

Master 1 « Biologie Environnement »
Fonctionnement et Restauration des Milieux Aquatiques Continentaux
Promotion : 2013-2014

Détection de l'évolution de la biodiversité aquatique alpine
en réponse aux changements climatiques :
développement d'un indice biotique intégrant les macroinvertébrés
des plans d'eau du Parc National Suisse (Macun, Grisons)

Nathalie MAVEL

Soutenance le 2 Septembre 2014 à CLERMONT-FERRAND
Stage réalisé du 2 juin au 25 Août 2014

Structure d'accueil :

- Haute Ecole du Paysage,
d'Ingénierie et d'Architecture de Genève.
- Institut Terre Nature Environnement

Maître de stage :

Dr. Beat OERTLI

Remerciements

Je remercie Beat OERTLI pour m'avoir permis d'intégrer l'équipe de recherche EISA (Ecologie et Ingénierie des Systèmes Aquatiques) au sein de l'Institut Terre-Nature-Environnement pendant ce stage. Je le remercie pour son encadrement, la transmission de ses connaissances des étangs alpins et des macroinvertébrés ainsi que ses conseils avisés pour l'élaboration de ce rapport.

Je remercie Christiane ILG pour son accueil, sa disponibilité face à mes interrogations et pour le bon déroulement du terrain à Macun.

Je remercie Thaïs CORREA pour sa bonne humeur, son aide précieuse dans mes rédactions anglaises et pour nos conversations en « Anglais-Français » très enrichissantes.

Je remercie Layne MEINICH pour les relectures attentives de ce rapport et Jane O'ROURKE pour les relectures anglaises.

Je tiens également à remercier Albertine ROULET pour son aide dans la détermination des coléoptères et Olga BEGUIN pour son aide dans la détermination des trichoptères.

Je remercie aussi Elianne DEMIERRE pour la détermination des coléoptères.

Je souhaiterais également remercier pour leurs collaborations :

Dr. Brigitte LODS-CROZET, pour la détermination ainsi que toutes les informations concernant le groupe des chironomidae,

Dr. Anders N. NILSSON, pour les informations concernant le groupe des coléoptères.

Je les remercie aussi pour la réactivité qu'ils ont eue face à mes demandes.

Dr. Astrid SCHMIDT-KLOIBER, pour m'avoir permis d'accéder à l'ensemble de la base de données de www.freshwaterecology.info

Jean WUILLOT, pour la détermination des Oligochètes de 2011 et 2013.

Je remercie également la commission du Parc National Suisse qui permet l'étude des étangs alpins du Cirque de Macun.

Je remercie Sarah DIRREN, journaliste de la chronique CQFD (La Première, Radio Télévision Suisse) pour la réalisation de son reportage diffusé le 01 Aout 2014.

Liste des abréviations utilisées

BIP : Biodiversity Indicators Partnership

EAWAG : Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz
(Institut Fédéral Suisse des Sciences et des Technologies Aquatiques)

EEA : European Environment Agency

FWE : Fresh Water Ecology

IBEM : Indice Biologique Etangs et Mares

IBGN : Indice Biologique Général Normalisé

IIC : Indicateur d'Impact Climatique

InTNE : Institut Terre Nature Environnement

IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change

IPV : Indice Planète Vivante

LPR : Living Planet Report

MEA: Millennium Ecosystem Assessment

PNS : Parc National Suisse

STOC : Suivi Temporel des Oiseaux Communs

WWF : World Wildlife Fund

Table des matières

Remerciements

Liste des abréviations utilisées

1. Introduction	1
2. Généralités et contexte	2
2.1. Changements climatiques et biodiversité	2
2.2. Les écosystèmes alpins	2
2.2.1. Conséquences du changement climatique	2
2.2.2. Les étangs d'altitude	3
2.2.3. Le Parc National Suisse	3
2.3. Les macroinvertébrés aquatiques	4
2.3.1. Généralités	4
2.3.2. Influence des températures	4
2.4. Monitoring et indices de biodiversité	5
3. Matériel et méthodes	7
3.1. Présentation des sites d'étude	7
3.2. Acquisition des données	8
3.3. Classification des espèces en fonction de leur préférence thermique	9
3.4. Conception de l'indice	10
4. Résultats	11
4.1. Identification et classification des espèces	11
4.2. Indices biotiques des macroinvertébrés de Macun	12
4.2.1. Evolution de la richesse spécifique	12
4.2.2. Évolution des abondances	13
5. Discussion	15
5.1. Identification et classification des espèces	15
5.2. Indices biotiques des macroinvertébrés de Macun	15
6. Conclusion	17

Bibliographie

Annexes (3)

Résumé

Index des figures

Figure 1 : Situation géographique du Parc National Suisse (point rouge) dans le canton des Grisons.	3
Figure 2 : Exemple typique de courbe de performance thermique exprimant la performance relative d'un organisme ectotherme en fonction de sa température corporelle. Adapté Chown <i>et al.</i> , 2010. Le graphique [A] représente les espèces eurythermes et le graphique [B] représente les 3 catégories sténothermes : froide, tempérée et chaude. CT min/max : températures minimales/maximales, To : température optimum. 5	5
Figure 3 : Indice de l'évolution de la biodiversité avec les espèces présentant un « maximum thermique faible » (guilde des oiseaux à affinités septentrionales) en rouge ou un « maximum thermique élevé » (guilde des oiseaux à affinités méridionales) en bleu et l'évolution de la différence entre les 2 indicateurs construits (en vert). La première année a un indice de 1 et est utilisée comme année de référence. www.vigienature.mnhn.fr [21/07/2014].	6
Figure 4 : Positionnement des étangs du groupe 1 du monitoring de Macun (M8t, M15 et M20) dans le bassin versant de Macun (Grisons, Suisse). Carte adaptée de Oertli <i>et al.</i> , 2008.	7
Figure 5 : Vue générale sur les étangs de Macun, (Grisons, Parc National Suisse). Photo © hepia, 2007.	7
Figure 6 : Vue des 3 étangs du monitoring de Macun : de gauche à droite : M8t au premier plan, M15 et M20 (Grisons, Parc National Suisse). Photo © hepia, 2007 et 2009.	8
Figure 7 : Indice représentant l'évolution de la richesse spécifique estimée par chao 1 entre 2004 et 2011, cumulée pour les 3 étangs du set principal du monitoring de Macun (M8t, M15 et M20). L'indice de départ est égal à 1 et correspond à la richesse spécifique de l'année 2004. Les groupes taxonomiques pris en considération sont les chironomidae, les coléoptères et les trichoptères.	13
Figure 8 : Indice de biodiversité représentant l'évolution des abondances entre 2004 et 2011 pour les 3 étangs du monitoring de Macun (M8t, M15 et M20) en fonction de l'affinité thermique des espèces. L'indice de départ est égal à 1 et correspond aux abondances de l'année 2004.	14
Figure 9 : Indice de biodiversité représentant l'évolution des abondances des coléoptères entre 2004 et 2011 pour les 3 étangs du monitoring de Macun (M8t, M15 et M20): <i>Hydroporus foveolatus</i> et <i>H. memnonius</i> représentent les espèces sténothermes froides en bleu et <i>Agabus sp.</i> le groupe « autres espèces » en orange. La différence entre les 2 indices correspond à la soustraction de l'indice « autres espèces » moins l'indice « espèces sténothermes froides » en gris.	14

Index des tableaux

Tableau 1 : Intérêts de l'utilisation des macroinvertébrés dans les études environnementales (d'après Rosenberg & Resh, 1993)	4
Tableau 2 : Présentation des différents groupes taxonomiques de macroinvertébrés échantillonnés par la méthode Ploch et par la méthode Ploch adaptée aux étangs alpins	8
Tableau 3 : Utilisation des données des 3 étangs du monitoring (M8t, M15 et M20)	9
Tableau 4 : Répartition des 24 taxons présents à Macun, entre 2004 et 2011 pour les 3 étangs (M8t, M15 et M20), suivant leur préférence thermique. Les taxons signalés par * indiquent qu'ils sont présents 4 années au minimum sur les 5 étudiées. Les sources ayant permis leur classification thermique sont également indiquées.	11
Tableau 5 : Valeurs des richesses spécifiques estimées cumulées et de d'indice correspondant sur l'ensemble des données des 3 étangs du monitoring de Macun (M8t, M15 et M20) entre 2004 et 2011. Les groupes taxonomiques pris en considération sont les chironomidae, les coléoptères et les trichoptères.	13

1. Introduction

Depuis plusieurs années, les changements climatiques sont largement avérés et de nombreuses études prévoient la hausse des températures et des phénomènes climatiques plus violents et plus nombreux (IPCC, 2014). Selon une étude de l'IPCC en 2007, les températures pourraient subir une hausse allant de 1.4 à 5.8°C d'ici la fin du siècle. Ces changements climatiques sont considérés comme des facteurs responsables des perturbations de la biodiversité (MEA, 2005). Les écosystèmes aquatiques alpins sont reconnus pour leur sensibilité aux perturbations (Sommaruga *et al.*, 1999 ; Gurung, 2005) et les espèces associées apparaissent comme sentinelles (De Meester *et al.*, 2005) pour observer les évolutions qui en découlent. Face aux modifications de leurs écosystèmes, les espèces peuvent avoir plusieurs formes de réponses, mais essentiellement la migration et l'extinction. Des études ont déjà montré que certains insectes, papillons et libellules notamment, migrent en altitude (Richter *et al.*, 2008 ; Flenner *et al.*, 2010). Due à l'absence d'altitude plus élevée, les espèces de haute montagne font partie des espèces les plus menacées par le risque d'extinction (Pounds *et al.*, 1999).

Les écosystèmes alpins sont alors soumis simultanément à 2 processus : une augmentation d'espèces généralistes et une diminution d'espèces spécialisées, nommées respectivement espèces gagnantes et perdantes (Rosset & Oertli, 2011). La création d'un indice de biodiversité a pour objectif de mettre en évidence ces 2 phénomènes antagonistes. Les indices se sont déjà révélés être des outils de suivi intéressants (Scholes & Biggs, 2005). Par exemple, l'Indice Planète Vivante développé par le WWF en 1998 a pu d'ores et déjà montrer son utilité (LPR, 2012). Ils sont particulièrement utiles et adaptés pour la communication sur les effets liés aux changements climatiques.

Les critères thermiques des espèces semblent intéressants dans la création d'un indice. En effet, la température est un paramètre primordial pour les espèces. Elle influence la croissance, le métabolisme, la reproduction, l'émergence et la distribution (Macan, 1974 ; Vannote & Sweeney, 1980).

Le Parc National Suisse (PNS) fête sa centième année d'existence et depuis sa création, un de ses objectifs est de laisser la nature suivre sa propre dynamique. Le PNS abrite depuis 2000 le Cirque de Macun, vaste plateau entouré de sommets, aujourd'hui exempté de toute activité humaine. Via l'étude des macroinvertébrés dans les milieux aquatiques (cours d'eau, mares et lacs), ce site fait l'objet d'un monitoring de la biodiversité depuis 2002 (Robinson & Oertli, 2009).

Dans une optique de création d'un indice de biodiversité l'étude comporte 2 volets :

- La classification des espèces de macroinvertébrés aquatiques des plans d'eau de Macun en 2 catégories: les espèces sténothermes froides et les « autres espèces » (sténothermes tempérées et chaudes et eurythermes)
- l'élaboration d'un indice permettant de suivre l'évolution des macroinvertébrés depuis le début du monitoring, tout en mettant en évidence les changements liés à un réchauffement.

2. Généralités et contexte

2.1. Changements climatiques et biodiversité

En 2007, L'IPCC définit le changement climatique comme « une variation de l'état du climat que l'on peut déceler (par exemple au moyen de tests statistiques) par des modifications de la moyenne et/ou de la variabilité de ses propriétés et qui persiste pendant une longue période, généralement pendant des décennies ou plus. Il se rapporte à tout changement du climat dans le temps, qu'il soit dû à la variabilité naturelle ou à l'activité humaine ».

Lors de la Conférence des Nations Unies sur l'Environnement et le Développement tenue en 1992 à Rio de Janeiro, la communauté scientifique a mis en évidence que les activités anthropiques étaient à l'origine de l'accélération du rythme d'extinction des espèces. Parmi les perturbations identifiées, les changements climatiques sont reconnus parmi les facteurs influençant le plus la biodiversité. Ils engendrent principalement des modifications des cycles biogéochimiques, dues aux relargages de gaz à effet de serre dans l'atmosphère (notamment du CO₂ issu de la combustion d'hydrocarbures fossiles) (MEA, 2005). Les impacts du changement climatique influencent la biodiversité sur un laps de temps plus importants que la fragmentation et l'érosion des habitats ou que les introductions d'espèces (Thuiller, 2007).

2.2. Les écosystèmes alpins

2.2.1. Conséquences du changement climatique

Les écosystèmes alpins sont particulièrement sensibles aux changements. La hausse des températures dans les Alpes est 2 fois plus importante que dans l'ensemble de l'hémisphère nord (EEA, 2009). Plusieurs transformations découlent de ces changements : la diminution de 50 à 90 % des glaciers Suisse (Beniston, 2007) ou encore la diminution des périodes de gel. Ces faits vont entraîner des modifications dans la composition des communautés telles que:

- La migration ou le confinement des espèces

Le déplacement des espèces vers des altitudes plus élevées est considéré comme une conséquence majeure liée aux changements climatiques (Hughes *et al.*, 2000). Si les températures augmentent de 4°C, les espèces pourraient se déplacer de l'ordre de 500 km ou de 500 m en altitude pour trouver des conditions de vie favorables. (Thuiller, 2007). Cependant, certaines espèces n'ont pas les capacités de dispersion nécessaires à cette migration (Devictor *et al.*, 2008) et vont présenter des risques d'extinction plus nombreux (Thomas *et al.*, 2004).

- L'augmentation de la richesse spécifique en altitude

La propagation des espèces d'altitudes ou latitudes basses vers d'autres plus élevées est plus rapide que celles provenant d'altitudes ou latitudes déjà élevées (Walther *et al.*, 2002). Plusieurs études indiquent la hausse du nombre d'espèces en altitude (Vittoz, 2009, Rosset *et al.*, 2010).

2.2.2. Les étangs d'altitude

Un étang se définit comme un petit plan d'eau dont la superficie est inférieure à 5 ha et dont la profondeur maximale est inférieure à 8 m (Oertli & Frossard, 2013). Dans les milieux aquatiques, les étangs correspondent aux écosystèmes contenant la biodiversité la plus élevée pour l'ensemble des taxons ainsi que pour les taxons rares (Williams *et al.*, 2003). En altitude, le fonctionnement de ces plans d'eau, comme d'ailleurs celui des autres hydrosystèmes alpins, se caractérise par (cf. EAWAG, 2003):

- des variations de température annuelles et journalières, un rayonnement solaire et des précipitations plus importants qu'en plaine
- une période estivale courte qui conditionne le cycle de vie des organismes
- une production autotrophe faible due à une concentration en nutriments faible et des températures d'eau basses
- les écosystèmes sont le plus souvent pauvres en matière organique, ce qui limite fortement la quantité de ressources disponibles pour la faune aquatique.

2.2.3. Le Parc National Suisse

Fondé en 1914, le Parc National des Grisons est le plus ancien de Suisse, il se situe en Engadine dans le canton des Grisons (figure 1). Face aux prises de conscience de l'influence des activités humaines sur l'environnement, le premier Parc National des Alpes a vu le jour afin de permettre un développement libre de la nature sans intervention de l'homme. Il s'étend sur un territoire 170 km² avec une altitude comprise entre 1400 et 3174m. (Source : www.nationalpark.ch [10/07/14]).



Figure 1 : Situation géographique du Parc National Suisse (point rouge) dans le canton des Grisons.

Ce site est très intéressant pour l'étude des modifications des biotopes alpins en lien avec le réchauffement climatique et la réaction des espèces à ces changements. À travers sa commission scientifique, le Parc National Suisse a permis le développement de nombreuses thématiques de recherche dont le monitoring de la biodiversité dans le Cirque de Macun. L'InTNE (Institut Terre Nature Environnement) a proposé d'intégrer les étangs du Cirque de Macun pour l'étude des changements climatiques sur le long terme dans les écosystèmes alpins (Robinson & Oertli, 2009).

2.3. Les macroinvertébrés aquatiques

2.3.1. Généralités

Les écosystèmes aquatiques continentaux occupent seulement 1 % des terres émergées, mais 100 000 espèces de métazoaires y ont déjà été recensées, dont la moitié sont représentées par des insectes (Lévêque, 2002).

Les macro-invertébrés sont utilisés comme bio-indicateurs dans de très nombreuses études à travers le monde entier : Etats-Unis, Asie et des pays en développement (Resh, 2007). Au niveau européen, ils sont utilisés comme bio-indicateurs de la qualité écologique des cours d'eau : IBGN (norme AFNOR NF T 90-350) et dans les plans d'eau et mares : IBEM (Indermühle *et al.*, 2008). Plusieurs aspects écologiques de ce groupe permettent de les considérer comme de bons bio-indicateurs (tableau 1).

Tableau 1 : Intérêts de l'utilisation des macroinvertébrés dans les études environnementales (d'après Rosenberg & Resh, 1993)

Liste des avantages :
- Ubiquistes
- Grande diversité fonctionnelle, de formes taxonomiques et des cycles de vie
- Rôles-clé dans la chaîne alimentaire
- Durée de développement des stades larvaires suffisamment longs
- Mobilité restreinte
- Tolérances variables aux différents types de polluants et à la dégradation du milieu
- Faciles à échantillonner (abondance élevée)
- Exigences écologiques connues
- Clés de détermination disponibles
- Etudes peu coûteuses

2.3.2. Influence des températures

Les macroinvertébrés sont des organismes ectothermes. Cela signifie que leur température corporelle dépend de la température de leur environnement. Les températures vont influencer leur croissance, leur métabolisme, leur reproduction, leur émergence et leur distribution (Macan, 1974 ; Vannote & Sweeney, 1980).

Il est possible de distinguer :

- les espèces eurythermes (préfixe issu du grec εὐρύς, *eurús*, « large ») qui ont un spectre thermique important (figure 2 [A])
- les espèces sténothermes (préfixe issu du grec στενός, *stenós*, « étroit, resserré ») présentent à l'inverse un gradient thermique restreint. Ces espèces spécialisées peuvent se décliner en 3 sous-catégories : les espèces sténothermes froides, tempérées et chaudes (figure 2 [B]).

La capacité des espèces à effectuer leur cycle de vie (performances) vont être définis par des températures optimales, minimales et maximales de leur corps.

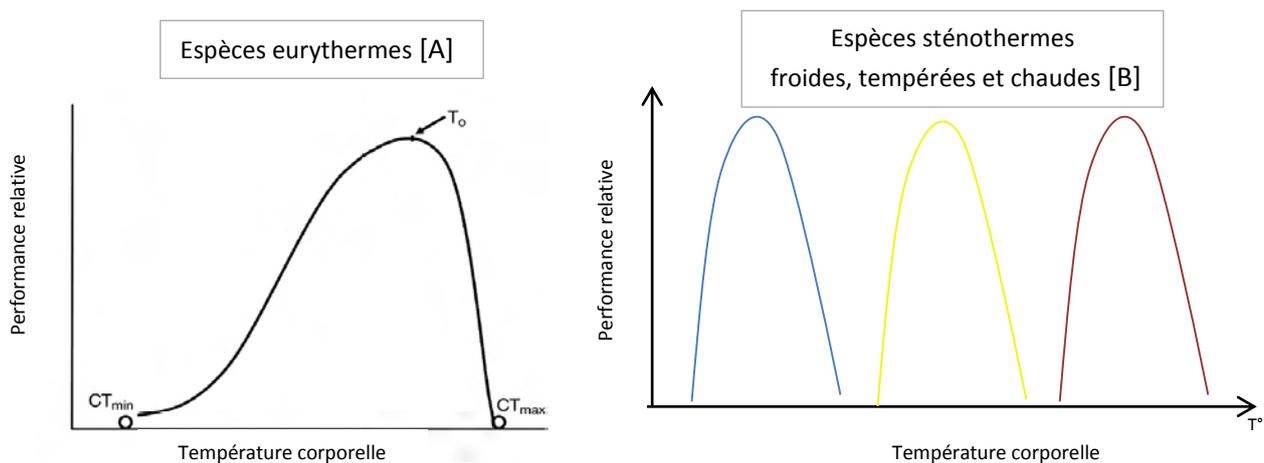


Figure 2 : Exemple typique de courbe de performance thermique exprimant la performance relative d'un organisme ectotherme en fonction de sa température corporelle. Adapté Chown *et al.*, 2010. Le graphique [A] représente les espèces eurythermes et le graphique [B] représente les 3 catégories sténothermes : froide, tempérée et chaude. CT_{min}/max : températures minimales/maximales, T_o : température optimum.

2.4. Monitoring et indices de biodiversité

Les monitorings mis en place sont des évaluations de la biodiversité et sont souvent réalisés dans un but de répondre à des obligations légales (Oertli & Frossard, 2013). Les programmes doivent être suffisants pour répondre à leur objectif tout en évitant une complexité et des dépenses trop importantes (Buckland *et al.*, 2005). Plusieurs campagnes d'échantillonnages sont réalisées et respectent des protocoles définis qui permettent de les comparer. Ces monitorings constituent des bases de données très importantes et parfois complexes à assimiler. Il convient alors de rendre ces informations plus accessibles aux yeux du public, des gestionnaires et des politiques.

Les indices de biodiversité (pouvant être appelés indicateurs) sont largement utilisés dans les rapports de la Convention sur la Diversité Biologique pour comparer des données entre elles. Ils vont refléter des phénomènes globaux. Par exemple, l'étude des glaciers peut donner des informations sur les changements climatiques. Ils jouent un rôle déterminant dans les décisions politiques et sont notamment utilisés dans l'évaluation des mesures de

gestion, l'alerte rapide en cas de problème, la compréhension d'enjeux environnementaux, les rapports, la sensibilisation. On les utilise principalement pour documenter 2 phénomènes environnementaux : les changements climatiques et les invasions biologiques. Plusieurs paramètres permettent d'évaluer l'efficacité d'un bon indicateur (BIP, 2014) :

- scientifiquement fondé,
- basé sur des données disponibles,
- adaptable à l'évolution de l'objet,
- facilement compréhensible,
- approprié aux besoins de l'utilisateur.

Parmi les indices existants l'un des plus connus est l'Indice Planète Vivante (Living Planet Index) instauré en 1998 par le WWF. Il reflète l'évolution des vertébrés depuis la fin des années 1970. Le rapport 58 de la CDB (BIP, 2010) illustre les différents indices utilisés, tels que l'Indice Planète Vivante, le Marine Trophic Index, etc... On peut également citer l'Indicateur d'Impact Climatique (IIC) (Gregory *et al.*, 2009), développé à partir des données collectées par le programme STOC (Suivi Temporel des Oiseaux Communs) qui met en évidence le déclin plus ou moins important des oiseaux sur une période de 20 ans (Figure 3).

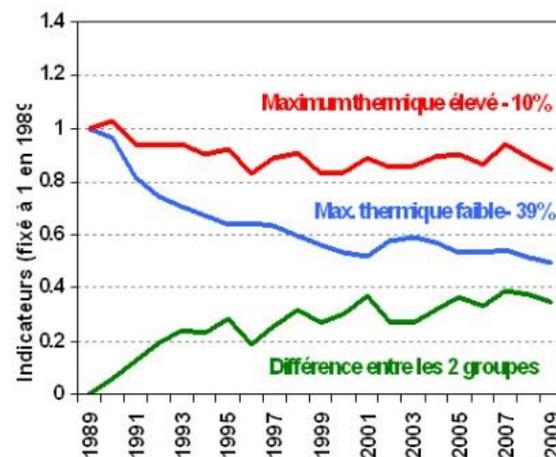


Figure 3 : Indice de l'évolution de la biodiversité avec les espèces présentant un « maximum thermique faible » (guilde des oiseaux à affinités septentrionales) en rouge ou un « maximum thermique élevé » (guilde des oiseaux à affinités méridionales) en bleu et l'évolution de la différence entre les 2 indicateurs construits (en vert). La première année a un indice de 1 et est utilisée comme année de référence. www.vigienature.mnhn.fr [21/07/2014].

La création d'un indice dans le monitoring de Macun reflétant l'évolution des macroinvertébrés en fonction de leur affinité thermique semblent donc pertinent pour étudier l'évolution de la biodiversité alpine en réponse aux changements climatiques.

3. Matériel et méthodes

3.1. Présentation des sites d'étude

Le monitoring de la biodiversité aquatique présenté se déroule dans le Cirque de Macun (Grisons, Suisse). Il s'étend sur 3,6 km², se situe à une altitude moyenne de 2600 m et plus de 25 plans d'eau y sont représentés.

Le monitoring de la biodiversité des étangs du Cirque de Macun repose sur une stratégie d'échantillonnage avec une séparation des étangs en 3 groupes ayant chacun une fréquence d'échantillonnage différente (Stoll, 2005 ; Robinson & Oertli, 2009). Ce sous-échantillonnage est motivé par des raisons financières. Les priorités scientifiques ont été définies en fonction d'un premier bilan réalisé en 2005 (Stoll 2005). Les 3 groupes de plans d'eau sont (figure 4) :

- groupe 1 comprenant 3 étangs (M8t, M15 et M20) échantillonnés tous les 2 ans,
- groupe 2 (M14 et M6) échantillonnés tous les 4 ans,
- groupe 3 concerne l'ensemble des autres étangs qui sont échantillonnés tous les 10-12 ans.

Pour la conception de l'indice, les données utilisées ont été collectées dans les 3 étangs du groupe 1 (figure 3 et 5). Les caractéristiques de ces 3 étangs sont présentées en annexe I.

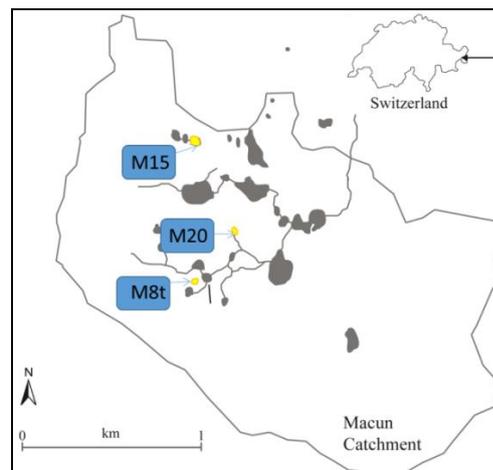


Figure 4 : Positionnement des étangs du groupe 1 du monitoring de Macun (M8t, M15 et M20) dans le bassin versant de Macun (Grisons, Suisse). Carte adaptée de Oertli et al., 2008



Figure 5 : Vue générale sur les étangs de Macun, (Grisons, Parc National Suisse). Photo © hepia, 2007.



Figure 6 : Vue des 3 étangs du monitoring de Macun : de gauche à droite : M8t au premier plan, M15 et M20 (Grisons, Parc National Suisse). Photo © hepia, 2007 et 2009

Le climat de Macun est de type continental avec une période de gel qui s'étend de fin octobre à fin juin (9 mois). Les températures varient en moyenne entre -15 et 20°C au cours de l'année avec des amplitudes journalières élevées. Les précipitations sont faibles : autour de 850 mm par an (Robinson & Kawecka, 2005).

3.2. Acquisition des données

L'échantillonnage des macroinvertébrés aquatiques est réalisé selon une adaptation de la méthode standardisée PLOCH (Oertli *et al.*, 2005). Elle consiste à effectuer des prélèvements dans différents substrats présents avec un filet standardisé PLOCH (ANNEXE II : fiche technique du filet PLOCH). Les étangs alpins sont des écosystèmes possédant une richesse spécifique faible et tous les groupes taxonomiques de la méthode PLOCH ne sont pas représentés à Macun (notamment les Gastéropodes et les Odonates). Ainsi une adaptation de la méthode PLOCH a permis d'intégrer d'autres groupes taxonomiques (tableau 2). La durée d'échantillonnage d'un prélèvement élémentaire, de 30 secondes en plaine, est ici augmenté à 60 secondes (en raison de la faible densité d'individus).

Tableau 2: Présentation des différents groupes taxonomiques de macroinvertébrés échantillonnés par la méthode Ploch et par la méthode Ploch adaptée aux étangs alpins

	Méthode PLOCH	Méthode PLOCH adaptée aux étangs alpins
Groupes taxonomiques (macroinvertébrés)	- Gastéropodes - Coléoptères - Odonates adultes	- Gastéropodes - Turbellariés (Planaire) - Bivalve - Coléoptères - Diptères (Chironomidae essentiellement) - Ephéméroptères - Hétéroptères - Oligochètes - Plécoptères - Trichoptères

Les prélèvements sont répartis selon les types d'habitats présents sur le site. Un tiers des prélèvements sont réalisés au niveau des interfaces eau-terre. Les deux tiers restant sont répartis dans les autres habitats. Les zones proche d'affluents ou d'émissaires ne sont pas échantillonnées afin d'éviter le prélèvement d'espèces d'eau courante. Les données de 5 années d'échantillonnage (tableau 3) ont été utilisées pour développer l'index.

Tableau 3: Utilisation des données des 3 étangs du monitoring (M8t, M15 et M20)

Année échantillonnée	2002	2004	2005	2007	2009	2011	2013
Utilisation des données	non	oui	oui	oui	oui	oui	Non
Remarques	Étude préalable						Invertébrés en cours de détermination

3.3. Classification des espèces en fonction de leur préférence thermique

Objectif général :

- Obtenir une liste caractérisant les préférences thermiques des espèces recensées dans les plans d'eau de Macun.

Méthode utilisée :

Dans le but de développer un indice reflétant l'évolution des communautés de macroinvertébrés en fonction de leur préférence thermique, 2 catégories d'espèces ont été distinguées :

- les espèces sténothermes froides,
- les « autres espèces » : espèces sténothermes tempérées et chaudes et espèces eurythermes.

Afin d'atteindre cet objectif, ce travail est basé sur l'étude de la littérature existante : ouvrages, articles scientifiques ainsi que la base de données internet disponible sur www.freshwaterecology.info. Pour avoir un accès à l'ensemble de cette base de données, un identifiant a été demandé au Dr. Astrid Schmidt-Kloiber, administratrice de la base de données (03/07/14). Les critères thermiques des espèces sont parfois difficiles à appréhender (car non absolus), et le regard de spécialistes pouvant appuyer et valider ces recherches est nécessaire pour constituer une base solide de l'étude. Deux spécialistes ont pu être sollicités:

- Dr. Brigitte Lods-Crozet (Musée cantonal de zoologie de Lausanne, Suisse) pour les chironomidae
- Dr. Anders N. Nilsson (Université de Umeå, Suède) pour les coléoptères.

Domaine d'application :

Ce travail de master s'inscrit dans l'évaluation générale des changements climatiques dans les milieux alpins. Ainsi, l'identification des préférences thermiques des espèces a été réalisée sur l'ensemble des données de Macun, pour les 3 étangs constituant le set principal ainsi que pour tous les étangs étudiés depuis le début de monitoring de Macun. Deux groupes ont cependant été exclus des recherches : le groupe des oligochètes car tous les individus n'ont pas été identifiés (coût important de détermination) et les espèces d'eau courante.

3.4. Conception de l'indice

Objectif général :

- Concevoir un indice illustrant les données macrofaune récoltées depuis 10 années dans le monitoring de Macun
- Identifier les espèces ou les groupes taxonomiques adaptés à la création de l'indice

Méthode utilisée :

L'indice a été créé selon une adaptation de la méthode utilisée pour l'Indice Planète Vivante (Collen *et al.*, 2007 ; Loh *et al.*, 2005). La méthode de calcul est relativement simple. Il suffit de calculer le ratio entre les populations suivies sur plusieurs années et la population de départ de l'étude. Ils correspondent aux formules suivantes:

$$\text{Indice richesse spécifique} = (St/S_{\text{réf}})$$

$$\text{Indice abondance} = 1 + \log_{10} (Nt/N_{\text{réf}})$$

Dans le calcul, S correspond à la richesse spécifique estimée par chao 1, et N à l'abondance des populations, t correspond à l'année utilisée et réf à l'année de référence. Dans le jeu de données utilisé, l'année de référence est 2004 et correspond à une valeur d'indice de 1. Une valeur supérieure à 1 pour les années suivantes correspondra à augmentation de la richesse spécifique (ou des abondances des espèces) et inversement si l'indice est inférieur à 1.

L'utilisation de l'estimateur chao 1 dans le calcul de la richesse spécifique permet d'estimer le nombre d'espèces non observé à partir des espèces observées 1 à 2 fois.

$$\hat{S}_{\text{Chao1}} = s_{\neq 0}^n + \frac{(s_1)^2}{2s_2} \quad (\text{Magurran \& McGill, 2011}).$$

Dans l'indice concernant les abondances, l'utilisation du logarithme décimal permet de diminuer les variations importantes pour les grands nombres en mettant en évidence les variations plutôt relatives. Il permet également de comparer des ordres de grandeur différents.

Domaine d'application :

L'indice a pu être appliqué pour les 3 étangs du set principal (M8t, M15 et M20). A l'heure actuelle, la fréquence d'échantillonnage des autres étangs est trop faible.

4. Résultats

4.1. Identification et classification des espèces

L'étude bibliographique a permis de caractériser les espèces en 2 catégories : les espèces sténothermes froides et les « autres espèces » (sténothermes tempérées et chaudes et eurythermes) (tableau 4).

Tableau 4 : Répartition des 24 taxons présents à Macun, entre 2004 et 2011, pour les étangs M8t, M15 et M20, suivant leur préférence thermique. Les taxons signalés par * indiquent qu'ils sont présents 4 années au minimum sur les 5 étudiées. Les sources ayant permis leur classification thermique sont également indiquées.

Catégorie	Code taxon	Groupe taxonomique	Famille	Genre	Espèce	Sources
Espèces sténothermes froides (14 taxons)	hyfov *	Coleoptera	Dytiscidae	<i>Hydroporus</i>	<i>foveolatus</i>	Rosset et Oertli, 2011
	hymem *	Coleoptera	Dytiscidae	<i>Hydroporus</i>	<i>memnonius</i>	Rosset et Oertli, 2011 Nilsson, comm.pers. 13/08/14
	diber	Diptera	Chironomidae	<i>Diamesa</i>	<i>bertrami</i>	Lods-Crozet <i>et al.</i> , 2012
	liasq	Diptera	Chironomidae	<i>Limnophyes</i>	<i>asquamatus</i>	Illies, 1978
	meeur	Diptera	Chironomidae	<i>Metriocnemus</i>	<i>eurynotus</i> (= <i>hygropetricus</i> g.)	Lods-Crozet, comm. pers. 06/08/14
	meurs	Diptera	Chironomidae	<i>Metriocnemus</i>	<i>ursinus</i>	Illies, 1978
	paaus *	Diptera	Chironomidae	<i>Paratanytarsus</i>	<i>austriacus</i>	Lods-Crozet, comm. pers. 06/08/14
	papse	Diptera	Chironomidae	<i>Paraphaenocladus</i>	<i>pseudirritus</i>	Illies, 1978
	psart	Diptera	Chironomidae	<i>Pseudodiamesa</i>	<i>arctica</i>	Lods-Crozet <i>et al.</i> , 2012
	psbra	Diptera	Chironomidae	<i>Pseudodiamesa</i>	<i>branickii</i>	Lods-Crozet <i>et al.</i> , 2012
	zamel*	Diptera	Chironomidae	<i>Zavrelimyia</i>	<i>melanura</i>	Lods-Crozet, comm. pers.06/08/14
	aczer	Trichoptera	Limnephilidae	<i>Acrophyllax</i>	<i>zerberus</i>	FWE: Graf et Schmidt-Kloiber, 2011 Graf <i>et al.</i> , 2008 et Graf <i>et al.</i> , 2006
	alunc	Trichoptera	Limnephilidae	<i>Allogamus</i>	<i>uncatus</i>	Rosset et Oertli, 2011 FWE: Graf et Schmidt-Kloiber, 2011 Graf <i>et al.</i> , 2008 et Graf <i>et al.</i> , 2006
	licoe *	Trichoptera	Limnephilidae	<i>Limnephilus</i>	<i>coenosus</i>	FWE: Graf et Schmidt-Kloiber, 2011 Graf <i>et al.</i> , 2008 et Graf <i>et al.</i> , 2006
Autres espèces : sténothermes tempérées et chaudes et eurythermes (10 taxons)	agbip	Coleoptera	Dytiscidae	<i>Agabus</i>	<i>bipustulatus</i>	Illies, 1978 Nilsson, comm.pers. 13/08/14
	agasp*	Coleoptera	Dytiscidae	<i>Agabus</i>	<i>sp.</i>	Illies, 1978
	htmar	Diptera	Chironomidae	<i>Heterotrissocladus</i>	<i>marcidus</i>	FWE: Brabec <i>et al.</i> , 2007
	coscu *	Diptera	Chironomidae	<i>Corynoneura</i>	<i>scutellata</i>	FWE: Brabec <i>et al.</i> , 2007
	lipsp	Diptera	Chironomidae	<i>Limnophyes</i>	<i>sp.</i>	FWE: Brabec <i>et al.</i> , 2007
	orosp	Diptera	Chironomidae	<i>Orthocladus</i>	<i>sp.</i>	FWE: Brabec <i>et al.</i> , 2007
	pasty	Diptera	Chironomidae	<i>Parametriocnemus</i>	<i>stylatus</i>	FWE: Brabec <i>et al.</i> , 2007
	prcho	Diptera	Chironomidae	<i>Procladius</i>	<i>choreus</i>	FWE: Brabec <i>et al.</i> , 2007
	rheff	Diptera	Chironomidae	<i>Rheocricotopus</i>	<i>effusus</i>	FWE: Brabec <i>et al.</i> , 2007
	tansp	Diptera	Chironomidae	<i>Tanytarsus</i>	<i>sp.</i>	FWE: Brabec <i>et al.</i> , 2007

Deux experts ont donné leur avis sur les résultats de la liste : la Dr. Brigitte Lods-Crozet pour l'ensemble des chironomidae (comm. pers. 6 Août 2014) et le Dr. Anders N. Nilsson pour les coléoptères (comm. pers. 13 Août 2014). Ce dernier était en accord avec la

classification concernant *Agabus bipustulatus* et *Hydroporus memnonius*, il ne s'est pas prononcé pour *Hydroporus foveolatus* et a permis l'ajout d'*Helophorus glacialis* à la liste des taxons sténothermes froids. A. N. NILSSON a donné son avis après la conception de l'indice et de ce fait, *H.glacialis* n'a pas été intégré aux analyses présentées, une modification sera nécessaire pour les prochaines analyses. A titre indicatif, *H.glacialis* a été identifié uniquement en 2007, dans le M15 représenté par 1 individu.

La liste des espèces présentes dans les 3 étangs (M8t, M15 et M20) et dont les préférences thermiques n'ont pas pu être identifiées ainsi que la liste complémentaire relative à l'ensemble du site de Macun sont présentées en annexe III.

Sur les 24 taxons identifiés dans les 3 étangs principaux, 14 sont classés sténothermes froids et 10 comme « autres espèces ». Le groupe taxonomique le plus représenté est celui des chironomidae, avec 9 taxons sténothermes froids et 8 comme « autres espèces ». La totalité des trichoptères (3) est classée comme sténotherme froide. Enfin, le groupe des coléoptères comporte 2 taxons sténothermes froids et 2 taxons « autres espèces ».

4.2. Indices biotiques des macroinvertébrés de Macun

Ce rapport intègre les principaux résultats des 3 étangs du monitoring de Macun (M8t, M15 et M20). Toutefois d'autres points ont été réfléchies mais n'ont pas pu aboutir car le jeu de données n'était pas suffisant : une analyse par étangs ou par taxon ; ou encore une analyse pour chaque groupe taxonomique (les 3 trichoptères présents sont considérés comme sténothermes froids, il n'a pas de trichoptères « autres espèces »).

4.2.1. Evolution de la richesse spécifique

Dans un premier temps, une analyse concernant l'évolution de la richesse spécifique a été réalisée. Elle intègre les données des 24 espèces présentes sur les 3 étangs du monitoring pour la période 2004-2011 (Coléoptères, Trichoptères et Diptères (Chironomidae)). Elle indique une oscillation entre les années (figure 7), sans tendance particulière pour une augmentation ou une diminution de la richesse spécifique pour l'indice global comme pour les indices des 2 catégories thermiques. Les valeurs de la richesse spécifique estimée sont notées dans le tableau 5. Les richesses estimées varient entre 7.5 et 11.5 pour les espèces sténothermes froides et entre 3.5 à 6.5 pour les « autres espèces ».

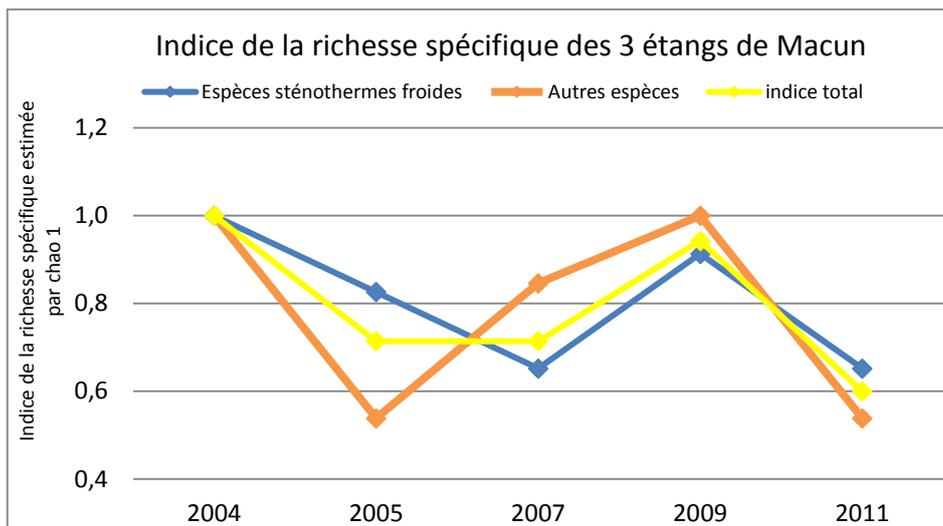


Figure 7: Indice représentant l'évolution de la richesse spécifique estimée par Chao 1 entre 2004 et 2011, cumulée pour les 3 étangs du set principal du monitoring de Macun (M8t, M15 et M20). L'indice de départ est égal à 1 et correspond à la richesse spécifique de l'année 2004. Les groupes taxonomiques pris en considération sont les chironomidae, les coléoptères et les trichoptères.

Tableau 5 : Valeurs des richesses spécifiques estimées cumulées et de l'indice correspondant sur l'ensemble des données des 3 étangs du monitoring de Macun (M8t, M15 et M20) entre 2004 et 2011. Les groupes taxonomiques pris en considération sont les chironomidae, les coléoptères et les trichoptères.

	2004	2005	2007	2009	2011
Richesse estimée : Espèces sténothermes froides	11.5	9.5	7.5	10.5	7.5
Indice espèces sténothermes froides	1	0.8261	0.6522	0.9130	0.6522
Richesse estimée : "Autres espèces"	6.5	3.5	5.5	6.5	3.5
Indice "autres espèces"	1	0.5385	0.8462	1	0.5385
Richesse estimée : Nombre total d'espèces	17.5	12.5	12.5	16.5	10.5
Indice total	1	0.7143	0.7143	0.9439	0.6

4.2.2. Évolution des abondances

La suite des analyses a été réalisée en utilisant les abondances des différents taxons. La première analyse (figure 8) intègre les données des 24 espèces présentes sur les 3 étangs du monitoring pour la période 2004-2011 (Coléoptères, Trichoptères et Diptères (Chironomidae)). L'indice de 2004 est égal à 1 et constitue l'année de référence. Une tendance se dessine : l'augmentation des abondances « autres espèces » (courbe orange) et de l'ensemble des abondances des espèces (courbe jaune). Les espèces sténothermes froides restent relativement stables (courbe bleu).

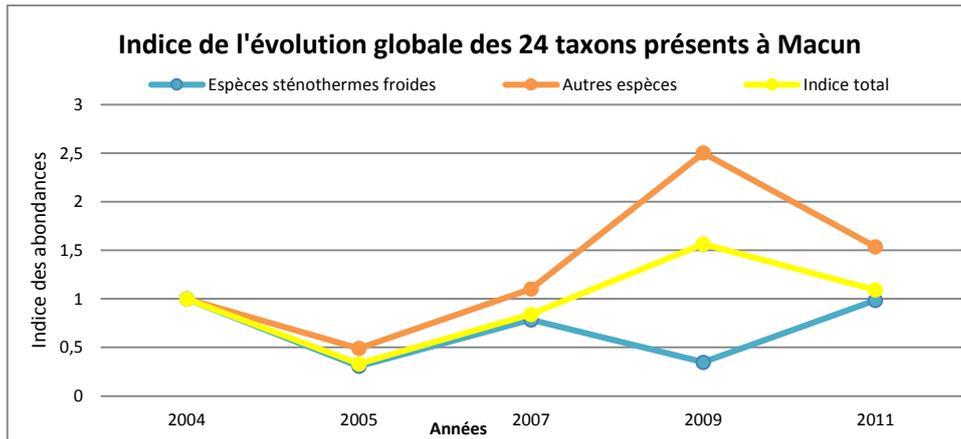


Figure 8 : Indice de biodiversité représentant l'évolution des abondances entre 2004 et 2011 pour les 3 étangs du monitoring de Macun (M8t, M15 et M20) en fonction de l'affinité thermique des espèces. L'indice de départ est égal à 1 et correspond aux abondances de l'année 2004.

Puis, l'indice a été testé uniquement sur le groupe des coléoptères (figure 9). Il représente l'évolution de 2 taxons sténothermes froids (*Hydroporus foveolatus* et *H. memnonius*) et d'1 taxon « autres espèces » (*Agabus sp.*). En 2004, le coléoptère « autres espèces » était absent, une modification a été réalisée en prenant l'année suivante comme année de référence. Les 2 courbes suivent des directions différentes, d'une part les coléoptères sténothermes froids tendent à diminuer, les indices de 2005, 2007, 2009 et 2011 sont tous inférieurs à l'année de référence. Les indices des « autres espèces » sont, eux, tous égaux ou supérieurs à l'année de référence (tableau 6). Il semblerait que lorsque l'abondance des coléoptères « autres espèces » est élevée l'abondance, des coléoptères sténothermes froids est plus faible.

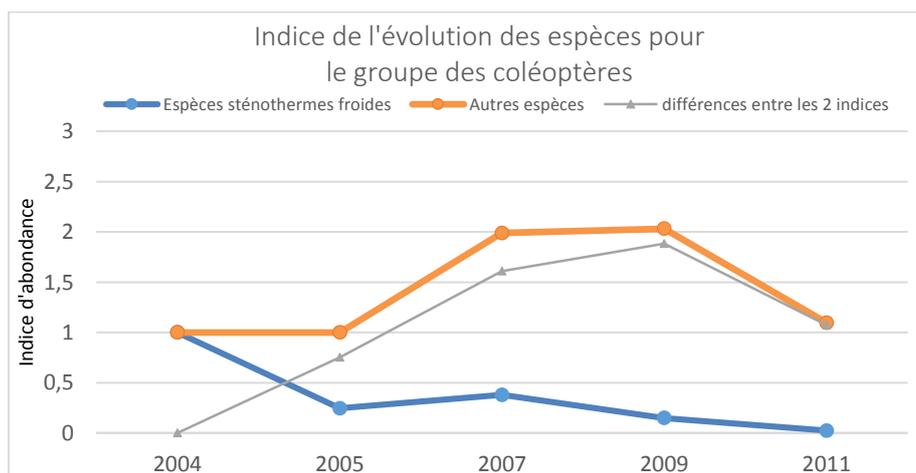


Figure 9 : Indice de biodiversité représentant l'évolution des abondances des coléoptères entre 2004 et 2011 pour les 3 étangs du monitoring de Macun (M8t, M15 et M20): *Hydroporus foveolatus* et *H. memnonius* représentent les espèces sténothermes froides en bleu et *Agabus sp.* le groupe « autres espèces » en orange. La différence entre les 2 indices correspond à la soustraction de l'indice « autres espèces » moins l'indice « espèces sténothermes froides » en gris.

Tableau 6 : Résultat des valeurs d'indice pour les 2 catégories thermiques sur l'ensemble des données des 3 étangs du monitoring de Macun (M8t, M15 et M20), entre 2004 et 2011.

	2004	2005	2007	2009	2011
Indice « autres espèces »	1	1	1.9890	2.0314	1.0969
Indice Espèces sténothermes froides	1	0.2456	0.3791	0.1487	0.0238
Différence entre les 2 indices	0	0.7543	1.6098	1.8826	1.0731

5. Discussion

5.1. Identification et classification des espèces

La classification des espèces de Macun a été déclinée en 2 catégories thermiques : les espèces sténothermes froides et les « autres espèces ». Cette dernière représente les espèces sténothermes tempérées et chaudes et les espèces eurythermes. Dans l'étude des réponses des espèces face aux changements climatiques, les préférences thermiques des espèces sont largement justifiées. En effet, l'évolution des températures est corrélée aux changements climatiques (IPCC, 2007). Les préférences thermiques des organismes sont utilisées pour décrire les effets du changement climatique (Indicateur d'Impact Climatique chez les oiseaux, Gregory *et al.*, 2009). Une recherche bibliographique et la sollicitation de 2 experts ont permis de constituer une base solide pour l'étude. La classification proposée pourra évoluer dans le temps. La catégorie « autres espèces » pourra, par exemple, être dissociée en plusieurs sous-catégories distinctes : espèces sténothermes chaudes, tempérées et eurythermes. De plus, une catégorie regroupant les espèces nouvellement arrivées sur le site pourrait également voir le jour. En effet, des exuvies d'odonates ont été récoltées pour la première fois en 2011 et 2013 sur un étang n'appartenant pas au set central du monitoring (étang M22 du monitoring) (Ilg *et al.*, 2013).

La classification permet de mettre en valeur les connaissances actuelles sur l'écologie des espèces et plus particulièrement sur leur préférence thermique. Elle pourra également être intégrée dans d'autres études d'étangs alpins ou subalpins.

5.2. Indices biotiques des macroinvertébrés de Macun

D'une part, l'indice a été réalisé grâce au paramètre de la richesse spécifique qui constitue le paramètre le plus utilisé dans les études liées à l'environnement (Magurran & Mc Gill, 2011). L'indice ne semble pas donner de tendances particulières pour l'évolution des espèces suivant leurs préférences thermiques sur la période échantillonnée (2004-2011).

L'évolution des communautés est vraisemblablement lente à se mettre en place et il faudra sûrement attendre encore plusieurs années pour déceler des changements.

D'autre part, si la richesse spécifique ne semble pas être influencée, il est possible qu'une évolution soit présente dans l'abondance de ces espèces. L'indice a alors été orienté pour illustrer l'évolution des abondances des 2 catégories thermiques. Au vu des résultats, on peut supposer que les espèces sténothermes froides et les « autres espèces » ne suivent pas la même dynamique. Sur l'ensemble des taxons étudiés, les taxons sténothermes froids ne semblent pas être perturbés. La catégorie « autres espèces » aurait tendance à augmenter légèrement. En revanche, si on se focalise sur le groupe des coléoptères, on remarque que les catégories semblent évoluer différemment, avec une diminution des espèces classées sténothermes froides et une augmentation des « autres espèces ». Cette hypothèse serait en accord avec la bibliographie existante qui relève la diminution de l'abondance des espèces spécialisées et l'augmentation de celle des espèces plutôt généralistes (Rosset & Oertli, 2011 ; Gregory *et al.*, 2009).

De plus, d'autres pistes de réflexion peuvent être amenées : le calcul a été réalisé comme dans d'autres études (Collen *et al.*, 2007) en calculant les logarithmes du ratio (abondance N_x /Abondance N_{ref}). Cependant, il peut être envisagé de calculer le ratio après transformation des abondances en logarithmes. Ceci permettrait d'écarter directement les abondances égales à 1. Une seule courbe prenant en considération simultanément les deux groupes (sténothermes froides et « autres espèces » ; par un rapport) devrait être plus sensible aux changements climatiques : elle pourrait alors être ajoutée sur les graphiques. Enfin, lorsque l'indice pourra être établi pour un nombre d'étangs plus importants, il pourra être intéressant de connaître l'évolution par étang.

Le critère « abondance » doit être utilisé avec précaution pour les communautés d'invertébrés. En effet, la dynamique de ces communautés présente une variabilité intra-annuelle très importante qui n'est pas à imputer seulement aux changements climatiques. Il faudrait un jeu de données plus important, des confirmations statistiques et/ou une répétition des indices sur d'autres sites pour connaître plus précisément la fiabilité du critère « abondance ». L'abondance peut aussi être traduite numériquement de façon à contourner ce problème (grâce à une transformation logarithmique).

L'utilisation d'un indice apparaît comme pertinente pour mettre en exergue les réponses des macroinvertébrés face aux changements climatiques. L'indice a intégré les 5 paramètres définissant un bon indicateur (BIP, 2014) :

- scientifiquement fondé

Plusieurs études scientifiques mettent en évidence les phénomènes simultanés d'augmentation et de diminution des espèces dans une situation de changement climatique (Rosset & Oertli, 2011, Gregory *et al.*, 2007)

- basé sur des données disponibles

Le monitoring de Macun a collecté 7 années de données sur les macroinvertébrés.

- adaptable à l'évolution de l'objet

L'indice pourra, par exemple, intégrer des nouvelles catégories thermiques en dissociant la catégorie « autres espèces ». De nouveaux taxons peuvent potentiellement être intégrés : gastéropodes et odonates.

- facilement compréhensible

L'indice présente 2 courbes qui indique l'évolution des espèces suivant leur affinité thermique par rapport à une année de référence

- approprié aux besoins de l'utilisateur

Il illustre des changements déjà avérés.

L'avenir des monitorings résulte dans le fait de déceler des éventuels changements tout en limitant les coûts. Ainsi, il est nécessaire de sélectionner certaines espèces qui peuvent représenter les changements possibles. Dans le set des macroinvertébrés présents actuellement dans les plans d'eau de Macun, les coléoptères apparaissent comme être de bons candidats pour la réalisation de l'indice. Ils semblent refléter l'évolution des espèces sténothermes froides et des « autres espèces ». De plus, plusieurs avantages de ce groupe sont ressortis :

- possibilité de comparaison avec d'autres sites (groupe souvent inventorié dans l'étude concernant les macroinvertébrés)
- coût de détermination en laboratoire relativement faible
- plus familier aux yeux du public que d'autres groupes d'invertébrés.

6. Conclusion

Le monitoring de la biodiversité des étangs de Macun a été instauré en 2002, notamment dans le but de déceler et suivre les impacts liés aux changements climatiques. Ainsi, 7 années de données ont été collectées sur les macroinvertébrés aquatiques sur ce site. Par l'intermédiaire d'un indice, une évolution des communautés de macroinvertébrés suivant leur affinité thermique a été réalisée.

Dans un premier temps, l'étude a permis de caractériser 2 catégories thermiques. Les espèces sténothermes froides, qui sont des espèces spécialisées et adaptées aux températures froides et les « autres espèces » comprenant les espèces sténothermes tempérées et chaudes et les espèces eurythermes. Cette classification a permis de valoriser les connaissances écologiques de ces taxons et de constituer un point de départ pour la conception d'un indice reflétant leurs évolutions. De nouveaux articles scientifiques sont publiés sur le sujet et une actualisation des recherches est recommandée pour les espèces dont les préférences thermiques n'ont pas été identifiées. Le regard d'experts est indéniable

pour confirmer l'exactitude des préférences thermiques des espèces ; il faudrait alors solliciter un spécialiste pour les trichoptères. De plus, les catégories thermiques peuvent être amenées à évoluer avec par exemple l'ajout de catégorie tel que les « espèces nouvelles sur les sites ».

Ce travail constitue une étude préliminaire quant à l'utilisation des indices dans le monitoring de Macun, et ouvre la voie à l'intégration d'un indice reflétant l'évolution des macroinvertébrés suivant leur préférence thermique. Ces premiers résultats semblent indiquer que les indices sont bien adaptés au monitoring et que les catégories reflétant les préférences thermiques apparaissent comme pertinentes pour évaluer la biodiversité alpine des macroinvertébrés. Au vu des coûts importants engendrés par les monitorings, il est nécessaire de cibler des espèces et les coléoptères semblent être de bons candidats pour illustrer les évolutions des communautés.

Les tendances décrites dans ce rapport doivent être confirmées par des appuis statistiques afin d'orienter les chercheurs dans l'utilisation des abondances ou de la richesse spécifique, et dans l'utilisation d'un groupe plutôt qu'un autre. Pour être validé, l'indice pourra, par exemple, être testé sur d'autres étangs alpins ou subalpins (notamment sur la base de données PLOCH déjà existante ; cf. Oertli *et al.*, 2000).

Bibliographie

- BRABEC K., JANECEK B.F.U., ROSSARO B., SPIES M., BITUSIK P., SYROVATKA V., SCHMIDT-KLOIBER A., 2007. Chironomidae Indicator Database. Euro-limpacs project, Workpackage 7 - Indicators of ecosystem health, Task 4, www.freshwaterecology.info, version 5.0 (accessed on [06/08/14])
- BENISTON M., 2007. Réchauffement climatiques dans les Alpes. *Tracé 5* : 7
- BIODIVERSITY INDICATORS PARTNERSHIP., 2010. "Biodiversity indicators and the 2010 biodiversity target: Experiences and lessons learnt from the 2010 Biodiversity Indicators Partnership". Secretariat of the Convention on Biological Diversity Technical Series No. 53: 196 pages.
- BIODIVERSITY INDICATORS PARTNERSHIP., 2014. "Guide de développement et d'utilisation des indicateurs nationaux de la biodiversité." 39p. www.bipindicators.net [04/08/2014]
- BUCKLAND ST., MAGURRAN AE., GREEN RE., FEWSTER RM., 2005. Monitoring change in biodiversity through composite indices. *Phil. Trans. R. Soc. B* 360, 243 – 254.
- CHOWN SL., HOFFMANN AA., KRISTENSEN TN., ANGELLITTA MJ JR., STENSETH NC., PERTOLDI C. 2010. Adapting to climate change. A perspective from evolutionary physiology. *Clim Res* 43:3-15
- COLLEN B., LOH J. WHITMEE S., MCRAE L., AMIN R., BAILLIE J-E-M.,. 2007. Monitoring Change in Vertebrate Abundance: the Living Planet Index. *Conservation Biology* 23(2): 317-327.
- DALMART A-C., 2011. Bilan des 9 premières années (2002-2010) du monitoring des étangs alpins de Macun (Parc National Suisse) : évolution des communautés de macroinvertébrés. Travail de Master. Université Paul Verlaine, Metz.
- DE MEESTER L., DECLERCK S., LOUETTE G., VAN DE MEUTTER F., DE BIES T., MICHELS E., BRENDONCK L., 2005. Ponds and pools as model systems in conservation biology, ecology and evolutionary biology. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 15: 715-725.
- DEVICTOR V., JULLIARD R., COUVET D., JIGUET F., 2008. Birds are tracking climate warming, but not fast enough. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences*, 275, 2743-2748.
- EEA. 2009. "Regional climate change and adaptation. The Alps facing the challenge of changing water resources". 148 pages.
- EAWAG. 2003 : Hydrosystèmes alpins, une diversité fragile en détresse. EAWAG news. 55 : 3-6
- FLENNER I., RICHTER O., SUHLING F. 2010. Rising temperature and development in dragonfly populations at different latitudes. *Freshwater Biology*, 55, 397-410.
- GRAF W & SCHMIDT-KLOIBER A. (2011): Additions to and update of the Trichoptera Indicator www.freshwaterecology.info, version 5.0 (accessed on [06/08/14]).
- GRAF W., MURPHY J., DAHL J., ZAMORA-MUÑOZ C., LÓPEZ-RODRÍGUEZ M.J. 2008. Distribution and Ecological Preferences of European Freshwater Organisms. Volume 1 - Trichoptera. Edited by SchmidtKloiber, A. & D. Hering. Pensoft Publishers (Sofia-Moscow). 388p. www.freshwaterecology.info, version 5.0 (accessed on [06/08/14])
- GRAF W., MURPHY J., DAHL J., ZAMORA-MUÑOZ C., LÓPEZ-RODRÍGUEZ M.J. & SCHMIDT-KLOIBER A. 2006:Trichoptera Indicator Database. Euro-limpacs project, Workpackage 7 - Indicators of ecosystem health, Task 4. www.freshwaterecology.info, version 5.0 (accessed on [06/08/14])
- GRAF W., LORENZ A.W., TIERNO DE FIGUEROA J.M., LÜCKE S., LÓPEZ-RODRÍGUEZ M.J. & DAVIES C. 2009. Distribution and Ecological Preferences of European Freshwater Organisms. Volume 2 - Plecoptera. Edited by Schmidt-Kloiber A. & D. Hering. Pensoft Publishers (Sofia-Moscow). 262p. www.freshwaterecology.info, version 5.0 (accessed on [06/08/14])
- GRAF W., LORENZ A.W., TIERNO DE FIGUEROA J.M., LÜCKE S., LÓPEZ-RODRÍGUEZ M.J., MURPHY J. & SCHMIDT-KLOIBER A. 2007. Plecoptera Indicator Database. Euro-limpacs project, Workpackage 7 - Indicators of ecosystem health, Task 4, www.freshwaterecology.info, version 5.0 (accessed on [18/08/14]).

- GREGORY RD, WILLIS SG, JIGUET F, VOŘÍŠEK P, KLVAŇOVÁ A, VAN STRIEN A, HUNTLEY B, COLLINGHAM YC, COUVET D, GREEN RE. 2009. An Indicator of the Impact of Climatic Change on European Bird Populations. PLoS ONE 4(3): e4678. doi:10.1371/journal.pone.0004678
- GURUNG A-B. (ed) 2005. "GLOCHAMORE Global Change and Mountain Regions. Research Strategy." Mountain Research Initiative. Bern.
- HUGHES T.R., MARTON M., JONES A., ROBERTS C., STOUGHTON R., ARMOUR C., BENNETT H., COFFEY E., DAI H., KIDD M., KING A., MEYER M., SLADE D., LUM P., STEPANIANTS S., SHOEMAKER D., GACHOTTE D., CHAKRABURTTY K., SIMON J., BARDAND M., FRIEND S. 2000. Functional Discovery via a Compendium of Expression Profiles. Cell. 102: 109-126.
- INDERMUEHLE N., ANGÉLIBERT S. & OERTLI B. 2008. IBEM: Indice de Biodiversité des Etangs et Mares. Manuel d'utilisation. Ecole d'Ingénieurs HES de Lullier, Genève. 33p
- ILG C, DEMIERRE E, REYMOND A-S, OERTLI B. 2013. Alpen-Smaragdlibelle in Weltrekordhöhe. Cratschla 2/13: 2-3.
- ILLIES, J. (ed.) 1978. "Limnofauna Europaea " Auflage, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 552p.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2007. *Fourth assessment report: Climate change 2007* (Synthesis report summary for policymakers).
- LANGTON P.H. 1991. A key to pupal exuviae of West Palaearctic Chironomidae. Privately published: Huntington, England. 386p
- LÉVÊQUE, C., 2002, "Biodiversity in freshwaters", Encyclopedia of Global Environmental Change, Volume 2 : The Earth System : Biological and Ecological Dimensions of Global Environmental Change, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, p. 146-152.
- LOH J., GREEN R., RICKETTS T., LAMOREUX J., JENKINS M., KAPOS V., RANDERS J., 2005. The Living Planet Index: using species population time series to track trends in biodiversity. Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci. 360(1454): 289-295.
- LPR, 2012. LIVING PLANET REPORT. WWF. Gland, Switzerland 160 pages ISBN 978-2-940443-37-6
- MACAN T-T. 1974. "Freshwater ecology" 2d Edition, Longman, London. p 343.
- MAGURRAN A.E., MCGILL B.J., 2011. Biological Diversity. Oxford University Press
- MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. 2005. Ecosystems and human wellbeing: biodiversity synthesis. World Resources Institute, Washington, D.C.
- OERTLI B., AUDERSET J-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.
- OERTLI B., AUDERSET J-D., CASTELLA E., JUGE R., LEHMANN A. 2005: PLOCH: A standardized method for sampling and assessing the biodiversity in ponds. Aquatic conservation: marine and freshwater ecosystems 15 (6): 665-679.
- OERTLI B & FROSSARD P-A., 2013. "Mares et étangs: écologie, conservation, gestion, valorisation". Presses Polytechniques Universitaires Romandes, Lausanne. 480 p.
- POUNDS J.A., FOGDEN M.P. & CAMPBELL J.H. 1999. Biological response to climate change on a tropical mountain. Nature, 398, 611-615
- ROBINSON C-T & KAWECKA B. 2005. Benthic diatoms of an Alpine stream/lake network in Switzerland. Aquatic Sciences 67: 492-506.
- RESH V-H. 2007. Multinational, freshwater biomonitoring programs in the developing world: Lessons learned from African and Southeast Asian river surveys. Environmental Management, 39, 737-748.
- RICHTER O., SUHLING F., MÜLLER O., KERN D. 2008. A model for predicting the emergence of dragonflies in a changing climate. Freshwater Biology, 53, 1868-1880.
- ROBINSON C.T. & OERTLI B. 2009. Long-term Biomonitoring of Alpine Waters in the Swiss National Park. Eco.mont Vol 1 (1): 23-33.

- ROSENBERG D.M & RESH V-H. 1993. Introduction to freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. Pages 1-9. In: *Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates* (eds. Rosenberg, D.M and Resh, V.H.). Chapman and Hall, New York.
- ROSSET V., LEHMANN A., OERTLI B. 2010. Warmer and richer? Predicting the impact of climate warming on species richness in small temperate waterbodies. *Global Change Biology*: 2376–2387.
- ROSSET V & OERTLI B. 2011. Freshwater biodiversity under climate warming pressure: Identifying the winners and losers in temperate standing waterbodies. *Biological Conservation* 144 : 2311–2319
- SCHOLES R.-J. & R. BIGGS. 2005. A biodiversity intactness index. *Nature* 434(145-148).
- SOMMARUGA R., PSENNER R., SCHAFFERER E., KOINIG K. A., SOMMARUGA-WOGRATH S. 1999. Dissolved organic carbon concentration and phytoplankton biomass in high-mountain lakes of the Austrian Alps: potential effect of climatic warming an UV underwater attenuation. *Arctic Antarctic and Alpine Research* 31: 247-253.
- STOLL, 2005. Mise en place d'un monitoring de la biodiversité des étangs de Macun (Parc National Suisse). Travail de Diplôme. Ecole d'ingénieurs de Lullier, Genève.
- THOMAS C. D., CAMERON A., GREEN R. E., BAKKENES M., BEAUMONT L. J., COLLINGHAM Y-C., ERASMUS B.F-N., DE SIQUEIRA M-F. 2004. Extinction risk from climate change. *Nature*, 427, 145-148.
- THUILLER W. 2007. Biodiversity: Climate change and the ecologist. *Nature* 448: 550-552.
- VANNOTE R-L. et SWEENEY B-W. 1980. Geographic analysis of thermal equilibria: a conceptual model for evaluating the effect of natural and modified thermal regimes on aquatic insects communities. *The American Naturalist* 115: 667-695.
- VITTOZ, P., DUSSEX, N., WASSEF, J., GUIAIN. A. 2009. Diaspore traits discriminate good from weak colonisers on high-elevation summits. *Basic and Applied Ecology* 10: 508-515.
- WALTHER G.R., POST E., CONVEY P., MENZEL A., PARMESAN C., BEEBEE T.J. C, FROMENTIN J.M., HOEGH-GULDBERG O., BAIRLEIN F. 2002. Ecological responses to recent climate change. *Nature* 416: 389-395.
- WILLIAMS P., WHITFIELD M, BIGGS J., BRAY S., FOX G., NICOLET P., SEAR, D. 2003. Comparative biodiversity of rivers, streams, ditches and ponds in an agricultural landscape in Southern England. *Biol. Conservation* 115, 329-341

Table des matières des annexes

Annexe I : Caractéristiques des 3 étangs constituant le set central du monitoring
(d'après Dalmart, 2011).

Annexe II : Fiche technique du filet PLOCH pour les prélèvements des macroinvertébrés
(Indermühle *et al.*, 2008)

Annexe III : Liste complémentaire des espèces suivant leur trait thermique pour la totalité des espèces du monitoring de Macun entre 2004 et 2011 (espèces sténothermes froides, « autres espèces » et les espèces sans données sur leur préférence thermique).

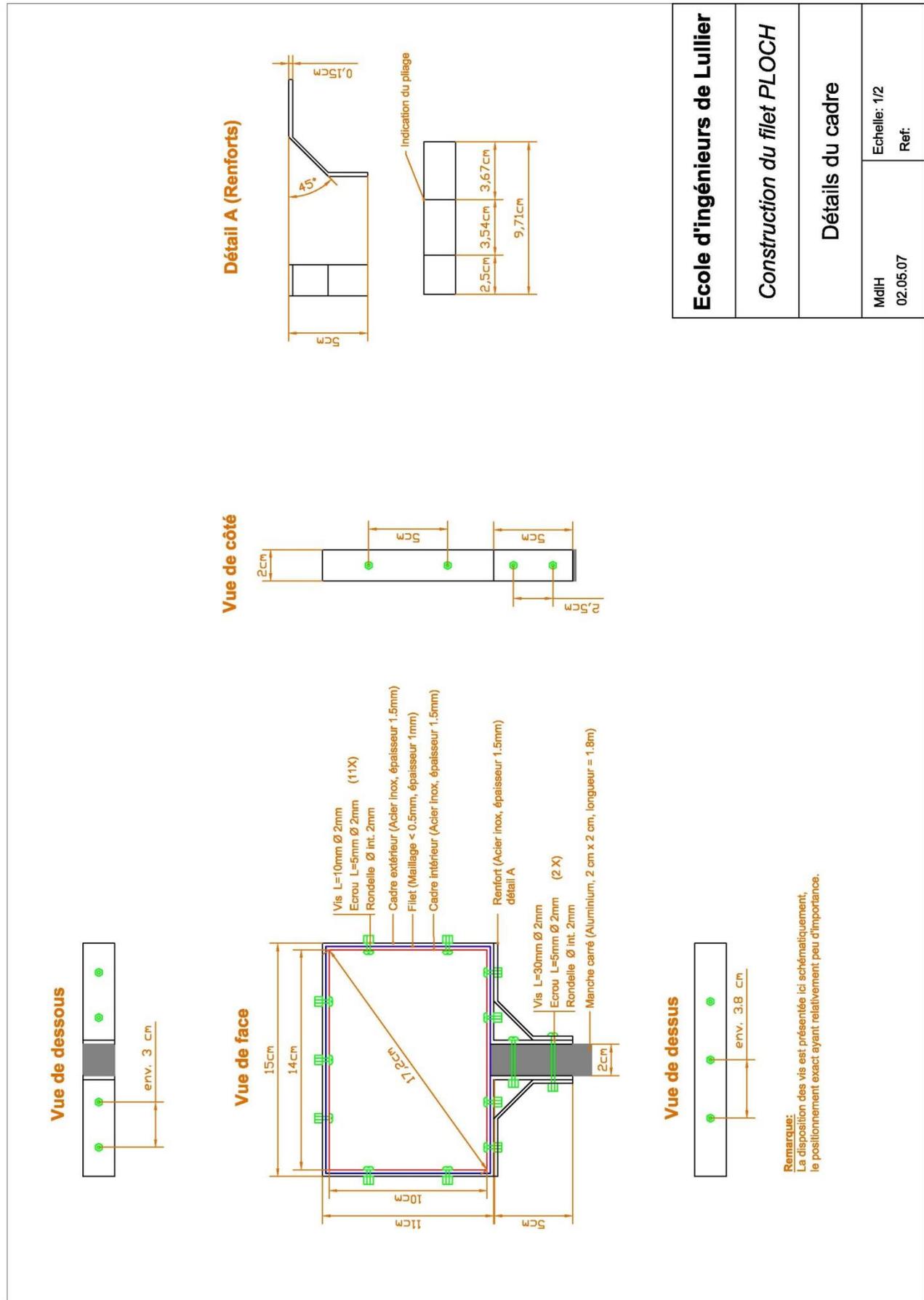
Annexe I

Caractéristiques des 3 étangs constituant le set central du monitoring (M8t, M15 et M20)
(d'après Dalmart, 2011)

Etangs	M8t	M15	M20
Altitude (m)	2669	2663	2653
Surface (m²)	40	200	2000
Profondeur moyenne (m)	0.15	0.5	1.8
Profondeur maximale (m)	0.8	1.6	3.5
Bassin versant végétalisé (%)	10	20	60
Temporalité	temporaire	permanent	permanent
Fluctuation du niveau d'eau	important	important	faible
Nombre de prélèvement PLOCH	5	7	11

Annexe II

Fiche technique du filet PLOCH pour les prélèvements des macroinvertébrés (Indermühle *et al.*, 2008)



Ecole d'ingénieurs de Lullier	
Construction du filet PLOCH	
Détails du cadre	
MdlH 02.05.07	Echelle: 1/2 Ref.

Annexe III

Liste complémentaire des espèces suivant leur trait thermique pour la totalité des espèces du monitoring de Macun entre 2004 et 2011 (espèces sténothermes froides, « autres espèces » et les espèces sans données concernant leur préférence thermique).

Catégorie	Code taxon	Groupe taxonomique	Famille	Genre	Espèce	Sources
Espèces sténothermes froides (23 taxons)	hegla	Coleoptera	Hydrophilidae	<i>Helophorus</i>	<i>glacialis</i>	Nilsson, comm.pers. 13/08/14
	hyfov	Coleoptera	Dytiscidae	<i>Hydroporus</i>	<i>foveolatus</i>	Rosset et Oertli, 2011
	hymem	Coleoptera	Dytiscidae	<i>Hydroporus</i>	<i>memnonius</i>	Rosset et Oertli, 2011 Nilsson, comm.pers. 13/08/14
	hynii	Coleoptera	Dytiscidae	<i>Hydroporus</i>	<i>nigrita</i>	Rosset et Oertli, 2011
	diasp	Diptera	Chironomidae	<i>Diamesa</i>	<i>sp.</i>	Lods-Crozet, comm. pers. 06/08/14
	diber	Diptera	Chironomidae	<i>Diamesa</i>	<i>bertrami</i>	Lods-Crozet et al., 2012
	euksp	Diptera	Chironomidae	<i>Eukiefferiella</i>	<i>sp.</i>	Lods-Crozet et al., 2012
	liasq	Diptera	Chironomidae	<i>Limnophyes</i>	<i>asquamatus</i>	Illies, 1978
	meeur	Diptera	Chironomidae	<i>Metriocnemus</i>	<i>eurynotus (=hygropetricus g.)</i>	Lods-Crozet, comm. pers. 06/08/14
	meurs	Diptera	Chironomidae	<i>Metriocnemus</i>	<i>ursinus</i>	Lods-Crozet, comm. pers. 06/08/14
	mijun	Diptera	Chironomidae	<i>Micropsectra</i>	<i>junci</i>	Lods-Crozet, comm. pers. 06/08/14
	paaus	Diptera	Chironomidae	<i>Paratanytarsus</i>	<i>austriacus</i>	Lods-Crozet, comm. pers. 06/08/14
	psare	Diptera	Chironomidae	<i>Pseudosmittia</i>	<i>arenaria</i>	Lods-Crozet et al., 2012
	papse	Diptera	Chironomidae	<i>Paraphaenocladus</i>	<i>pseudirritus</i>	Illies, 1978
	prosp	Diptera	Chironomidae	<i>Protanytarsus</i>	<i>sp.</i>	Langton 1991
	psart	Diptera	Chironomidae	<i>Pseudodiamesa</i>	<i>arctica</i>	Lods-Crozet et al., 2012
	psbra	Diptera	Chironomidae	<i>Pseudodiamesa</i>	<i>branickii</i>	Lods-Crozet et al., 2012
	tasin	Diptera	Chironomidae	<i>Tanytarsus</i>	<i>sinuatus</i>	Langton, 1991
	torec	Diptera	Chironomidae	<i>Tokunagaia</i>	<i>rectangularis</i>	Illies, 1978
	zamel	Diptera	Chironomidae	<i>Zavrelimyia</i>	<i>melanura</i>	Lods-Crozet, comm. pers. 06/08/14
	aczer	Trichoptera	Limnephilidae	<i>Acrophylax</i>	<i>zerberus</i>	FWE: Graf et Schmidt-Kloiber, 2011 Graf et al., 2008 et Graf et al., 2006
	alunc	Trichoptera	Limnephilidae	<i>Allogamus</i>	<i>uncatus</i>	Rosset et Oertli, 2011 FWE: Graf et Schmidt-Kloiber, 2011 Graf et al., 2008 et Graf et al., 2006
	licoe	Trichoptera	Limnephilidae	<i>Limnephilus</i>	<i>coenosus</i>	FWE: Graf et Schmidt-Kloiber, 2011 Graf et al., 2008 et Graf et al., 2006
Autres espèces : sténothermes tempérées et chaudes et eurythermes (17 taxons)	agbip	Coleoptera	Dytiscidae	<i>Agabus</i>	<i>bipustulatus</i>	Illies, 1978-Nilsson, comm.pers. 13/08/14
	agasp	Coleoptera	Dytiscidae	<i>Agabus</i>	<i>sp.</i>	Illies, 1978
	chasp	Diptera	Chironomidae	<i>Chaetocladus</i>	<i>sp.</i>	FWE: Brabec et al., 2007
	chisp	Diptera	Chironomidae	<i>Chironomus</i>	<i>sp.</i>	FWE: Brabec et al., 2007
	colob	Diptera	Chironomidae	<i>Corynoneura</i>	<i>lobata</i>	FWE: Brabec et al., 2007
	coscu	Diptera	Chironomidae	<i>Corynoneura</i>	<i>scutellata</i>	FWE: Brabec et al., 2007
	htmar	Diptera	Chironomidae	<i>Heterotrissocladus</i>	<i>marcidus</i>	FWE: Brabec et al., 2007
	lipsp	Diptera	Chironomidae	<i>Limnophyes</i>	<i>sp.</i>	FWE: Brabec et al., 2007
	orosp	Diptera	Chironomidae	<i>Orthocladus</i>	<i>sp.</i>	FWE: Brabec et al., 2007
	orfus	Diptera	Chironomidae	<i>Orthocladus</i>	<i>fuscimanus</i>	FWE: Brabec et al., 2007
	pasty	Diptera	Chironomidae	<i>Parametriocnemus</i>	<i>stylatus</i>	FWE: Brabec et al., 2007
	prcho	Diptera	Chironomidae	<i>Procladius</i>	<i>choreus</i>	FWE: Brabec et al., 2007
	pssor	Diptera	Chironomidae	<i>Psectrocladius</i>	<i>sordidellus</i>	Illies, 1978
	rheff	Diptera	Chironomidae	<i>Rheocricotopus</i>	<i>effusus</i>	FWE: Brabec et al., 2007
	tansp	Diptera	Chironomidae	<i>Tanytarsus</i>	<i>sp.</i>	FWE: Brabec et al., 2007
	nepic	Plecoptera	Nemouridae	<i>Nemurella</i>	<i>pictetii</i>	Illies, 1978 FWE: Graf et al., 2009 Graf et al., 2007
	cralp	Turbellaria	Planariidae	<i>Crenobia</i>	<i>alpina</i>	Illies, 1978
Espèces sans données (13 taxons)	hyniv	Coleoptera	Dytiscidae	<i>Hydroporus</i>	<i>nivalis</i>	
	heosp	Coleoptera	Hydrophilidae	<i>Helophorus</i>	<i>sp.</i>	
	hydsp	Coleoptera	Dytiscidae	<i>Hydroporus</i>	<i>sp.</i>	
	brysp	Diptera	Chironomidae	<i>Bryophaenocladus</i>	<i>sp.</i>	
	arcar	Heteroptera	Corixidae	<i>Arctocoris</i>	<i>carinata</i>	
	micsp	Heteroptera	Corixidae	<i>Micronecta</i>	<i>sp.</i>	
	mefur	Heteroptera	Mesoveliidae	<i>Mesovelia</i>	<i>furcata</i>	
	pszim	Trichoptera	Limnephilidae	<i>Pseudopsylopteryx</i>	<i>zimmeri</i>	
	mirad	Diptera	Chironomidae	<i>Micropsectra</i>	<i>radialis</i>	
	moten	Diptera	Chironomidae	<i>Monopelopia</i>	<i>enuicalcar</i>	
	smisp	Diptera	Chironomidae	<i>Smittia</i>	<i>sp.</i>	
	tanlug	Diptera	Chironomidae	<i>Tanytarsus</i>	<i>lugens gr.</i>	
	psniv	Diptera	Chironomidae	<i>Pseudodiamesa</i>	<i>nivosa</i>	

les cases grisées indiquent les espèces sans données pour les 3 étangs du set principal du monitoring

	Master 1 « Biologie et Environnement » Fonctionnement et Restauration des Milieux Aquatiques Continentaux
Auteur : Nathalie MAVEL	Organisme d'accueil : HEPIA
Nb pages : 17 Annexe(s) : 3	Route de la Prairie, 4 1202 GENEVE, SUISSE
Année de soutenance : 2014	Maître de stage : Beat OERTLI (beat.oertli@hesge.ch)

Détection de l'évolution de la biodiversité aquatique alpine en réponse aux changements climatiques : développement d'un indice biotique intégrant les macroinvertébrés des plans d'eau du Parc National Suisse (Macun, Grisons)

Résumé :

En réponse aux changements climatiques, la biodiversité alpine va fortement évoluer, notamment avec une diminution du nombre d'espèces spécialisées et l'augmentation de celui des espèces généralistes. Un monitoring des plans d'eau alpins de Macun (Grisons, Parc National Suisse) a été instauré en 2002 afin, notamment, de déceler les modifications dans la biodiversité aquatique alpine. Via l'étude des macroinvertébrés aquatiques réalisée entre 2004 et 2011, nous proposons ici d'illustrer ces deux phénomènes antagonistes sous forme d'un indice biotique. L'étude de la littérature existante a permis d'identifier les préférences thermiques des principaux taxons de macroinvertébrés recensés (notamment des coléoptères, trichoptères et diptères chironomidae). À l'heure actuelle, cette liste se décline en deux catégories : les espèces sténothermes froides (espèces spécialisées) et les autres espèces (espèces plutôt généralistes). Les indices biotiques développés ici traduisent l'évolution à long terme de l'abondance (nombre d'individus) ou de la richesse (nombre de taxons) de ces deux catégories. L'application aux données du monitoring 2004-2011 semble confirmer que ces deux catégories évoluent différemment. Cette étude a permis ainsi de montrer l'utilité d'un ou de plusieurs indices qui mettent en valeur les données collectées dans le monitoring. De plus, parmi tous les taxons inventoriés, les coléoptères semblent être les meilleurs candidats pour illustrer les changements temporels. Ce travail constitue une étape préliminaire dans l'élaboration d'un indice final global reflétant l'évolution des communautés des macroinvertébrés en réponse aux changements climatiques. Plusieurs questions ont été soulevées : quels paramètres est-il préférable d'utiliser entre la richesse spécifique et les abondances ou encore, y a-t-il un groupe taxonomique à utiliser plutôt qu'un autre ? Toutefois, une validation de ces paramètres, sur d'autres sites alpins ou subalpins, est maintenant nécessaire pour la finalisation de l'indice.

Mots-clés : changement climatique, monitoring, étangs alpins, macroinvertébrés, préférence thermique des espèces, indice biotique.

Detection of variation in alpine aquatic biodiversity in response to climate changes: development of a biotic index integrating macroinvertebrates in ponds of Switzerland National Park (Macun, Grisons)

Abstract:

The monitoring of alpine ponds in the Macun Cirque (Grisons, Switzerland National Park) was initiated in 2002 to track changes in aquatic biodiversity in the Alps. As a response to climate change a decrease in the number of specialist species and an increase of non-specialized species can be observed. Through the study of aquatic macroinvertebrates conducted between 2004 and 2011, we seek to illustrate these two opposing phenomena with a biotic index. Thanks to the literature we could identify the thermal preferences of the majority of identified macroinvertebrates, particularly Coleoptera, Trichoptera and Diptera (Chironomidae). These organisms were classified into two categories: cold stenotherm species (specialists) and other species (generalists). The biotic index used here, illustrates the long-term evolution of species richness (number of species) and abundance (number of individuals) of these two categories. The application to the 2004-2011 monitoring data seems to confirm that these two categories progress differently. This study allows shows that the use of one or more indices emphasizes the data collected in the monitoring. Moreover, among all inventoried taxa, Coleopterans seem to be the best candidates to illustrate the temporal change. This work is a preliminary step towards developing a global index that reflects the evolution of macroinvertebrates in response to climate change. Several questions were raised such as: which is the best to use in the index, species richness or abundance? Which taxonomic group should be used? However, validation of these parameters, in other alpine or subalpine sites, is still necessary in order to compare and to conclude the index.

Keywords: Climate changes, monitoring, alpine ponds, macroinvertebrate, thermal preference species, biotic index.