004-2 août 2004) (tableau 3).

Tableau 3. Présentation des groupes biologiques et du nombre de plans d'eau retenus pour les typologies destinées à tester la variabilité temporelle des étangs. La catégorie qui prend en compte les autres taxa inclut les Planaires, les Sphaeriidés, les Trichoptères et les Plécoptères.

Typologie	Groupes biologiques	Variabilité temporelle : nombre d'étangs
1	Coléoptères	29
2	Coléoptères/ Autres taxa	30
3	Chironomidés	22
4	Oligochètes	19

Remarque : le nombre de plans d'eau varie en fonction des groupes biologiques échantillonnés. En 2004, les Chironomidés, les Oligochètes, les Coléoptères et les autres taxa ont été échantillonnés. En 2002, seuls les Coléoptères et les autres taxa ont été échantillonnés. Par ailleurs, une sélection d'échantillons de Chironomidés a été déterminée. Le calcul de l'estimateur Chao1 a permis d'ajouter 2 plans d'eau de 2002 dans la typologie des Chironomidés (M13 et M5).

Par ailleurs, le type d'analyse utilisée ne permet pas de prendre en compte les étangs qui n'ont pas de représentant d'un groupe biologique donné (par exemple, aucun Oligochète n'a été observé dans le M97, la typologie basée sur les Oligochètes ne tiendra donc pas compte de cet étang).

4. Résultats

4.1.2 Typologie basée sur les Coléoptères

On constate une correspondance entre la composition spécifique des étangs de 2002 et de 2004 et entre le 28 juillet 2004 et le 2 août 2004. L'écart de l'étang M13 sur le graphique est à relativiser en fonction de l'importance des axes (l'axe des x explique 60 % de l'information sur un total de 80). La différence entre 2002 et 2004 est liée à la présence d'*Helophorus* sp. en 2004 (figure 9).

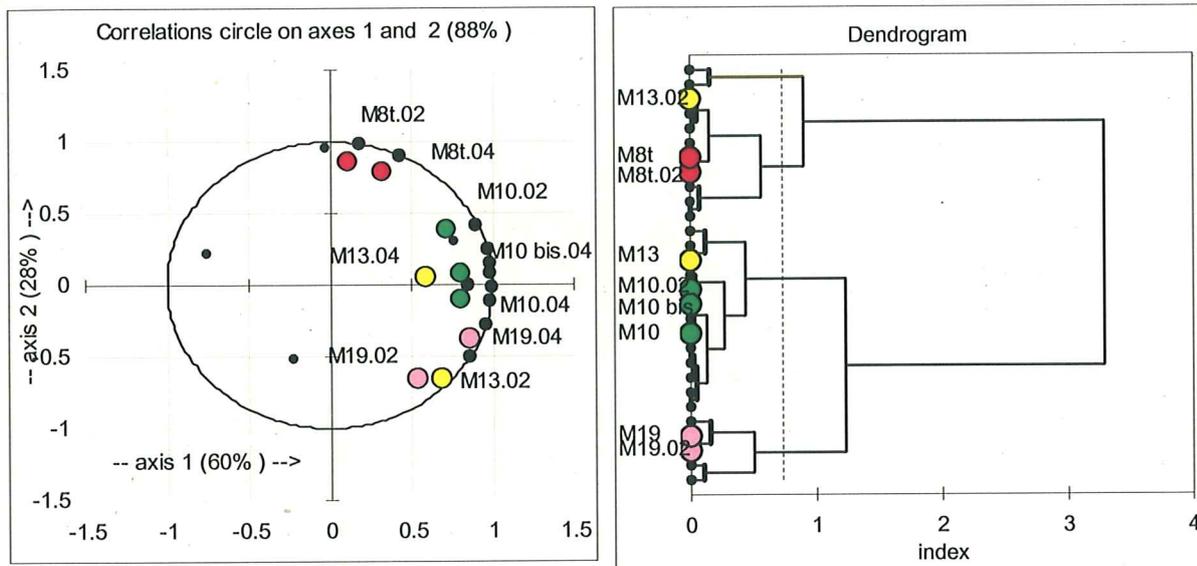


Figure 9. Typologie destinée à mettre en évidence les 4 étangs échantillonnés deux fois entre 2002 et 2004 et l'étang échantillonné deux fois en 2004 (M10) en vert. Les couleurs représentent les étangs.

4. Résultats

4.1.3 Typologie basée sur les Coléoptères et les autres taxa

On constate une bonne correspondance intra-annuelle et inter-annuelles de la composition faunistique des étangs (figure 10).

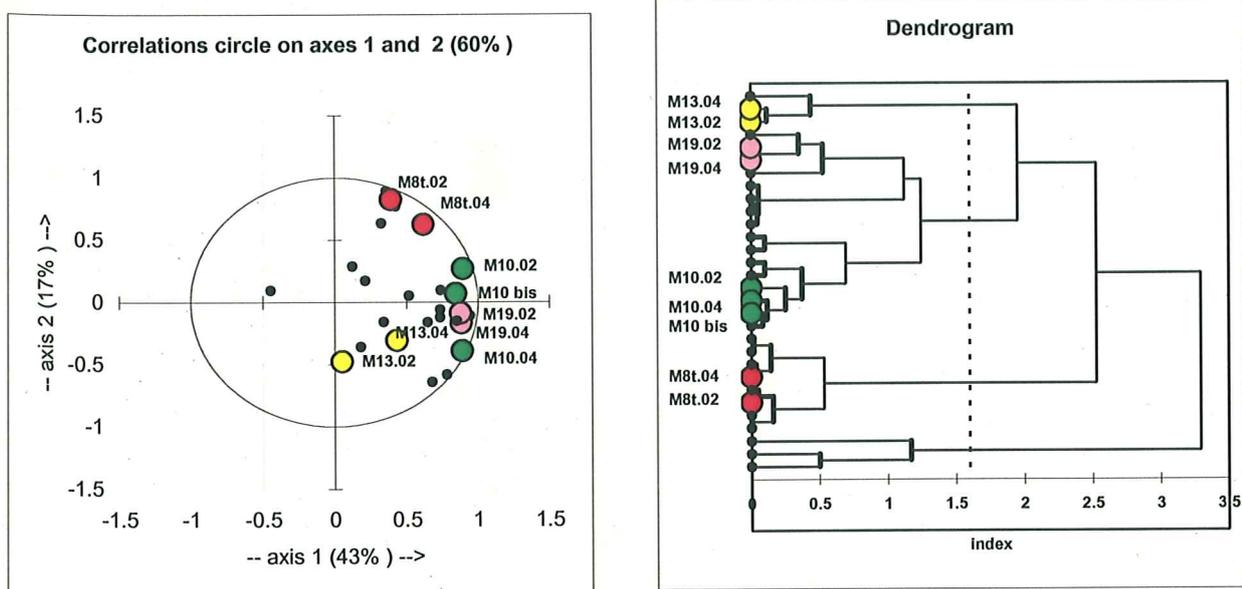


Figure 10. Typologie destinée à mettre en évidence les 4 étangs échantillonnés deux fois entre 2002 et 2004 et l'étang échantillonné deux fois en 2004 (M10). Les couleurs représentent les étangs.

4.1.4 Typologie basée sur les Chironomidés

On constate une correspondance inter-annuelle. L'écart intra-annuel est lié à la présence dans le M10 bis de *Pseudodiamesa branickii*, de *Chaetocladius spp.*, et de *Micropsectra lindrothi junci* (figure 11).

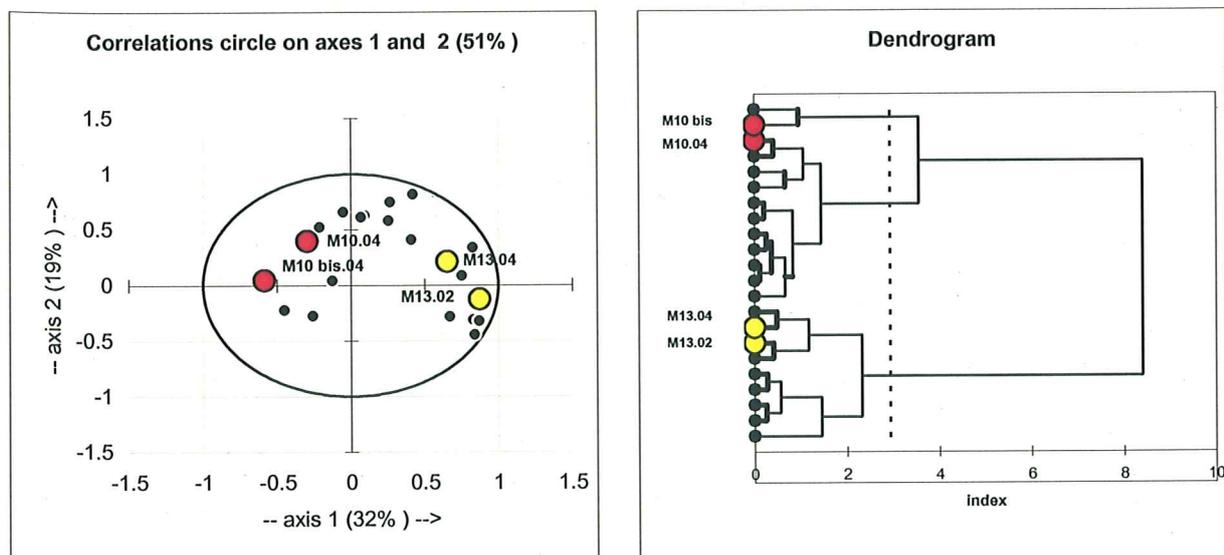


Figure 11. Typologie de 2 étangs échantillonnés deux fois entre 2002 et 2004 et de l'étang échantillonné 2 fois en 2004. Les couleurs représentent les étangs.

4. Résultats

4.1.5 Typologie basée sur les Oligochètes

On constate une correspondance intra-annuelle de la composition faunistique des étangs (figure 12).

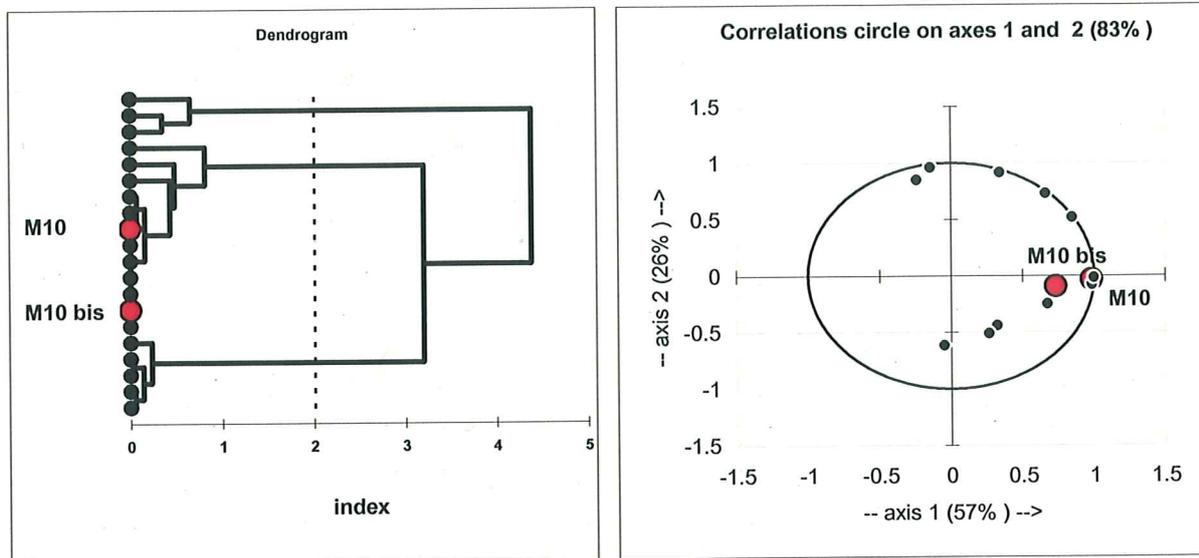


Figure 12. Présentation de la variabilité de l'étang M10, sur un intervalle de 5 jours.

4.1.6 Conclusion

On constate que les variations inter-annuelles sur deux ans et intra-annuelles sur 5 jours sont faibles. Les résultats de 2002 seront donc utilisés sans distinction avec les résultats de 2004. Pour des questions de fiabilité et de groupes taxonomiques échantillonnés, les résultats des étangs échantillonnés une deuxième fois en 2004 seront conservés (un plus grand nombre de taxons a été échantillonné en 2004).

4. Résultats

4.2 Comparaison des étangs et des lacs

4.2.1 Objectifs

- Comparer la diversité des lacs à celle des étangs. La constatation de différences entre ces deux types de plans d'eau soulignerait la nécessité de considérer séparément le monitoring des lacs et des étangs

Les lacs ont été classifiés en fonction de leur taille et de leur profondeur. La surface moyenne des lacs est de 9500m². La profondeur moyenne est de 3m 40 et la profondeur maximale est en moyenne de 8 m 50 (figure 13).

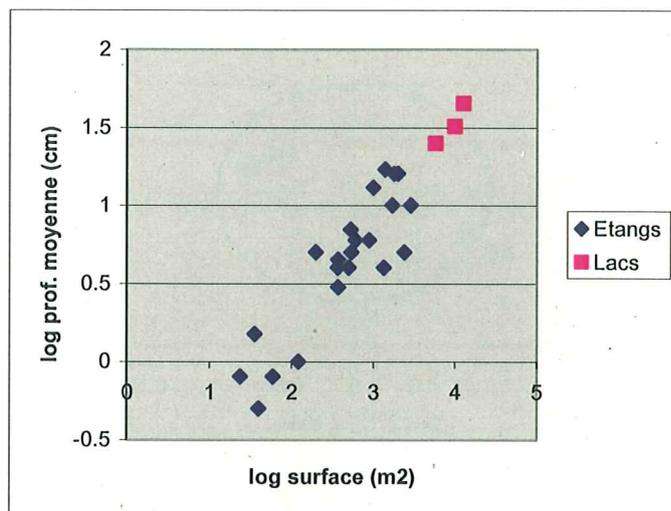


Figure 13. Comparaison de la morphologie des lacs et des étangs (surface et profondeur moyenne)

Afin de comparer la composition faunistique des lacs et des étangs, 4 typologies ont été réalisées (tableau 4).

Tableau 4 Présentation des groupes biologiques et du nombre de plans d'eau retenus pour les typologies destinées à comparer les étangs et les lacs. La catégorie qui prend en compte les autres taxa inclut les Planaires, les Sphaeriidés, les Trichoptères et les Plécoptères.

Typologie	Groupes biologiques	Comparaison lacs-étangs : nombre de plans d'eau
1	Coléoptères	24
2	Coléoptères/ Autres taxa	25
3	Chironomidés	20
4	Oligochètes	19

4. Résultats

4.2.2 Typologie basée sur les Coléoptères

Le lac M4 se distingue du reste des plans d'eau. Cette distinction est liée à la faible abondance d'*Hydroporus foveolatus* et à la forte abondance d'*Agabus bipustulatus* et d'*Hydroporus memnonius*. Le lac M5 ne se distingue pas des autres étangs. Néanmoins, sa faible richesse spécifique le classe dans un groupe constitué de petits étangs. Le lac M23 se distingue par l'absence de Coléoptères (figure 14).

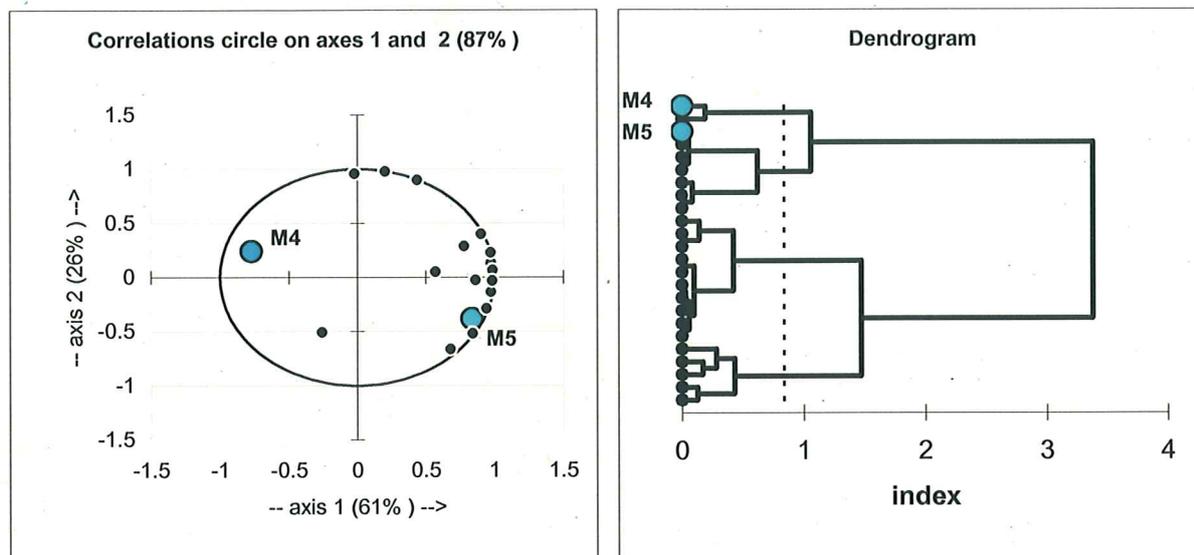


Figure 14. Comparaison de la composition faunistique entre les lacs et les étangs. La couleur bleue symbolise les lacs, les points noirs les étangs.

4.2.3 Typologie basée sur les Coléoptères et les autres taxa

Le lac M23 se distingue par la présence d'une seule espèce, le Trichoptère *Limnephilus coenosus* (figure 15).

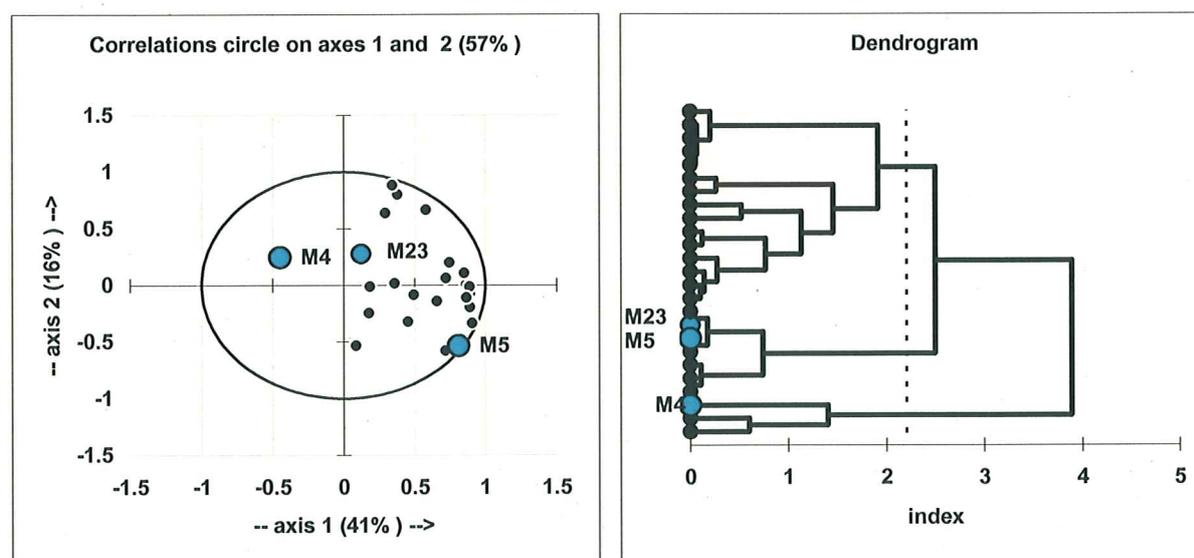


Figure 15. Présentation de la typologie basée sur les Coléoptères et les autres taxa

4. Résultats

4.2.4 Typologie basée sur les Chironomidés

Les lacs M4 et M5 ne se distinguent pas des étangs (figure 16).

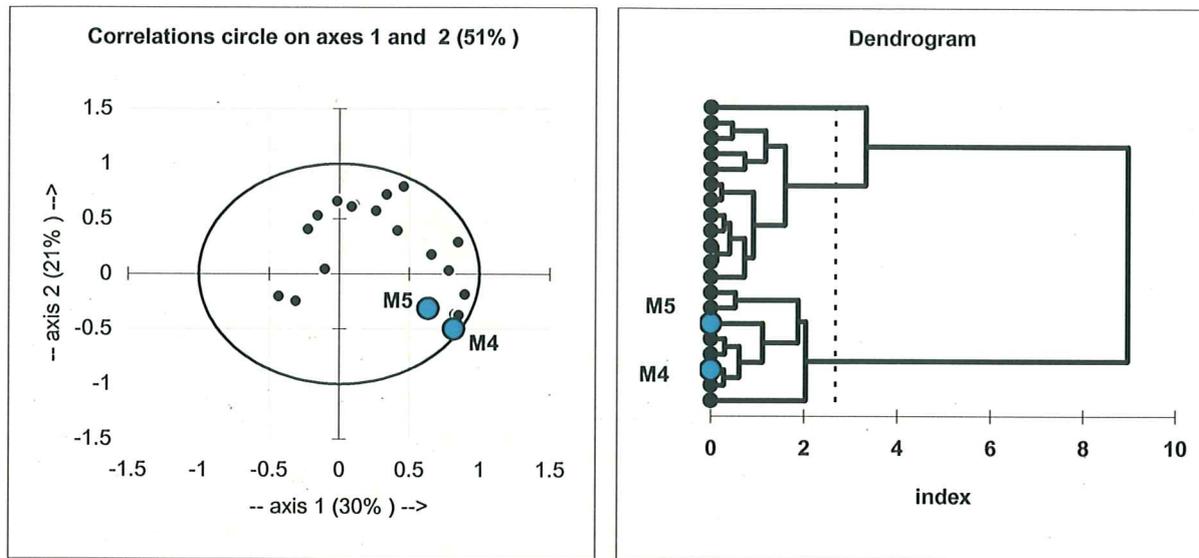


Figure 16. Présentation de la typologie basée sur les Chironomidés. La couleur bleue symbolise les lacs, les points noirs les étangs.

4.2.5 Typologie basée sur les Oligochètes

Le lac M4 ne se distingue pas des étangs (figure 17).

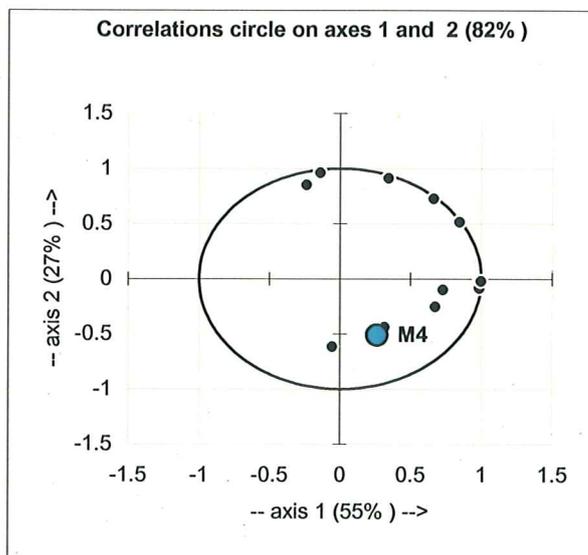


Figure 17. Typologie basée sur les Oligochètes. La couleur bleue symbolise le lac, les points noirs les étangs.

4. Résultats

4.2.6 Conclusion

Le lac M4 se distingue des autres étangs par sa composition spécifique en Coléoptères.

Le lac M5 ne se distingue pas des autres étangs quant à sa composition spécifique. Le lac M23 est le seul plan d'eau exempt de Coléoptères.

Les particularités concernant la composition spécifique en Coléoptères des lacs M4 et M5 (absence de l'espèce *Hydroporus foveolatus* dans le lac M4) pourraient s'expliquer par la présence de poissons dans ces lacs. L'étude du bureau Hydra des lacs de Macun a mis en évidence la prédation des Coléoptères aquatiques par les poissons (Rey & Pitsch, 2004).

La composition faunistique particulière des lacs M4 et M23 met en évidence la particularité des lacs et l'existence de différences potentielles entre les étangs et les lacs. Ce constat souligne la nécessité de considérer séparément le monitoring des lacs et des étangs.

4. Résultats

4.3 Caractéristiques générales des étangs

4.3.1 Physico-chimie

D'une manière générale, les résultats indiquent un niveau trophique faible et un pH acide (annexe 13). Les valeurs de conductivité sont basses (tableau 5). L'étang M6 se distingue par une valeur de conductivité plus élevée (68.3 MS/cm) (figure 18 C). Cette valeur pourrait s'expliquer par la présence à proximité de l'étang d'une cabane de montagne. Les analyses chimiques montrent une concentration plus importante en phosphore qui pourrait être liée à l'utilisation du site dans le passé pour le pâturage estival (Burki & Schlüchter, 2004) (figure 18 A, B).

Tableau 5. Résultats de la physico-chimie des eaux de 22 étangs pour la conductivité, de 3 étangs pour le pH et de 11 étangs pour les autres critères (SD = écart type ; DN = Azote dissous ; PN = Azote particulaire ; N tot = Azote total, DP = Phosphore dissous ; PP = Phosphore particulaire, P tot = Phosphore total).

Paramètre	Moyenne	SD	Minimum	Maximum	Médiane
Conductibilité	10.1	14.16	1.7	68.3	6.4
pH	5.5	0	5.5	5.5	5.5
NH ₄ -N mg/l	0.007	0.002	0.003	0.012	0.007
NO ₂ -N mg/l	0.001	0.001	0.001	0.003	0.001
NO ₂ -N + NO ₃ -N mg/l	0.086	0.06	0	0.17	0.078
DN mg/l	0.171	0.054	0.083	0.259	0.181
PN mg/l	0.039	0.022	0.01	0.073	0.038
N tot	0.21	0.076	0.093	0.332	0.219
PO ₄ -P µg/l	3.627	0.892	2.233	4.694	3.537
DP µg/l	9.648	2.015	6	13	9.661
PP µg/l	3.919	5.631	0.624	20.253	2.454
P tot	13.567	7.646	6.624	33.253	12.115

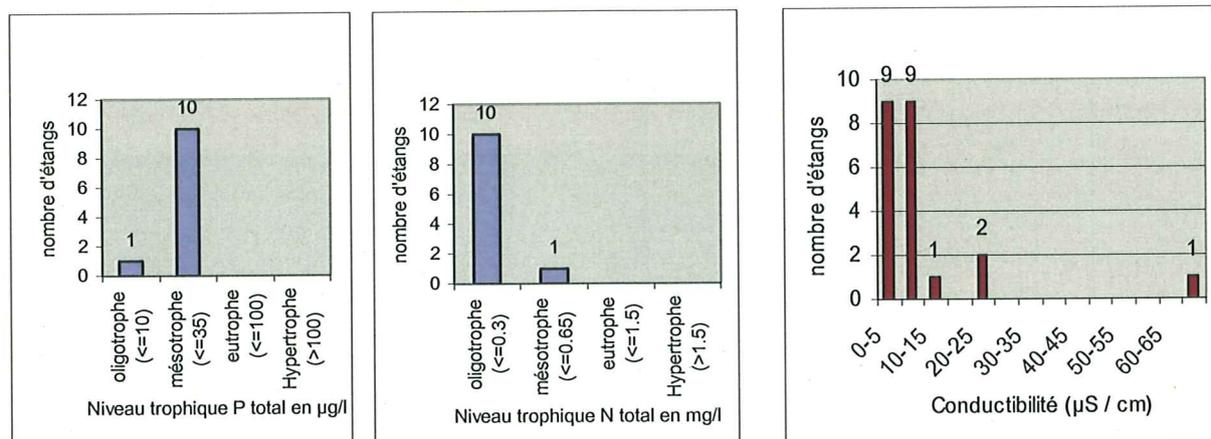


Figure 18. Présentation des niveaux trophiques de 11 étangs pour l'azote totale et le phosphore total (a et b) et présentation de la conductivité de 22 étangs.

4. Résultats

Température

Les variations journalières de température sont mesurées pour évaluer les différences entre un étang situé au nord et un étang situé au sud.

On constate une grande amplitude des températures journalières (dans l'étang M16, le 31 juillet, les températures maximale et minimale étaient respectivement de 17 et de 9°C à la surface de l'étang). On observe également des différences de température entre la surface et la profondeur. (Dans le M16, à 1m50 sous le niveau de la surface, la température est inférieure en moyenne de 2°C à celle de la surface) (figure 19). Des différences de température de l'ordre de 3°C ont été constatées entre un étang situé au sud du plateau de Macun (M10) et un étang situé au nord (figure 20). Cette différence pourrait être liée à l'origine différente de l'eau qui alimente ces étangs (cf. ch. 1.1.4).

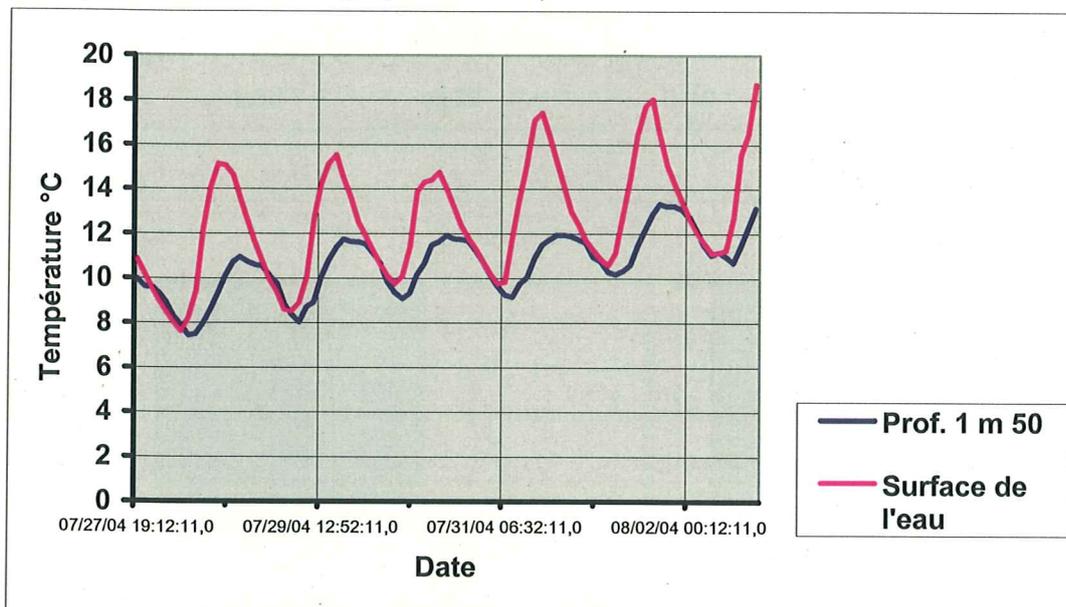


Figure 19. Evolution de la température en surface et en profondeur de l'étang M16 sur une période 6 jours.

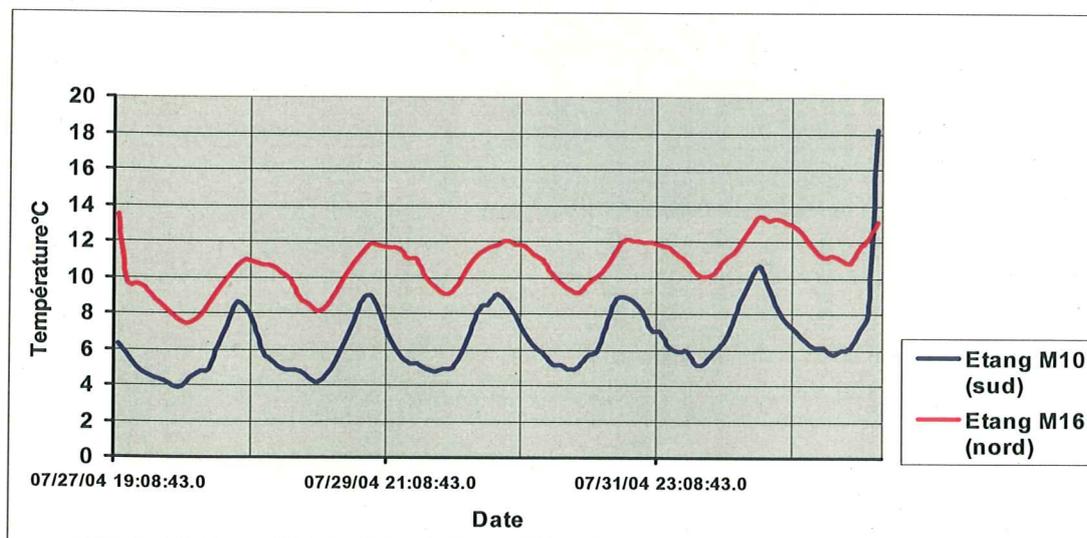


Figure 20. Evolution de la température dans deux étangs similaires au niveau morphologique mais qui se distinguent par leur situation géographique sur le site. Le M16 est situé au nord et le M10 au sud. La température a été mesurée sur un intervalle de 6 jours à une profondeur de 1m50.

4. Résultats

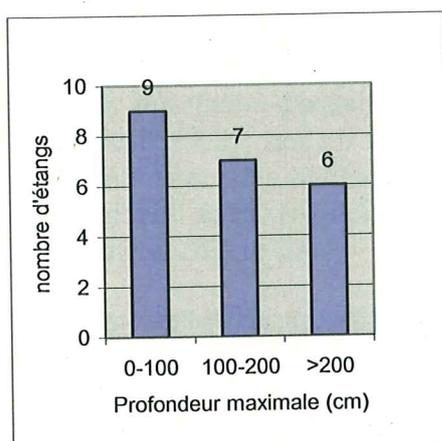
4.3.2 Morphologie

La surface moyenne d'un étang est de 798 m². On distingue la présence de 4 étangs de petites tailles qui sont les étangs temporaires (annexe 12).

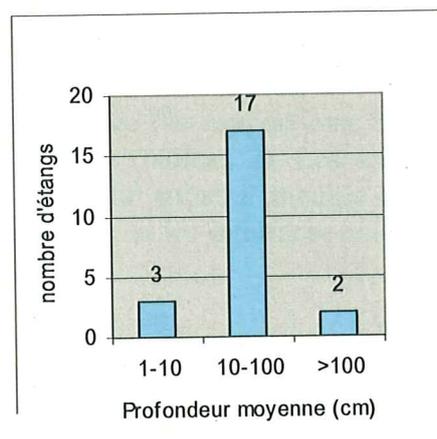
Concernant la profondeur, on distingue 3 catégories d'étangs. La catégorie dominante comprend 17 étangs d'une profondeur moyenne comprise entre 10 cm et 100 cm. Les 3 étangs qui ont une profondeur moyenne inférieure à 10 cm sont des étangs temporaires et représentent la deuxième catégorie. La troisième catégorie est composée des deux étangs plus profonds.

Tableau 6 Caractéristiques morphologiques des 22 étangs (détail en annexe...)

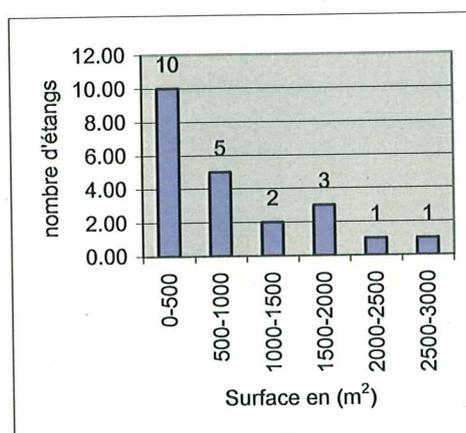
Paramètre	Moyenne	SD	Minimum	Maximum	Médiane
Surface (m ²)	798.90	780.65	24.00	2869.00	526.00
Profondeur moyenne (m)	0.65	0.52	0.05	1.70	0.50
Profondeur max. (m)	1.35	0.92	0.10	3.00	1.20



(b)



(a)



(c)

Figure 21. Présentation des gammes de profondeur et de surface des 22 étangs par classe de la surface des étangs m²

4. Résultats

4.3.3 Autres variables

4.3.3.1 Poissons

Des poissons ont été observés dans l'étang M19 (poissons de petites tailles) et dans l'étang M16 (poissons de tailles moyennes) (annexe 14). La proximité du lac M1 et de l'étang M16 pourrait expliquer la présence de poissons dans le M16. Pour le M19, la présence de poissons est inexplicée.

Etangs avec poissons : M16, M19

Etangs sans poissons : M6, M7, M8, M8t, M9, M10, M11, M12, M13, M14, M15, M17, M18, M20, M21, M22, M97, M98t, M99t

4.3.3.2 Recouvrement par la végétation aquatique

Le recouvrement de la surface d'un étang par la végétation a été estimé à 59 % dans l'étang M16 (Bryophytes) à 58 % dans le M11 (Bryophytes) à 5 % dans le M22 (Bryophytes) à 26% dans le M6 (végétation vasculaire). Dans les autres étangs, le recouvrement par la végétation est nul.

4.3.3.3 Présence d'émissaires et d'affluents

Au total, 6 étangs sont connectés à un affluent important, 8 à un affluent de petite taille et 8 ne sont pas connectés du tout.

4.3.3.4 Habitat

On constate une faible diversité d'habitats aquatiques. Par rapport aux 27 habitats recensés dans l'étude PLOCH, seuls 9 types ont été identifiés (tableau 7). Les 4 types d'habitats les plus courants sont : les habitats constitués de substrat minéral meuble (sable, gravier), de substrats minéral solide (cailloux, bloc), de sédiments, et les interfaces eau-terre constitués de substrat minéral (figure 22)

Tableau 7. Liste des habitats rencontrés dans les 22 étangs

Type d'habitat
1. Hydrophytes
Mousses
2. Hélophytes
Cariçales inondées
Eleocharis sp.
3. Habitats autres que Hydro- /Hélophytes
Substrat minéral meuble (sable, graviers)
Substrat minéral solide (cailloux, bloc, ...)
Autres: vase
4. Interfaces eau-terre
Petites hélophytes
Substrat minéral: blocs, rochers, cailloux
Autres interfaces: mousse, combe à neige, pelouse alpine



Figure 22. Interface eau-terre constituée de petits hélophytes (Etang M16, août 2004)

4. Résultats

4.4 Diversité biologique des étangs

4.4.1 Objectifs

L'objectif de ce chapitre est de présenter la diversité des groupes taxonomiques pris en compte dans cette étude ainsi que leurs relations avec les variables du milieu. L'état des lieux de la biodiversité des étangs influencera le choix des groupes à retenir pour le monitoring. Afin d'avoir une bonne représentation de la biodiversité, celle-ci sera abordée à différents niveaux (tableau 8).

- Diversité ponctuelle (diversité au niveau de l'échantillon, évaluée uniquement pour les coléoptères)
- Diversité locale (diversité au niveau de l'écosystème)
- Diversité régionale (diversité au niveau des étangs du plateau de Macun)

4.4.2 Valeurs des indicateurs par groupe taxonomique

Deux indicateurs sont utilisés pour décrire la composition faunistique des étangs :

- La richesse spécifique totale (obtenue avec l'estimateur Jackknife)
- La diversité (obtenue avec la formule de Margalef).

Tableau 8. Diversité biologique (locale, régionale, Margalef) des principaux groupes biologiques représentés dans les étangs de Macun.

			Groupes biologiques					
			Mousses	Plantes vasculaires	Oligochètes	Trichoptères	Coléoptères	Chironomidés
Diversité régionale	Richesse totale		6*	4*	7.95*	2	7.9*	17.95*
	Index de diversité (Margalef)		-	-	0.95		0.72	2.1
Diversité locale	Richesse totale	Moyenne	0.5	0.18	1.79	0.55	3.1*	6.62
		SD	0.8	0.85	1.03	0.51	1.34*	2.47
		Minimum	0	0	0	0	1*	0
		Maximum	3	4	4	1	5.9*	10
		Médiane	0	0	2	1	2.8*	5
	Index de diversité (Margalef)	Moyenne	-	-	0.27	-	0.45	0.92
		SD	-	-	0.3	-	0.31	0.52
		Minimum	-	-	0	-	0	0
		Maximum	-	-	0.91	-	1.44	1.92
		Médiane	-	-	0.23	-	0.39	0.87

Remarque : les valeurs suivies d'une étoile ont été obtenues avec l'estimateur Jackknife

4. Résultats

4.4.3 Flore

4.4.3.1 Plantes vasculaires

Au total, 12 taxons ont été recensés dont 4 ont un indice d'humidité de Landolt de 5 et sont considérés comme aquatiques, les autres sont considérés comme terrestres (tableau 9). La végétation aquatique se présente sous la forme de petits héliophytes, situées dans la zone de battement en bordure de plans d'eau.

Les 4 taxons aquatiques ont été observés dans un seul plan d'eau (M6).

Ils ont été recensés lors de la campagne de terrain 2002. En 2004, le stade de maturité des échantillons a compromis leur identification, seules 4 espèces ont pu être identifiées dont aucune espèce aquatique (annexe 7).

Tableau 9. Liste de la flore des 22 étangs avec leur indice d'humidité selon Landolt (1977), leur statut de menace en Suisse (ne = non évalué, LC = préoccupation mineure, NT = quasi menacé), le nombre de quadrats dans lesquels on les a observé et leur abondance (somme des recouvrements de tous les quadrats contenant l'espèce).

Famille	Genre / espèce	Déterminations incertaines	Statut CH	Humidité	Nombre de quadrats	Somme recouvrement	Nombre de plans d'eau
Caryophyllaceae	<i>Cerastium cerastoides</i> (L.) Britton	*	LC	4	1	1	1
Poaceae	<i>Deschampsia cespitosa</i> (L.) P. Beauv.		LC	4	2	2	2
Cyperaceae	<i>Eleocharis sp.</i>	*	nd	5	4	3	1
Cyperaceae	<i>Eriophorum scheuchzeri</i> Hoppe		LC	5	7	3	1
Poaceae	<i>Glyceria sp.</i>	*	nd	5	1	1	1
Apiaceae	<i>Ligusticum mutellina</i> (L.) Crantz		LC	3			1
Juncaceae	<i>Luzula alpinopilosa</i> (Chaix) Breistr.		LC	3	1	1	1
Poaceae	<i>Poa alpina</i> L.		LC	3	1	1	1
Rosaceae	<i>Potentilla aurea</i> L.		LC	3			1
Saxifragaceae	<i>Saxifraga stellaris</i> L.		LC	5			1
Primulaceae	<i>Soldanella sp.</i>	*	nd	4			1
Ranunculaceae	<i>Trollius europaeus</i> L.		LC	4			1

4.4.3.2 Bryophytes

Au total, 7 taxons ont été identifiés. L'estimateur Jakknife calculé pour l'ensemble des étangs donne une richesse totale de 7.9 espèces (tableau 10). On trouve des Bryophytes dans 8 plans d'eau.

L'espèce *Warnstorfia fluitans* a le statut d'espèce quasi menacée sur la liste rouge nationale (Schnyder, 2004). Les Bryophytes sont souvent présentes dans les étangs connectés de manière importante aux rivières (M11, M16, M22).

Tableau 10. Liste des Bryophytes des 22 étangs avec leur écologie, leur statut d'espèce menacée en Suisse (nd = non déterminé, LC = préoccupation mineure, NT = quasi menacé, VU = vulnérable), le nombre de quadrats dans lesquels on les a observé et leur abondance (somme des recouvrements de tous les quadrats contenant l'espèce).

Groupe	Genre / espèce	Détermination incertaine	Statut CH	Ecologie	Nombre de quadrats	Somme recouvrement	Nombre de plans d'eau
Musci	<i>Bryum sp.</i>	*	nd	aquatique	6	12	2
Musci	<i>Didymodon sp.</i>	*	nd	aquatique			1
Musci	<i>Hygohypnum luridum</i> (Hedw.) Jenn		LC	aquatique	1	1	3
Musci	<i>Polytrichum commune</i> Hedw.		LC	aquatique			1
Musci	<i>Polytrichum sexangulare</i> Brid.		LC	aquatique			3
Musci	<i>Warnstorfia fluitans</i> (Hedw.) Warnst.		NT	aquatique	11	4	2

4. Résultats

4.4.4 Faune

4.4.4.1 Oligochètes

Diversité régionale (site de Macun)

Les résultats présentés dans le tableau 9 concernent les échantillons prélevés en 2004. Au total, 1664 individus ont été triés et déterminés. Pour les 7 taxons observés, l'estimateur Jackknife donne une richesse totale de 8 (l'espèce *Bucholzia sp.* n'est présente que dans un seul étang) (tableau 11). Toutes les espèces recensées sont des espèces à large distribution. Les Enchytraeidae sont des formes amphibies alors que les Lumbriculidae et Tubificidae sont des formes strictement aquatiques. Le peuplement de certains étangs, constitué uniquement d'Enchytraeidae, fait penser à un peuplement de sol tourbeux (com. pers. Giani, 2005). Le taxon le plus fréquent et le plus abondant est *Cognettia cf glandulosa*, présente dans 15 plans d'eau avec 1285 individus (annexe 8).

Diversité locale (par étang)

Il y a en moyenne 1.8 taxons par plan d'eau (figure 23). Les étangs les plus riches sont le M16 et le M17 avec 4 espèces. Aucune n'a été recensée dans l'étang M11. Le M17 a l'indice de diversité maximal avec 4 taxons représentés en moyenne par 19 individus. 7 étangs n'ont qu'une seule espèce ce qui leur donne un indice de diversité de 0.

Tableau 11. Liste des Oligochètes collectés dans 19 étangs

Famille	Genre / espèce	Détermination incertaine	Abondance totale	nombre de plans d'eau	Ecologie
Enchytraeidae	<i>Cognettia cf glandulosa</i> (Michaelsen 1888)		1285	15	Eaux stagnantes
Enchytraeidae	<i>Cernosvitoviella cf immota</i> (Kowalewski 1916)		12	3	Eaux stagnantes
Enchytraeidae	<i>Bucholzia sp.</i>		6	1	Eaux stagnantes
Enchytraeidae	<i>Fridericia spp.</i>		68	6	Eaux stagnantes
Enchytraeidae	<i>Enchytraeidae ind.</i>	°	1	1	Eaux stagnantes
Lumbriculidae	<i>Stylodrilus heringianus</i> Claparède 1862		24	4	Eaux stagnantes
Lumbriculidae	<i>Lumbriculus variegatus</i> (Müller, 1774)		142	3	Eaux stagnantes
Tubificidae	<i>Tubifex tubifex immatures</i> (Müller 1774)		44	3	Eaux stagnantes
Tubificidae	<i>Tubifex tubifex matures</i> (Müller 1774)		15	2	Eaux stagnantes

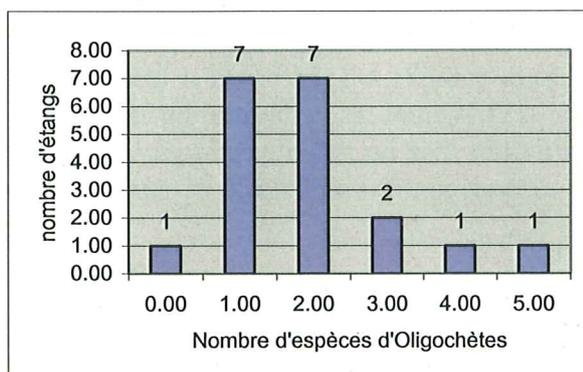


Figure 23. Richesse spécifique en Oligochètes dans les 19 étangs.

4. Résultats

4.4.4.2 Coléoptères

Diversité régionale (site de Macun)

Entre 2002 et 2004, 1090 individus ont été triés et déterminés, dans la mesure du possible, au niveau de l'espèce (annexe 9). Au total, 7 espèces aquatiques ont été observées (tableau 12). Parmi ces 7, une seule se trouve dans les eaux courantes. Celles appartenant au genre *Agabus* et *Hydroporus* ont été observées aux stades de larve et d'adulte. Pour l'ensemble des étangs, l'estimateur Jackknife donne une richesse totale de 7.9 espèces. Cette valeur s'explique par la présence de 2 espèces rencontrées dans un seul plan d'eau (*Hydroporus nigrita* et *Hydroporus nivalis*). L'espèce la plus abondante est *Hydroporus foveolatus* avec 758 individus récoltés. Quant aux espèces rares ou menacées, *Hydroporus nivalis* est sur la liste rouge nationale (Duelli, 1994) avec le statut d'espèce vulnérable. Par ailleurs, aucune de ces espèces n'est strictement endémique des Alpes ; toutefois, *Hydroporus foveolatus* a une répartition limitée en Europe. Sur les 25 régions biogéographiques définies par Illies (1978), cette espèce n'est répertoriée que dans 3 régions.

Avec 6 espèces observées, les étangs de Macun ont une richesse spécifique en Coléoptères intéressante. En effet, à cette altitude, 15 espèces de Dytiscidae pourraient potentiellement être présentes (com. pers. Carron, 2005). Cette richesse pourrait s'expliquer par le grand âge des étangs, donc par le temps important de colonisation des espèces. En effet, les étangs ont été créés il y environ 4000 ans, suite au retrait des glaciers.

Tableau 12. Liste des Coléoptères collectés dans 22 étangs

Famille	Genre/espèce	Ecologie	LR	Abondance totale	nombre de plans d'eau
Dytiscidae	<i>Agabus bipustulatus</i> (Linnaeus, 1767)	Eaux stagnantes	nd	57	8
Dytiscidae	<i>Hydroporus foveolatus</i> Heer, 1839	Eaux stagnantes	nd	775	19
Dytiscidae	<i>Hydroporus memnonius</i> Nicol., 1822	Eaux stagnantes	nd	21	5
Dytiscidae	<i>Hydroporus nigrita</i> (Fabricius, 1792)	Eaux stagnantes	nd	1	1
Dytiscidae	<i>Hydroporus nivalis</i> Heer, 1839	Eaux stagnantes	VU	1	1
Elmidae	<i>Limnius perrisi</i> (Dufour, 1843)	Eaux courantes	nd	1	1
Hydrophilidae	<i>Helophorus sp.</i>	Eaux stagnantes	nd	235	20

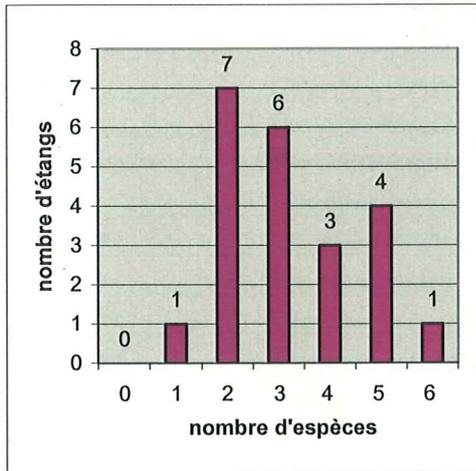
Diversité locale (par étang).

Selon l'estimateur Jackknife, on observe en moyenne 3 espèces de Coléoptères par plan d'eau (figure 23 (a)). L'étang M16 est le plus riche avec 6. L'étang M8t est le plus pauvre avec une seule espèce. L'étang M11 a l'indice de diversité le plus élevé avec 2 espèces représentées chacune par un individu. Les étangs M21t et M8t ont un indice de diversité nul. Ils ont chacun une espèce représentée par un seul individu. L'espèce la plus fréquente est *Helophorus sp.*, présente dans 20 plans d'eau. Deux espèces ne sont présentes que dans un seul plan d'eau.

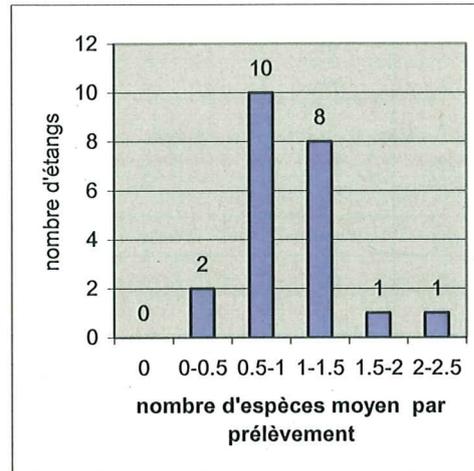
4. Résultats

Diversité ponctuelle (par prélèvement)

Au niveau de la richesse par prélèvement, on observe en moyenne 0.25 espèces par prélèvement (figure 24 (b)). L'espèce la plus fréquente et la plus abondante est *Hydroporus foveolatus*, présente dans 94 prélèvements sur un total de 731 avec en moyenne un individu par prélèvement. L'étang avec la richesse spécifique la plus élevée par prélèvement est le M6 avec 2,2 espèces en moyenne. Celui avec la plus faible richesse spécifique par prélèvement est le M11 avec 0.2 espèces en moyenne.



(a)



(b)

Figure 24: Présentation de la richesse spécifique totale en Coléoptères par étang (a). Présentation de la richesse spécifique moyenne des Coléoptères par prélèvement par étang (b)

4.4.4.3 Diptères

Au total, 5 familles de Diptères ont été recensées dans 22 étangs. La famille des Chironomidés est la mieux représentée, suivie par la famille des Tipulidae (annexe 10-11).

Chironomidés

Diversité régionale (site de Macun)

Au total, 2159 individus et pupes de la famille des Chironomidés ont été identifiés. Au total, 23 taxons ont été identifiés dans 18 étangs (tableau 13). Un étang n'a pas de Chironomidés. Parmi ces 23 taxons, 6 sont exclusivement d'eau courante. L'estimateur Jackknife donne une richesse totale de 18. Le taxon le plus abondant est le groupe des *Zavrelimyia melanura* avec 797 individus. L'espèce la plus fréquente est *Limnophyses ssp.*, présente dans 12 plans d'eau.

Diversité locale (par étang)

On observe en moyenne 6 taxons de Chironomidés par plan d'eau (figure 25). Le plus riche est le M16 avec 10 espèces, le plus pauvre le M97 avec aucune. L'étang avec l'indice de diversité le plus élevé est le M99t avec 5 espèces représentées par 1 ou 2 individus.

4. Résultats

Tableau 13. Liste des Chironomidés collectés dans 18 étangs

Famille	Genre / espèce	Détermination incertaine	Abondance totale	nombre de plans d'eau	Ecologie
Tanypodinae	<i>Procladius (Holotanypus) sp.</i>	*	243	4	Eaux stagnantes
Tanypodinae	<i>Zavreliomyia melanura.</i> (Mg)	*	795	9	Eaux stagnantes
Tanypodinae	<i>Zavreliomyia cf. melanura</i> (Mg.)		4	2	Eaux stagnantes
Diamesinae	<i>Diamesa steinboeckii</i> (G.)		2	1	Eaux courantes
Diamesinae	<i>Diamesa latitarsis gr.</i> (G.)		10	2	Eaux courantes
Diamesinae	<i>Diamesa zernyi</i> Edw. / <i>cinerella</i> (Mg.) gr.		100	4	Eaux courantes
Diamesinae	<i>Pseudodiamesa branickii</i> (Now.)		3	1	Eaux stagnantes
Diamesinae	<i>Pseudodiamesa nivosa</i> (G.)	*	186	8	Eaux stagnantes
Diamesinae	<i>Pseudokiefferiella parva</i> (Edw.)		8	3	Eaux courantes
Orthocladinae	<i>Bryophaenocladus spp.</i>	*	36	10	Eaux stagnantes
Orthocladinae	<i>Chaetocladus spp.</i>	*	20	2	Eaux stagnantes
Orthocladinae	<i>Corynoneura cf. scutellata</i> winn.		48	5	Eaux stagnantes
Orthocladinae	<i>Cricotopus / Orthocladus spp.</i>		6	3	Eaux courantes
Orthocladinae	<i>Eukiefferiella spp.</i>		214	2	Eaux stagnantes
Orthocladinae	<i>Heterotrissocladus marcidus</i> (Walk.)		271	7	Eaux stagnantes
Orthocladinae	<i>Limnophyes spp.</i>	*	96	12	Eaux stagnantes
Orthocladinae	<i>Metriocnemus eurynotus</i> (Holm.)	*	4	3	Eaux stagnantes
Orthocladinae	<i>Metriocnemus ursinus</i> (Holm.)	*	44	3	Eaux stagnantes
Orthocladinae	<i>Parametriocnemus stylatus</i> (K.)	*	8	3	Eaux stagnantes
Orthocladinae	<i>Parorthocladus nudipennis</i> (K.)	*	7	1	Eaux courantes
Orthocladinae	<i>Pseudosmittia spp.</i>		3	3	Eaux stagnantes
Orthocladinae	<i>Rheocricotopus effusus</i> (Walk.)		23	3	Eaux stagnantes
Orthocladinae	<i>Micropsectra lindrothi</i> (Mg.) / <i>junci</i> (Mg.)		5	2	Eaux stagnantes
Orthocladinae	<i>Micropsectra spp.</i>	*	7	2	Eaux stagnantes
Chironominae - Tanytarsini	<i>Paratanytarsus austriacus</i> -(K.)		1	1	Eaux stagnantes
Chironominae - Tanytarsini	<i>Paratanytarsus spp.</i>	*	15	3	Eaux stagnantes
Ceratopogonidae				1	Eaux stagnantes
Limoniidae - Limoniini				7	Eaux stagnantes
Limoniidae - Prosimuliinae				4	Eaux courantes
Tipulidae				10	Eaux stagnantes

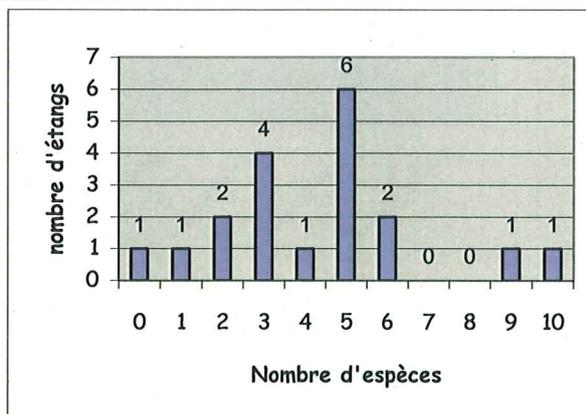


Figure 25. Nombre d'espèces de Chironomidés par étang

4. Résultats

4.4.4.4 Autres groupes

Parmi les autres groupes, les mieux représentés sont les Trichoptères. L'espèce *Limnephilus coenosus* est présente dans 10 plans d'eau (tableau 14) (annexe 11).

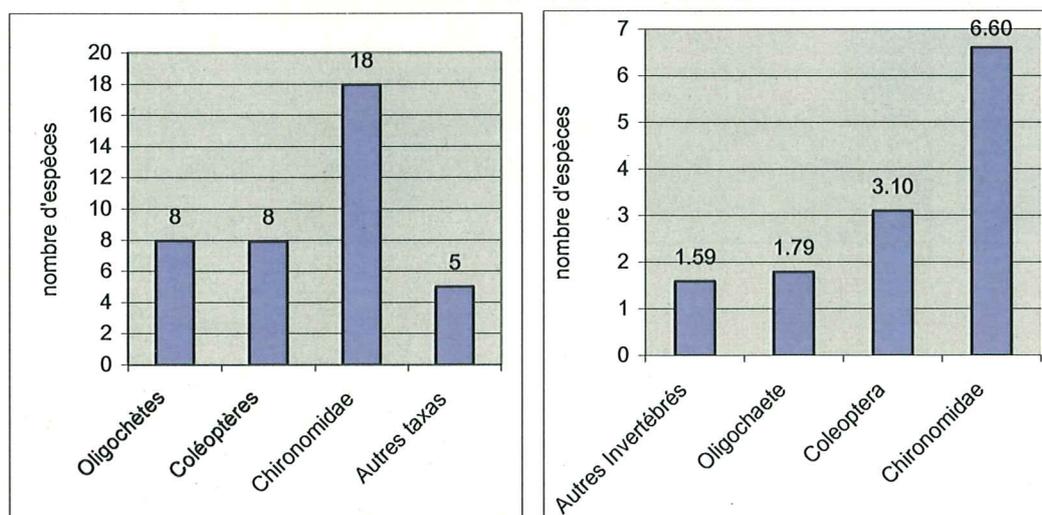
Par ailleurs, un Hétéroptère aquatique, appartenant à l'espèce *Arctocorisa carinata*, a été observé dans un lac. Une Odonate imago a également été aperçue en vol au cours de la campagne de terrain 2004 et un Amphibien (probablement une grenouille rousse) a déjà été observé par un garde du parc.

Tableau 14. Liste des autres taxa collectés dans 22 étangs

Ordre	Famille	Genre/espèce	Détermination incertaine	Nombre de plans d'eau	Ecologie
Tricladia	Planariidae	<i>Crenobia alpina</i> (Dana)	*	3	Eaux stagnantes
Lamellibranchiata	Sphaeriidae	<i>Pisidium casertanum</i> Poli		2	Eaux stagnantes
Trichoptea	Limnephilidae	<i>Consorophylax consors</i> Mcl.		1	Eaux courantes
Trichoptera	Limnephilidae	<i>Limnephilus coenosus</i> Curtis		10	Eaux stagnantes
Trichoptera	Limnephilidae	<i>Acrophylax zerberus</i> Brauer	*	2	Eaux stagnantes
Plecoptera	Nemuridae	<i>Nemurella pictetii</i> Klp.		3	Eaux stagnantes
Heteroptera	Corixidae	<i>Arctocorisa carinata carinata</i> (C. Sahlberg).	*	1	Eaux stagnantes

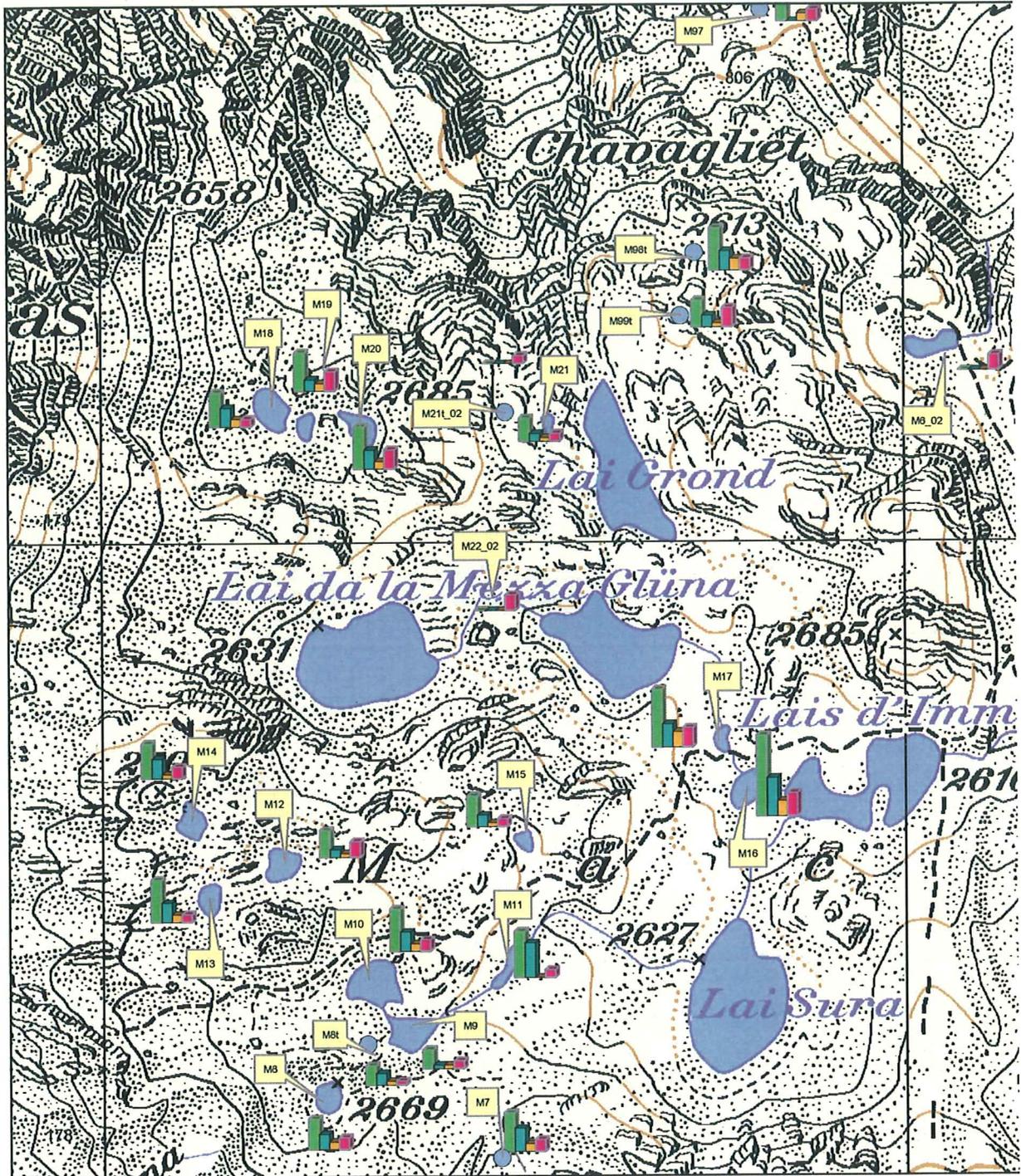
4.4.4.5 Conclusion

On constate que les groupes le mieux représentés au niveau du site et au niveau des étangs sont les Chironomidés suivis des Coléoptères et des Oligochètes. Ces 3 groupes représentent 80 % des taxons observés dans les étangs (figure 26 (a ;b), 27).

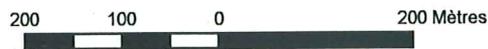
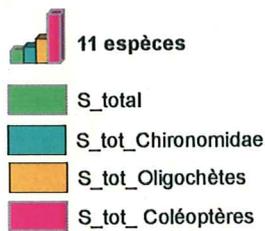


(a) Figure 26 (a) Richesse totale (Chironomidés, Coléoptères, Oligochètes) et observée (autres taxa) des invertébrés aquatiques dans l'ensemble des étangs de Macun

(b) Richesse spécifique des différents groupes dans un étang type de Macun



Légende



1:6'000

(Plan de situation © MVA Grison,

Figure 27. Richesse spécifique des étangs en Oligochètes, Coléoptères et Chironomidés. La richesse totale inclut ces 3 groupes ainsi que les autres taxa.

4. Résultats

4.4.5 Relation entre la biodiversité et les variables du milieu

4.4.5.1 Tableau de corrélation

Afin de mettre en évidence les relations entre les variables environnementales et les groupes biologiques, un test de corrélation de Spearman a été réalisé.

Tableau 15. Résultats du test de corrélation de Spearman concernant les variables environnementales et les groupes biologiques. Les variables concernant la chimie de l'eau (n°6-7-8) incluent 11 étangs ($r=0.34$). Trois des six variables biologiques (n°16-17-18) incluent 19 étangs ($r=0.24$). Les autres variables biologiques et environnementales incluent 22 étangs ($r=0.22$).

N°des variables	1	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	Nord/Sud	Surface (m ²)	Profondeur max. (m)	Temporarité	NO ₂ -N + NO ₃ -N (mg/l)	DN mg/l	PN mg/l	Conductivité (µS / cm)	Nombre d'habitats	Présence d'affluents	Recouvrement par la végétation	S. obs. Mousses local	S. tot.Coléo. local	S.obs. Coléo.ponctuelle	S. obs . Oligo. Local	S. obs Chiro.local	S. communauté local
Nord/Sud	1.00	0.16	0.16	0.38	0.74	0.67	-0.17	0.10	0.23	0.39	0.29	0.14	-0.06	-0.58	-0.24	0.13	-0.15
Surface (m ²)	0.16	1.00	0.85	-0.63	0.60	0.55	0.23	-0.04	0.45	0.20	0.36	0.25	-0.01	-0.08	0.25	0.29	0.31
Profondeur max. (m)	0.16	0.85	1.00	-0.71	0.29	0.22	0.00	-0.33	0.28	0.02	0.28	0.10	0.18	0.02	0.18	0.26	0.24
Temporarité	0.38	-0.63	-0.71	1.00	-0.02	-0.08	0.03	0.25	-0.11	0.05	0.16	0.06	-0.15	-0.19	-0.09	-0.26	-0.38
NO ₂ -N + NO ₃ -N (mg /l)	0.74	0.60	0.29	-0.02	1.00	0.92	-0.25	0.15	0.30	0.30	0.33	0.20	0.15	-0.37	0.25	0.20	0.16
DN mg/l	0.67	0.55	0.22	-0.08	0.92	1.00	-0.11	0.00	0.26	0.19	0.28	0.25	-0.10	-0.24	0.25	0.25	0.24
PN mg/l	-0.17	0.23	0.00	0.03	-0.25	-0.11	1.00	-0.53	-0.12	-0.42	0.23	-0.25	-0.23	0.54	0.26	0.14	0.32
Conductivité (µS / cm)	0.10	-0.04	-0.33	0.25	0.15	0.00	-0.53	1.00	0.57	0.60	0.51	0.27	-0.07	-0.06	0.21	0.45	0.13
Nombre d'habitats	0.23	0.45	0.28	-0.11	0.30	0.26	-0.12	0.57	1.00	0.75	0.70	0.71	0.24	0.17	0.38	0.57	0.56
Présence d'affluents	0.39	0.20	0.02	0.05	0.30	0.19	-0.42	0.60	0.75	1.00	0.43	0.41	0.00	-0.17	0.15	0.54	0.37
Recouvrement par la végétation	0.29	0.36	0.28	0.16	0.33	0.28	0.23	0.51	0.70	0.43	1.00	0.65	0.50	0.33	0.43	0.66	0.63
S. obs. Mousses local	0.14	0.25	0.10	0.06	0.20	0.25	-0.25	0.27	0.71	0.41	0.65	1.00	0.28	-0.11	0.01	0.10	0.22
S. tot.Coléo. local	-0.06	-0.01	0.18	-0.15	0.15	-0.10	-0.23	-0.07	0.24	0.00	0.50	0.28	1.00	0.04	0.04	0.07	0.15
S. obs.Coléo.ponctuelle	-0.58	-0.08	0.02	-0.19	-0.37	-0.24	0.54	-0.06	0.17	-0.17	0.33	-0.11	0.04	1.00	0.52	0.05	0.30
S. obs. Oligo. local	-0.24	0.25	0.18	-0.09	0.25	0.25	0.26	0.21	0.38	0.15	0.43	0.01	0.04	0.52	1.00	0.49	0.65
S. obs. Chiro. local	0.13	0.29	0.26	-0.26	0.20	0.25	0.14	0.45	0.57	0.54	0.66	0.10	0.07	0.05	0.49	1.00	0.79
S. communauté locale	-0.15	0.31	0.24	-0.38	0.16	0.24	0.32	0.13	0.56	0.37	0.63	0.22	0.15	0.30	0.65	0.79	1.00

4. Résultats

4.4.5.2 Synthèse

Les résultats du test de corrélation mettent en évidence plusieurs relations (tableau 15):

- On constate une corrélation positive entre la concentration en azote dissous (DN) et la situation géographique des étangs (nord-sud). Cette corrélation peut s'expliquer par l'origine des eaux, qui diffère entre les parties nord et sud (Matthaei, 2003). Au niveau des groupes faunistiques, cette différence influencerait la richesse spécifique ponctuelle des Coléoptères qui est significativement plus faible dans les étangs sud.
- On constate une forte corrélation entre la surface, la profondeur et la temporarité. Les étangs temporaires ont une faible profondeur et une petite surface. Concernant la relation entre la temporarité et la richesse spécifique des groupes faunistiques, on constate que la temporarité influence négativement la richesse spécifique de la communauté et la richesse spécifique en Chironomidés.
- On constate une corrélation positive entre la présence d'affluents, le recouvrement par la végétation et la richesse en mousses. En effet, des herbiers de mousse ont été constatés dans des étangs connectés de manière importante à un affluent.

4. Résultats

4.5 Typologie des étangs

4.5.1 Objectifs

Une étude récente (Rüegg & Robinson, 2004) a comparé les communautés d'invertébrés aquatiques des ruisseaux temporaires et des ruisseaux permanents à Macun. Cette étude a mis en évidence l'influence dominante de deux facteurs environnementaux sur les communautés de macro-invertébrés aquatiques. Ces deux facteurs sont la temporalité (l'alimentation en eau des rivières fluctue fortement au cours de la saison, en fonction de la fonte des neiges et du glacier rocheux cf. ch. 1.1.4.) et l'origine des eaux qui alimentent les rivières (les ruisseaux de la partie nord sont essentiellement alimentés par des eaux souterraines et des eaux provenant de la fonte des neiges, les ruisseaux de la partie sud sont surtout alimentés par des eaux issues de la fonte du glacier rocheux). Concernant les étangs, des différences liées à l'influence de ces facteurs sur la richesse spécifique en invertébrés ont également été mises en évidence (cf. chap. 4.3).

Ces constats ont permis la formulation de deux questions concernant la biodiversité des étangs:

1. Peut-on distinguer les étangs temporaires de Macun en fonction de leur composition faunistique ?
2. L'origine des eaux (glacier rocheux/neige) influence-t-elle la composition faunistique des étangs ?

L'objectif final étant de distinguer une sélection d'étangs représentatifs de l'ensemble des étangs de Macun afin de les inclure dans le monitoring.

Afin de tester ces hypothèses, 6 typologies seront réalisées en fonction de la composition faunistique des groupes biologiques identifiés au préalable.

Tableau 16. Présentation des groupes biologiques et du nombre de plans d'eau retenus pour les typologies. La catégorie «autres taxa» inclut les Planaires, les Sphaeriidés, les Trichoptères et les Plécoptères.

Typologie	Groupes biologiques	Nombre d'étangs
1	Coléoptères	22
2	Coléoptères-autres taxa	22
3	Chironomidés	18
5	Oligochètes	18
6	Oligochètes-Coléoptères-chiro.-autres taxa	19

Remarque : le nombre de plans d'eau varie en fonction des groupes biologiques échantillonnés. En 2004, les Chironomidés, les Oligochètes, les Coléoptères et les autres taxa ont été échantillonnés. En 2002, seuls les Coléoptères et les autres taxa ont été échantillonnés.

Par ailleurs, le type d'analyse utilisé ne permet pas de prendre en compte les étangs qui n'ont pas de représentant d'un groupe biologique donné (p.ex. aucun Oligochète n'a été observé dans le M97, la typologie basée sur les Oligochètes ne tiendra donc pas compte de cet étang).

4. Résultats

4.5.2 L'influence de la temporarité sur la composition faunistique des étangs

4.5.2.1 Typologie basée sur les Coléoptères

On distingue un premier groupe d'étangs caractérisés par la dominance d'*Helophorus sp.* (groupe bleu (figure 28)). Ce groupe est constitué d'étangs de faible profondeur. On distingue un deuxième groupe d'étangs caractérisés par la dominance d'*Hydroporus foveolatus* (groupe vert). Ce groupe est constitué majoritairement d'étangs de moyenne profondeur. On distingue un troisième groupe caractérisé par la présence d'*Agabus bipustulatus* et d'*Hydroporus memnonius* (groupe rouge). Ce groupe est majoritairement constitué d'étangs de grande profondeur. L'étang M18 se distingue des autres par l'abondance d'*Hydroporus memnonius*, supérieure à celle d'*Hydroporus foveolatus*.

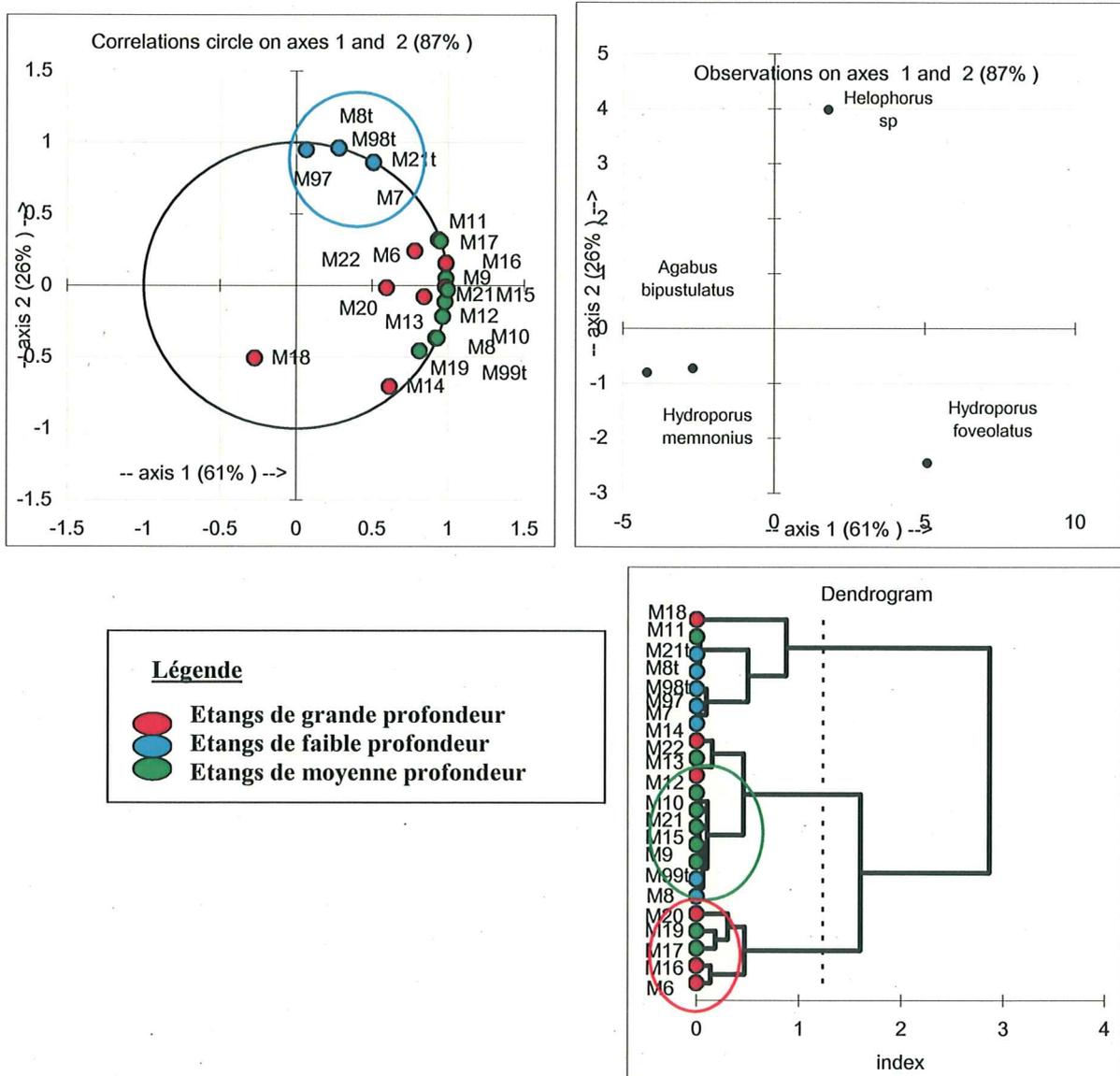


Figure 28. Présentation de la typologie basée sur les Coléoptères. L'indice t qui suit le numéro de certains étangs (par ex. M98t) indique des étangs identifiés comme temporaires lors des campagnes de terrain.

4. Résultats

4.5.2.2 Typologie basée sur les Coléoptères et autres taxas

On distingue un groupe caractérisé par la dominance d'*Helophorus sp.* Il est constitué par des étangs peu profonds (bleu) (figure 29). On distingue un groupe caractérisé par une espèce de Trichoptères, le *Limnephilus coenosus*. Il est constitué majoritairement d'étangs de moyenne profondeur (vert).

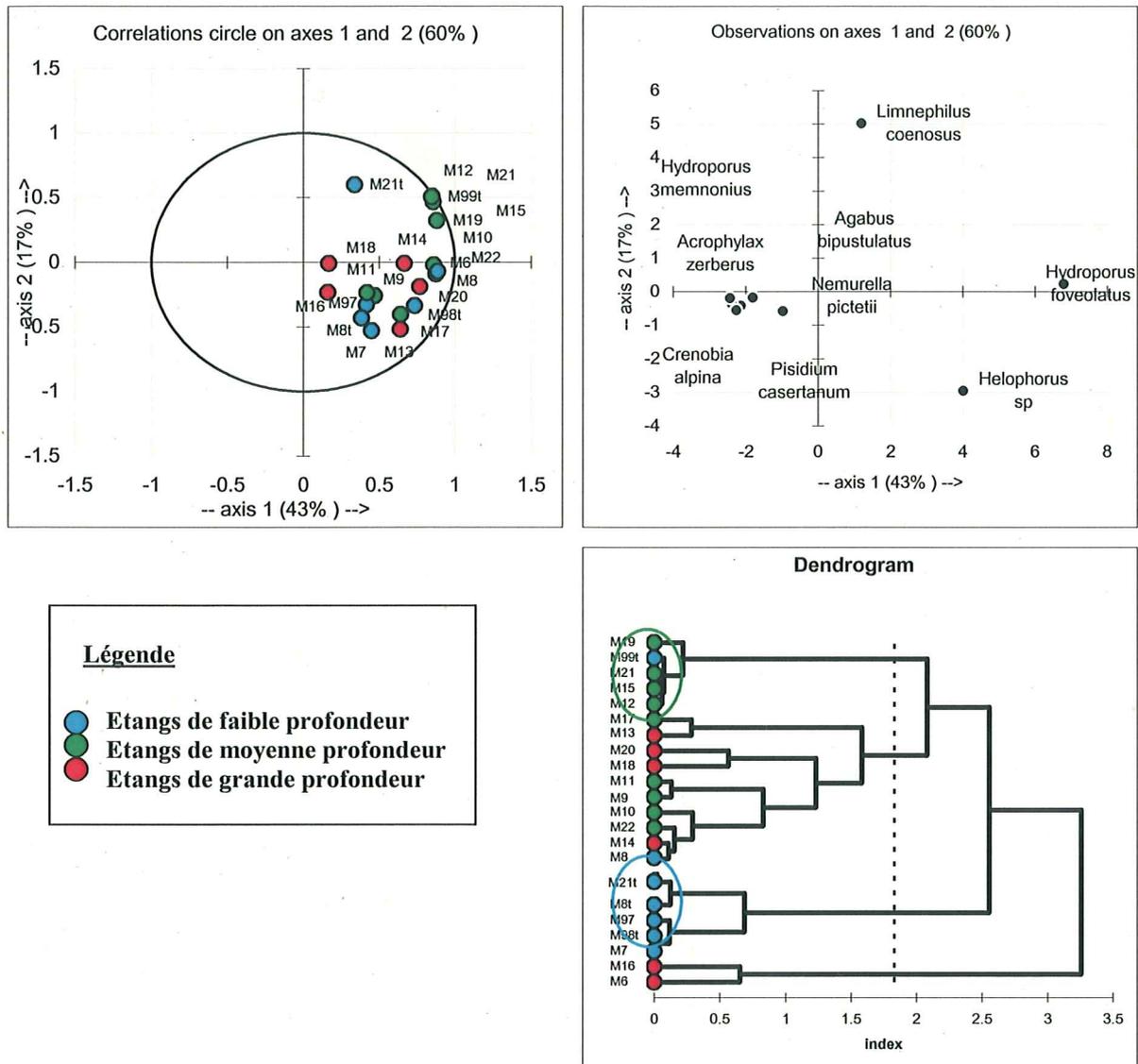


Figure 29. Typologie basée sur les Coléoptères et les autres taxa.

4. Résultats

4.5.2.3 Typologie basée sur les Chironomidés

On constate la formation d'un groupe d'étangs caractérisés par la dominance de 3 espèces: *Procladius* sp., *Zavreliomyia melanura* et *Heterotrissocladius marcidus*. Il est constitué majoritairement d'étangs profonds (figure 30).

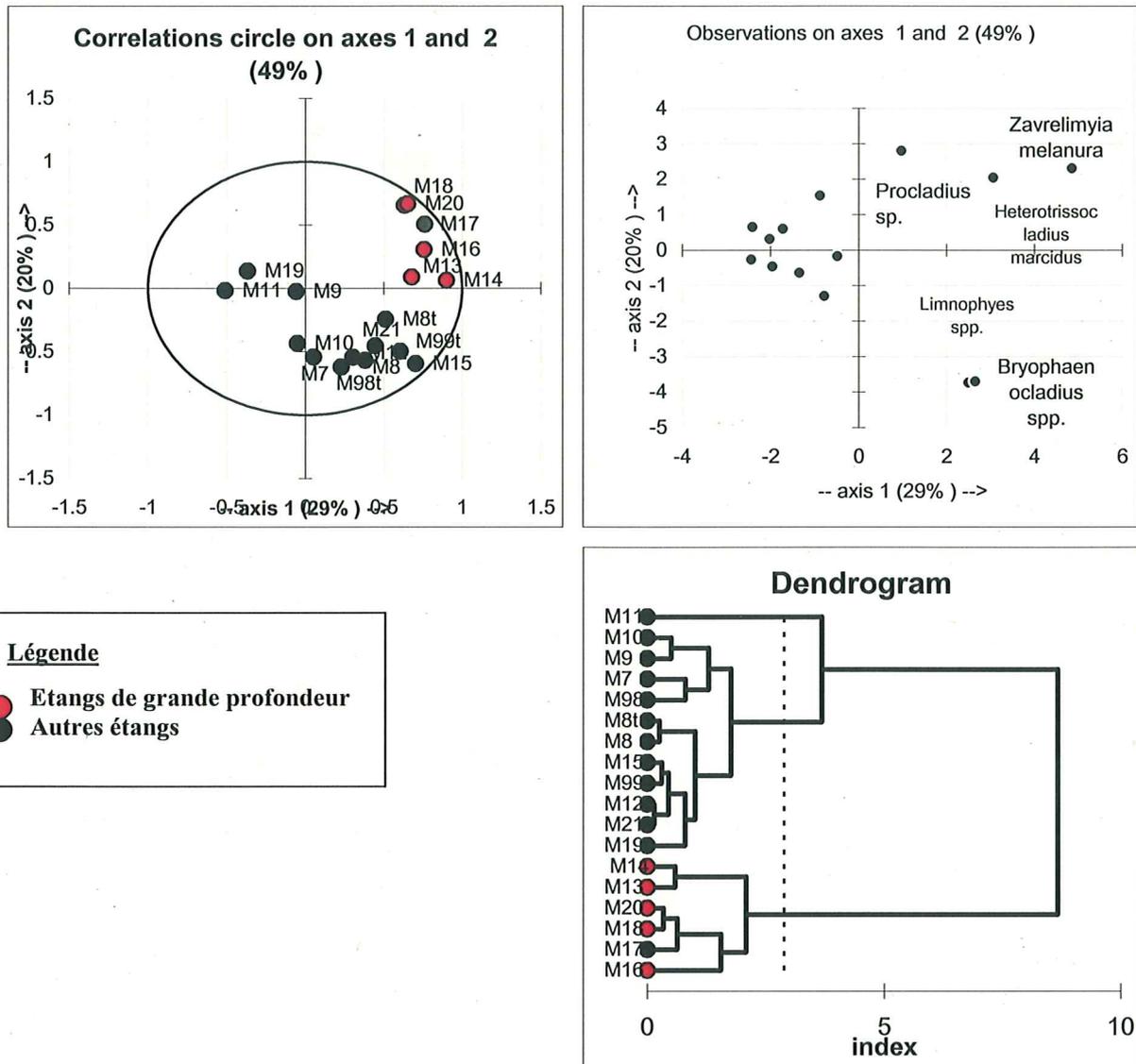


Figure 30. Typologie basée sur les Chironomidés

4. Résultats

4.5.2.4 Typologie basée sur les Oligochètes

On distingue un groupe caractérisé par la présence de *Fridericia ssp.* Il est constitué majoritairement d'étangs peu profonds. L'absence de *Fridericia ssp.* et de *Cognettia cf glandulosa* discrimine l'étang M16 et M17. L'étang M11 n'est pas représenté dans cette analyse à cause de l'absence totale d'Oligochètes dans cet étang (figure 31)

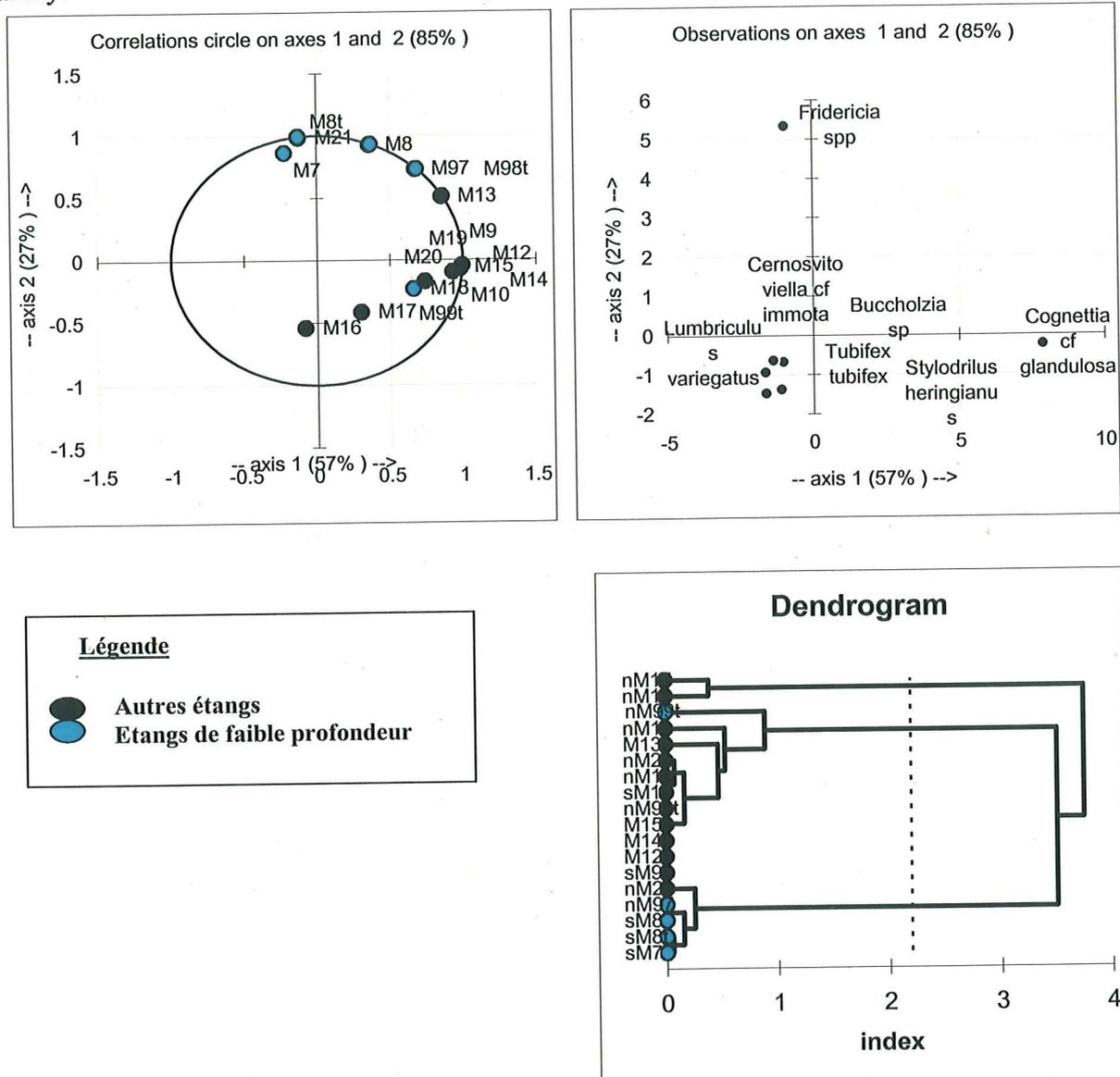


Figure 31. Typologie basée sur les Oligochètes

4. Résultats

4.5.2.5 Typologie basée sur la composition de la communauté

On distingue un groupe caractérisé par la dominance d'*Helophorus sp.* et la présence de *Fridericia ssp.* (groupe bleu (figure 32)) Il est constitué majoritairement d'étangs peu profonds. On distingue un deuxième groupe caractérisé par la dominance d'*Hydroporus foveolatus* et la présence de *Limnephilus coenosus*. Il est constitué majoritairement d'étangs de moyenne profondeur (groupe vert). On distingue un troisième groupe caractérisé par *Procladius sp.*, *Zavreliomyia melanura* et *Heterotrissocladius marcidus* (groupe rouge). Il est constitué majoritairement d'étangs de grandes profondeurs. L'absence d'Oligochètes et la faible présence d'*Hydroporus foveolatus* discrimine l'étang M11.

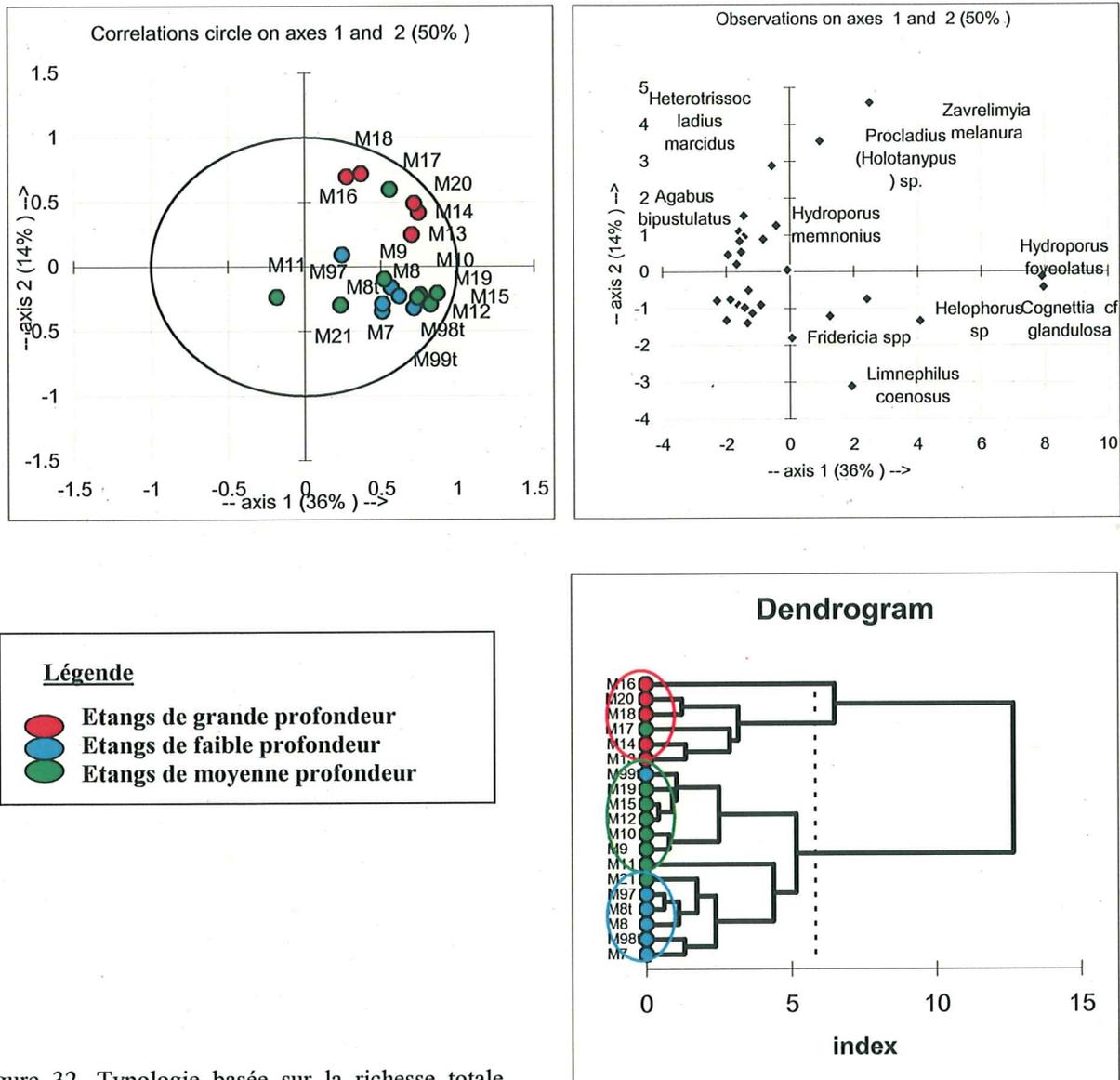


Figure 32. Typologie basée sur la richesse totale (Oligochètes, Coléoptères, Chironomidés, autres taxa)

4. Résultats

4.5.2.6 Synthèse

On constate l'existence d'une corrélation entre la profondeur et la composition faunistique des étangs. On peut distinguer 3 groupes d'étangs (figure 32). Ceux peu profonds, caractérisés par la dominance d'*Helophorus sp.* et de *Fridericia ssp.*; ceux moyennement profonds caractérisés par la dominance d'*Hydroporus foveolatus* sur *Helophorus sp.* et la présence de *Limnephilus coenosus*. Le troisième groupe est constitué par les étangs profonds caractérisés par l'abondance de *Zavrelimyia melanura* ainsi que par la présence de *Procladius sp.* et d'*Heterotrissocladius marcidus*. On constate également une augmentation de la richesse spécifique en lien avec la profondeur (figure 33 et 34).

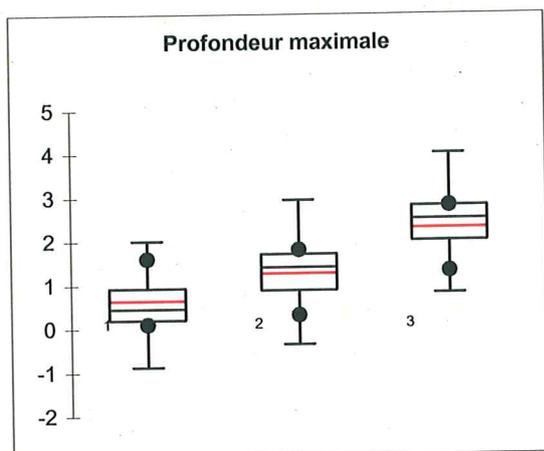


Figure 33. Dans le graphique, on compare la profondeur maximale des 3 catégories d'étangs mis en évidence par la typologie faunistique (figure 31). Le groupe 1 est constitué d'étangs peu profonds, le groupe 2 d'étangs moyennement profonds et le groupe 3 d'étangs profonds. L'écart type important pour ces 3 catégories indique la présence dans ces groupes d'étangs dont la profondeur ne correspond pas à la catégorie dans laquelle ils sont classés

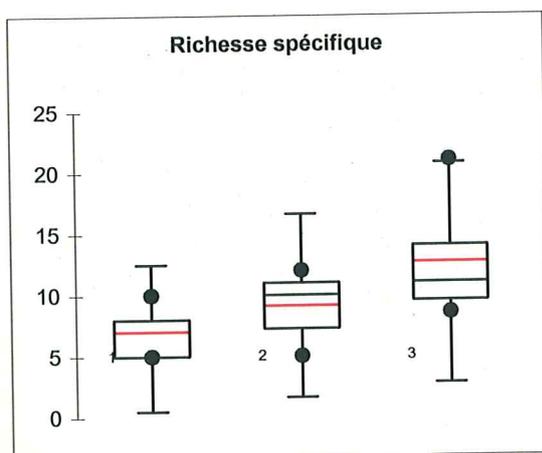


Figure 34. Dans ce graphique, on compare la richesse spécifique totale (Oligochètes, Coléoptères, Chironomidés et les autres taxa) des 3 catégories d'étangs mise en évidence par la typologie faunistique (figure 31). On constate que les étangs profonds (n°3) ont une richesse spécifique plus élevée et que les étangs peu profonds (n°1) ont une richesse spécifique plus faible. Cette tendance se manifeste également pour chaque groupe faunistique considéré individuellement. Des tests de Mann-Whitney réalisés en fonction de la richesse spécifique des 3 groupes mettent en évidence des différences significatives entre le groupe 1 et 3. Les différences ne sont pas significatives entre les groupes 1 et 2 et entre les groupes 2 et 3.

4. Résultats

Dans ces groupes d'étangs définis en fonction de leur profondeur, on observe la présence de deux étangs particuliers. Le M17, classé dans le groupe des étangs profonds, a une profondeur moyenne de 50 cm. Le M99t, classé dans le groupe des étangs moyennement profonds, a une profondeur moyenne de 8 cm. Leur classement pourrait indiquer que le facteur qui influence la composition faunistique des étangs n'est pas la profondeur, mais la variabilité du volume d'eau. Plusieurs éléments abondent dans ce sens.

Premièrement, le classement des 2 étangs dans des groupes qui ne correspondent pas à leur profondeur pourrait s'expliquer de la manière suivante. Le M17 est connecté de manière importante à une rivière et l'alimentation en eau permanente pourrait expliquer la faible variabilité de l'eau dans cet étang.

Au niveau de la morphologie et de la géographie, l'étang M99t est très proche des étangs M98t et M97 (figure 35). Par contre, il se distingue clairement au niveau de sa composition faunistique, qui le classe dans les étangs moyennement profonds. Une variation au niveau de la végétation pourrait expliquer ce phénomène. Le recouvrement par la végétation du M98t et du M97 est de 100 et respectivement de 75 % (le recouvrement est calculé par le rapport entre le nombre de quadrats vides et le nombre de quadrats occupés par de la végétation). Une seule espèce a pu être identifiée dans l'étang M97, il s'agit de *Deschampsia caespitosa*, espèce terrestre, qui a été observée dans deux quadrats du M97. La faible profondeur de ces étangs et la présence de végétation terrestre pourrait indiquer l'existence de phases sèches pour ces étangs. Dans le M99t, la présence de végétation n'a pas été observée. Cette différence pourrait indiquer une plus grande permanence de l'eau dans le M99t (un névé situé à proximité pourrait assurer son alimentation en eau) et donc son rattachement au groupe des étangs moyennement profonds.



Figure 35. Comparaison de l'étang M99t (profondeur maximale de 10 cm, surface de 60m²) à gauche, exempt de végétation et l'étang M98t à droite recouvert de végétation (profondeur maximale de 8 cm, surface de 24m²). L'étang M99t subit des variations de volume d'eau moins importantes que le M98t (sans doute liées à la présence d'un névé à proximité) et sa composition faunistique diffère de l'étang M98t (août 2004).

4. Résultats

Deuxièmement, on constate des différences notables dans l'écologie des espèces indicatrices. Concernant les Coléoptères, la dominance d'*Helophorus sp.* sur *Hydroporus foveolatus* dans les étangs peu profonds pourrait s'expliquer par la présence d'un stade larvaire terrestre chez cette espèce, contrairement à *Hydroporus foveolatus*, qui a un stade larvaire aquatique. La présence d'*Hydroporus* pourrait être due à une contamination liée à la bonne capacité de vol de cette espèce (Bilton *et al.*, 2001, Lundkvist *et al.*, 2002). Ceci pourrait indiquer que les étangs peu profonds sont caractérisés par des phases complètement sèches, empêchant la survie des larves aquatiques. En ce qui concerne les Chironomidés, les espèces *Procladius sp.* et *Heterotrissocladius marcidus* (espèces exclusivement présentes dans les étangs profonds à Macun) sont caractéristiques des lacs (com. pers. Lods-Crozet, 2005). Leur présence pourrait indiquer que les variations du volume d'eau des étangs qui abritent ces espèces sont faibles. L'espèce de Trichoptères *Limnephilus coenosus* est particulièrement abondante dans les étangs de moyenne profondeur. La présence de cette espèce dans ces étangs pourrait être liée à la période de dégel plus tardive dans les étangs moyennement profonds que dans les étangs profonds. Dans les étangs profonds, cette espèce pourrait déjà avoir opéré sa mue imaginale et avoir atteint son stade adulte terrestre. Par ailleurs, des phases de sécheresse top marquée peuvent compromettre le développement des larves aquatiques, ce qui expliquerait l'absence de cette espèce dans les étangs de faible profondeur subissant des phases de sécheresse. Le groupe d'espèces *Fridericia ssp.* (groupe observé dans les étangs peu profonds) appartient à la famille amphibie des Enchytraeidae. Cela pourrait expliquer la présence de ce taxon dans les étangs peu profonds, subissant des phases de sécheresse marquées.

En définitive, ces indications mettent en évidence l'influence déterminante de la variation du volume des eaux sur la diversité faunistique des étangs de Macun. On peut distinguer 3 groupes:

- Les étangs permanents, caractérisés par une faible variation du volume d'eau (annexe 3)
- Les étangs permanents, caractérisés par une forte variation du volume d'eau (annexe 2)
- Les étangs temporaires, caractérisés par des périodes sèches (annexe 1)

4.5.3 Comparaison basée sur le type d'alimentation en eau.

Dans les figures suivantes (figure 35 à 37), les étangs situés au sud sont précédés d'un s (étangs alimentés par le glacier rocheux), les étangs situés au nord d'un n (étangs alimentés par la nappe phréatique et la fonte des neiges), les étangs dont l'appartenance n'a pas été définie n'ont pas de sigle spécifique. L'appartenance des étangs a été définie en fonction de leurs caractéristiques chimiques (la concentration en NO₂-N + NO₃-N est plus faible dans le réseau sud) (Matthaei, 2003) et en fonction de leur situation géographique sur le site.

4. Résultats

4.5.3.2 Typologie basée sur les Chironomidés

On distingue un groupe constitué d'étangs nord et d'étangs indéterminés (groupe entouré en rouge). Ce groupe est également le groupe des étangs permanents à faible variabilité du volume d'eau (figure 37).

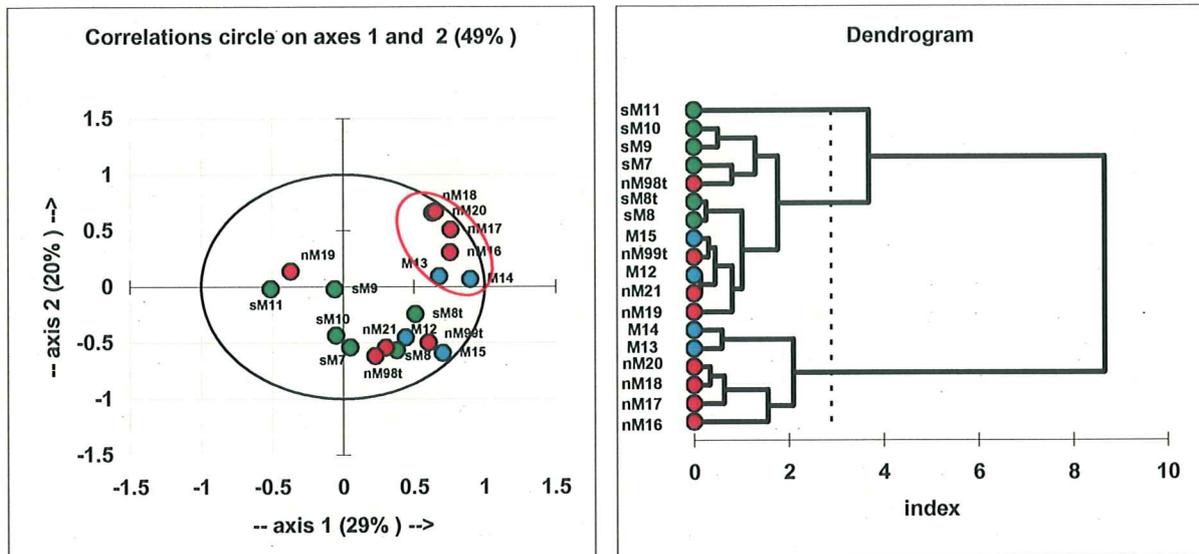


Figure 37. Typologie basée sur les Chironomidés. Le groupe d'étangs entouré en rouge est constitué d'étangs nord et d'étangs indéterminés.

4.5.3.3 Typologie basée sur les Oligochètes

On ne distingue pas de différence entre les étangs situés au nord et les étangs situés au sud (figure 38).

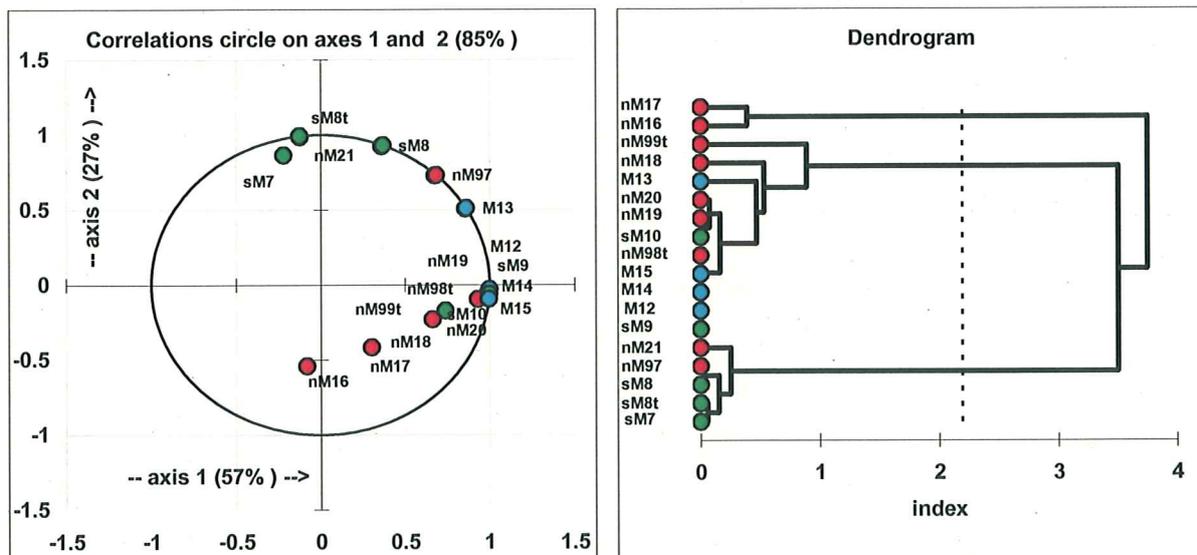


Figure 38. Typologie basée sur les Oligochètes

4. Résultats

4.5.3.4 Synthèse

Contrairement à la physico-chimie, on ne distingue pas de différences nettes dans la composition spécifique entre les étangs du nord et ceux du sud. Néanmoins, plusieurs espèces sont absentes des étangs du sud. Ce constat est particulièrement marqué pour *Hydroporus memnonius*, observé dans 6 étangs au nord, toutes catégories confondues (variabilité du volume d'eau) et pour *Agabus bipustulatus*, observé dans 8 étangs situés au nord incluant des étangs à faible variation et à moyenne variation du volume d'eau. Par ailleurs, *Numerulla pictetii* a été observée dans 3 plans d'eau situés au nord. La différence concernant la distribution de cette espèce a également été mise en évidence par Rüegg & Robinsonn (2004) lors de l'étude sur les rivières de Macun.

Cependant, le facteur variabilité du volume d'eau paraît dominer le facteur géographique. On ne distingue pas de différence si on considère l'ensemble des étangs. Par contre, des différences pourraient apparaître à l'intérieur des catégories constituées par les étangs permanents à forte variabilité et les étangs temporaires (les étangs permanents à faible variabilités étant tous situés au nord). Néanmoins, pour étudier d'éventuelles différences nord-sud à l'intérieur de ces catégories, il serait nécessaire de disposer d'un plus grand nombre d'étangs.

4.5.4 Influence des rivières sur la diversité des étangs

Les étangs connectés de manière importante à un affluent peuvent se distinguer en fonction de leur composition faunistique. L'étang M11, (annexe 4) particulièrement connecté aux rivières, se distingue des autres étangs par sa composition faunistique en Chironomidés, Coléoptères et Oligochètes (l'étang M11 n'a pas d'Oligochètes) (figure 30). Les étangs M16 et M17, fortement connectés aux rivières, se distinguent par leur composition spécifique en Oligochètes (absence du taxon *Cognettia cf glandulosa*). De plus, de nombreuses espèces d'eaux courantes ont été prélevées dans ces étangs (*Diamesa zernyi/cinerella* gr. *Pseudokiefferiella parva*, *Circoctopus/Orthocladius* spp., *Parorthocladius nudipensis*, *Consorophyllax consors*). Ces espèces ont été exclues de l'analyse.

4. Résultats

4.5.5 Conclusion

Ces trois typologies basées sur les Oligochètes, sur les Coléoptères et sur les Chironomidés permettent de vérifier l'hypothèse concernant l'existence de différences entre les communautés des étangs temporaires et des étangs permanents. De plus, elles permettent également l'identification d'un troisième groupe composé d'étangs permanents avec une forte variabilité du volume d'eau. Les différences entre les communautés nord et sud n'apparaissent pas clairement. La variation du volume d'eau est le facteur dominant pour distinguer les étangs. (tableau 17, figure 39, 40). Une autre distinction concerne les étangs connectés de manière importante aux rivières et qui se distinguent des autres surtout par leur composition en Oligochètes. Ces constats sont importants car ils jouent un rôle déterminant lors du choix des étangs à inclure dans le monitoring.

Tableau 17. Présentation des critères qui vont déterminer l'appartenance des étangs à un groupe donné.

Catégorie	Critères	Prof.max. (cm)	Nombre d'étangs	
Groupe des étangs permanents à faible variation du volume d'eau	Coléoptères	Abondance d' <i>Agabus bipustulatus</i>	0.44	6
	Chironomidés	Abondance de <i>Zavreliomyia melanura</i>		
	Chironomidés	Présence de <i>Procladius (Holotanypus) sp.</i>		
	Chironomidés	Présence de <i>Heterotrissocladius marcidus</i>		
Groupe des étangs permanents à forte variation du volume d'eau	Trichoptères	Abondance de <i>Limnephilus coenosus</i>	1.18	9
	Coléoptères	Abondance <i>Hydroporus foveolatus</i> / Abondance <i>Helophorus sp.</i> > 1		
Groupe des étangs temporaires	Oligochètes	Abondance de <i>Fridericia spp</i>	2.35	7
	Coléoptères	Abondance <i>Hydroporus foveolatus</i> / Abondance <i>Helophorus sp.</i> <1		

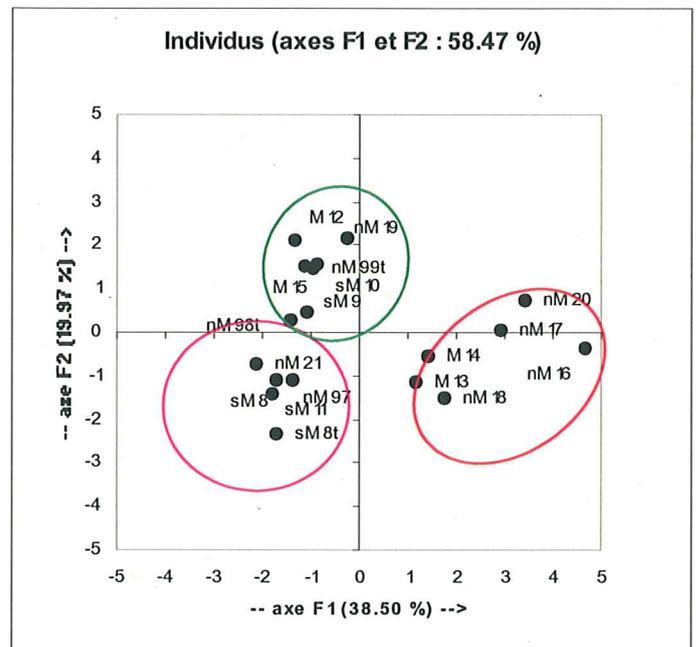
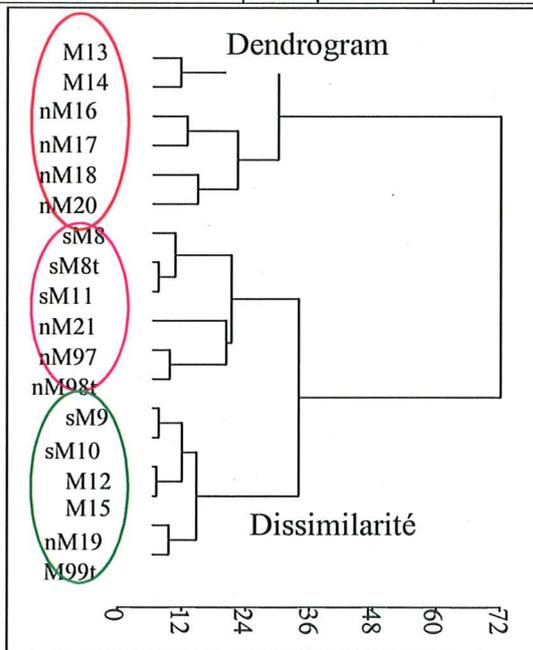


Figure 39. Typologie basée uniquement sur les espèces indicatrices (*Hydroporus foveolatus*, *Helophorus sp.*, *Agabus bipustulatus*, *Zavreliomyia melanura*, *Procladius (Holotanypus) sp.*, *Fridericia spp*, *Limnephilus coenosus*) En rouge le groupe des étangs permanents à faible variation, en vert le groupe des étangs permanents à forte variation du volume d'eau. En violet le groupe des étangs temporaires. Le classement de l'étang M11 dans les étangs temporaires est à relativiser, car cet étang se distingue des autres en raison de sa forte connexion aux rivières.

4. Résultats

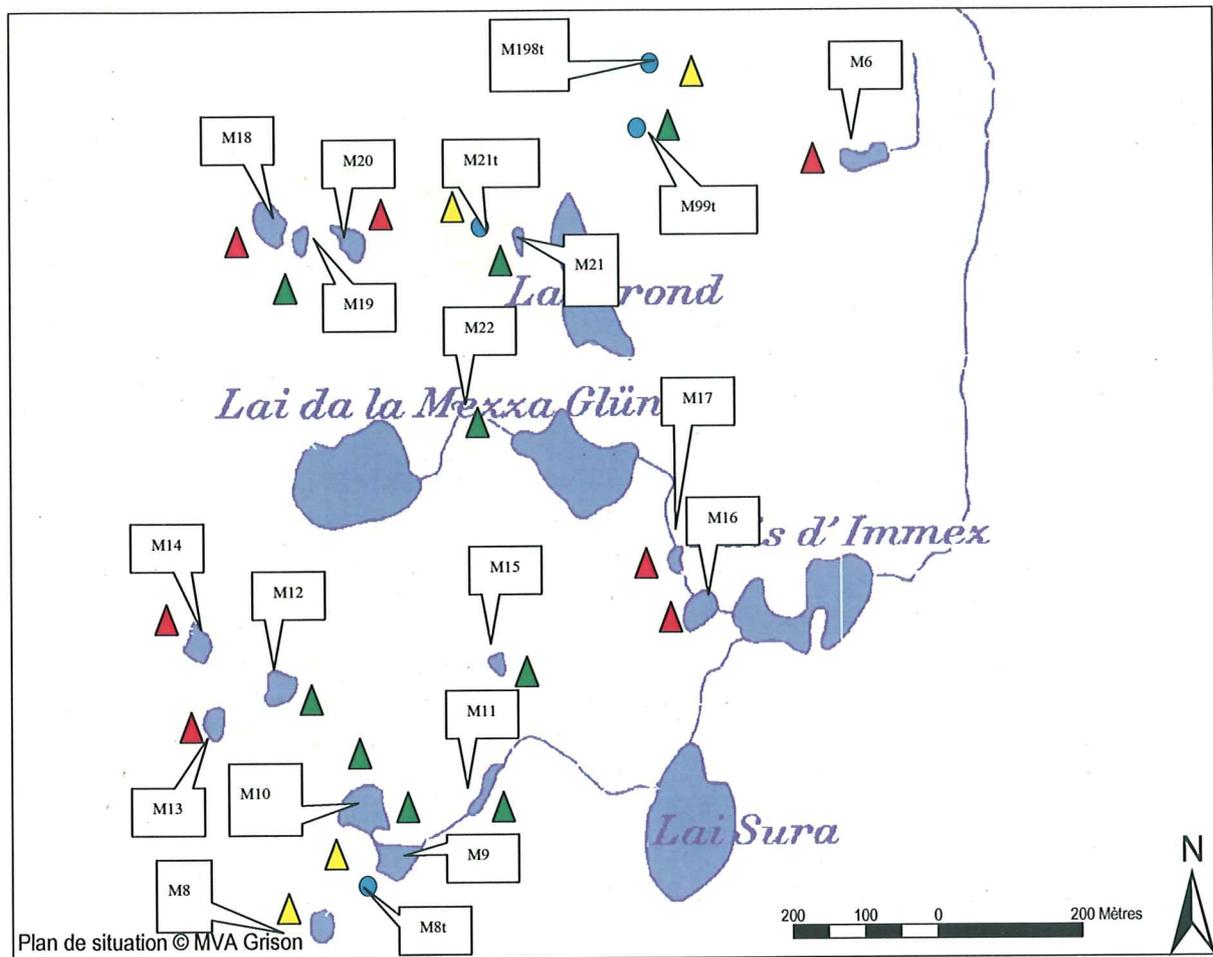


Figure 40. Présentation des 3 catégories d'étangs

Légende

- ▲ Etangs permanents à faible variation du volume d'eau
- ▲ Etangs permanents à forte variation du volume d'eau
- ▲ Etangs temporaires

5 Proposition d'une méthode de monitoring

5.1 Introduction

L'objectif de ce chapitre est d'utiliser les résultats issus du traitement des données pour compléter la méthode de monitoring des étangs proposée par Rüegg (2003). Les propositions qui vont suivre devront tenir compte des contraintes matérielles et financières imposées par la direction du Parc National qui se traduisent par une limitation de la durée d'échantillonnage des étangs à 1 ou 2 jours par année. Sachant que l'échantillonnage d'un étang dure environ 2 heures, le nombre des étangs à échantillonner devra se limiter à 2 ou 3.

5.2 Choix des groupes biologiques

Critères de choix des groupes

1. Richesse spécifique totale au niveau du site de Macun
2. Richesse spécifique moyenne au niveau des étangs
3. Fréquence des taxons dans les étangs
4. Diversité des traits écologiques représentés à l'intérieur d'un taxon (par ex. sensibilité vis-à-vis de la température). Par ailleurs, à Macun, les groupes avec des taxons discriminants sont à privilégier. Ils sont les plus aptes à fournir des informations précises sur l'évolution de l'environnement.
5. Coût d'échantillonnage limité (ce critère comprend: le prélèvement, le tri et la détermination des échantillons).
6. Groupes à forte valeur patrimoniale. Ce critère comprend les groupes avec un fort taux d'endémisme, ainsi que les groupes qui ont des espèces rares ou menacées.
7. Intérêt du public

Les critères 1, 2 et 3 sont prioritaires. L'analyse de ces critères a été réalisée en fonction des résultats obtenus sur le site. Les critères 4, 5, 6, 7 ont été analysés en fonction des connaissances empiriques concernant notamment la bio-indication des groupes taxonomiques rencontrés. Les groupes taxonomiques ont été séparés en 3 catégories :

Les groupes prioritaires à étudier lors de chaque monitoring :

- Les Bryophytes
- Les plantes supérieures
- Les Oligochètes
- Les Coléoptères
- Les Chironomidés
- Les Trichoptères

Les autres groupes. Ils seront uniquement triés et conservés en vue d'une détermination ultérieure. Une détermination complète de tous les groupes pourrait avoir lieu tous les 12 ans en même temps que l'échantillonnage de tous les étangs. Ces groupes seraient :

- Les Planaires
- Les Sphariidae
- Les Plécoptères
- Les familles de Diptères

4. Elaboration d'une méthode de monitoring

Les groupes à surveiller seront ceux dont la présence n'a pas été clairement identifiée sur le site, mais qui pourraient éventuellement apparaître. Ces groupes pourraient être :

- Les Amphibiens (une grenouille rousse a déjà été observée par un garde du Parc).
- Les Odonates (un adulte à été observé en vol au cours de l'été 2004)
- Les Gastéropodes
- Les Hétéroptères
- Les Hirudinés
- Les Ephéméroptères

Synthèse du tableau (tableau 18)

Les raisons principales qui ont influencé ce choix sont :

- La végétation vasculaire : c'est un groupe qui joue un rôle important au niveau du fonctionnement des étangs. Il a une forte valeur patrimoniale et suscite l'intérêt du public. De nouvelles espèces pourraient apparaître suite aux changements climatiques.
- Les Bryophytes : c'est un des groupes de végétaux qui domine à haute altitude. Il est déjà présent dans plusieurs étangs. Les Bryophytes sont de bonnes bio-indicatrices.
- Les Coléoptères : c'est un des groupes les mieux représentés à Macun. Deux espèces ont été identifiées comme espèces discriminantes, une est présente sur la liste rouge des espèces menacées de Suisse.
- Les Chironomidés : c'est le groupe le mieux représenté. Parmi les espèces recensées, trois sont discriminantes au niveau des étangs.
- Les Oligochètes : c'est un des groupes les mieux représentés, 2 espèces sont considérées comme discriminantes.
- Les Trichoptères : ce groupe a une bonne distribution en espèces. Une espèce est discriminante.
- Les autres taxa : ces groupes ont une faible richesse spécifique et sont peu abondants.

Choix des critères d'évaluation biologique

Il existe un consensus international sur les critères à employer pour définir la qualité biologique d'un plan d'eau. Ces critères sont généralement la richesse spécifique et/ou la richesse en espèces menacées. A Macun, l'utilisation de la richesse en espèces menacées est limitée, car le degré de menace des Chironomidés, des Oligochètes et des Trichoptères n'a pas été défini. Par ailleurs, l'indice de Margalaeff paraît être bien adapté à la méthodologie proposée.

4. Elaboration d'une méthode de monitoring

Tableau 18. Critères ayant déterminés le choix des groupes

Critères	Diversité spécifique régionale (site de Macun)	Diversité spécifique locale (par étang)	Fréquence	Potentiel bioindicateur (connaissances des traits écologiques)	Coût d'échantillonnage et de détermination	Valeur patrimoniale (CH et Macun)	Intérêt du public
Plantes vasculaires	Moyenne, 4 espèces	Faible, 0.2 espèces par étang	Faible, présence dans 1 seul étang	Groupe bioindicateur (AFNOR, 2003).	Faible	CH : Forte, existence d'une liste rouge (Landolt, 1991)	Fort
Bryophytes	Elevée, 6 espèces	Faible, 0.5 espèces par étang	Moyenne, présence dans 4 étangs	Groupe bioindicateur (Vanderpoorten, 1999)	Moyen	Forte, présence d'une espèce quasi menacée. - Liste rouge (Schnyder, 2004)	Moyen
Coléoptères	Elevée, 8 espèces au total	Elevée, 3 espèces par étang	Elevée, présence dans 22 étangs	Présence de 2 espèces discriminantes à Macun Bonne connaissance des traits écologiques (Bournaud et. al., 1992)	Moyen	Forte, présence d'une espèce vulnérable. - Liste rouge de Duelli (1994) Pour les Hydradephaga	Moyen
Chironomidae	Elevée, 18 espèces au total	Elevée, 6 espèces par étang	Elevée, présence dans 21 étangs	Présence de 3 espèces discriminantes à Macun. Bonne connaissance (Lang & Reymond, 1996.), (Lang, 1998)	Elevé	Faible	Faible
Oligochètes	Elevée, 8 espèces au total	Elevée, 2 espèces par étang	Elevée, présence dans 18 plans d'eau	Présence de 2 espèces discriminantes à Macun. Bonne connaissance (Lang, & Lods-Crozet, 1997).	Elevé	Faible	Faible
Trichoptères	Moyenne, 2 espèces observées	Moyenne, 0.5 espèces par étang	Elevée, présence dans 15 étangs	Présence d'une espèce discriminante Groupe bioindicateur. (AFNOR., 1992)	Faible	Moyenne. - Liste rouge en cours d'élaboration	Moyen
Sphariidae	Faible, 1 espèce observée	Faible, 0.04 espèces par étang	Faible, présence dans 2 étangs	Indéterminé	Potentiellement élevé, préparation fastidieuse des individus	Moyenne. - Liste rouge de Duelli (1994)	Faible
Plécoptères	Faible, 1 espèce observée	Faible, 0.04 espèces par étang	Faible, présence dans 3 étangs	Groupe bioindicateur (AFNOR, 1992)	Faible	Faible - Liste rouge en cours d'élaboration -	Moyen
Planaires	Faible, 1 espèce observée	Faible, 0.04 espèces par étang	Faible, présence dans 2 étangs	Indéterminés	Faible	Faible	Faible

5.3 Choix des variables du milieu

Le suivi des variables les plus caractéristiques du milieu augmente les chances du monitoring de mettre en évidence des changements climatiques. Les variables à inclure en priorité dans un monitoring de plans d'eau d'altitude sont la température de l'eau, le pH et la conductivité. Dans un deuxième temps, la mesure de la chimie de l'eau est recommandée (Lotter & Psenner, 2004). A cette sélection, on pourrait ajouter la profondeur des plans d'eau. La mesure de cette variable pourrait apporter des informations concernant le niveau de temporalité des plans d'eau.

Température de l'eau. La température est le facteur principal des réactions chimiques et des processus physiologiques. Sa mesure informe sur la durée de recouvrement des plans d'eau par de la glace et sur le début de la fonte des neiges. Cette variable devrait être mesurée en continu, avec des enregistreurs de température. Ces enregistreurs devraient être placés à 10 ou 20 cm en-dessous de la surface de l'eau à proximité de l'exutoire du plan d'eau (Lotter & Psenner, 2004).

pH et conductivité. Le pH est un indicateur couramment utilisé pour mettre en évidence les phénomènes d'acidification. La concentration en ion H^+ influence également les équilibres chimiques, les échanges de CO_2 , la survie d'organismes sensibles etc. La conductivité est un indicateur de la concentration en ions de l'eau, des événements climatiques particuliers, de l'évaporation et, dans certains cas, de la qualité de l'eau, de la salinité et des sources de pollution. Ces paramètres seront mesurés avec une sonde portative lors des campagnes de terrain.

Chimie de l'eau. L'azote total et le phosphore total devraient être mesurés.

Profondeur et surface. La mesure de la profondeur pourrait apporter des informations concernant le degré de temporalité des plans d'eau. Elle peut se mesurer avec des enregistreurs qui prennent des mesures en continu. La surface devrait être également mesurée, par exemple avec un distomètre.

Photographie. Un suivi photographique des étangs doit également être effectué. Pour ce faire, il serait nécessaire de définir au préalable des points de prise de vue.

Présence et absence de poissons. La présence de poissons doit systématiquement être relevée, ainsi que les informations concernant l'abondance et la taille de ces poissons.

5.4 Stratégie d'échantillonnage

L'objectif du chapitre est de préciser la méthode d'échantillonnage à appliquer lors du monitoring. En 2004, des prélèvements de sédiments ont été ajoutés aux prélèvements initialement prévus par la méthode PLOCH. L'objectif était d'observer si ces échantillons complétaient l'inventaire des Chironomidés, car certaines espèces ne se trouvent que dans les sédiments et ceux-ci ne sont pas directement échantillonnés avec la méthode PLOCH.

Lors du tri des échantillons, les Chironomidés présents dans les sédiments ont été triés et déterminés séparément des autres échantillons. La comparaison des résultats montre que la composition faunistique des sédiments d'un étang est proche de celle obtenue avec l'échantillonnage PLOCH. Une seule espèce n'est présente que dans les sédiments de trois étangs et elle n'est pas discriminante. L'échantillonnage des sédiments implique un effort supplémentaire et complique passablement la méthodologie. Pour des raisons pratiques il est donc préférable de ne pas échantillonner les sédiments ou de les échantillonner tous les 4 ans seulement (figure 41).

Le deuxième aspect concerne la durée du prélèvement d'un échantillon. En effet, lors du traitement des données, il est apparu que de nombreux taxons n'étaient représentés que par un seul individu, ce qui limite les capacités d'analyse (les espèces rares peuvent discriminer un plan d'eau). Initialement, la méthode PLOCH prévoit des prélèvements de 30 secondes. Une solution pour résoudre ce problème serait de doubler la durée des prélèvements en l'augmentant à 1 minute. Cette solution aurait l'avantage de limiter les manipulations et le matériel à transporter.

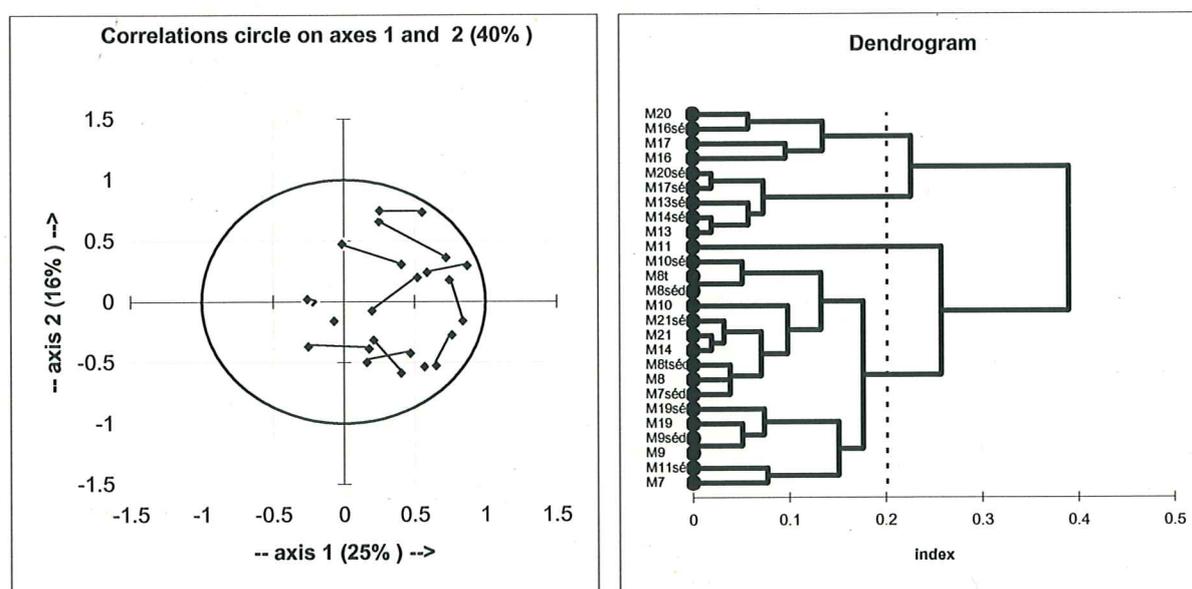


Figure 41. Typologie basée sur la composition faunistique en Chironomidés des échantillons de sédiments et des autres échantillons. Sur le graphique de gauche, les échantillons de sédiments d'un étang sont représentés par un point et les autres échantillons du même étang par un autre point. Ces deux points sont reliés par une ligne mettant en évidence leur proximité ou leur écartement.

5.5 Choix des étangs

Critères de choix des étangs (classés par ordre d'importance) :

Critères principaux

- **Etangs représentatifs de la biodiversité du site**(exclure tous les étangs marginaux)
 - Etangs permanents à faible variation du volume d'eau
 - Etangs permanents à forte variation du volume d'eau
 - Etangs temporaires
- **Etangs avec une grande richesse spécifique**
Le suivi d'un étang particulièrement riche en espèces permettrait d'avoir une bonne représentation de la diversité au niveau du site de Macun.
- **Etangs avec une faible richesse spécifique ou «étangs sentinelles»**
Le suivi d'un «étang sentinelle» faciliterait la mise en évidence de l'apparition éventuelle de nouvelles espèces.

Critères secondaires

- **Faible taux de contamination par des espèces d'eau courante**
Un étang représentatif des milieux lenticques est préférable à un étang représentatif des milieux lotiques ou à un étang hybride (présence d'espèce caractéristiques des milieux lotiques et lenticques).
- **Etang représentatif des variables environnementales**
- **Accessibilité**
Afin de limiter les déplacements dans le site, le choix d'un étang situé à proximité des sentiers balisé est préférable.
- **Discrétion**
Un étang à l'abri du public serait préférable pour la mise en place d'appareils de mesures.

Dans un premier temps, le monitoring de Macun ne peut retenir que 2 ou 3 étangs. Les étangs les plus représentatifs de Macun sont choisis en priorité.

La prise en compte d'un étang particulièrement riche et d'un «étang sentinelle» pourrait intervenir dans un deuxième temps avec un échantillonnage de ceux-ci tous les 4 ans (tableau 19).

4. Elaboration d'une méthode de monitoring

Tableau 19. Comparaison des étangs en fonction de critères prédéfinis afin de retenir une sélection pour le monitoring. Des notes de 0 à 2 sont attribuées, la note 2 étant la plus favorable. Les critères sont classés par ordre d'importance. Le degré de représentativité des étangs est défini en fonction des espèces indicatrices présentées dans le tableau 15(ch.3.4.5)

Groupe d'étangs	Etangs	Etangs représentatifs	Absence d'espèces d'eau courante	Représentatif des variables du milieu	Accessibilité
Etangs temporaires	M7	2	0	2	1
	M8	0	1	0	2
	M8t	1	2	2	2
	M21t	0	2	2	2
	M97	2	2	1	0
	M98t	1	1	1	2
Etangs permanents à forte variation du volume d'eau	M9	0	2	2	2
	M10	1	2	0	2
	M11	0	0	1	2
	M12	2	2	1	1
	M15	2	2	2	2
	M19	2	2	2	1
	M21	1	2	2	2
	M22	1	1	1	2
M99t	2	2	2	0	2
Etangs permanents à faible variation du volume d'eau	M6	1	1	0	2
	M13	0	2	2	1
	M14	2	2	2	1
	M16	2	0	1	2
	M17	2	0	1	2
	M18	0	2	2	1
M20	2	2	2	2	1

Remarque : pour les étangs M6, M22 et M21t, les critères se basent sur la richesse en Coléoptères et autres taxa. Les Chironomidés et les Oligochètes ne sont pas pris en compte.

Synthèse

- Pour les étangs temporaires, 3 étangs présentent des qualités similaires. Le M7, le M8t et le M97. Néanmoins dans un deuxième temps, le M 97 peut être exclu, du fait de sa situation géographique à l'extérieur du Parc et de sa difficulté d'accès. Entre le M8t et le M7, c'est le M8t qui a été retenu, en fonction de la faible présence d'espèces d'eau courante dans cet étang et en raison des données plus nombreuses concernant cet étang (il a été échantillonné deux fois, en 2002 et 2004).
- Pour les étangs permanents à forte variation du volume d'eau, le M15 se distingue clairement comme l'étang le plus représentatif de ce groupe.
- Pour les étangs à faible variation du volume d'eau, le M20 et le M14 ont les mêmes notes. Par contre, le M20 se distingue par sa richesse spécifique en Coléoptères (5 espèces contre 2 pour le M14). La quantité d'informations obtenues sera donc plus importante avec cet étang, ce qui justifie son choix.
- Concernant le choix d'un «étang sentinelle» qui serait échantillonné tous les 4 ans, il s'agit de choisir un étang avec une richesse spécifique faible, mais qui soit classé dans la catégorie des étangs permanents profonds pour des raisons de fiabilité (ces étangs sont moins sujets à des variations importantes). L'étang M14 avec 8 espèces paraît être le mieux adapté.

4. Elaboration d'une méthode de monitoring

- Concernant le choix d'un étang particulièrement riche en espèces, l'étang le plus représentatif est l'étang M16 qui domine largement avec la présence de 18 espèces. Néanmoins, cet étang présente l'inconvénient d'être fortement connecté aux rivières avec comme conséquence la présence d'un grand nombre d'espèces d'eau courante. L'étang qui paraît le plus approprié serait l'étang M6 qui se distingue par sa richesse élevée en Coléoptères (les Chironomidés et les Oligochètes n'ont pas été étudiés dans cet étang). Un autre avantage est l'accès facile de cet étang, situé directement à l'entrée du site.

En définitif, on peut constater qu'avec cette sélection, en plus des critères présentés ci-dessus, on garantit également une bonne représentativité du site au niveau géographique, avec des étangs situés au nord et au sud du plateau de Macun.

5.6 Fréquence d'échantillonnage

En raison des résultats du test de variabilité (cf. chapitre 3.1) et pour des raisons pratiques de logistique avec d'autres intervenants du monitoring, une fréquence minimale de 2 ans paraît être la mieux adaptée pour effectuer l'échantillonnage.

Pour des questions de temps, le nombre d'étangs échantillonnés tous les 2 ans a été fixé à 3 (voir chapitre 4.5). Pour améliorer l'efficacité du monitoring, 2 étangs supplémentaires pourraient être échantillonnés tous les 4 ans. Un échantillonnage de l'ensemble des étangs pourrait être planifié tous les 10 ou 12 ans, afin de suivre l'évolution de la biodiversité sur l'ensemble du site (tableau 20). Pour des raisons financières, cet échantillonnage pourrait être confié à un diplômé.

Tableau 20. Proposition d'une stratégie d'échantillonnage des étangs

Années	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Groupe 1 (M8t, M15, M20)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Groupe 2 (M6 ; M14)			X			X			X					X				X					X		
Groupe 3 (tous les étangs)													X												X

Mise en place d'un contrôle de qualité

Afin d'avoir un suivi des gestionnaires en charge du monitoring, un contrôle de qualité devrait être instauré. Ce contrôle devrait être assuré par un spécialiste et consisterait, par exemple, à réaliser un échantillonnage parallèle des étangs. Cela permettrait de vérifier la qualité du monitoring.

6 Conclusion

Dans le cadre de la mise en place du monitoring de Macun, ce travail de diplôme devait proposer une méthodologie adaptée au suivi des nombreux petits plans d'eau présents sur le site. Cette méthodologie devait d'une part intégrer des contraintes liées aux caractéristiques des plans d'eau d'altitude (hydrologie influencée par la fonte des neiges, faible richesse spécifique, prise en compte de nouveaux taxons etc.) et d'autre part des contraintes relatives à l'application pratique et financière du monitoring (durée du monitoring limitée à 1 ou 2 jours). Afin de permettre la mise en place de ce monitoring, une première étape avait déjà été franchie par Hinden (2004). Des propositions avaient pu être formulées et intégrées dans le manuel du monitoring (Rüegg, 2003). Néanmoins, la mise en place de ce monitoring nécessitait de répondre à des questions encore en suspens. Ces questions ont servi de structure au travail présenté ici. Premièrement, il s'agissait de choisir les groupes biologiques à inclure en priorité dans le monitoring. Dans ce sens, l'exploration des 22 étangs entre 2002 et 2004 a permis de mettre en évidence le rôle dominant de 4 groupes taxonomiques d'invertébrés aquatiques, les Oligochètes, les Coléoptères, les Diptères Chironomidés et les Trichoptères. Par ailleurs, la faible présence de plantes supérieures aquatiques a abouti à la prise en compte des Bryophytes, mieux représentées à cette altitude. Un autre groupe du règne végétal qui pourrait s'avérer intéressant pour le monitoring est celui des Diatomées. En effet, ce groupe est particulièrement bien représenté à Macun et il est couramment utilisé comme bioindicateur de la qualité des eaux des lacs alpins (Cameron *et al.*, 1999).

Le deuxième but de ce travail était de sélectionner les étangs les plus intéressants à suivre dans le monitoring. Pour ce faire, une comparaison basée sur la composition spécifique des différents plans d'eau a été réalisée. Cette comparaison a permis la mise en évidence de 3 catégories d'étangs se distinguant en fonction de la variabilité du volume d'eau : les étangs permanents à faible variation du volume d'eau, les étangs permanents à forte variation du volume d'eau et les étangs temporaires. En fonction de cette classification, il a été proposé de retenir en priorité, pour le monitoring, un représentant de chaque groupe. En effet, les différences entre ces groupes d'étangs augmentent la portée du monitoring.

Une troisième question concernait la fréquence d'échantillonnage prévue dans le monitoring. La réalisation de tests de variabilité inter-annuels et intra-annuels a permis de mettre en évidence la faible variation de la composition faunistique des étangs dans un intervalle de deux ans. Ce constat a influencé le choix d'une fréquence d'échantillonnage bisannuelle pour le monitoring des étangs.

Une quatrième question concernait la stratégie d'échantillonnage à adopter. En effet, la prise en compte de nouveaux groupes biologiques impliquait une remise en question de la stratégie utilisée pour les étangs de plaine dans le cadre de la méthode PLOCH. Un échantillonnage des sédiments a ainsi été réalisé. Au vu de l'effort supplémentaire imposé par cet échantillonnage et du faible intérêt qu'il présente en terme de diversité supplémentaire, il apparaît qu'il n'est pas nécessaire d'inclure les sédiments dans la méthode de monitoring. Par contre, la faible densité des organismes à cette altitude diminue fortement le nombre d'individus récoltés avec l'échantillonnage PLOCH. En conséquence, de nombreuses espèces sont représentées par un seul individu et cette faible représentation limite les possibilités d'analyse des données. Pour compenser ce sous-échantillonnage, il a été décidé de doubler la durée des prélèvements.

Suite à ces propositions, le monitoring devrait pouvoir débuter au cours de l'été prochain, pour une durée illimitée.

Bibliographie

- AFNOR, 1992. Détermination de l'indice biologique global normalisé (IBGN) NF T90-350. AFNOR, Paris.
- AFNOR, 2003. Qualité de l'eau: détermination de l'Indice Macrophytique en Rivière (IBMR) NFT90-395. Paris.
- BILTON D. T., FREELAND J. R., OKAMURA B., 2001. DISPERSAL IN FRESHWATER INVERTEBRATES. ANNU. REV. ECOL. SYST., 32: 159-181.
- BOESCH H., CADISCH J., Geolog., 1948. Zernez 1:25 000 : Geologischer Atlas der Schweiz / Kommission der Schweiz. Naturforschenden Gesellschaft [Kartenmaterial]. Basel : Wassermann AG ; 1948. 1 Karte : mehrfarbig ; 48 x 70 cm + Erläuterungen. (Geologischer Atlas der Schweiz 1:25 000 ; Atlasblatt 20, 1948) [000451199]
- BOURNAUD M., RICHOUX P., USSELIGLIO-POLATERA P., 1992. An approach to the synthesis of qualitative ecological information from aquatic coleoptera communities. Regul. Rivers 7, 165-180.
- BURHAM K. P., OVERTON W. S., 1979. Estimation of the size of a closed population when captured probabilities vary among individuals. Biometrika 65:625.
- BURKI, V., SCHLÜCHTER C., (2004). Die bewegte Seengeschichte von Macun. Cratschla 2/2004:18-19.
- CAMERON N.G., BIRKS H.J.B., JONES V.J., BERGE F., CATALAN J., FLOWER R. J., GARCIA J., KAWECKA B., KOINIG K.A., MARCHETTO A., SANCHEZ-CASTILLO P., SCHMIDT R., SISCO M., SOLOVIEVA N., STEFKOVA E., TORO M., 1999. Surface-sediment and epilithic diatom pH calibration sets for remote European mountain lakes (AL:PE Project) and their comparison with the Surface Waters Acidification Programme (SWAP)
- COLLINSON N.H., BIGGS J., CORFIELD A., HODSIN M. J., WALKER D., WHITFIELD P.J., 1995. Temporary and permanent ponds: an assessment of the effect of drying out on the conservation value of aquatic macroinvertebrate communities. Biological Conservation 74: 125-133.
- DEV., 1989. Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung (DEV), Loseblattsammlung, Herausgeber: Fachgruppe Wasserchemie in der Gesellschaft Deutscher Chemiker und Normenausschuss Wasserwesen (NAW), VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim. Nitrit, Blatt D10.
- DELARZE R., GONSETH Y., GALLAND P., 1998. Guide des Milieux naturels de Suisse-Ecologie-Menace- Espèces caractéristiques. Delachaux et Niestlé, Lausanne, Paris, 415p.
- DOWNES, M.T., 1978. An improved hydrazine reduction method for the automated determination of low nitrate levels in freshwater. Water Res. 12, 673-675.
- DUELLI P., 1994. Liste rouge des espèces animales menacées de Suisse. OFEFP, Berne, 97p
- EBINA, L.; TSUTSUI, T.; SHIRAI, T., 1983. Simultaneous determination of total nitrogen and total phosphorus in water using peroxodisulfate oxidation. Water Res. 17: 1721-1726.
- EIDG. Departement des Innern. 1983. Richtlinien für die Untersuchung von Abwasser und Oberflächenwasser. (Allgemeine Hinweise und Analysenmethoden), 2. Teil Oberflächenwasser .

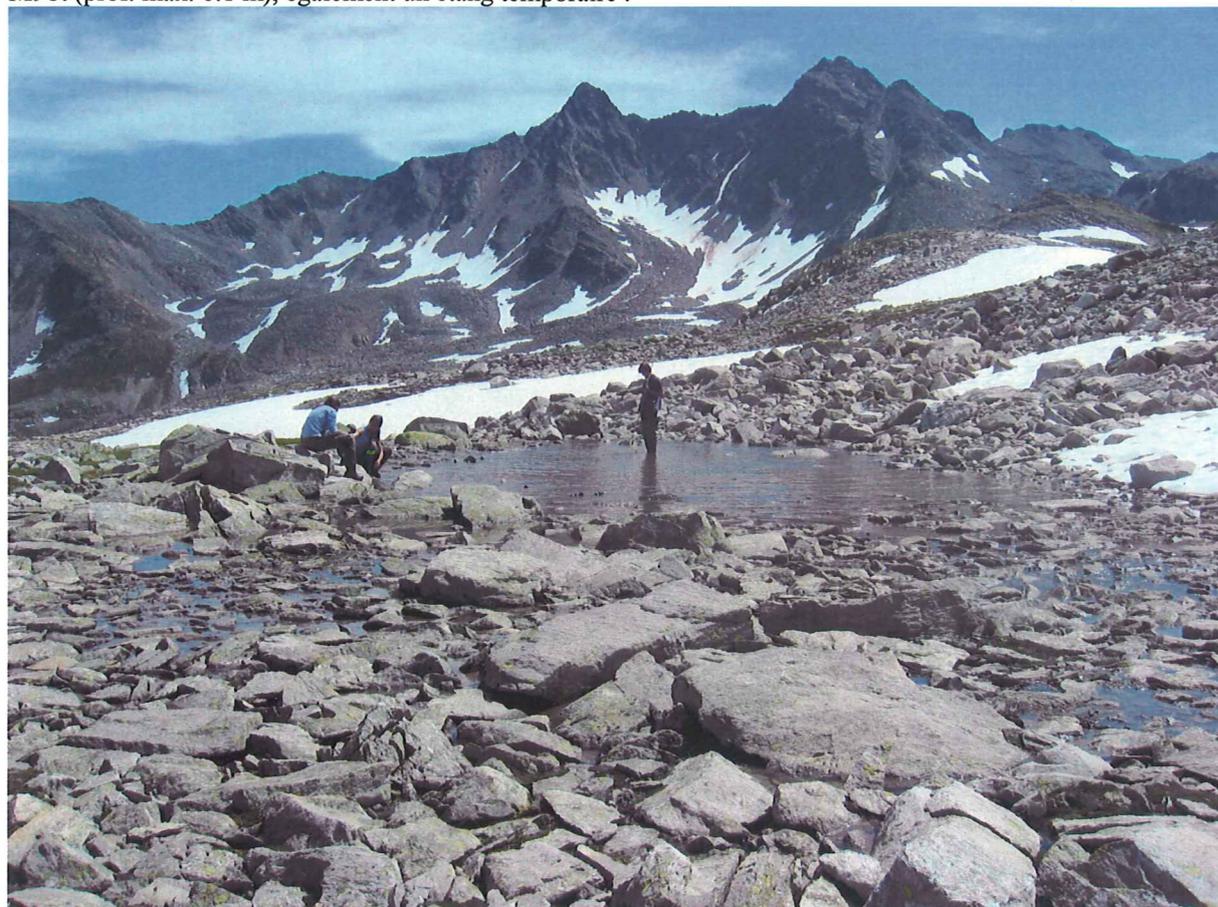
- FRIDAY L. E. 1987. The diversity of acroinvertebrate and macrophyte communities in ponds. *Freshwater Biology* 18: 87-104.
- HINDEN H., 2004. La biodiversité des petits plans d'eau alpin de Suisse. Relation avec les variables environnementales. Evaluation du site de Macun (Grisons, Parc National). Travail de diplôme. Université de Genève. 98p.
- HINDEN H., OERTLI B., MENETREY N., SAGER L., LACHAVANNE JB., 2005. Alpine ponds biodiversity: what are the related environmental variables? *Aquatic Conservation* 15: sous presse.
- ILLIES J., 1978. *Limnofauna Europaea*. a checklist of the animals inhabiting European inland waters with accounts of their distribution and ecology (except Protozoa). Stuttgart, New York: FISHER G., verlag 532 p.
- LANDOLT E., 1977. *Ökologische Zeigewerte zur Schweizer Flora*. Veröffentl. Geobot. nst. ETH, Stift. Rübel 64, 208p.
- LANDOLT E., 1991. *Plantes vasculaires menacées en Suisse : listes rouges nationales et régionales*. OFEFP, Berne, 183p.
- LANG C., 1998. Using oligochaetes to monitor the decrease of eutrophication: the 1992-1996 trend in Lake Geneva. *Arch. Hydrobiol.* 141(4): 447-458.
- LANG C., LODS-CROZET B., 1997. Oligochaetes versus chironomids as indicators of trophic state in two Swiss lakes recovering from eutrophication. *Archiv Für Hydrobiologie* 139: 187-195.
- LANG C., REYMOND O., 1996a. Le zoo benthos comme indicateur des perturbations d'origine humaine dans deux lacs de montagne. *Revue Suisse Zool.* 103(4): 851-858.
- LANG C., REYMOND O., 1996b. Reversal of eutrophication in four Swiss lakes: evidence from oligochaete communities. *Hydrobiologia* 334: 157-161.
- LOREAU M., 2000. Are communities saturated? On the relationship between α , β , and γ diversity. *Ecology letters* 3: 73-76
- LOTTER A.F., PSENNER R., 2004. 1st GLOCHAMORE workshop in Vienna, 9-11 May 2004. *Global Change Impacts on Mountain Waters: working group report*. Working group conveners: 7p.
- LUNDKVIST E., LANDIN J., KARLSSON F., 2002. Dispersing diving beetles (Dytiscidae) in agricultural and urban landscapes in south-eastern Sweden. *Ann. Zool. Fennici* 39: 109-123.
- MÜRLE U., 2000. *Morphologie und Habitatstruktur in der Ausleitungsstrecke einer alpinen Stauhaltung (Spöl, Schweizerischer Nationalpark, Engadin)*. Diplomarbeit Universität Karlsruhe TH, Germany.
- MATTHAEI S. 2004. Expansion contraction cycle of a stream/lake network in a high alpine floodplain. Diploma thesis. Swiss Federal institute for environmental Science and technology (EAWAG). 94p.
- NETO S., NAKANO O., BARBIN D., VILA NOVA N.A., 1976. *Manual de ecologia dos insetos*. São Paulo, Ceres, 420p.
- NICOLET P., BIGGS J., FOX G., HODSON MJ., REYNOLDS C., WHITFIELD M., WILLIAMS P., 2004. The wetland plant and macroinvertebrate assemblages of temporary ponds in England and Wales. *Biological Conservation* 120: 261-278.
- OCDE. 1982. *Eutrophisation des eaux. Méthodes de surveillance, d'évaluation et de lutte*. Paris: OCDE. 174 pp.
- OERTLI B., HINDEN H., PERROTTET N., 2004. Was lebt in den zahlreichen Weihern von Macun? *Cratschla* 2/2004: 22-23.

- OERTLI B., AUDERSET JOYE D., CASTELLA E., JUGE R., LACHAVANNE J-B., 2000. Diversité biologique et typologie écologique des étangs et petits lacs de Suisse. Genève, OFEFP, LEBA, Université de Genève, Genève 434 p
- Oertli B., Auderset Joye D., Castella E., Juge R., Lehmann A., Lachavanne J-B., 2005. PLOCH: a standardised method for sampling and assessing the biodiversity in ponds. *Aquatic Conservation* 15: in press.
- OFEFP, 2002. L'avenir des régions de montagne. *Environnement* : 1-64.
- REY P., PITSCH P.T., (2004). Die Entdeckung des Bescheidenheit: Erste Einblicke in das Leben der Fische auf Macun. *Cratschla* 2/2004:p.23.
- RICHOUX P., 1982. Coléoptères aquatiques. *Bulletin mensuel de la société Linn. de Lyon* : 8+9.
- ROBINSON T., KAWECKA B., (2004). Biodiversität des Fließgewässer auf Macun: Zoobenthos und Algen. *Cratschla* 2/2004:19-21.
- RÜEGG J., 2003. Macun Monitoring Manual. Methoden. EAWAG, 1-47 pp
- RÜEGG J., Robinson C., 2004. Comparison of macroinvertebrate assemblage of permanent and temporary streams in an Alpine flood plain, Switzerland. *Arch. Hydrobiol.* 161:489-510
- SCHNYDER N., 2004. Liste rouge des espèces menacées de Suisse : bryophytes /Berne : Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP) ; 100 p. : ill. (L'environnement pratique) [004832494]
- SCHOENHEICH P., 1922 : Glacier rocheux fossiles dans les Préalpes vaudoises. *Bull. Soc. Vaud Sc. nat.*, 82.1 :35-55
- SPAAP P., ENGELER L., WINDER M., 2004. Die Entdeckung des Bescheidenheit: Erste Einblicke in das Leben der Fische auf Macun. *Cratschla* 2/2004:p.21.
- STÖCKLI, A., 1985: Die Rolle der Bakterien bei der Regeneration von Nährstoffen aus Algen-exkreten und Autolyseprodukten. Diss. ETH Nr. 7850, Zürich.
- TACHET H., 2000. Invertébrés d'eau douce systématique, biologie, écologie / Paris: CNRS
- VANDERPOORTEN A., 1999. Aquatic bryophytes for a spatio-temporal monitoring of the water pollution of the rivers Meuse and Sambre (Belgium). *Environnemental Pollution* 104: 401-410
- VERNEAUX J., VERNEAUX V., GUYARD A., 1993a. Classification biologique des lacs jurassiens à l'aide d'une nouvelle méthode d'analyse des peuplements benthiques I. Variété et densité de la faune. *Annls Limnol.* 29: 59-77.
- VERNEAUX V., VERNEAUX J., GUYARD A., 1993b. Classification biologique des lacs jurassiens à l'aide d'une nouvelle méthode d'analyse des peuplements benthiques II. Nature de la faune. *Annls Limnol.* 29: 383-393.
- VERNEAUX V., VERNEAUX J., SCHMITT A., LOVY C., LAMBERT JC., 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. *Ann. Limnol. - Int. J. Lim.* 40: 1-9.
- VOGLER, P., 1965 : Beiträge zur Phosphatanalytik in der Limnologie. II. Die Bestimmung des gelösten Orthophosphates. *Fortschr. Wasserchem. Grenzgeb.* 2, 109-119.
- WILLIAMS P., BIGGS J., WHITFIELD M., THORNE A., BRYANT S., FOX G., NICOLET P., 1999. *The Pond Book*, Pond Conservation Trust, Oxford, 1-40 pp.
- WILLIAMS D.D., 1997. Temporary ponds and their invertebrate communities. *Aquatic conservation marine and freshwater ecosystems* 7, 105-117.

Table des matières des annexes

Annexe 1.	Etangs temporaires.	p. 74
Annexe 2.	Etangs permanents étangs à forte variation du volume d'eau.	p. 75
Annexe 3.	Etangs permanents à faible variation du volume d'eau.	p. 76
Annexe 4.	Lac et étang	p.77
Annexe 5.	Carte géologique.	p. 78
Annexe 6.	Manuel du monitoring.	p. 79 -82
Annexe 7.	Tableau, présentation de la diversité floristique.	p.83
Annexe 8.	Tableau, présentation de la diversité des Oligochètes.	p.84
Annexe 9.	Tableau, présentation de la diversité des Coléoptères	p. 85
Annexe 10.	Tableau, présentation de la diversité des Chironomidés	p. 86
Annexe 11.	Tableau corrigé, présentant la diversité des Chironomidés	p. 87
Annexe 11.	Tableau présentation des autres taxa	p. 88
Annexe 12.	Tableau caractéristique générales	p. 89
Annexe 13.	Tableau physico-chimie des étangs	p. 90
Annexe 14.	Tableau autres variables	p. 91

Annexe 1. Haut, l' étang temporaire M8t (prof. max. 0.1 m) retenu dans le monitoring des étangs. Bas, l'étang M98t (prof. max. 0.1 m), également un étang temporaire .



Annexe 2. Etangs permanents à forte variation du niveau d'eau. Haut l'étang M15 (prof. max. 1.2 m) inclus dans le monitoring . Bas, l'étang M21 (prof. max. 0.8 m).



Annexe 3. Etangs permanents à faible variation du niveau d'eau. Haut, on voit l'étang M14 (prof. max. 1.8 m) inclus dans le monitoring comme étang sentinelle. Bas, l'étang M20 (prof. max. 3 m) inclus dans le monitoring comme étang permanent à faible variation du volume d'eau.



Annexe 4. Haut, l'étang M11 (prof. max. 0.85 m) caractérisé par sa forte connexion aux rivières. Bas, le lac M4 (prof. max. 7 m).



Annexe 5, carte géologique du site de Macun



Géologie du site de Macun.
Atlas géologique de Suisse
1 : 25 000
H.H Boesch (1948)

			
Paragneisse	Orthogneiss	Amphibolite	Glaciers rocheux
			
Mur de moraine	Moraine	Débris rocheux	Moraine issue du retrait des glaciers

Methoden für Weiher/Kleinseen

Übers Ganze gesehen können einem Gewässer drei wichtige Faktoren zugeordnet werden. Die Gesamtartenzahl steht stellvertretend für den Artenreichtum des Gewässers. Die Diversitätszahl drückt aus, wie verschieden Artengemeinschaften sind. Die Angabe zur Ausgeglichenheit des Artenspektrums, die Dominanz oder Ausgeglichenheit (Eveness) einer Artzusammensetzung ist der dritte Faktor. Diese drei Zahlen sind Schlüsselangaben zur Qualifizierung des Weihers bzw. Kleinsees bezüglich seiner biologischen Vielfalt und dem Habitatpotential für die Tierwelt. Für ihre Berechnung sind untenstehende Aufnahmen notwendig.

Für jeden der ausgewählten Weiher werden wenn möglich pro taxonomische Gruppe, vier verschiedene „Metrics“ gemessen:

- Artenreichtum
- Diversität (Margalef Index (Magurran 1988))
- Schutzwert C1
- Schutzwert2

Ausserdem werden auch die Abundanz der verschiedenen Populationen geschätzt, sowie die totale Anzahl Familien (alle Wirbellose).

		28.7.2002	01.08.2007	01.08.2012
Bryophyta	Artenreichtum			
	erhobene	2		
	C1	2		
	C2	1		
	<i>Amblystegium</i> sp.	vorhanden		
<i>Warnstorfia</i> sp.	vorhanden			

Flora	Artenreichtum			
	erhobene ⁴	0		
	geschätzt ⁵	0		
	Diversität (Margalef)	-		
	C1	0		
C2	0			

Oligochaeta	Artenreichtum			
	erhobene	-		
	geschätzt	-		
	Diversität (Margalef)	-		
Unbestimmte Exemplaren	+++			

Mollusca	Artenreichtum			
	erhobene	0		
	geschätzt	0		
	Diversität (Margalef)	-		
	C1	0		
C2	0			

Coleoptera	Artenreichtum			
	erhobene	3		
	geschätzt	3.9		
	Diversität (Margalef)	0.76		
	C1	3		
	C2	1		
	<i>Agabus bipustulatus</i>	+		
<i>Hydroporus nigrita</i>	++			
<i>Helophorus glacialis</i>	+			

Odonata	Artenreichtum			
	erhobene	0		
	geschätzt	0		
	Diversität (Margalef)	-		
	C1	0		
C2	0			

⁴ erhobene Artenzahl (*in situ*)

⁵ geschätzt mit Jackknife 1 (Krebs 1999)

9.1. Bryophyta

Der ganze Gewässergrund und die Ufer werden nach Bryophyta abgesucht (wenn nötig mit einem Tauchgang), um eine möglichst vollständige Liste der Arten erstellen zu können. Da diese Gruppe sehr schwer zu bestimmen ist, sollte ein Spezialist hinzugezogen werden (vgl. Kapitel 10: Bryophyta).

9.2. Flora

Die Untersuchungen zur Flora werden in M 6 durchgeführt, da bis heute (2003) nur in diesem Tümpel Wasserpflanzen gefunden wurden. Jedes Jahr sollte aber geprüft werden, ob es neu auch andere Kleinseen mit Wasserpflanzen gibt.

Die Vegetationsaufnahmen erfolgen nach der standardisierten Methode « PLOCH », die im Schlussbericht Oertli et al. (2000) vorgestellt ist. Die Vegetationsaufnahmen erfolgen in Quadraten von 0.5 m Seitenlänge. Quadrate sind im Abstand von 5 m entlang von Transekten angeordnet. Die Transekte liegen 10 m voneinander entfernten. Zudem wird der ganze Gewässergrund und die Ufer nach weiteren Pflanzenarten abgesucht (wenn nötig mit einem Tauchgang), um möglichst eine vollständige Liste der Wasser- und Sumpfpflanzen erstellen zu können.

Die Quadrate werden genau mit GPS lokalisiert. In jedem Quadrat werden alle Pflanzenarten aufgenommen. Sie werden getrocknet, gepresst und erfasst. Jede Art wird nach dem Vorhanden/ Nicht Vorhanden Prinzip eingeteilt.

Quadrate	1	2	3	4	5	6	...
Art 1	+	-	+	-	-	+	
Art 2	+	+	-	+	-	-	

Probenahmestelle	M6
Oberfläche (m ²)	2398
Anzahl Quadrate	19

Tabelle 1: Erfassungsmethode der Flora; + = Art vorhanden, - = Art fehlt

Die Pflanzenliste sollte Angaben der beobachteten Häufigkeit jeder Art, dem Grad ihrer Gebundenheit ans Wasser, ihrer Gefährdung (europäisch, national und regional, z.B. Rote Liste) und ihres Schutzstatus auf nationaler und kantonaler Ebene enthalten.

9.3. Macrofauna

Es werden die folgenden Gruppen untersucht: Coleoptera (Käfer), Diptera (Zweiflügler), Odonata (Libellen), Oligochaeta und Mollusca (Muscheln u. Schnecken). Bis heute (2003) wurden keine Odonata und Gastropoda gefunden.

Die Tierarten werden anhand der standardisierten Methode « PLOCH » erhoben (Oertli et al., 2000) Die Wassermacrofauna wird mit einem standardisierten Fangnetz mit Handgriff (Öffnung 10 x 14 cm, Maschenweite 05 mm) aufgenommen. Je nach Wasseroberfläche werden mehr resp. weniger Aufnahmen gemacht. Es werden die wichtigsten Habitate ausgewählt, d.h. solche die mindestens 1% der gesamten Tümpelfläche bedecken. Beispiele für solche Habitate sind Steine, Kiesel, Wassermoose oder Wasserpflanzen. In den Habitaten werden während 30 Sekunden Aufnahmen gemacht. Die dazu angewandte Methode wird als Kommen - und - Gehen bezeichnet. Das Netz wird durchs Habitat gezogen, hin und zurück. Zusätzlich sollen zwei Proben (oder eine für die kleineren Gewässer) im Sediment genommen werden, um weitere Diptera und Oligochaeta zu finden. Die Proben werden in 70% Ethanol konserviert. Die Proben werden unter der Lupe bestimmt und ausgezählt. Coleoptera, Chironomidae, Oligochaeta und falls vorhanden Odonata und Gastropoda werden bis Artniveau bestimmt. Es ist ratsam einen Spezialisten zuzuziehen. Die anderen Arten werden

bis auf Familienniveau bestimmt. Die Anzahl der Arten wird ebenso erfasst wie die Anzahl Individuen pro Probenahme und Art.

Probenahme	1	2	3	4	5	6	7	...
Art 1	0	0	0	0	1	0	2	
Art 2	1	6	4	2	7	0	3	

		Probenahmestelle								
		M3	M6	M8t	M10	M13	M19	M21t	M22	M23
Anzahl Proben	„PLOCH“ Proben	19	13	3	12	8	8	2	8	13
	Sediment Proben	2	2	1	2	2	2	1	2	2
	Total	21	15	4	14	10	10	3	10	15

Tabelle 2: Erfassungsmethode der Macrofauna; 1, 6, ...= Anzahl gefundener Individuen einer Art.

Die Liste der Tierarten sollte folgende Angaben beinhalten: Gefährdungsgrad nach den offiziellen Roten Listen (Rote Listen der gefährdeten Tierarten der Schweiz, BUWAL, Duelli 1994, sowie Stand der Datenbank CSCF/SZKF - Schweizer Zentrum für die Kartographie der Fauna am 1.1.98).

9.4. Amphibia

In der ganzen Gegend soll nach Amphibien Ausschau gehalten werden. Werden Individuen gefunden, müssen diese bis Artniveau bestimmt werden.

9.5. Physikalisch – chemische Parameter

Es werden die drei folgenden Parameter gemessen:

- Total N: Der gesamte Gehalt an Stickstoff. Dazu wird das Wasser nicht gefiltert.
- Total P: Der gesamte Gehalt an Phosphat. Auch hierzu wird das Wasser nicht gefiltert.
- Leitfähigkeit (siehe Kapitel 5: Physikalisch-chemische Parameter)

9.6. Morphologie

Folgende morphologischen Parameter sind zu untersuchen:

- Durchschnittliche Tiefe des Gewässers. Dies sollte wenn möglich zweimal pro Jahr, einmal zu Beginn des Sommers und ein weiteres Mal in der Mitte des Sommers durchgeführt werden, da die Gewässer in Macun über den Sommer Wasser verlieren.
- Gesamte Fläche des Gewässers: Die von Wasser bedeckte/benetzte Fläche wird bestimmt. Auch hier, wenn möglich zwei Aufnahmen pro Jahr (siehe oben).
- % der Gesamtfläche, die von Vegetation bedeckt ist.
- Fischdruck: Ausdrücken als „nicht vorhanden“

Annexe 7. Présentation de la diversité floristique par plan d'eau. En vert, les espèces terrestres

Flore	M6	M8t	M13	M22	M11	M16	M97	M9	M13 _04	M14	M21	M4	M5
<i>Cerastium cerastoides</i>						*							
<i>Deschampsia cespitosa</i>	*						*						
<i>Eleocharis sp.</i>	*												
<i>Eriophorum scheuchzeri</i>	*												
<i>Glyceria sp.</i>	*												
<i>Ligusticum mutellina</i>	*												
<i>Luzula alpinopilosa</i>	*												
<i>Poa alpina</i>	*												
<i>Potentilla aurea</i>							*						
<i>Saxifraga stellaris</i>	*												
<i>Soldanella sp.</i>	*												
<i>Trollius europaeus</i>	*												
<i>Bryum sp.</i>					*		*						
<i>Didymodon sp.</i>							*						
<i>Hygohypnum luridum</i>			*		*			*					
<i>Hydrogrimmia mollis</i>		*											
<i>Polytrichum commune</i>	*												
<i>Polytrichum sexangulare</i>							*			*	*	*	
<i>Warnstorfia fluitans</i>				*		*							*
Hépatique									*				

Annexe 8. Présentation de la diversité des Oligochètes par plan d'eau. L'abondance est présentée sous forme de classe. En rouge, les espèces rares écartées du traitement des données

	<i>Stylodrilus heringianus</i>	<i>Lumbriculus variegatus</i>	<i>Cognettia cf glandulosa</i>	<i>Cernosvitoviella cf immota</i>	<i>Buccholzia sp</i>	<i>Fridericia spp</i>	<i>Enchytraeidae ind.</i>	<i>Tubifex tubifex</i>
M4	4	5	3					
M7						2		1
M8			1			2		
M8t						1		
M9			4					
M10			5	1				
M10 bis			4				1	
M11								
M12			4					
M13								
M13			5			3		
M14			4					
M15			4					
M16	4	5	2					4
M17	1	3	3					4
M18	3		3					
M19								
M19			5	1				
M20	1		5					
M21						4		
M97			2			2		
M98t			4					
M99t			5	3	3			

Annexe 9. Présentation de la diversité des Coléoptères par plan d'eau. L'abondance est présentée sous forme de classe. En vert, les espèces d'eau courante écartées lors du traitement des données. En rouge, les espèces rares écartées du traitement des données.

	<i>Agabus bipustulatus</i>	<i>Helophorus sp</i>	<i>Hydroporus foveolatus</i>	<i>Hydroporus memnonius</i>	<i>Hydroporus nigrita</i>	<i>Hydroporus nivalis</i>	<i>Limnebius truncatulus</i>	<i>Limnius perrisi</i>
M4	1	2		4			1	
M5_02			1					
M6_02	4	5	5					1
M7		4	1					
M8		1	4					
M8t_02		2						
M8t		1						
M9		2	3					
M10_02		4	4			1		
M10		2	5					
M10 bis		3	5					
M11		1	1					
M12		2	5					
M13_02	1		2			1		
M13	2	2	3					
M14	2		4					
M15		2	4					
M16	3	4	5	2	1			
M17	1	4	5					
M18			2	4				
M19_02	2	2	4	3				
M19	1	2	5	2				
M20	1	4	5	4				
M21		2	4					
M21t		1						
M22	2	2	3					
M23								
M97		3		1				
M98t		4	1			1		
M99t		1	4					

Annexe 10 Présentation du premier tableau concernant la diversité des Chironomidés. En vert, les espèces de l'eau courante écartées lors du traitement des données. En rouge les espèces rares écartées du traitement des données.

	M4	M5_02	M7	M8	M8t	M9	M10	M10 bis	M11	M12	M13_02	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20	M21	M97	M98t	M99t	
<i>Procladius (Holotanypus) sp.</i>	3														5	4	3		4					
<i>Zavrelimyia melanura</i>	5	5		1	2						4	5	4	2	5	4	5		5	1				
<i>Diamesa steinboeckii</i>			2																					
<i>Diamesa latitarsis gr.</i>			3	2																				
<i>Diamesa zernyi/cinerella gr.</i>	4	1	3						3						2								5	
<i>Pseudodiamesa branickii</i>								2	2															
<i>Pseudodiamesa nivosa</i>			3			5	2	2	4				1		5		3							1
<i>Pseudokiefferiella parva</i>					2		1	2	2															
<i>Bryophaenocladus spp.</i>			1	2						2			2	3	3	1				4		1	2	
<i>Chaetocladus spp.</i>	1		4					3	2															
<i>Corynoneura scutellata</i>	4	4							4						2	3	2		1					
<i>Cricotopus / Orthocladus spp.</i>	1								2								1		1					
<i>Eukiefferiella spp.</i>							2	5	5															
<i>Heterotrissocladus marcidus</i>	4										1	3	4		5	5	3		2					2
<i>Limnophyes spp.</i>			4	2	2		2	2	2			4	2	3	3	2							4	2
<i>Metriocnemus eurynotus</i>			1						1						2									
<i>Metriocnemus ursinus</i>				4	2		1	1																
<i>Parametriocnemus stylatus</i>			1									1											3	
<i>Parorthocladus nudipennis</i>									3															
<i>Pseudomittia spp.</i>										1									1					1
<i>Rheocricotopus effusus</i>	1								4						2				2					
<i>Micropsectra lindrothi / junci</i>								2				3							2					
<i>Paratanytarsus austriacus*</i>	2						1		1						4					1				
<i>Tanytarsus spp.</i>	1																							
<i>Thaumaleidae</i>	1																							

Annexe 11. Présentation du tableau corrigé concernant la diversité des Chironomidés. En grisé, les taxons ayant subit des modifications.

	M4	M5_02	M7	M8	M8t	M9	M10	M10 bis	M11	M12	M13_02	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20	M21	M97	M98t	M99t
<i>Procladius (Holotanypus) sp.</i>	3																						
<i>Zavreliomyia melanura</i>	5	5		1	2						4	5	4	2	5	4	5		5	1			
<i>Diamesa steinboeckii</i>			2																				
<i>Diamesa latitarsis gr.</i>			3	2																			
<i>Diamesa zernyi/cinerella gr.</i>	4	1	3						3						2							5	
<i>Pseudodiamesa branickii</i>								2	2														
<i>Pseudodiamesa nivosa</i>			3			5	2	2	4			1		5		3							1
<i>Pseudokiefferiella parva</i>					2		1	2	2														
<i>Bryophaenocladus spp.</i>			1	2						2			2	3	3	1				4		1	2
<i>Chaetocladus melaleucus (pupae)</i>									1														
<i>Chaetocladus spp.</i>	1		4					3	2														
<i>Corynoneura scutellata</i>	4	4							4						2	3	2		1				
<i>Corynoneura sp. (pupae)</i>																				1			
<i>Cricotopus / Orthocladus spp.</i>	1								2								1		1				
<i>Eukiefferiella / Tokunagaia spp.</i>							2	5	5														
<i>Heterotrissocladus grimshawil/scutellata</i>	1																						
<i>Heterotrissocladus marcidus</i>	4										1	3	4		5	5	3		2				2
<i>Limnophyes spp.</i>			4	2	2		2	2	2			4	2	3	3	2						4	2
<i>Metriocnemus eurynotus</i>			1						1						2								
<i>Metriocnemus ursinus</i>				4	2		1	1															
<i>Parametriocnemus stylatus</i>			1									1										3	
<i>Parorthocladus nudipennis</i>									3														
<i>Pseudomittia ssp.</i>										1								1					1
<i>Rheocricotopus effusus</i>	1								4						2			2					
<i>Tokunagaia rectangularis</i>								3	2														
<i>Micropsectra junci</i>																							
<i>Micropsectra notescens</i>												2						1					
<i>Paratanytarsus austriacus*</i>	2						1		1						4				1				
<i>Tanytarsus ssp.</i>	1																						
Thaumaleidae	1																						

Annexe 11. Présentation des autres taxa. En vert, les espèces d'eau courante écartées du traitement des données.
En rouge les espèces rares écartées du traitement des données.

	Planairidae	Sphaeriidae	Trichoptera	Trichoptera	Trichoptera	Plecoptera	Heteroptera
	<i>Crenobia alpina</i>	<i>Pisidium casertanum</i>	<i>Acrophylax zerberus</i>	<i>Consorophylax consors</i>	<i>Limnephilus coenosus</i>	<i>Nemurella pictetii</i>	<i>Arctocoris carinata carinata</i>
M4		5				4	1
M5							
M6		3			2		
M7							
M8							
M8t	1				1		
M8t							
M9	4						
M10	2		1		2		
M10	2				1		
M10 bis							
M11	3			2			
M12					4	1	
M13			5				
M13			4				
M14							
M15					4		
M16		5				4	
M17			4			2	
M18							
M19					3		
M19					3		
M20							
M21					4		
M21t					2		
M22					1		
M23					2		
M97					1		
M98t							
M99t					3		

Annexe 12. Caractéristiques générales des plans d'eau

	Type de plan d'eau	Année	Coordonnées	Altitude	Surface (m2)	Profondeur moyenne (m)	Profondeur max. (m)
M6	Etang	Eté 2002	805660/179246	2551.00	2398.00	0.50	1.30
M7	Etang	Eté 2004	805495/178226	2700.00	375.00	0.30	0.70
M8	Etang	Eté 2004	805269/179317	2673.00	500.00	0.40	1.00
M8t	Etang temporaire	Eté 2002	805340/178349	2669.00	174.00	0.10	0.21
M8t	Etang temporaire	Eté 2004	805340/178349	2669.00	36.00	0.15	0.30
M9	Etang	Eté 2004	805419/178399	2657.00	1700.00	1.00	1.60
M10	Etang	Eté 2002	805355/178472	2660.00	2869.00	0.70	1.70
M10	Etang	Eté 2004	805355/178472	2660.00	2869.00	1.00	1.70
M10 bis	Etang	Eté 2004	805355/178472	2660.00	2869.00	1.00	1.70
M11	Etang	Eté 2004	805504/178482	2643.00	375.00	0.45	0.85
M12	Etang	Eté 2004	805207/178592	2690.00	1350.00	0.40	1.80
M13	Etang	Eté 2002	805121/179563	2686.00	885.00	0.60	2.80
M13	Etang	Eté 2004	805121/179563	2686.00	885.00	0.60	2.80
M14	Etang	Eté 2004	805096/178651	2695.00	1400.00	1.70	2.50
M15	Etang	Eté 2004	805519/178616	2663.00	200.00	0.50	1.20
M16	Etang	Eté 2004	805829/178689	2618.00	1000.00	1.30	2.00
M17	Etang	Eté 2004	805762/178746	2620.00	538.00	0.50	0.90
M18	Etang	Eté 2004	805216/179140	2653.00	1800.00	1.60	3.00
M19	Etang	Eté 2002	805257/179129	2653.00	526.00	0.90	1.60
M19	Etang	Eté 2004	805257/179129	2653.00	526.00	0.70	1.60
M20	Etang	Eté 2004	805333/179120	2653.00	2000.00	1.60	3.00
M21	Etang	Eté 2004	805563/179128	2637.00	370.00	0.40	0.80
M21t	Etang temporaire	Eté 2002	805509/179155	2637.00	122.00	0.10	0.20
M22	Etang	Eté 2002	805487/178939	2628.00	607.00	0.60	1.00
M97	Etang	Eté 2004	805823/179670	2480.00	40.00	0.05	0.12
M98t	Etang temporaire	Eté 2004	805740/179364	2600.00	24.00	0.08	0.10
M99t	Etang temporaire	Eté 2004	805722/179284	2600.00	60.00	0.08	0.10
M4	Lac	Eté 2004	805635/179861	2622.00	12750.00	4.50	7.00
M5	Lac	Eté 2002	805660/179100	2627.00	10000.00	3.20	10.00
M23	Etang	Eté 2002	806194/178026	2714.00	5812.00	2.50	

Annexe 13. Caractéristiques physico-chimiques des plans d'eau

	NH4-N mg/l	NO2-N mg/l	NO2-N + NO3-N	DN mg/l	PN mg/l	Azote total (mg / l)	Niveau trophique N tot	PO4-P µg/l	DP µg/l	PP µg/l	Phosphore total (µg / l)	Niveau trophique P tot	DOC mg/l	TIC mg/l	POC mg/l	Température (°C)	Conductivité (µS / cm)
M6	0.00	0.00	0.20	0.20		0.20	oligotrophe	2.00	2.00		7.00	oligotrophe		5.00		10.30	68.30
M7																1.10	11.00
M8	0.01	0.00	0.13	0.20	0.03	0.23	oligotrophe	4.69	13.00	3.74	16.90	mésotrophe	0.75	<0.01	0.61	10.80	6.80
M8t																7.80	6.10
M8t																9.60	7.80
M9	0.00	0.00	0.16	0.21	0.01	0.21	oligotrophe	3.27	10.88	0.62	11.60	mésotrophe	0.73	<0.01	0.25	6.20	8.80
M10	0.01	0.01	0.40	0.50		0.50	mésotrophe	<5	<5		5.00	oligotrophe	1.20	0.30	0.10	7.80	29.80
M10	0.01	0.00	0.17	0.26	0.07	0.37	mésotrophe	3.60	11.73	20.25	32.30	mésotrophe	0.70	<0.01	1.76	6.00	4.20
M10 bis							mésotrophe									11.80	5.50
M11																5.80	8.90
M12	0.01	0.00	0.03	0.08	0.04	0.14	oligotrophe	<1	7.66	2.75	10.70	mésotrophe	0.44	<0.01	0.44	14.00	1.90
M13	0.00	1.00	0.13	0.30		0.50	mésotrophe	1.00	1.00		5.00	oligotrophe		0.30		10.00	4.60
M13																12.70	3.70
M14	0.01	0.00	0.14	0.22	0.01	0.21	oligotrophe	4.49	11.47	0.65	11.70	mésotrophe	0.46	<0.01	0.17	8.60	3.80
M15																6.70	2.60
M16	0.01	0.00	0.07	0.15	0.02	0.22	oligotrophe	<1	8.73	1.11	10.10	mésotrophe	0.76	<0.01	0.29	10.50	7.60
M17	0.01	0.00	0.08	0.19	0.04	0.24	oligotrophe	2.23	10.49	2.69	12.70	mésotrophe	0.88	<0.01	1.46	8.60	6.60
M18	0.01	0.00	0.09	0.17	0.05	0.25	oligotrophe	3.47	10.35	1.88	11.90	mésotrophe	0.52	<0.01	0.63	8.20	6.20
M19	0.00	1.00	0.23	0.20		0.20	oligotrophe	3.00	3.00		3.00	oligotrophe		0.30		12.90	9.10
M19							oligotrophe					mésotrophe				7.50	4.00
M20	0.01	0.00	0.06	0.18	0.06	0.26	oligotrophe	<1	8.78	2.45	11.50	mésotrophe	0.71	<0.01	0.93	10.50	4.30
M21	0.01	<0.001	0.00	0.10	0.07	0.17	oligotrophe	<1	9.00	5.90	14.90	mésotrophe	0.87	<0.001	0.70	13.50	1.70
M21t	0.01	<0.001	0.00	0.11	0.07		oligotrophe	<1	8.98	5.86		oligotrophe	0.87	<0.01	0.67	14.20	5.30
M22	<0.01	0.00	<0.1	0.20		0.20	oligotrophe	<5	6.00		6.00	oligotrophe	2.20	0.80	0.80	11.40	23.20
M97																21.90	3.00
M98t	0.01	<0.001	0.00	0.08	0.03	0.13	oligotrophe	<1	7.71	1.10	9.10	oligotrophe	0.75	<0.01	0.35	15.50	10.50
M99t																4.40	22.00
M4	0.01	0.00	0.08	0.20	0.06	0.26	oligotrophe	<1	11.98	3.93	15.90	mésotrophe	0.94	<0.01	0.64	12.00	7.10
M5	<0.01	0.00	<0.1	<0.1				<5	<5				1.80	0.70	1.30	12.50	2.90
M23	0.00	1.00	0.19	0.30	23.00	0.30	mésotrophe	2.00	2.00	7.00	9.00	oligotrophe		0.70	0.32	4.90	10.00

Annexe 14. Autres variables

	Nombre de prélèvements (faune)	Nombre de quadrats avec végétation	Nombre de quadrats	Recouvrement par la végétation	Nombre d'habitats	Présence de poissons	Présence d'affluents importants	Présence d'affluents	Présence d'émissaires importants	Présence d'émissaires	Bassin versant sol nu %	Bassin versant pelouse %
M6	13.00	5.00	19.00	0.26	7.00			1.00	1.00			
M7	9.00		13.00		4.00		1.00			1.00	50.00	50.00
M8	10.00		13.00		4.00					1.00	90.00	10.00
M8t	3.00	1.00	9.00	0.11	3.00							
M8t	2.00		4.00		4.00			1.00		1.00	95.00	5.00
M9	12.00		20.00		5.00		1.00		1.00		60.00	40.00
M10	12.00		23.00		5.00							
M10	14.00		24.00		4.00			1.00		1.00	60.00	40.00
M10 bis	13.00		24.00		4.00						60.00	40.00
M11	9.00	7.00	12.00	0.58	6.00		1.00		1.00		50.00	50.00
M12	11.00		18.00		4.00			1.00		0.00	80.00	20.00
M13	4.60		17.00		5.00							
M13	9.00		14.00		4.00			1.00		1.00	70.00	30.00
M14	9.00		18.00		4.00	1.00		1.00		1.00	80.00	20.00
M15	7.00		10.00		4.00					1.00	80.00	20.00
M16	11.00	10.00	17.00	0.59	6.00	1.00	1.00		1.00		15.00	85.00
M17	9.00		13.00		6.00		1.00		1.00		20.00	80.00
M18	12.00		22.00		4.00					1.00	30.00	70.00
M19	8.00		18.00		4.00							
M19	9.00		14.00		4.00			1.00		1.00	50.00	59.00
M20	12.00		22.00		4.00					1.00	40.00	60.00
M21	9.00		13.00		4.00					1.00	20.00	80.00
M21t	5.00		5.00		2.00							
M22	8.00		19.00		5.00		1.00		1.00			
M97	3.00		5.00		4.00						0.00	100.00
M98t	3.00		4.00		4.00			1.00		1.00	20.00	80.00
M99t	4.00		5.00		4.00			1.00		1.00	20.00	80.00
M4	22.00		33.00		4.00	1.00	1.00		1.00		30.00	70.00
M5	19.00	1.00	35.00	0.03	6.00	1.00	1.00		1.00			
M23	13.00		27.00		4.00							