

Zeitschrift:	Bulletin de la Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles = Bulletin der Naturforschenden Gesellschaft Freiburg
Herausgeber:	Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles
Band:	104 (2015)
Artikel:	Sources de la région des Alpettes et du Niremont dans les Préalpes fribourgeoises
Autor:	Branciard, Lorelise / Fumetti, Stefanie von
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-583333

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 29.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Sources de la région des Alpettes et du Niremont dans les Préalpes fribourgeoises

LORELISE BRANCIARD¹ und STEFANIE VON FUMETTI²

¹ Lorelise Branciard, Dr en biologie; lorelise.branciard@bluewin.ch

² Stefanie von Fumetti, Dr en biologie; Departement Umweltwissenschaften der Universität Basel, St. Johanns-Vorstadt 10, 4056 Basel; stefanie.vonfumetti@unibas.ch

Résumé

Les sources sont des écosystèmes rares, précieux et menacés. La région des Alpettes et du Niremont, dans les Préalpes du canton de Fribourg, est connue pour ces nombreuses sources, mais aussi pour la diversité de ces paysages et la pluralité des statuts de protection dans la région : certains endroits sont utilisés par l'agriculture traditionnelle et les activités touristiques et sportives, tandis que d'autres sont strictement protégés. Certaines sources sont encore presque naturelles, pendant que d'autres sont utilisées comme source d'eau potable ou pour l'évacuation des eaux usées. Cela implique qu'il existe de nombreux facteurs environnementaux différents qui influencent la présence de différentes espèces dans les sources de cette région. Ainsi, notre but était d'analyser ces sources afin de comprendre quels sont les principaux facteurs environnementaux qui influencent l'assemblage local d'espèces dans les sources. Nous avons investigué 25 sources, aussi diverses que possible dans la région. Les résultats montrent que certaines des sources sont en relativement bon état, avec des espèces spécialistes des sources présentes, tandis que d'autres sont totalement piétinées par le bétail. Dans cette région, la présence ou l'absence d'espèces spécialistes des sources est dépendante d'un certain nombre de facteurs écologiques, principalement la présence de bois mort et de plantes dans les sources et leurs environs immédiats.

Abstract

Springs are rare, precious and threatened ecosystems. The region of the Alpettes and the Niremont, in the Pre-Alps of the Canton of Fribourg is known for its numerous springs, but also for the variety of its landscape and for the variety of the protection status in the region: some places are used by traditional agriculture, while others are strictly protected. Some springs are still near natural, while others are used as a source for drinking water or as a wastewater area. This implies that there are numerous different environmental factors influencing the presence of different species in the springs of this region. It was thus our aim to analyse these springs and to understand what principal environmental factors influence the local species assemblages in springs. We investigated 25 springs as diverse as possible in the region. The results show that some of the springs are in relatively good state, with spring

specialist organisms present, while others are totally trampled by cattle. The presence or absence of spring specialists is highly dependent on a number of important ecological factors in this area, mainly the presence of dead wood in the springs and plants in the surrounding area.

Zusammenfassung

Quellen sind seltene, wertvolle und dabei bedrohte Ökosysteme. Die Regionen Les Alpettes und Niremont in den Voralpen des Kantons Fribourg gelegen sind bekannt für ihre zahlreichen Quellen, aber auch für ihre vielfältige Landschaft und deren unterschiedlichen Schutzstatus: manche Gebiete werden für die Landwirtschaft genutzt, während benachbarte Gebiete unter strengem Schutz stehen. Manche der Quellen in der Region sind immer noch naturnah, viele andere werden aber beispielsweise für die Trinkwassergewinnung genutzt. Dies legt nahe, dass viele verschiedene Umweltfaktoren die Anwesenheit der verschiedenen Makroinvertebraten in den Quellen beeinflussen. Ziel dieser Studie war es deshalb Quellen in dieser Region zu untersuchen und zu analysieren welche Umweltfaktoren die lokalen Quell-Lebensgemeinschaften beeinflussen. Wir haben dafür 25 Quellen untersucht, die ökomorphologisch möglichst divers sein sollten. Die Resultate zeigen, dass einige Quellen in einem relativ guten Zustand sind und auch Quellspezialisten beherbergen, während andere durch Viehtritt nahezu komplett zerstört sind. Die Anwesenheit von Quellspezialisten hängt sehr stark von einigen wichtigen Umweltfaktoren ab, vor allem Totholz in den Quellen und die Vegetation um die Quellen herum scheint wichtig zu sein.

Introduction

Les sources sont localisées à l'interface entre eaux de surface et eaux souterraines (WEBB et al. 1998), représentant une zone de transition particulièrement riche, un écotone. Les sources sont petites en surface, mais complexes et fournissent un habitat pour de nombreuses espèces spécialisées (CANTONATI et al. 2006). En effet, beaucoup d'espèces ont dans les sources leur habitat exclusif (espèces crénobiontes) ou favori (espèces crénophiles). Cela est dû à de nombreuses adaptations comme par exemple la sténothermie, c'est-à-dire la capacité à survivre dans une marge étroite de températures (CANTONATI et al. 2006). Les sources ont en effet des conditions physiques et chimiques presque stables (VAN DER KAMP 1995). Les sources, généralement, sont particulièrement riches en espèces (WEIGAND 1998, GERECKE & FRANZ 2006). La haute biodiversité et la densité de population souvent trouvées dans les sources sont dûes à leur structure en mosaïque, avec par exemple des couches de mousses et de débris (WEIGAND 1998), et à la fois, la présence de substrats permettant la colonisation et la large disponibilité de nourriture (STANFORD et al. 1994).

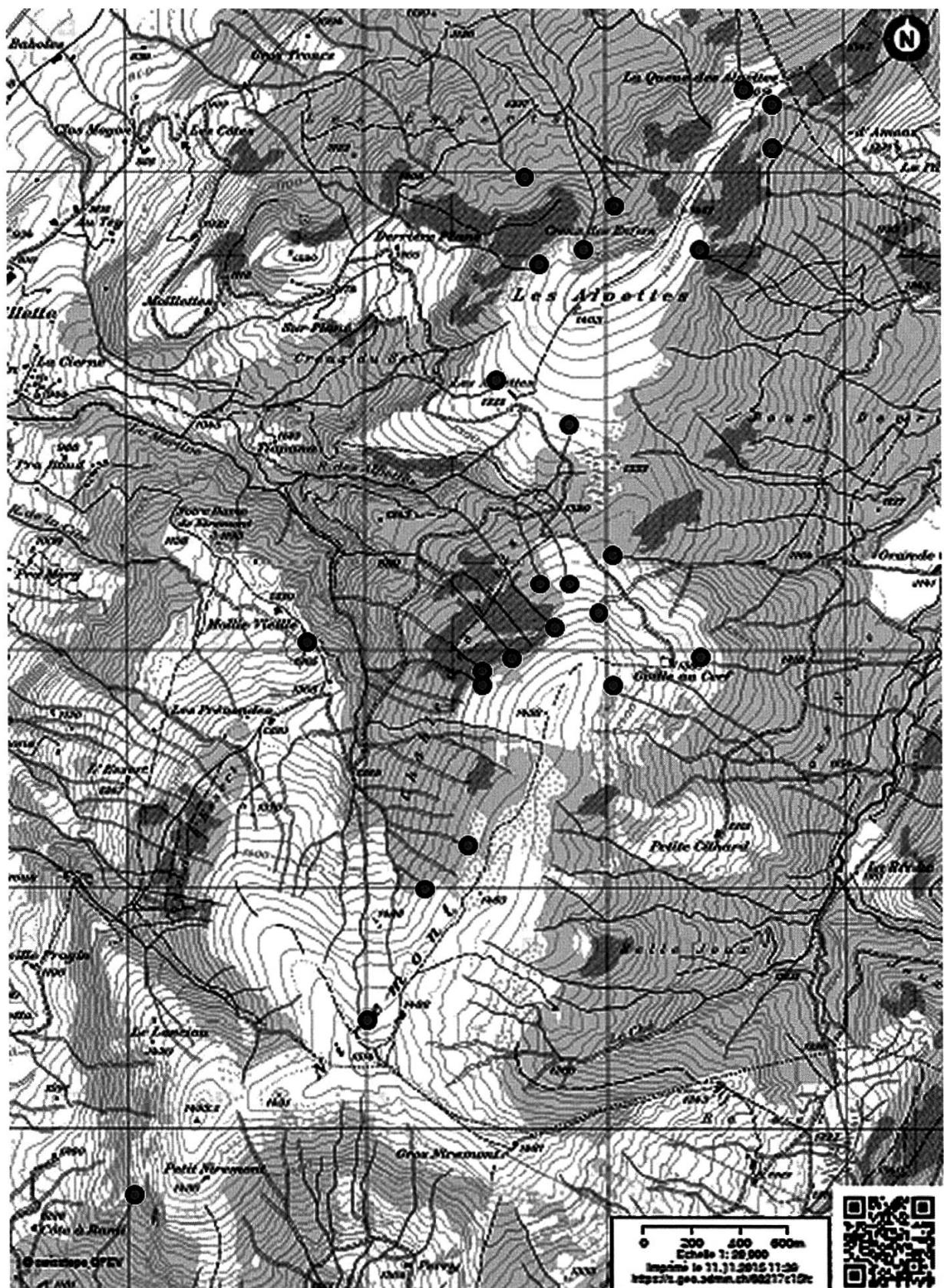


Figure 1: Localisation des 25 sources étudiées. Rond gris foncés : sources ; régions hachurées gris clair : dommage de la tempête Lothar.

Cependant, la conservation des sources cause beaucoup de problèmes. Il existe de nombreux impacts directs sur les sources tels que le piétinement du bétail (WIGGER & VON FUMETTI 2013), le captage d'eau, la soustraction de la végétation environnante et l'apport de nutriments, par exemple azotés (ZOLLHÖFER 1997, WEIGAND 1998). Il existe aussi un certain nombre d'impacts indirects sur les sources, comme par exemple la déposition de contaminants aéroportés (gaz d'échappements, acidité), mais aussi les changements climatiques et les rayons UV en augmentation (CANTONATI et al. 2006).

Différentes études ont été effectuées sur les sources dans les Alpes suisses (WIGGER & VON FUMETTI 2013, ROBINSON et al. 2008), et sur des sources dans des régions protégées du massif alpin (GERECKE & FRANZ 2006, GERECKE et al. 2012, VON FUMETTI & FELDER 2014). L'écologie de sources naturelles des Préalpes et particulièrement des Préalpes du canton de Fribourg, n'avait pas encore été étudiée. La variété du paysage dans la région des Alpettes est si haute qu'une haute diversité de conditions écologiques pouvait aussi être attendue. Notre but principal était d'investiguer quelle influence ces conditions écologiques ont sur la biodiversité de la faune des sources locales et sur la distribution des espèces dans ces sources.

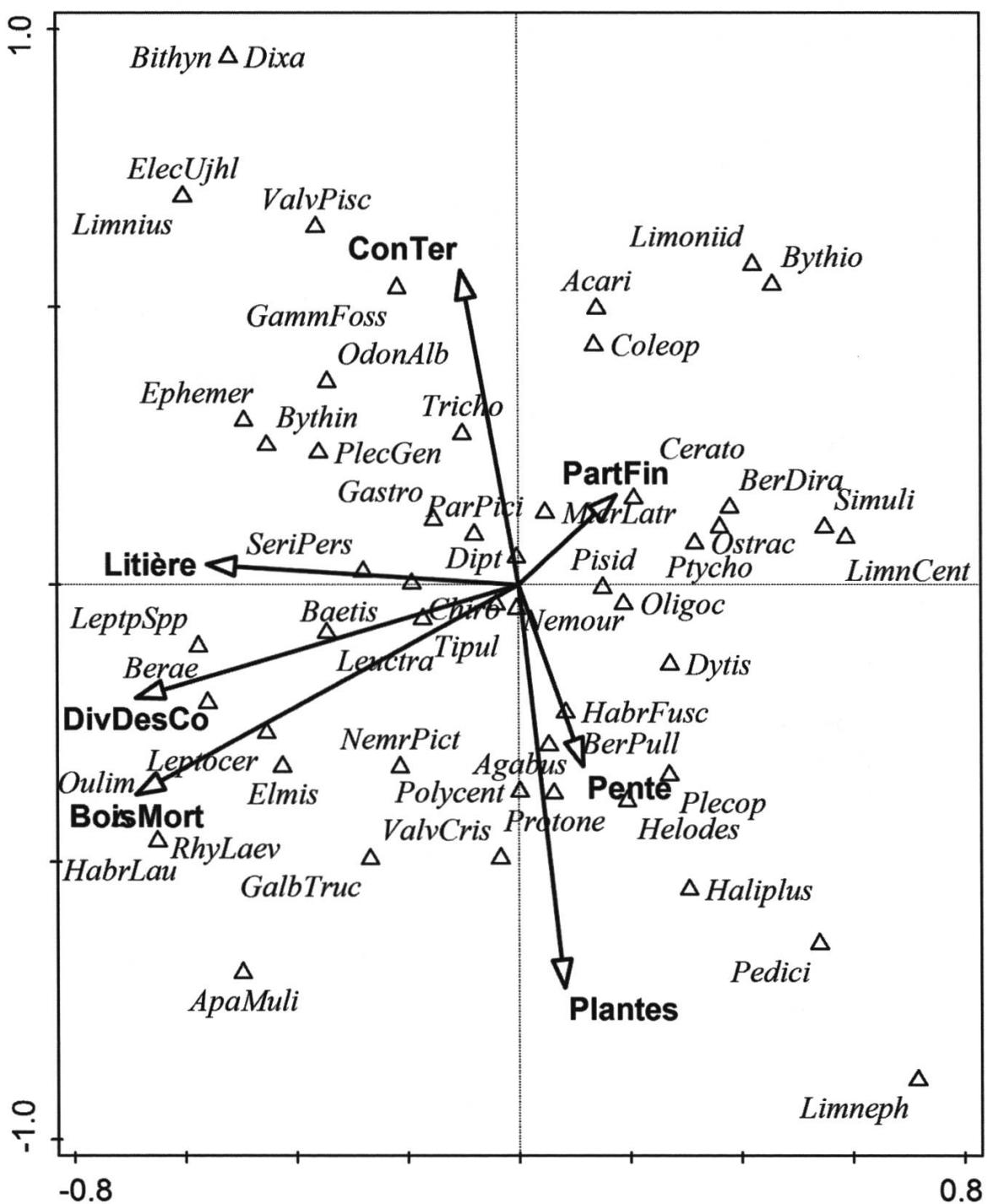
Méthodes

Localisation des sources

Les 25 sources examinées sont distribuées dans un périmètre qui va du sud du Petit Niremont à la Queue des Alpettes, dans les Préalpes du canton de Fribourg, avec une altitude moyenne d'environ 1370 m (Figure 1, MapGeoAdmin 2015c). La région des Alpettes est connue pour avoir de nombreuses sources, par exemple les sources de la Broye et de la Trème, les 2 principales rivières de la région. De plus, cette région a une grande diversité de paysages : des alpages avec la présence de bétail (vaches et chevaux), des forêts mixtes, des forêts d'épicéa, de tourbières ou de buissons, ainsi que des zones humides protégées.

La diversité de paysages de cette région se traduit par des lieux-dits qui font particulièrement sens: le Châble des puits (châble : dévaloir, ravine, couloir, pour dévaler le bois de bûcheronnage), le Creux des Enfers, ou la Goille au Cerfs. Ces noms sont sans aucun doute liés d'un côté, à la présence de sources ou d'endroits humides et de l'autre, à la géographie physique des lieux avec des pentes très raides comme au Creux des Enfers. Certaines forêts ont été détruites par la tempête Lothar en 1999, les restes de forêts étant conservés, donnant un paysage étrange, avec des troncs ou des arbres centenaires au milieu des buissons ayant repoussés depuis. Il y a aussi dans cette région plusieurs aires de protection et une aire de protection de la biodiversité (Zone de biodiversité de la Vallée de la Trème). Cette région présente aussi 2 régimes pluviométriques : soit légèrement à très humide, ou à plus haute altitude, très sec à une humidité équilibrée (MapGeoAdmin 2015a). De plus, la

géologie est un Flysch du Gurnigel sous couverture quaternaire peu épaisse ou sous faible couverture (MapGeoAdmin 2015b). Il y a aussi des terrains glissés et des glissements de terrain dans cette région.



Cartographie et échantillonnage faunistique

La cartographie et l'évaluation des sources ont été effectuées entre septembre et novembre 2014 suivant la méthode de (LUBINI et al. 2014). Cette méthode est la méthode officielle d'évaluation des sources de l'Office Fédéral de l'Environnement. La feuille d'évaluation considère des facteurs écologiques tels que le type de forêt et de végétation, la composition du substrat et la diversité des courants, ainsi que les influences humaines sur la source, telles que la présence de bétail ou la captation d'eau. De plus, les paramètres physico-chimiques suivants ont été enregistrés sur le terrain en utilisant des appareils portables (Ateliers scientifiques-techniques, Weilheim) : la température de l'eau (°C), le pH, la conductivité électrique ($\mu\text{S}/\text{cm}$) et la saturation en oxygène (%).

Quatre échantillons de macroinvertébrés par sources ont été prélevés au moyen d'un petit échantillonneur Surber (taille : 10 x 10 cm, mailles : 500 μm) (VON FUMETTI et al. 2006). Les animaux récoltés et le substrat ont été transférés dans un plateau en plastique blanc pour un premier lavage. Ensuite, chaque échantillon a été transféré dans un récipient en plastique et conservé dans de l'éthanol 80%. Au laboratoire, le substrat a été trié et les macroinvertébrés ont été déterminés au niveau taxonomique le plus précisément possible à l'aide des références suivantes : (LUBINI et al. 2014, WARINGER & GRAF 2011, TACHET et al. 2010, BOSCHI 2011, EISELER 2005).

Analyse statistique

Après détermination des macroinvertébrés, les quatre échantillons ont été réunis pour la suite des analyses. Les données combinées des facteurs environnementaux et des assemblages de macroinvertébrés ont été analysées en utilisant une analyse de correspondance canonique (Canonical Correspondance Analysis, CCA) avec CANOCO 5.0 (TER BRAAK & ŠMILAUER, 1998). L'analyse CCA nous a permis de modéliser la réponse des espèces à la variation environnementale (Ramette 2007). La distance de la dissimilarité des espèces est mesurée par leur chi carré. Toutes les espèces ont été transformées ($\log e+1$) avant les analyses qui ont été effectuées avec une « forward selection » des variables explicatives.

Résultats

Les sources sont localisées entre 1244 et 1510m. Des 25 sources investiguées, 22 ont été classifiées comme rhéocrènes, et 3 comme hélocrenes (**Table 1**). Le pH des sources était principalement presque neutre entre 6,8 et 8,4. En moyenne, la saturation en oxygène des sources était 73%. La conductivité électrique allait de 20 à 589 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et la température de l'eau de 4,9 à 12,9°C. En moyenne, 11,4 taxa ont été trouvés, avec un minimum de 5 taxa et un maximum de 17 taxa dans une source. Un minimum de 23 individus et un maximum de 388 individus ont été trouvés dans les

sources. Les trichoptères étaient le taxon le plus divers avec dix espèces de trichoptères au total. Six espèces différentes, respectivement de gastropodes et de coléoptères ont été trouvées. Les espèces de plécoptères, diptères, bivalves et oligochètes ont été particulièrement trouvées en abondance (**Table 2**).

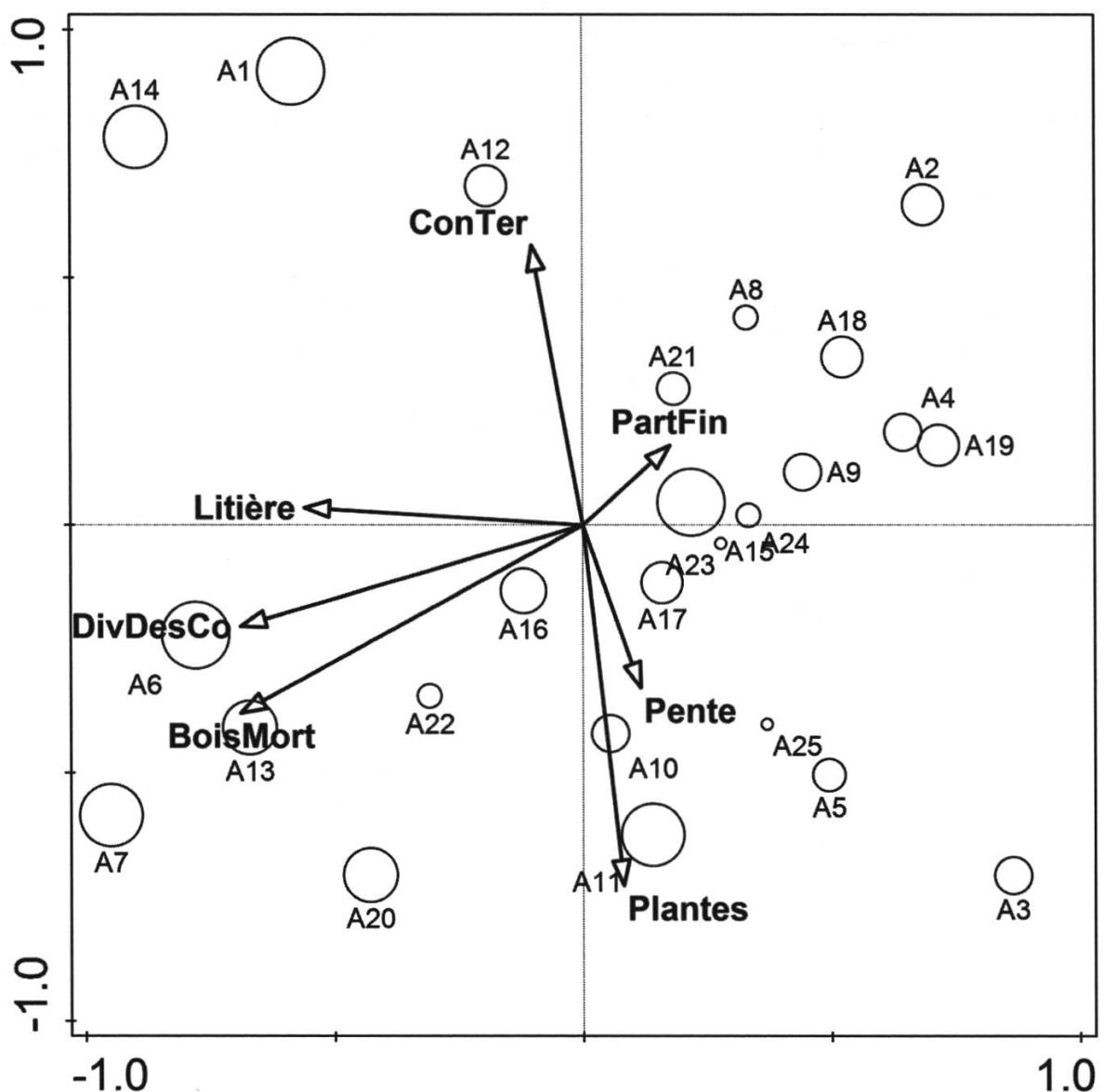


Figure 3 : Résultats de la CCA : influence des variables environnementales sur les sources. ConTer : Contact terre-eau, DivDesCo : diversité des courants, PartFin : particules fines.

Relation entre espèces et variables environnementales

Toutes les variables environnementales prises ensemble expliquaient 37,7% de la variation des espèces dans l'analyse de correspondance canonique (CCA). Les premiers quatre axes canoniques expliquaient 28% de la variation des espèces (la variation ajustée expliquée est de 74%) (**Table 3**). Sur tous les axes, le test de permutation était

significatif (pseudo-F: 1,4, p: 0,002). La **quantité de bois mort** expliquait 7,4% de la variation des espèces dans les différentes sources et la **présence de plantes** influençait 6,4% de la variation des espèces. La **diversité des courants** et l'intensité du **contact entre la terre et l'eau** expliquaient respectivement 5,8 % et 5,7 % de la variation.

Beaucoup de **bois mort** a été trouvé. Certaines espèces étaient particulièrement influencées par cette variable écologique (**Figure 2**): des espèces de trichoptères, telles que *Rhyacophila laevis*, l'éphéméroptère *Habrophlebia lauta* et les coléoptères *Elmis* sp. et *Oulimnius* sp. Des plécoptères du genre *Leuctra* sp. ont aussi été trouvées dans des sources avec beaucoup de bois mort.

La **présence de plantes** influençait les sources A11, A10, A25, A5 et A3. Ce facteur écologique a une influence positive sur de nombreuses espèces telles que les coléoptères *Agabus* sp. et *Haliplus* sp., l'espèce de plécoptères *Protonemura* sp., l'éphéméroptère *Habrophlebia fusca* et le trichoptère *Beraea pullata*. Nous pouvons aussi voir qu'il y a plusieurs espèces qui étaient influencées autant par le bois mort que par les plantes, par exemple le plécoptère *Nemurella pictetii* et le trichoptère *Apatania muliebris* (**Figure 3**).

La **diversité des courants** influençait particulièrement la source A6, en combinaison avec le facteur écologique du bois mort. Ce facteur écologique avait spécialement une influence sur des espèces de la famille d'éphéméroptères des *Baetidae*.

Le dernier facteur écologique classifié comme statistiquement significatif par l'analyse CCA est le **contact terre-eau**. Quand le niveau d'eau est très bas et qu'il n'y a qu'un film d'eau sur les pierres, comme c'était le cas dans les sources A1, A12 et A14, le contact terre-eau est haut. Cette condition écologique particulière influençait beaucoup d'espèces, par exemple le diptère *Dixa* sp., l'éphéméroptère *Electrogena ujhelyii* et la larve du coléoptère *Limnius* sp.

Discussion

Principaux facteurs écologiques de répartition des espèces dans les sources:

Le bois mort peut avoir plusieurs influences très différentes sur son environnement. Il est, par exemple, source de nourriture, il influence le courant et peut être aussi, soit un support pour les espèces des sources soit un obstacle en réduisant l'accès humain à une source et à un ruisseau de source. La récente création dans cette région d'une réserve naturelle locale (Zone de biodiversité de la Vallée de la Trème) et la tempête Lothar en 1999 (**Figure 4**) ont créé des sites avec du bois mort, des buissons et des troncs entremêlés, qui ne sont pas aisés d'accès. Un de ces sites est situé au Châble des Puits (sources A6, A7 et A13, toutes avec beaucoup de bois morts) et l'autre sur le flanc est des Alpettes (A20). La carte géographique électronique de la Confédéra-

tion Suisse indique que dans les 2 sites, les bois ont été endommagés par la tempête Lothar (lignes hachurées grises dans la **figure 4**). Sauf A20, ces sources sont toutes dans des petites rivières (châbles). Nous pouvons également noter que la source A16, qui présente une légère influence du bois mort, se situe entre un bois qui a été endommagé par Lothar et la route construite à ce moment là pour évacuer les troncs (en traitillé à droite de la carte). Cependant, nous pouvons voir sur la carte que la même région qui héberge les sources A6, A7 et A13, héberge également les sources A9 et A24. Pourquoi ne sont elles pas influencées par le bois mort ? La source A9 est située en dehors de la zone de dommages causés par la tempête Lothar. Pour la source A24, nous supposons que les forestiers ont probablement pu mieux sortir le bois mort à cet endroit. Sur le terrain, cette source A24 ne présentait pas de bois mort, ni dans la source, ni à proximité.

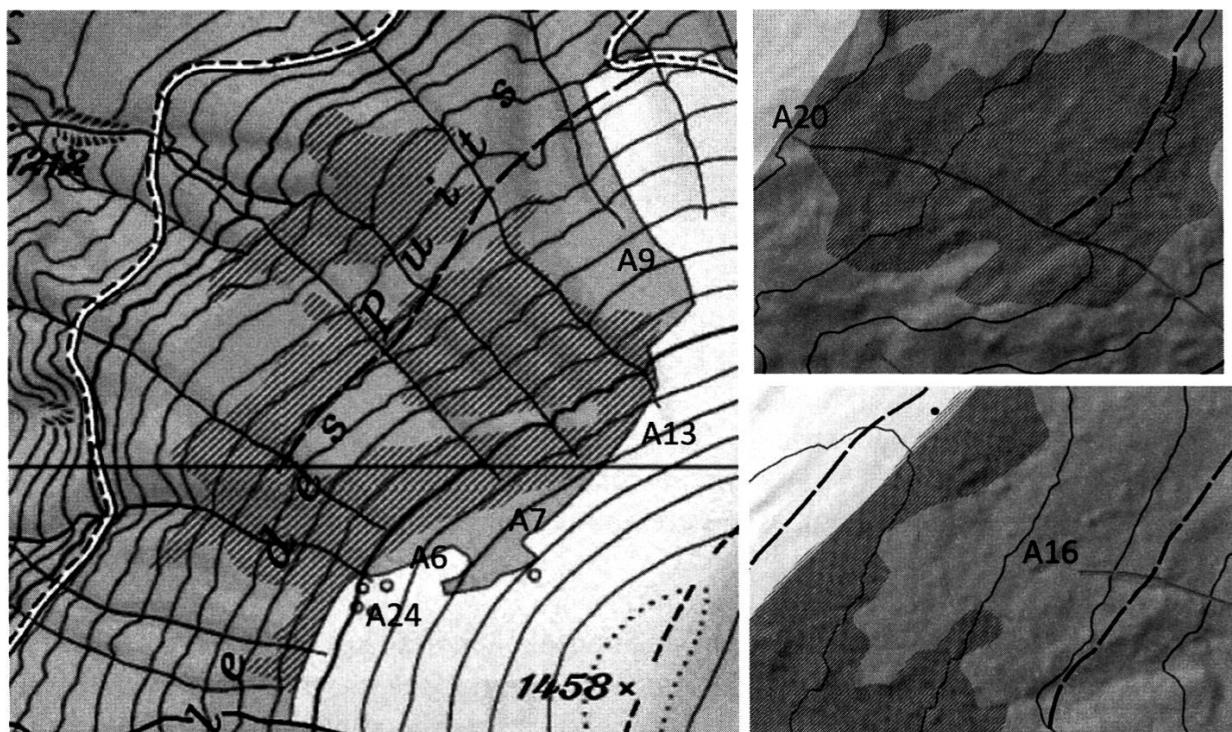


Figure 4 : Localisation des sources A24, A6, A7, A13, A9, A20 et A16 par rapport aux dommages causés par la tempête Lothar en 1999

Les sources principalement influencées par le bois mort, A6, A7, A13 et A20 sont effectivement difficile d'accès à cause du bois mort et de nombreux buissons et arbres toujours entremêlés. La difficulté d'accéder à ces sources peut aussi empêcher non seulement les humains, mais aussi de grands mammifères, tels sangliers, chevreuils ou cerfs de piéteriner ces sources. De plus, la création récente d'une réserve naturelle à cet endroit peut avoir une nette influence, puisque laisser plus de bois mort pour les insectes est une volonté des directeurs de cette réserve dans un but de préservation des espèces.

Le trichoptère *Rhyacophila laevis* montre une claire préférence pour les petites sources froides de montagne (WARINGER & GRAF 2011), spécialement les sources non polluées, les ruisseaux de sources et les rivières sans perturbations humaines (WARINGER 1989). Cette espèce est une relique du tertiaire ayant résisté aux glaciations et qui vit à l'heure actuelle dans les sources, parce que la température des autres eaux courantes serait trop froide en hiver (CANTONATI et al. 2006). Cette espèce se trouve spécialement dans des sources avec une forte couverture de mousse et c'est la seule espèce phytophage de toutes les *Rhyacophila* (CANTONATI et al. 2006). Comme les mousses poussent souvent sur le bois mort, ce dernier peut devenir aussi le support préféré d'espèces qui préfèrent en général les mousses comme substrat. Bien que cette espèce n'ait pas été découverte près des Préalpes, elle a récemment été trouvée sur quatre sites : dans le parc naturel du Diemtigtal (MEYER 2015), au nord-ouest du lac de Neuchâtel, près de Martigny et dans le canton d'Uri (CSCF). Elle est considérée comme vulnérable (LUBINI et al. 2012), et notre enregistrement est donc d'une importance spéciale.

Les coléoptères *Elmis* aussi présents dans cet environnement démontrent la diversité des habitats créés par le bois mort : ils aiment l'eau courante, bien qu'ils soient toujours liés à leurs substrats, qui peuvent être des plantes aquatiques, des mousses, des pierres ou du bois mort (KLAUSNITZER 1984). Les femelles adultes pondent leurs œufs dans des endroits protégés, comme le bois mort, des fissures de pierres, ou dans le fourreau des trichoptères (GERECKE & FRANZ 2006).

Les plantes ont généralement des effets positifs sur les organismes des sources. Cependant, il peut être ajouté que certaines plantes ont un impact négatif sur les organismes des sources, telle la grassette commune, qui est carnivore (*Pinguicula vulgaris*, source A12).

Nous avons trouvé dans les sources riches en plantes des espèces dont les larves se nourrissent de plantes, telles que *Habrophlebia fusca*. Les larves de cette espèce vivent dans des flaques d'eau et dans des cours d'eau riches en plantes (LUDWIG 1989). *Habrophlebia fusca* est en danger critique d'extinction (CR) en Suisse (LUBINI et al. 2012). Certaines espèces du genre de plécoptères *Protonemura* se nourrissent aussi de restes de plantes et d'algues (LUDWIG 1989). Le trichoptère *Beraea pullata* tombe aussi dans cette catégorie (HOLM et al. 1989). La larve du coléoptère *Haliplus* grimpe autour des plantes et pique les filaments d'algue ou de plantes avec ses mandibules afin d'en aspirer le contenu (BELLMANN 1988). Les femelles de cette espèce pondent leurs œufs dans les tiges ou dans des parties de plantes endommagées (GERECKE & FRANZ 2006).

Les espèces *Nemurella pictetii* et *Apatania muliebris* sont toutes les deux influencées à la fois par les plantes et le bois mort et sont associées avec des conditions écologiques similaires : des rivières intermittentes et des sources permanentes (WOOD et al. 2005). Selon (HOLM et al. 1989), *Nemurella pictetii* se nourrit de feuilles mortes, de plantes et spécialement de mousses. *Apatania muliebris* se nourrit d'algues épili-

thiques et de cyanobactéries en les grattant de leurs substrats (BECKER 1990, SZCZESNY 1986). Cette espèce est listée comme en danger en Suisse (LUBINI et al. 2012).

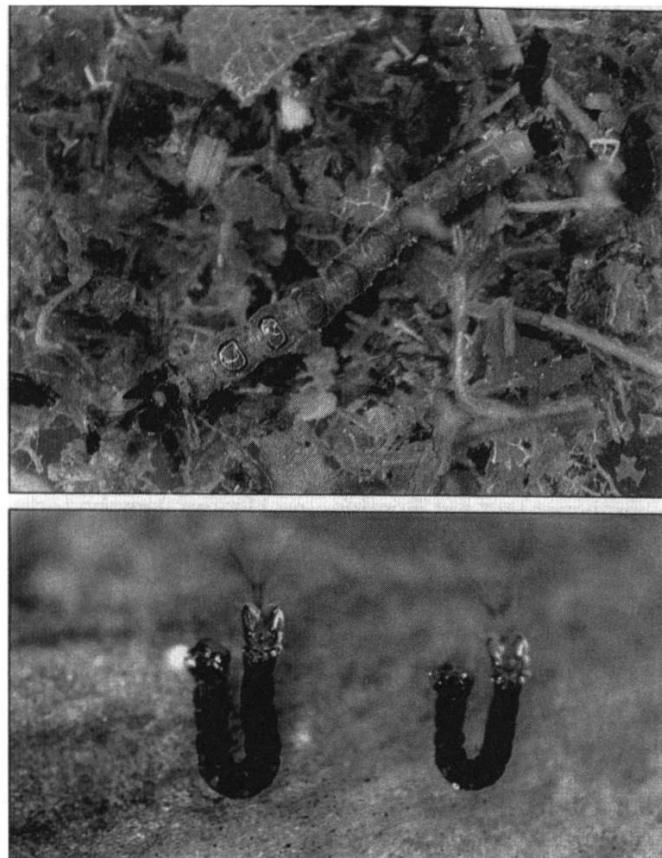


Figure 5 : *Dixa* sp.: larva and typical U-shape position (GERECKE & FRANZ 2006)

Le meilleur exemple d'espèce adaptée à un **contact terre-eau** intensif est le diptère du genre *Dixa*, dont les larves sont étroitement en lien avec la frontière entre l'eau et l'air (ILLIES 1978), et le ménisque de l'eau (**Figure 5**) (GERECKE & FRANZ 2006). Ces larves vivent principalement à la surface des pierres, du moment que ces pierres sont éclaboussées par l'eau et les larves de *Dixa* ont ainsi un fin film d'eau à disposition. Elles peuvent aussi vivre sur des plantes ou des feuilles à moitié immergées (BREHM & MEIJERING 1990). Les larves peuvent prendre une position caractéristique en U avec les deux extrémités à la limite de la surface de l'eau, là où s'accumulent les petites particules desquelles se nourrissent les larves (GERECKE & FRANZ 2006).

Certaines espèces étaient influencées à la fois par le contact terre-eau et par la présence de feuilles mortes : *Gammarus fossarum*, *Odontocerum albicone* et *Plectronemria geniculata*. L'amphipode *Gammarus fossarum* est une espèce qui préfère ramper au fond de l'eau plutôt que de nager (MALZACHER 1981). Elle se nourrit principalement de feuilles mortes (SCHMEDTJE & KOHMANN 1992). Le trichoptère *Odontocerum albicone* a un fourreau particulier, consistant de grossières particules de sable et scellé de l'extérieur du fourreau avec des fils de soie (WALLACE et al. 2003,

ELLIOT 1970). Ce fourreau n'a pas de filet interne de soie, à la différence des fourreaux des autres trichoptères. Cette structure particulière pourrait être une adaptation pour vivre dans des dépôts de gravier instable, où *Odontocerum albicorne* se nourrit principalement de feuilles mortes et de sédiments organiques (SCOTT 1958). *Plectrocnemia geniculata* est une espèce des sources de forêts, où elle construit des filets et mange des débris (TOBIAS & TOBIAS 1981, DÉCamps 1968).

Sources des Préalpes du canton de Fribourg dans le contexte de l'écologie des sources alpines

D'autres études conduites sur les sources des Alpes Suisses ont identifiés de nombreux facteurs écologiques responsables de la diversité des espèces dans les sources investiguées (WIGGER & VON FUMETTI 2013, VON FUMETTI & FELDER 2014, WIGGER et al. 2015). Un important résultat de ces études démontre que les sources avec une structure d'habitat en mosaïque arborent la plus haute diversité (WIGGER & VON FUMETTI 2013). Dans notre étude, les sources qui avaient beaucoup de bois mort étaient parmi les sources où nous avons trouvé le plus grand nombre d'espèces. Dans certaines des études effectuées dans les Alpes Suisses, l'écoulement est aussi cité comme un facteur écologique déterminant (VON FUMETTI & FELDER 2014). La composition du substrat est aussi connue pour jouer un rôle important dans la détermination de l'assemblage des espèces dans une source (ILMONEN & PAASIVIRTA 2005, VON FUMETTI et al. 2006, VON FUMETTI & FELDER 2014). Les feuilles mortes et les plantes peuvent aussi être vues comme des substrats particulièrement importants, car elles peuvent à la fois servir de source de nourriture et de substrat « formant l'habitat ». Le contact terre-eau est lié à la saturation en oxygène des sources. La saturation en oxygène, avec la conductivité électrique, a été trouvée comme étant un facteur écologique déterminant dans le Parc National Suisse (VON FUMETTI & FELDER 2014). Dans l'ensemble, les assemblages de macroinvertébrés trouvés dans les sources de la région des Alpettes et du Niremont sont similaires à ceux détectés dans d'autres régions préalpines ou subalpines de Suisse (BONTA 2012, MEYER 2015).

Conclusion

Les conditions écologiques des sources investiguées dépendent fortement de leur localisation. Certaines sources étaient en relativement bon état. Deux sources étaient à proximité immédiate de chalets d'alpage et donc exposées à une contamination azotée due soit directement au bétail, soit à un épandage de purin. Curieusement, des espèces spécialistes des sources étaient aussi présentes dans ces deux sources (A15 et A18). Il pourrait être conclu qu'une contamination azotée n'a pas de forte influence négative sur la faune des macroinvertébrés de ces deux sources. Ce serait en accord avec les observations effectuées dans le Röserental dans le Jura Suisse tabulaire (VON FUMETTI 2014). Cependant, la source A15 est partiellement protégée par sa géographie. Elle est située dans une petite dépression et n'est donc pas totalement accessible au bétail. Par contraste, beaucoup d'autres sources étaient dégradées à différents

degrés, mais principalement à cause du piétinement du bétail. Par exemple, la source A4 était totalement piétinée par le bétail et presque détruite. 38% des individus trouvés dans cette source étaient des *Oligochaeta*, un taxon tolérant aux perturbations (GERECKE & FRANZ 2006). Dans la source A19, piétinée par des chevaux, 48% des organismes trouvés étaient des *Oligochaeta* et 43% étaient *Pisidium* spp. Une telle accumulation d'espèces tolérantes aux perturbations est un indicateur pour la haute dégradation de ces sources. La source A5 n'avait presque pas d'organismes et était pratiquement complètement dégradée. Un autre important problème pour les sources de la région est leur usage comme ressource d'eau potable. Par exemple, la source A25 est probablement utilisée comme eau potable, puisqu'il y a un tertre artificiel de pierres juste au-dessus de la source, très probablement une réserve d'eau.

A notre connaissance, c'est la première étude des sources naturelles de la région pré-alpine des Alpettes et du Niremont. Nous avons mis en évidence les facteurs écologiques importants pour les espèces de cette région : le bois mort, les plantes, la diversité des courants et le contact terre-eau qui ont tous une influence sur les macro-invertébrés habitants les sources. L'étude montre que des sources individuelles hébergent des espèces qui sont fortement adaptées aux habitats des sources et/ou sont potentiellement menacées d'extinction. A cause de la forte pression d'utilisation dans la région, les sources naturelles sont menacées par des impacts d'origine humaine. Une plus grande protection de ces habitats vulnérables serait désirable, tout en conciliant dans la zone non protégée, une utilisation agricole, touristique et sportive responsable.

Bibliographie

- BECKER, G. (1990), Comparison of the dietary composition of epilithic Trichoptera species in a first order stream. *Archiv für Hydrobiologie* **120**, 13–40.
- BELLMANN, H. (1988), *Leben in Bach und Teich. Pflanzen und Wirbellose der Kleingewässer*. Steinbachs Naturführer.
- BONTA, S. (2012), *Natural Characterization of Springs and their biocenosis in the canton Ticino (Southern Swiss Alps)*. Master's thesis, Universität Basel, Department Umweltwissenschaften, Forschungsgruppe Biogeographie.
- BOSCHI, C. (2011), *Die Schnecken der Schweiz*. Haupt Verlag.
- BREHM, J. & MEIJERING, M. (1990), *Fliessgewässerkunde. Einführung in die Limnologie der Quellen, Bäche und Flüsse*. Quelle & Meyer Verlag.
- CANTONATI, M., GERECKE, R. & BERTUZZI, E. (2006), Springs of the Alps - sensitive ecosystems to environmental change from biodiversity assessments to long-term studies. *Hydrobiologia* **562**, 59–96.
- DÉCamps, H. (1968), Vicariences écologiques chez les Trichoptères des Pyrénées. *Annales de Limnologie* **4**, 1–50.
- EISELER, B. (2005), Identification key to the mayfly larvae of the German Highlands and Lowlands. *Lauterbornia* **53**.

- ELLIOTT, J. (1970), The diet activity patterns of caddis larvae (Trichoptera). *Journal of Zoology* **160**, 279–290.
- GERECKE, R. & FRANZ, H. (2006), *Quellen im Nationalpark Berchtesgaden*. Forschungsbericht 51.
- GERECKE, R., HASEKE, H., KLAUBER, J. & MARINGER, A. (2012), Quellen. *Schriften des Nationalparks Gesäuse* 7.
- HOLM et al., ed. (1989), *Ökologischer Bewertungsrahmen Fliessgewässer (Bäche) für die Naturräume der Geest und des Östlichen Hügellandes in Schleswig-Holstein*. Landesamt für Naturschutz und Landschaftspflege des Landes Schleswig-Holstein.
- ILMONEN, J. & PAASIVIRTA, L. (2005), Benthic macrocrustacean and insect assemblages in relation to spring habitat characteristics: patterns in abundance and diversity. *Hydrobiologia* **533**, 99–113.
- KLAUSNITZER, B. (1984), *Käfer im und am Wasser*. A. Ziemsen Verlag.
- LUBINI, V., KNISPEL, S., SARTORI, M., VICENTINI, H. & WAGNER, A. (2012), *Rote Liste Eintagsfliegen, Steinfliegen, Köcherfliegen, Gefährdete Arten der Schweiz, Stand 2010*. Confédération Suisse / CSCF.
- LUBINI, V., KNISPEL, S. & VINÇON, G. (2014), *Plecoptera: identification*. Fauna Helvetica 27.
- LUBINI, V., STUCKI, P., VICENTINI, H. & KÜRY, D. (2014), *Bewertung von Quell-Lebensräumen in der Schweiz, Entwurf für ein Struktur und faunistisches Verfahren*. Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt BAFU.
- LUDWIG, H. (1989), *Tiere unserer Gewässer: Merkmale, Biologie, Lebensraum, und Gefährdung*. BLV - Verlag.
- MALZACHER, P. (1981), Beitrag zur Insekten - Faunistik Südwestdeutschlands: Ephemeroptera – Eintagsfliegen. *Mitt. Entomol. Ver. Stuttgart* **16**, 41–72.
- MEYER, G. (2015), *Struktur und Nutzung der Quellen im Naturpark Diemtigtal*. Master's thesis, Universität Basel, Departement Umweltwissenschaften, Forschungsgruppe Biogeographie.
- RAMETTE, A. (2007), Multivariate analyses in microbial ecology. *FEMS Microbiol Ecol* **62**, 142–160.
- ROBINSON, C., SCHMID, D., SVOBODA, M. & BERNASCONI, S. (2008), Functional measures and food webs of high elevation springs in the swiss alps. *Aquatic Sciences* **70**, 432–445.
- SCHMEDTJE, U. & KOHMANN, F., eds (1992), *Bestimmungsschlüssel für die Saprobiert-DIN-Arten (Makroorganismen)*. Vol. 2/88 *Informationsbericht des Bay. Landesamts für Wasserwirtschaft*.
- SCOTT, D. (1958), Ecological studies on the Trichoptera of the river Dean, Cheshire. *Archiv für Hydrobiologie* **54**(3), 340–392.
- STANFORD, J., WARD, J. & ELLIS, B. (1994), *Groundwater Ecology*. Academic Press, chapter Ecology of the alluvial aquifers of the flathead river, Montana (USA).
- SZCZESNY, B. (1986), Caddisflies (Trichoptera) of running waters in the Polish North Carpathians. *Acta Zoologica Cracoviana* **29**, 501–586.

- TACHET, H., RICHOUX, P., BOURNAUD, M. & USSEGLIO-POLATERA, P. (2010), *Invertébrés d'eau douce - systématique, biologie, écologie*. CNRS editions.
- TER BRAAK, C.J.F. & SMILAUER, P. (1998), *CANOCO reference manual and user's guide to canoco for windows: software for canonical community ordination (version 5)*. Microcomputer Power, Ithaca.
- TOBIAS, W. & TOBIAS, D. (1981), Trichoptera Germanica. *Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg, Frankfurt am Main*.
- VAN DER KAMP, R. (1995), The hydrogeology of springs in relation to the biodiversity of spring fauna: a review. *Journal of the Kansas Entomological Society* **68**, 4–17.
- VON FUMETTI, S. (2014), Naturnahe Quellen und ihre Lebensgemeinschaften – zehn Jahre Forschung im Röserental bei Liestal. *Regio Basiliensis* **55**(3), 101–114.
- VON FUMETTI, S. & FELDER, S. (2014), Faunistic Characterization of Alpine springs in the Swiss National Park. *eco.mont* **6**, 23–29.
- VON FUMETTI, S., NAGEL, P., SCHEIFHACKEN, N. & BALTES, B. (2006), Factors governing macrozoobenthic assemblages in perennial springs in north-western Switzerland. *Hydrobiologia* **568**, 467–475.
- ILLIES, J. (1978), *Limnofauna Europaea*. Gustav Fischer Verlag.
- WALLACE, I., WALLACE, B. & GN, P. (2003), A key to the case-bearing caddis larvae of Britain and Ireland. *Freshwater Biological Association Scientific Publication* **61**.
- WARINGER, J. (1989), The abundance and temporal distribution of caddisflies (Insecta:Trichoptera) caught by light traps on the Austrian Danube from 1986 to 1987. *Freshwater Biology* **21**, 387–399.
- WARINGER, J. & GRAF, W. (2011), *Atlas of Central European Trichoptera Larvae*. Erik Mauch Verlag.
- WEBB, D., WETZEL, M., REED, P., PHILIPPE, L. & YOUNG, T. (1998), *Studies in Crenobiology: The Biology of Springs and Springbrooks*. Backhuys, chapter The macroinvertebrate biodiversity, water quality, and hydrogeology of ten karst springs in the Salem Plateau of Illinois, pp. 39–48.
- WEIGAND, E. (1998), Biodiversität in alpine Karstquellsystemen (Nationalpark, Kalkalpen, Oesterreich). In ‘Deutsche Gesellschaft für Limnologie (DGL)’, Vol. Tagungsbericht 1998, pp. 149–213.
- WIGGER, F., L, S., NAGEL, P. & VON FUMETTI, S. (2015), Macroinvertebrate assemblages of natural springs along an altitudinal gradient in the Bernese Alps, Switzerland. *Annales de Limnologie* **51**, 237–247.
- WIGGER, F. & VON FUMETTI, S. (2013), Quellen und ihre Lebensgemeinschaften in den Berner Alpen. *Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Bern* **NF70**, 117–131.
- WOOD, P., GUNN, J., SMITH, H. & ABAS-KUTTY, A. (2005), Flow permanence and macroinvertebrate community diversity within groundwater dominated headwater stream and springs. *Hydrobiologia* **545**, 55–64.
- ZOLLHÖFER, J. (1997), Quellen die unbekannten Biotope: erfassen, bewerten, schützen. *Bristol Schriftenreihe* **6**.

Sources Internet

[MapGeoAdmin 2015a] MapGeoAdmin (2015a), ‘Mapgeoadmin’.
https://map.geo.admin.ch/?topic=ech&lang=fr&bgLayer=ch.swisstopo.pixelkarte-farbe&layers=ch.swisstopo.zeitreihen,ch.bfs.gebaeude_wohnungs_register,ch.bafu.wrz-wil-druhezonen_portal,ch.swisstopo.swisstlm3d-wanderwege,ch.blw.niederschlagshaushalt&layers_visibility=false,false,false,false,true&layers_timestamp=18641231,,,&catalogNodes=532,614,628&layers_opacity=1,1,1,1,0.75&X=159440.00&Y=561900.00&zoom=5

[MapGeoAdmin 2015b] MapGeoAdmin (2015b), ‘Mapgeoadmin’.
https://map.geo.admin.ch/?topic=ech&lang=fr&bgLayer=ch.swisstopo.pixelkarte-farbe&layers=ch.swisstopo.zeitreihen,ch.bfs.gebaeude_wohnungs_register,ch.bafu.wrz-wil-druhezonen_portal,ch.swisstopo.swisstlm3d-wanderwege,ch.swisstopo.geologie-geologischer_atlas&layers_visibility=false,false,false,false,true&layers_timestamp=18641231,,,&catalogNodes=532,533&X=158860.00&Y=563560.00&zoom=7

[MapGeoAdmin 2015c] MapGeoAdmin (2015c), ‘map.geo.admin.ch’.
https://map.geo.admin.ch/?topic=ech&lang=fr&bgLayer=ch.swisstopo.pixelkarte-grau&layers=ch.swisstopo.zeitreihen,ch.bfs.gebaeude_wohnungs_register,ch.bafu.wrz-wil-druhezonen_portal,ch.swisstopo.swisstlm3d-wanderwege,ch.swisstopo.vec25-gewaessernetz,ch.bafu.waldschadenflaechen-lo-thar&layers_visibility=false,false,false,false,true,true&layers_timestamp=18641231,,,&X=156990.00&Y=563450.00&zoom=6&catalogNodes=532,583,614

Table 1 : Localisation des 25 sources étudiées, altitude, coordonnées, type de source, pH, conductivité électrique, oxygène (%) et température.

Site	Région	Altitude	Coordonnées Suisses	Type de sources	pH	El. Conductivité [µS/cm; 25°C]	O2 (%)	Température [C°]
A1	Petit Niremont / Côte à Rami	1350	2562046/1562695	Rhéocrène	8	450	n.m.	9.4
A2	Les Alpettes	1360	2563898/1158691	Rhéocrène	7.8	450	59.9	9.4
A3	Les Alpettes, vers Derrière Plané	1370	2563717/1158592	Rhéocrène	7.4	370	59.8	11
A4	La Queue des Alpettes	1328	2564577/1159317	Rhéocrène	7.9	384	67.5	12.9
A5	Route de la Goille au Cerf	1395	2563957/1157159	Rhéocrène	8.4	383	66	11
A6	Le Châble des Puits	1410	2563461/1156862	Rhéocrène	8.2	191	53.4	9.4
A7	Le Châble des Puits	1395	2563478/1156925	Rhéocrène	8	202	46.2	9.7
A8	Route de la Goille au Cerf	1350	2564034/1157385	Rhéocrène	7.4	117	n.m.	9.9
A9	Le Châble des Puits	1357	2563746/1157283	Rhéocrène	7.1	77	n.m.	9
A10	Route de la Goille au Cerf	1386	2563837/1157294	Rhéocrène	7.9	162	n.m.	10.8
A11	Les Alpettes	1'343	?	Rhéocrène	8.1	180	n.m.	10.1
A12	Le Creux des Enfers	1330	2564052/1158866	Héocrène	8.2	589	79	7.4
A13	Le Châble des puits	1387	2563631/1157088	Rhéocrène	8.2	269	89.6	8
A14	Derrière Plané	1244	2563557/1159006	Rhéocrène	8.2	364	n.m.	10
A15	Les Alpettes	1319	2563559/1158123	Rhéocrène	n.m.	357	n.m.	9.8
A16	La Queue des Alpettes	1350	2564702/1159288	Rhéocrène	8.2	61	87	10.1
A17	Les Alpettes	1325	2563865/1157924	Héocrène	6.8	84	84.8	11.9
A18	La Goille au Cerf	1355	2564412/1156947	Rhéocrène	7.8	285	77.1	12.3
A19	La Goille au Cerf	1407	2564415/1156921	Rhéocrène	7.3	105	71	12.3
A20	Les Alpettes	1390	2564395/1158641	Rhéocrène	8.4	411	71.3	9.3
A21	Le Niremont	1510	2562985/1155433	Héocrène	n.m.	454	61.4	9.6
A22	Le Niremont	1428	2563258/1155995	Rhéocrène	8.4	20	90.2	4.9
A23	Le Châble des Puits	1444	2563432/1156160	Rhéocrène	8.1	45	88.2	4.9
A24	Le Châble des Puits	1391	2563463/1156863	Rhéocrène	n.m.	218	n.m.	9.3
A25	Mollie Vieille	1'280	2562761/1157017	Rhéocrène	7.7	520	89	10.4

Table 2 : Espèces trouvées par sources

Table 2 : Espèces trouvées par sources (Suite)

Spring	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18	A19	A20	A21	A22	A23	A24	A25
Trichoptera	5	1	0	1	0	3	0	0	0	0	0	0	3	1	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Beraea dira</i> McLachlan, 1875	0	1	1	0	0	0	0	2	6	1	0	0	0	10	0	0	4	10	0	0	0	0	0	0	0
<i>Beraea pullata</i> (Curtis, 1834)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
<i>Beraea</i> spp. Stephens, 1833	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Leptoceridae	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Limnephiliidae	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Apatania muliebris</i> McLachlan, 1866	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Limnephilus centralis</i> Curtis, 1834	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Micropterna lateralis</i> (Stephens, 1837)	5	2	0	3	0	0	0	1	0	0	0	0	1	2	0	4	2	1	1	1	0	0	0	4	0
<i>Odontocerum albicorne</i> (Scopoli, 1763)	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
<i>Parachironia picicornis</i> (Picetet, 1834)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Polycentropodidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Plectrocnemia geniculata</i> McLachlan, 1871	3	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0
<i>Rhyacophila laevis</i> Picetet, 1834	0	0	0	0	0	1	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
<i>Sericostoma cf. personatum</i> Kirby & Spence, 1826	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	4	0	0	0	0
Diptera	4	2	0	0	1	0	0	2	0	5	2	3	2	5	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0
Chironomidae	22	6	8	4	1	9	13	10	6	2	15	11	0	3	41	1	0	9	2	128	7	4	7	11	7
Ceratopogonidae	1	0	0	4	3	2	0	2	3	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	8	0	0	4	0
<i>Dixa</i> spp. Meigen, 1818	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Limoniidae	0	4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0
<i>Pedicia</i> spp. Latreille, 1809	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Psychodidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Simuliidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Tipulidae	2	0	0	0	0	0	0	0	7	0	1	0	0	0	0	1	0	3	0	1	2	1	0	0	0

*Table 3: Résumé des eigenvalue de la CCA, % cumulatif de variance expliqué par les quatre premiers axes canoniques et variables environnementales significatives identifiées par une « forward selection » des variables explicatives. ** = $P < 0.005$; * = $P < 0.05$*

	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4
Eigenvalue	0.2434	0.1918	0.1367	0.1102
Corrélation entre espèce et environnement	0.8532	0.9427	0.9562	0.9063
% cumulatif de variance				
Variation expliquée (cumulative)	9.85	17.87	23.4	27.87
Variation expliquée ajustée (cumulative)	26.12	47.37	62.04	73.87
	<i>F ratio</i>			
Significance de tous les axes canoniques	1.4**			
Variables environnementales significatives:				
Bois mort	1.8**			
Plantes	1.6*			
Diversité des courants	1.5*			
Contact terre-eau	1.5*			