

Les insectes méconnus des torrents alpins. Diversité des Chironomidés (*Insecta : Diptera*) dans le système glaciaire du Haut-Rhône valaisan

Brigitte Lods-Crozet

Bull. Murithienne 129/2011 (2012) : 43-61

Brigitte Lods-Crozet

Musée cantonal de Zoologie

Palais de Rumine

CH - 1014 Lausanne

brigitte.lods@vd.ch

Les rivières glaciaires abritent une faune particulière à la sortie des glaciers. Les insectes diptères chironomidés en sont les premiers colonisateurs et de nombreuses espèces sont adaptées à ce type de milieu. Nous avons ainsi étudié la composition et la diversité de ces insectes le long d'un gradient altitudinal, en lien avec les types d'eau (glaciaire, fonte de neige, souterraine) et la stabilité du substrat dans deux haut-bassins versants haut-valaisans. Cette étude a révélé la présence de 95 espèces, représentant environ 25 % du pool d'espèces en Suisse et dont 36 sont nouvelles pour la Suisse. Les deux torrents glaciaires sont colonisés par une faune très spécialisée, préférentiellement des *Diamesinae* et *Orthoclaadiinae*, qui représentent environ 50 % de la faune collectée. Le long de ces deux corridors, une mosaïque d'habitats (bryophytes, zone hygropétrique, source rhéocrène, etc) permet la création d'une multitude de niches occupées par des espèces très diverses qui représente l'autre 50 % de la faune. Les systèmes des torrents glaciaires peuvent être considérés comme uniques parmi les systèmes lotiques et les plaines alluviales glaciaires représentent des hot-spots au niveau environnemental et de la biodiversité aux vues de leur considérable hétérogénéité spatio-temporelle.

Neglected insects in alpine streams - Chironomid diversity (*Insecta : Diptera*) in the upper Rhône system (Valais). Specific fauna colonize glacial-fed streams in headwaters near the glacier mouth. Chironomid insects are the first colonizers and the well-adapted to these environmental conditions. The chironomid composition and diversity were examined along an altitudinal gradient and the water sources conditions (glacial-fed, snow-melt and groundwater origins) as well as substrate stability in two high catchments in the upstream Rhône valley. Ninety six species were identified, amounting to about 25 % of the Swiss species pool and including thirty six new species for Switzerland. The two glacial-fed streams were colonized by a specific chironomid fauna, mostly *Diamesinae* and *Orthoclaadiinae*, accounting to about 50 %. Along these corridors, a mosaic of habitats (bryophyta,

Mots clés

Alpes, *Chironomidae*, biodiversité, insectes aquatiques, glacier

Schlüsselwörter

Alpes, *Chironomidae*, biodiversité, aquatic insects, glacier
Schlüsselwörter

hygropetric zone, rheocren springs, etc) permitted the creation of a variety of ecological niches for very diverse species which accounted for the remaining 50 % of the fauna. The glacial-fed stream systems should be consider as unique among the stream systems and the proglacial floodplains acted as hot-spots at environmental and biodiversity level if considering their substantial spatio-temporal heterogeneity.



INTRODUCTION

Les glaciers et leurs torrents associés sont des éléments marquants du paysage valaisan. Dans la zone alpine qui s'étend au-dessus de la limite des arbres et jusqu'aux neiges persistantes, les cours d'eau ont des caractéristiques propres. Trois grands groupes se distinguent par différents types d'habitats. Premièrement les torrents du kryal, alimentés par les eaux de fonte des glaciers et définis par STEFFAN (1971) comme caractérisés par des températures basses (0 à 4°C), des fluctuations de débit journalières et saisonnières élevées, des charges en matière en suspension (farine glaciaire) fortes et une faible stabilité du lit. Deuxièmement les cours d'eau du crénal, alimentés par les eaux souterraines, peuvent se rencontrer à toutes les altitudes. Ils présentent des conditions environnementales assez constantes et calmes comparées à celles des torrents du kryal. Ils se caractérisent par des eaux relativement chaudes, peu turbides et par un substrat stable. Ils résultent de l'émergence de nappes alluviales (sources alluviales) ou de nappes de versant qui émergent le long du corridor fluvial (sources rhéocrènes) (WARD 1994). Finalement les cours d'eau du rhithral sont alimentés par la fonte des neiges et les précipitations. Les habitats rhithraux sont caractérisés par des températures de l'eau comprises entre 5 et 10°C en été et ne présentent pas les fortes fluctuations journalières de débit, d'instabilité du lit et de turbidité des eaux du kryal. Le milieu alpin présente en général une mosaïque d'habitats kryaux, crénaux et rhithraux, fournissant ainsi une grande diversité de conditions environnementales à la flore et à la faune aquatiques.

Depuis le milieu du XX^e siècle on assiste à un recul général des glaciers dans les Alpes. En Suisse, la perte en surfaces glacées depuis 1976 est évaluée à 27.2% (MAISCH & al. 2000). La faune du kryal dans les régions alpine et arctique a été étudiée par STEINBÖCK (1934), THIENEMANN (1941), SAETHER (1968), BRETSCSKO (1969), STEFFAN (1971) et SERRA-TOSIO (1973) qui ont observé que les torrents glaciaires étaient dominés par les insectes Chironomidae de la sous-famille des Diamesinae et spécialement du genre *Diamesa*. L'intérêt pour l'écologie des rivières glaciaires a ensuite augmenté au cours des dernières décennies. Selon un modèle conceptuel théorique proposé par MILNER & PETTS en 1994, une succession longitudinale des communautés d'invertébrés s'établit à l'aval des glaciers (fig. 1). Dans ce modèle, ces changements faunistiques sont reliés à deux paramètres clés, la température de l'eau et la stabilité du substrat qui augmentent en s'éloignant du front du glacier. Les communautés d'invertébrés vont par hypothèse devenir plus complexes à mesure que les conditions environnementales sont moins rudes. Ces types de réponses ont ensuite été étudiés *in situ* le long d'un gradient latitudinal dans les systèmes glaciaires européens des Pyrénées jusqu'aux milieux arctiques du Svalbard afin d'affiner le modèle dans le cadre du projet européen AASER (Arctic and Alpine Stream Ecosystem Research) (CASTELLA & al. 2001, LODS-CROZET & al. 2001, MILNER & al. 2001, LODS-CROZET & al. 2007). L'étude des facteurs de discontinuité naturelle comme les confluences (KNISPEN & CASTELLA 2003) ou la présence d'un lac dans le système glaciaire sur les successions faunistiques ont aussi été étudiés dans les Alpes (HIEBER & al. 2002).

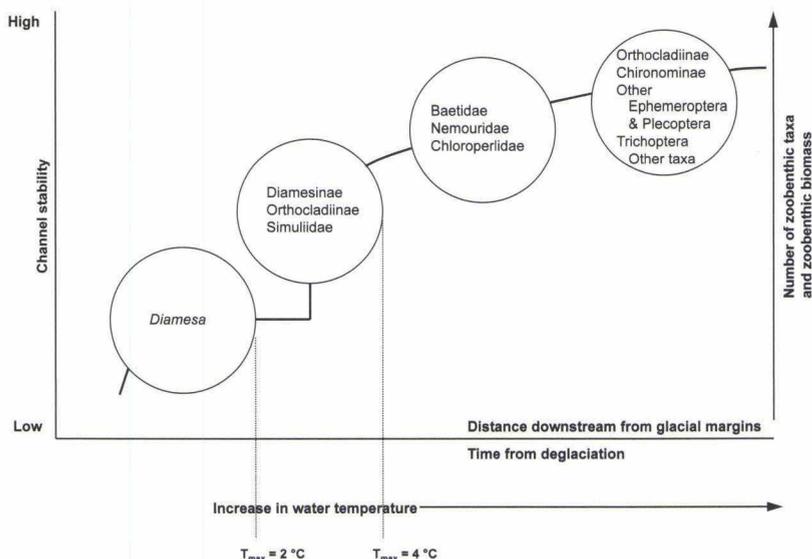


FIGURE 1 – Modèle conceptuel original de Milner & Petts (1994) décrivant le gradient des macroinvertébrés amont-aval dans les rivières glaciaires en fonction de la température de l'eau et de la stabilité du substrat.

Dans le cadre de ces projets alpins, ce sont les bassins du Muttbach, premier affluent d'importance du Rhône ainsi que le Rhône depuis sa confluence avec le Muttbach et dans la plaine alluviale de Gletsch, qui ont fait l'objet d'investigations approfondies entre 1996 et 2000. Les nombreuses données environnementales et faunistiques récoltées ont servi de base à l'étude sur la biodiversité, l'habitat préférentiel et la distribution longitudinale des insectes diptères *Chironomidae* de ces milieux particuliers de torrents alpins alimentés par plusieurs types d'eau.

MÉTHODES

SITE D'ÉTUDES

Le Rhône est alimenté par le glacier du même nom (surface 10.2 km², altitude 2 123-3 620 m) et coule le long d'une haute falaise granitique de 400 m (pente 63 %) avant d'entrer dans la plaine alluviale du « Gletschbode » (altitude moyenne 1 790 m, longueur 2 000 m, pente 2.6 %) (KNISPEL & CASTEL-

LA 2003) (**fig. 2 et 7**). Au cours du dernier siècle, le retrait du glacier a laissé une plaine avec des dépôts morainiques et un cours d'eau à chenaux de type tressé. Cette plaine alluviale fait partie de l'inventaire fédéral des zones alluviales d'importance nationale n° 1215 et a été déclarée zone protégée (arrêté cantonal du 10 mars 1999) (OFEV 2005). Les objectifs de protection citent explicitement la préservation du système alluvial et des espèces végétales et animales de ces milieux, ainsi que la conservation du paysage naturel et de ses caractéristiques géomorphologiques.

Le Muttbach rejoint le Rhône en amont de la plaine alluviale du « Gletschbode » en rive gauche. Cette rivière de 3 600 m de longueur, premier affluent majeur du Rhône, prend sa source au pied d'un petit glacier proche du col de la Furka (surface 0.6 km², altitude 2 582-3 000 m) (**fig. 3 et 7**). Le bassin du Muttbach est caractérisé par un sous-bassement composé de gneiss et d'amphibolites, incluant un affleurement carbonaté dans sa partie médiane.

FIGURE 2 – Vue vers l'aval de la plaine alluviale du Rhône en amont de Gletsch avec au premier plan à droite le Rhône dévalant la falaise et sur la gauche la confluence avec le Muttbach. Photo : B. Lods-Crozet





FIGURE 3 – Vue de la vallée du Muttbach avec le glacier de Mutt au fond et au premier plan la station M4. Photo: B. Lods-Crozet

ÉCHANTILLONNAGE BIOLOGIQUE

A chaque période et station, 10 échantillons sont collectés avec un filet emmanché standard (30 x 30 cm) de 250 µm d'ouverture de maille et maintenu sur le fond. Le substrat est remué pendant 30 secondes. Avant chaque prélèvement, la granulométrie dominante, la profondeur d'eau et la vitesse du courant sont prises pour chaque échantillon. En laboratoire, le matériel constitué par des larves et pupes d'insectes diptères *Chironomidae* est ensuite sorti, compté et déterminé jusqu'au niveau taxonomique le plus proche possible de l'espèce, selon la disponibilité de la littérature spécifique (LANGTON 1991,

SCHMID 1993, WIEDERHOLM 1983, 1986, 1989). En plus, des tentes Malaise sont installées pendant au minimum 5 jours lors de chaque campagne sur toutes les stations, exceptées la station M2 du Muttbach, afin de récolter des insectes adultes (**Fig. 8**). Seuls les mâles adultes sont identifiables à l'espèce. Pour le Rhône, l'exploration au niveau spécifique s'est basée principalement sur les pupes et l'exploitation des adultes présents dans les tentes Malaise est moins approfondie que sur le Muttbach. La station M2 n'est pas incluse dans l'analyse de la faune à cause du manque de données sur les insectes adultes. Le matériel collecté a été déposé au Musée cantonal de Zoologie à Lausanne.

TABLE 1 – Caractéristiques générales des stations amont - aval sur le Muttbach et le Rhône dans le Gletschbode (période juin - octobre); nd : non disponible.

Station	M1	M5	MT	R1	R2	R4
année	1996-97	1997	1996-97	1998	1998-99	1999
Distance au glacier (m)	5	3500	/	1000	1350	1500
Altitude (m)	2600	1800	2500	1820	1780	1760
Température moyenne journalière de l'eau (°C)	1.1	4.2	4.2	2.3	2.8	2.6
Température de l'eau maximum (°C)	6.4	10.7	9.4	3.8	5.4	6.4
Taille moyenne substrat (D50) (cm)	4.5	6.0	4.0	19	11.7	8.6
Conductivité moyenne (µS/cm)	35.2	47	119	10.5	50.4	40
Conductivité min - max (µS/cm)	22 - 113	2 - 171	95 - 139	3.1 - 17.8	12.9 - 81.7	18 - 60
Matières en suspension min - max (mg/L)	1 - 10957	0 - 873	0 - 80	13 - 845	9 - 556	nd
Chlorophylle-a (mg/m ²)	0.16	3.05	1.1	2	2.4	3.6
Débit min - max (L/s) - période 1996 - 2000	1 - 170	180 - 12600	1 - 18	nd	nd	400 - 19400



FIGURE 8 – Tente Malaise installée en bordure du tributaire (MT) du Muttbach. Photo: Emmanuel Castella

RÉSULTATS ET DISCUSSION

CONDITIONS ENVIRONNEMENTALES DES SITES

Les deux cours d'eau alimentés par des eaux glaciaires ont des caractéristiques communes (**Tableau 1**). Ils présentent des températures moyennes n'excédant pas 4°C, des variations extrêmes de débit générées par les processus de gel et dégel et un substrat instable. En été, les deux torrents présentent de fortes fluctuations journalières de débit et de turbidité, exprimée ici par la concentration en matières en suspension, avec des pics en début d'après-midi. Les concentrations ioniques, mesurées par la conductivité, sont en moyenne faibles mais montrent cependant de fortes variations journalières liées au grand flux d'eau de fonte glaciaire estivale chargée en MES. Dans le Rhône, les valeurs restent très basses et inférieures à 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$, dénotant l'apport presque exclusif d'eau glaciaire. Dans le Muttbach, des concentrations de plus de 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à l'automne, expriment l'influence d'apports d'eaux souterraines même à la source. Dans sa partie inférieure, la rivière a encore une signature glaciaire avec des pics de débits et de matières en suspension estivaux, mais aussi une période d'alimentation par des eaux de fonte de

neige et aussi une contribution significative par les eaux souterraines (LODS-CROZET & *al.* 2001). Les communautés d'algues sont dominées par les diatomées, les cyanobactéries et la chrysophyte *Hydrurus foetidus*, une algue filamenteuse très répandue dans les eaux froides. La biomasse algale est souvent maximale de l'automne jusqu'en janvier lorsque les rivières glaciaires sont les plus stables et les moins turbides (UELINGER & *al.* 2010).

Le petit tributaire situé en amont du Muttbach à 2500 m a une signature totalement différente, caractéristique de cours d'eau alimenté par des eaux souterraines. Les eaux sont limpides, avec un débit constant et une conductivité plus élevée (119 $\mu\text{S}/\text{cm}$) et plus stable. Les températures moyennes proches de 4°C sont peu fluctuantes.

RICHESSSE FAUNISTIQUE DES DEUX BASSINS

Sur l'ensemble des stations étudiées, 91 taxons de chironomidae (larves, pupes et adultes mâles) ont été récoltés entre 1996 et 2000 (**tab. 2**). Ces taxons appartiennent à 5 sous-familles, 35 genres et 87 espèces/groupes d'espèces. Ce sont les *Orthocladinae* qui sont les plus riches en taxons (24 genres, 60 espèces/groupes d'espèces), suivi par les *Diamesinae*

(5 genres, 18 espèces), les autres sous-familles (*Tanytopodinae*, *Prodiamesinae* et *Chironominae-Tanytarsini*) étant faiblement représentés.

Dans le bassin du Muttbach, 70 taxons ont été relevés et dans le Rhône 53 avec 32 taxons communs aux 2 bassins. Les genres les plus fréquemment retrouvés (dans plus de 50 % des échantillons) sont : *Diamesa*, *Chaetocladius*, *Eukiefferiella*, *Limnophyes*, *Parakiefferiella* et *Smittia*. *Pseudokiefferiella parva* et *D. gr. cinerella* sont les *Diamesinae* les mieux représentés dans le petit affluent du Muttbach alimenté par les eaux souterraines à 2 500 m d'altitude.

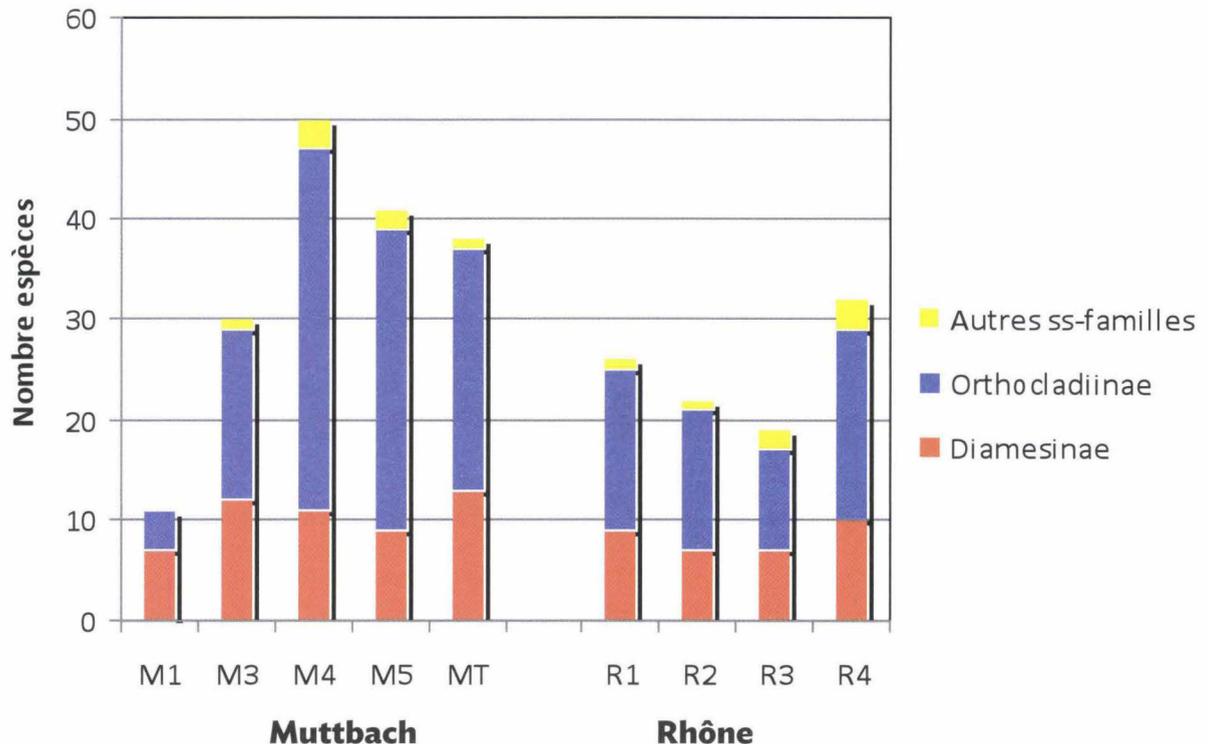
FAUNE DE LA VALLÉE DU MUTTBACH

Les premiers colonisateurs du Muttbach en M1 (à 5 m de la sortie du glacier) sont des larves du genre *Diamesa* : *D. steinboeckii*, *D. nowickiana*, *D. goetghebueri* et *D. lindrothi*, qui sont capables de vivre dans les premiers mètres à la sortie d'un glacier et de compléter rapidement leur cycle de vie dans des conditions abiotiques extrêmes. Pour les adultes, 2 autres genres ont été récoltés à cette station dans les tentes Malaise : *Pseudodiamesa branickii* et *Pseudokiefferiella parva*. Ce sont des espèces plutôt caractéristiques de la zone crénale

et leur piégeage à cet endroit ne signifie pas qu'elles habitent les eaux kryales. Par contre, la présence d'espèces d'*Orthoclaadiinae* des genres *Eukiefferiella* et *Tvetenia* est attestée dans les eaux de température inférieure à 2°C et proche de la source dans les eaux kryales. La diversité des espèces est faible (11) ainsi que leurs abondances (Fig. 9).

Un fort gradient longitudinal amont – aval s'observe le long de la Mutt sur la richesse spécifique et la succession des espèces. A seulement 350 m du glacier de la Mutt (station M3), 30 espèces sont recensées, incluant une plus grande diversité de *Diamesinae* (5 genres, 12 espèces) et d'*Orthoclaadiinae* (10 genres, 17 espèces) et la présence d'un insecte adulte mâle de *Chironominae-Tanytarsini* : *Paratanytarsus tenellulus*. Plus en aval encore, soit à 1 700 et 3 500 m du glacier et respectivement à 2 090 et 1 800 m d'altitude (stations M4 et M5), la richesse faunistique est la plus élevée trouvée sur l'ensemble du système Muttbach-Rhône avec respectivement 50 et 41 espèces. L'amélioration des conditions environnementales comme la température, la meilleure stabilité du substrat et la diversification des substrats et des sources d'eau concourent certainement à cette richesse.

FIGURE 10 – Richesse spécifique des chironomidés sur 4 stations du Muttbach (M1-M5) et de son tributaire MT et sur 4 stations du Rhône.



C'est également au niveau de la station M4 que furent trouvés, en 1997, 4 autres taxons (*Macropelopia* sp., *Zavrelimyia* sp., *Heterotrissocladius* gr. *marcidus*, *Psectrocladius sordidellus*) dans des petits affluents principalement alimentés par les eaux souterraines (ILG & al. 2001).

La faune du petit tributaire MT, pourtant situé à 2 500 m d'altitude, est très riche en espèces (38) de *Diamesinae* et *Orthoclaadiinae*. Trois espèces caractéristiques de rivières plutôt froides sont spécifiques à cet affluent : *Cricotopus* (*N.*) *lygropis*, *Rheosmittia spinicornis* (LANGTON 1991) et *Krenopsectra* sp. (WIEDERHOLM 1983). Les conditions environnementales plus stables de température, débit et transparence des eaux ont permis à un plus grand nombre d'espèces d'achever leur cycle de vie dans ce type de milieu malgré la rudesse du climat due à l'altitude.

FAUNE DU RHÔNE

DANS LA PLAINE ALLUVIALE DE GLETSCH

Les chironomidés du Rhône ont été recensés dans 4 stations sur un secteur d'environ 800 m de longueur en aval de la falaise jouxtant le glacier et englobant la confluence avec le Muttbach. 53 espèces sont présentes dont 21 qui sont spécifiques à ce secteur. Un gradient longitudinal faible s'établit le long du cours (26 à 32 espèces) certainement lié à la distance plus grande au glacier (1 000 m en aval pour la première station) par rapport aux stations du Muttbach. En effet, outre le genre *Diamesa* bien représenté (9 espèces), 16 espèces d'*Orthoclaadiinae* et une espèce de *Tanytarsini* (*Tanytarsus* gr. *mendax*) sont présentes dans la station R1 en amont de la confluence avec le Muttbach. Les espèces les plus fréquentes sont *Diamesa latitarsis*, *D. cinerella* et *Eukiefferiella minor/fittkai*. *Diamesa incallida*, espèce caractéristique des zones de source (crénon), a été collecté uniquement à cet endroit.

Dans la station la plus aval R4 apparaissent aussi des espèces typiques d'altitude plus basse ou plus ubiquiste comme *Prodiamesa olivacea*, *Rheocricopus effusus*, *Micropsectra contracta*. Les larves de *Corynoneura* (*C. celtica* et *C. lobata*) et *Thienemanniella casperi* colonisent également cette station ; elles sont capables de vivre dans des interstices entre les galets ou les blocs immergés et leur très petite taille leur permet de résister au fort courant (WIEDERHOLM 1983).

Une autre espèce, nouvelle pour la Suisse, *Paratrissocladius nivalis* typique du crénon est récoltée dans un petit affluent en rive droite du Rhône et le rejoignant en aval de R4.

ÉCOLOGIE ET HABITATS DES ESPÈCES

La flexibilité et l'opportunisme sont un maître mot pour les insectes vivant dans les conditions extrêmes (DANKS 1999). Les larves de *Chironomidae* occupent souvent de petites dépressions à la surface des rochers au-dessus desquelles elles tissent une toile pour éviter d'être délogées ou écrasées si un bloc venait à se retourner. D'autres comme *Diamesa* gr. *latitarsis* et *D. steinboeckii* avec leurs longs pseudopodes anaux munis de fortes griffes peuvent s'accrocher aux aspérités de la roche. La plupart des larves de *Chironomidae* des eaux glaciaires se nourrissent d'algues diatomées qui recouvrent d'une mince pellicule le substrat. Les algues filamenteuses comme les Chrysophytes *Hydrurus foetidus* fournissent aussi ressource et protection contre le courant et la nature abrasive des sédiments en suspension. Ces algues peuvent donc jouer un rôle de refuge pour les *Diamesinae* et *Orthoclaadiinae* des zones amont des rivières glaciaires.

Une tendance nette au mélanisme est observée à tous les stades (principalement noir ou brun-noir) dans les torrents glaciaires. Cette adaptation favorise l'absorption thermique et permet aussi de se protéger des rayons UV-B (LENCIONI 2004). Certaines espèces de *Diamesa* (*D. steinboeckii*) ont développé d'autres stratégies pour la survie en condition froide comme la forte réduction de la taille des ailes et des antennes chez les mâles et l'agrandissement des pattes (SAETHER 1968, SERRA-TOSIO 1974). Les *Chironomidae* ont aussi développé des stratégies comme la diapause ou l'accélération des processus d'émergence et de reproduction. *Diamesa zernyi* par exemple est capable de compléter son cycle de vie en moins de 40 jours à 1 800 m d'altitude (SERRA-TOSIO 1973).

D'autres adaptations sont connues pour lutter contre le gel chez les insectes aquatiques. Certaines espèces ont mis en place des mécanismes cellulaires permettant la déshydratation des tissus pour éviter la formation de cristaux destructeurs, d'autres synthétisent des protéines anti-gel au niveau de l'hémolymphe (LENCIONI 2004).

La faune des deux torrents glaciaires est très spécialisée et adaptée aux conditions très rudes de haute altitude. Elle représente environ 50 % des espèces collectées (cf. **Tab. 2**). Le long de ces 2 corridors, une mosaïque d'habitats (bryophytes en bordure de torrent, zone madicole, source rhéocrène, zone de confluence, zone hyporhéique) a permis la création d'une multitude de niches occupées par des espèces très diverses qui représente l'autre 50 % de la faune

identifiée à partir du matériel collecté en majeure partie dans les tentes Malaise.

En outre, il faut préciser que le Rhône en amont de sa confluence avec le Muttbach a une signature typiquement kryale avec des températures toujours inférieures à 4°C, une conductivité basse (10.5 µS/cm en moyenne). Il abrite une faune de *Chironomidae* plus diversifiée que celles de la station M1 sur le Muttbach (26 contre 11 espèces). La distance au glacier, de l'ordre de 1 000 m, est certainement une explication à cette différence de richesse en espèces. Parmi les autres insectes, KNISPEL (2004) note la présence de larves de plécoptères, éphéméroptères et trichoptères et d'autres diptères pendant les périodes de faibles débits.

Le Muttbach comme affluent entrant dans la plaine alluviale est peu important en terme hydrologique mais représente un élément structurant à plusieurs niveaux. Il crée des meilleures conditions de température pour l'accomplissement du cycle vital des insectes, un milieu plus stable, et globalement moins chargé en matières en suspension. Il constitue un réservoir d'espèces qui pourront, quand les conditions sont opportunes, coloniser certains habitats dans le Rhône amont ou aval.

A noter encore que le milieu crénel est souvent plus riche en espèces car les conditions environnementales sont plus stables. Le même constat est relaté par FÜREDER & al. (2005) dans les rivières alpines autrichiennes.

DISTRIBUTION DES ESPÈCES

La plupart des espèces récoltées ont une distribution paléarctique, mais certaines d'entre elles sont endémiques des Alpes. Ainsi, le *Diamesinae Boreoheptagyia alpina*, espèce dont les larves ont une tête munie de protubérances caractéristiques du genre, vit dans les torrents à fort courant dans la zone hygropétrique (ou madicole) mouillée par les embruns ou balayés irrégulièrement par l'écume de la zone d'éclaboussure (splash line en anglais) (SERRA-TOSIO 1989). Les petites larves de l'*Orthocladinae Heleriella doriei* colonisent, elles, les eaux torrentueuses glaciaires alpines (SERRA-TOSIO 1967).

Stilocladius montanus a pour sa part une distribution limitée aux massifs de type alpin (Alpes, Pyrénées). Leurs larves vivent dans les sources froides (4 – 10°C) du crénel en été et au niveau du rhithron en hiver. Elles tissent puis vivent dans un tube lâche fait d'algues diatomées et de débris fixé sur les pierres ou les mousses (ROSSARO 1984, ROSSARO & al. 2006).

D'autres espèces comme *Diamesa lindrothi*, *D. nowickiana* sont sténotherme-froid et strictement adaptées aux conditions rudes des torrents à prédominance glaciaire.

ESPÈCES NOUVELLES POUR LA SUISSE

L'étude a permis de recenser 40 nouvelles espèces pour la Suisse (11 *Diamesinae*, 26 *Orthocladinae*, 3 *Chironominae-Tanytarsini*) dans le Muttbach et le Rhône. A cela s'ajoute une autre espèce nouvelle pour la Suisse (*Paratrichocladus nivalis*) collectée dans un petit affluent du Rhône (LODS-CROZET 1998, MERZ & al. 2001, 2006). Cette haute proportion de nouvelles espèces (10 % du nombre total d'espèces recensées en Suisse) montre que la faune des insectes *Chironomidae* de la zone alpine suisse est encore relativement mal connue et que les recherches sur cette famille d'insectes aquatiques est très peu développée en Suisse.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

La grande richesse spécifique rencontrée au niveau de la faune des chironomidae dans ces deux hauts bassins versants valaisans est impressionnante : près d'une centaine d'espèces, soit le 25 % de la faune répertoriée en Suisse sur une surface très réduite de l'ordre du kilomètre carré et cela entre 1 760 et 2 600 m d'altitude. Cette biodiversité remarquable peut s'expliquer en partie par la grande hétérogénéité des habitats et des conditions environnementales. Pour comparaison, 202 espèces ont été recensées dans les Alpes côté italien entre 900 m et la limite des glaciers (ROSSARO & al. 2006)

Comme attendu, les espèces du genre *Diamesa* sont les mieux adaptées pour faire face à la rigueur des eaux glaciaires. En particulier les espèces de *Diamesa gr. latitarsis*, *D. steinboeckii*, *D. nowickiana* apparaissent être les espèces les plus associées à des conditions de glacialité, caractérisées par une grande instabilité du chenal, des matières en suspension élevées et des températures très basses (LENCIONI & ROSSARO 2010). Ces espèces peuvent donc être considérées comme des bonnes sentinelles de changements environnementaux induits par le climat à l'avenir. Du fait de la nature insulaire des environnements alpins, de nombreuses espèces sténothermes d'eaux froides pourraient disparaître si la température augmentait au-delà d'un certain seuil et même de seulement quelques degrés (ROBINSON & al. 2007). La perspective d'un futur sans glaciers alpins n'est pas irréaliste.

car le signal de changements à long terme est déjà évident au niveau du volume glaciaire (HAEBERLI & *al.* 2002). La perte d'une source glaciaire risque d'avoir des impacts significatifs au niveau des communautés aquatiques (BROWN & *al.* 2007), par le passage d'une faune alpine caractéristique de milieux glaciaires à une faune typique d'apports d'eaux souterraines et de fonte de neige comme il est suggéré par des modèles de prédiction (ZEMP & *al.* 2006).

Les plaines alluviales sont probablement plus aptes à résister aux changements de régime hydrologique et d'occupation des sols amenés à se produire. Elles fournissent donc une certaine stabilité régionale à des écosystèmes très sensibles et susceptibles de changements rapides. Elles méritent alors une attention particulière dans les programmes de conservation et de gestion de la nature, comme cela a été le cas pour le « Gletschbode » en 1999.

Bien que les rivières glaciaires apparaissent instables, caractérisés par une biodiversité moindre que des rivières de plaine alimentées essentiellement par des eaux de pluie, les systèmes des torrents glaciaires peuvent être considérés comme uniques parmi les systèmes lotiques avec un cortège d'espèces de macroinvertébrés spécifiques et adaptés à des conditions physiques extrêmes. Les Chironomidae peuvent afficher une richesse spécifique considérable et les plaines alluviales glaciaires peuvent représenter des hot-spots au niveau environnemental et de biodiversité aux vues de leur considérable hétérogénéité spatio-temporelle (TOCKNER & *al.* 1997, WARD & *al.* 1998).

REMERCIEMENTS

L'étude sur le bassin du Muttbach a été financée par l'Office fédéral de l'éducation et de la science (OFES) dans le cadre du projet européen AASER (contrat n° ENV4-CT95-0164). Les recherches sur la plaine alluviale de Gletsch ont été soutenues par le Fonds national suisse de la recherche scientifique dans le cadre d'un subside du doctorat de Sandra Knispel (n°31.52533.97). Tous nos remerciements vont à Peter Langton, Bruno Rossaro, Ole Saether, Joël Moubayed-Breil, Endre Willassen, Elizabeth Stur et Tjorborn Ekrem pour la vérification taxonomique de plusieurs espèces. Nous remercions tous nos collègues du Laboratoire d'Ecologie et de Biologie Aquatique de l'Université de Genève et en particulier Emmanuel Castella, Christiane Ilg, Hélène Mayor-Siméant, Sandra Knispel et Diana Cambin pour leur aide sur le terrain et en laboratoire. Nous remercions également Sandra Knispel, Michel Sartori et Régine Bernard pour la relecture critique du manuscrit.

TABL. 2 (PAGES SUIVANTES) – Faune des insectes diptères Chironomidae (larves, pupes et mâles adultes) dans le système Muttbach - Rhône (1800 - 2600 m) de 1996 à 2000. Fréquence (%) des espèces par sites-date; N-CH: espèce nouvelle pour la Suisse; HD: Habitats dominants (KR: kryal; CR: crénal; RT: rhithral; MA: madicole; ST: semi-terrestre). Surlignage jaune: espèces recensées dans le Muttbach uniquement; surlignage en rose: espèces recensées dans le Rhône seulement.

	Années			1996-97	1996-97	1996-97	1997-98	1996-97	1998-00	1999-00	1999	1999-00	
	Nombre de sites-dates			6	7	6	6	6	14	19	12	21	
	Rivière			MUTTBACH				Tributaire Mutt	RHÔNE				
	Distance du glacier (m)			5	350	1700	3500	/	1000	1250	1550	2000	
	Altitude (m)			2600	2400	2090	1800	2500	1820	1780	1770	1760	
Sous-famille / Tribu / Genus	Species / Stations	N-CH	HD	M1	M3	M4	M5	MT	R1	R2	R3	R4	
<i>Tanypodinae</i>													
<i>Krenopelopia</i>	<i>binotata</i> (Wiedemann, 1817)		KR			17							
<i>Diamesinae</i>													
<i>Boreoheptagyia</i>	<i>alpicola</i> Serra-Tosio, 1989	*	KR			33	17						
	<i>legeri</i> (Goetghebuer, 1933)	*	KR		14	17	33						
<i>Pseudodiamesa</i>	<i>branickii</i> (Nowicki, 1873)		KR	17	14	17		17				5	
<i>Diamesa</i>	<i>steinboeckii</i> Goetghebuer, 1933		KR	17				33	17	14	21	17	10
	<i>bertrami</i> Edwards, 1935		KR					33	67	21	21	17	19
gr. <i>aberrata</i>	<i>nowickiana</i> Kownacki & Kownacka, 1975	*	KR	17	29				33				
	<i>incallida</i> (Walker, 1856)	*	CR							7			
gr. <i>latitarsis</i>	<i>goetghebueri</i> Pagast, 1947	*	KR	17	57	83	50	17		21			
	<i>laticauda</i> Serra-Tosio, 1964		KR		14	33	17	33		7	26	33	10
	<i>latitarsis</i> (Goetghebuer, 1921)	*	KR		14	33	33	17		79	63	67	52
	<i>lindrothi</i> Goetghebuer, 1941	*	KR	50	14	17		17		7			
gr. <i>cinerella</i>	<i>cinerella</i> Meigen, 1835	*	KR	33	43	50	83	83		57	63	50	71
	<i>tonsa</i> (Walker, 1856)		KR		14			17					
gr. <i>zernyi</i>	<i>bohemani</i> Goetghebuer, 1932	*	KR										5
	<i>vaillanti</i> Serra-Tosio, 1972	*	KR		14	33		83		14	5	17	19
	<i>zernyi</i> Edwards, 1933	*	KR			50		33					5

<i>Pseudokiefferiella</i>	<i>parva</i> (Edwards, 1932)		KR/CR	17	14	17	17	67			5	8	5
<i>Syndiamesa</i>	<i>edwardsi</i> (Pagast, 1947)		ST		14								
<i>Prodiamesinae</i>													
<i>Prodiamesa</i>	<i>olivacea</i> (Meigen, 1818)		RT										5
<i>Orthocladiinae</i>													
<i>Brillia</i>	<i>bifida</i> (Kieffer, 1909)		KR	17		17	17						5
<i>Bryophaenocladus</i>	<i>femineus</i> (Edwards, 1929)	*	MA		14			17					
	<i>subvernalis</i> (Edwards, 1929)	*	MA		14	17	17	33		7			
	<i>spp.</i>		MA			17	17	50					
<i>Chaetocladus</i>	<i>dentiforceps</i> (Edwards, 1929)	*	CR		43	50	17	50		7		8	
	<i>dissipatus</i> (Edwards, 1929)		CR			17	17						
	<i>laminatus</i> Brundin, 1947	*	CR							7			
	<i>melaleucus</i> (Meigen, 18181)		CR									8	5
	<i>perennis</i> ? (Meigen, 1830)	*	CR							7			
	<i>suecicus</i> (Kieffer, 1916)		CR			50	17	17				8	
	<i>spp.</i>		CR			17	33						
<i>Corynoneura</i>	<i>celtica</i> Edwards, 1924		KR/RT										5
	<i>lobata</i> Edwards, 1924		KR/RT										10
	<i>scutellata</i> Winnertz, 1846		KR/RT			17	17	17					
<i>Cricotopus</i> (<i>Nostocladus</i>)	<i>lygropis</i> Edwards, 1929	*	CR					17					
<i>Cricotopus</i> (<i>Isocladus</i>)	<i>gr. sylvestris</i>		RT				17						
<i>Eukiefferiella</i>	<i>brevicalcar</i> / <i>tirolensis</i>		KR			33							
	<i>coerulesens</i> (Kieffer, 1926)		KR			17	17				5	8	
	<i>devonica</i> (Edwards, 1929)		KR	17	14		17						
	<i>fittkau</i> Lehmann, 1972	*	KR	17	14	50	17			21	11	8	
	<i>fuldensis</i> Lehmann, 1972		KR			17							
	<i>lobifera</i> Goetghebuer, 1934		KR			50				14	26	25	14
	<i>minor</i> Edwards, 1929	*	KR				17				5		
	<i>minor/fittkau</i>		KR							43	32	42	43

	Années			1996-97	1996-97	1996-97	1997-98	1996-97	1998-00	1999-00	1999	1999-00
	Nombre de sites-dates			6	7	6	6	6	14	19	12	21
	Rivière			MUTTBACH				Tributaire Mutt	RHÔNE			
	Distance du glacier (m)			5	350	1700	3500	/	1000	1250	1550	2000
	Altitude (m)			2600	2400	2090	1800	2500	1820	1780	1770	1760
Sous-famille / Tribu / Genus	Species / Stations	N-CH	HD	M1	M3	M4	M5	MT	R1	R2	R3	R4
<i>Heleniella</i>	<i>dorieri</i> Serra-Tosio 1967	*	KR		43	33	17	17				
	<i>ornaticollis</i> (Edwards, 1929)	*	KR			17	17					5
	<i>serratosioi</i> Ringe, 1976		KR								8	
<i>Krenosmittia</i>	<i>camptophleps</i> (Edwards, 1929)	*	CR			33						
<i>Limnophyes</i>	<i>bidumus</i> Saether 1990	*	ST			67		50				
	<i>gurgicola</i> (Edwards, 1929)	*	ST						7			
	<i>natalensis</i> (Kieffer, 1914)	*	ST			33						
<i>Metriocnemus</i>	<i>eurynotus</i> (Holmgren, 1883)		ST			17		17				
	<i>fuscipes</i> (Meigen, 1818)		ST			17	17					
<i>Orthocladius</i> (<i>Eudactylocladius</i>)	<i>fuscimanus</i> (Kieffer, 1908)		MA				33	17	7	11		5
<i>Orthocladius</i> (<i>Euorthocladius</i>)	<i>luteipes</i> Goetghebuer, 1938	*	KR		43	33	50					
	<i>rivicola</i> Kieffer, 1911		KR				33			11		24
	<i>thienemanni</i> Kieffer, 1906	*	KR					17	7	11	17	14
<i>Orthocladius</i> (<i>Orthocladius</i>)	<i>frigidus</i> (Zetterstedt, 1838)		KR		14	17	67	33	7	11	17	48
<i>Parakiefferiella</i>	cf. <i>gracillima</i> (Kieffer, 1922)		CR		14	67		17				
<i>Parametriocnemus</i>	<i>stylatus</i> (Spaerck, 1923)		CR/RT			50	17		7			
<i>Paraphaenocladius</i>	<i>exagitans monticola</i> Strenzke, 1950	*	ST			17			7			
	<i>impensus</i> (Walker, 1856)	*	ST				17					
	<i>irritus</i> (Walker, 1856)	*	ST									5
	<i>pseudirritus</i> Strenzke 1950	*	ST				17					

	spp.		ST		14	17	50					
<i>Paratrichocladius</i>	<i>osellai</i> Rossaro, 1990	*	CR/RT									5
	<i>rufiventris</i> (Meigen, 1830)		CR/RT							5		
	<i>skirwithensis</i> (Edwards, 1929)		CR/RT			17		17				
<i>Parorthocladius</i>	<i>nudipennis</i> (Kieffer, 1908)		CR			33				11		10
<i>Pseudorthocladius</i>	<i>curtistylus</i> (Goetghebuer, 1921)		CR		14	50	33	33	7			
<i>Rheocricotopus</i>	<i>effusus</i> (Walker, 1856)		KR/RT									5
<i>Rheosmittia</i>	<i>spinicornis</i> (Brundin, 1956)	*	CR					17				
<i>Smittia</i>	<i>alpicola</i> Goetghebuer, 1941		ST		29	33	17	50				
	<i>alpilonga</i> Rossaro & Lencioni, 2000	*	ST			17	17	33	7			
	<i>edwardsi</i> Goetghebuer, 1932	*	ST		14	17						
	<i>leucopogon</i> (Meigen, 1804)		ST		14			17				
	<i>rostrata</i> Goetghebuer, 1962		ST		29	50	33	50				
<i>Stilocladius</i>	<i>montanus</i> Rossaro, 1979		CR									10
<i>Thienemanniella</i>	<i>casperi</i> Saether 2003	*	KR									5
<i>Tokunagaia</i>	<i>rectangularis</i> (Goetghebuer, 1940)	*	KR			33		17		5		
<i>Tvetenia</i>	<i>bavarica</i> (Goetghebuer, 1934)		KR						7	5		5
	<i>calvescens</i> (Edwards, 1929)		KR	17	14	17	17	17		5		5
	<i>verralli</i> (Edwards, 1929)		KR		14	33	17	33				
Tanytarsini												
<i>Krenopsectra</i>	spp.	*	CR					17				
<i>Micropsectra</i>	<i>contracta</i> Reiss, 1965		CR/RT									5
	<i>logani</i> (Johannsen, 1928)	*	CR/RT								4	
	<i>notescens</i> (Walker, 1856)		CR/RT			17						
	<i>pallidula</i> (Meigen, 1830)	*	CR/RT				17			5	4	10
	<i>radialis</i> Goetghebuer, 1939		CR/RT			17	17					
<i>Paratanytarsus</i>	<i>tenellulus</i> (Goetghebuer, 1921)		CR/RT		14							
<i>Tanytarsus</i>	<i>gr. mendax</i>		CR/RT						7			

BIBLIOGRAPHIE

- BRETSCHKO, G. 1969. Zür Hydrobiologie zentralalpiner Gletscherabflüsse. *Verhandlungen der Deutschen Zoologischen Gesellschaft*, 1968: 741-750.
- BROWN, L.E., D.M. HANNAH & A.M. MILNER 2007. Vulnerability of alpine stream biodiversity to shrinking glaciers and snowpacks. *Global Change Biology* 13: 958-966.
- CASTELLA, E., H. ADALSTEINSSON, J.E. BRITAIN, G.M. GIBSLASON, A. LEHMANN, V. LENCIONI, B. LODS-CROZET, B. MAIOLINI, A.M. MILNER, J.S. OLAFSON, S.J. SALTVEIT & D.L. SNOOK 2001. Macroinvertebrate richness and composition along a latitudinal gradient of European glacier-fed streams. *Freshwat. Biol.* 46: 1811-1831.
- DANKS, H.V. 1999. Life cycles in polar arthropods - flexible or programmed? *European Journal of Entomology* 96: 83-102.
- FÜREDER, L., M. WALLINGER & R. BURGER 2005. Longitudinal and seasonal pattern of insect emergence in alpine streams. *Aquatic Ecology* 39: 67-78.
- HAEBERLI, W., M. MAISCH & F. PAUL 2002. Mountain glaciers in global climate-related observations networks. *World Meteorological Organization Bulletin* 51: 18-25.
- HIEBER, M., C. T. ROBINSON, U. UEHLINGER & J. V. WARD 2002. Are alpine lake outlets less harsh than other alpine streams? *Arch. Hydrobiol.* 154: 199-223.
- ILG, C., E. CASTELLA, B. LODS-CROZET & P. MARMONIER 2001. Invertebrate drift and physico-chemical variables in the tributaries of the Mutt, a Swiss glacial stream. *Arch. Hydrobiol.* 151: 335-352.
- KNISPEL, S. 2004. *Temporal and spatial dynamics of benthic invertebrate communities in an alpine glacier-fed alluvial system*. Thèse de doctorat. Université de Lausanne, Suisse, 105 pp.
- KNISPEL, S. & E. CASTELLA 2003. Disruption of a longitudinal pattern in environmental factors and benthic fauna by a glacial tributary. *Freshwat. Biol.* 48: 604-618.
- LANGTON, P.H. 1991. *A Key to Pupal Exuviae of West Palaearctic Chironomidae*. Privately published by P.H. Langton, 5 Kylebeg Av., Mountsandel, Clerraine Co. Londonderry, Northern Ireland.
- LENCIONI, V. 2004. Survival strategies of freshwater insects in cold environments. *J. Limnol. suppl.* 1: 45-55.
- LENCIONI, V. & B. ROSSARO 2010. Chironomid assemblages in different alpine stream types. In: Ferrington, L.C. (ed.). *Proceedings of the XV International Symposium on Chironomidae*, pp. 95-102.
- LODS-CROZET, B. 1998. Chironomidae. In: MERZ, B., BÄCHLI, G., J.-P. HAENNI, & Y. GONSETH, (eds). *Diptera Check-list*. pp. 92-101. *Fauna Helvetica* 1.
- LODS-CROZET, B., E. CASTELLA, D. CAMBIN, C. ILG, S. KNISPEL & H. MAYOR-SIMÉANT 2001. Macroinvertebrate community structure in relation to environmental variables in a Swiss glacial stream. *Freshwat. Biol.* 46: 1641-1661.
- LODS-CROZET, B., V. LENCIONI, J.E. BRITAIN, L. MARZIALI & B. ROSSARO 2007. Contrasting chironomid assemblages in two high Arctic streams on Svalbard. *Fundamental and Applied Limnology* 170: 211-222.
- MAISCH, M., A. WIPF, B. DENNELER, J. BATTAGLIA & C. BENZ 2000. *Die Gletscher der Schweizer Alpen*. Gletscherhochstand 1850, aktuelle Vergletscherung, Gletscherschwund-Szenarien Zürich: VdF-Hochschulverlag ETH Zürich.
- MERZ, B., G. BÄCHLI & J.P. HAENNI 2001. Erster Nachtrag zur Checkliste der Diptera der Schweiz. *Mitt. Ent. Ges. Basel* 51: 110-140.
- MERZ, B., G. BÄCHLI & J.P. HAENNI 2006. Zweiter Nachtrag zur Checkliste der Diptera der Schweiz. *Mitt. Ent. Ges. Basel* 56: 135-165.
- MILNER, A.M. & G.E. PETTS 1994. Glacial rivers: physical habitat and ecology. *Freshwat. Biol.* 32: 295-307.
- MILNER, A.M., J.E. BRITAIN, E. CASTELLA & G.E. PETTS 2001. Trends of macroinvertebrate community structure in glacier-fed rivers in relation to environmental conditions: a synthesis. *Freshwat. Biol.* 46: 1833-1847.
- OFEV, 2005. Fiches zones alluviales n°8. In: OFEV et Service conseil zones alluviales. *Dossier zones alluviales: fiches*, pp. 1-8, Berne et Yverdon.
- ROBINSON, C., M. HIEBER, V. WENZELIDES & B. LODS-CROZET 2007. Macroinvertebrate assemblages of a high elevation stream/lake network with an emphasis on the Chironomidae. *Fundamental and Applied Limnology* 169: 25-36.
- ROSSARO, B. 1984. *Stilocladius Rossaro*, 1979 reconsidered, with description of the female and larvae of *S. montanus* Rossaro (Diptera, Chironomidae). *Ent. Scand.* 15: 185-190.
- ROSSARO, B. 1991. *Paratrachelocladus nivalis* (Goetgh.) described with observations on the taxonomic status of the species (Diptera, Chironomidae). *Bull. Zool. Agr. Bachic. Ser II* 23: 9-20.
- ROSSARO, B., V. LENCIONI, A. BOGGERO & L. MARZIALI 2006. Chironomids from Southern Alpine running waters: ecology, biogeography. *Hydrobiologia* 56: 231-246.
- SAETHER, O.A. 1968. Chironomids of the Finse Area, Norway, with special reference to their distribution in a glacier brook. *Arch. Hydrobiol.* 64: 426-453.
- SAETHER, O.A. & X.H. WANG 1995. Revision of the genus *Paraphaenocladus* Thienemann, 1924 of the world (Diptera, Chironomidae, Orthocladinae). *Ent. Scand. Suppl.* 48: 1-69.

- SCHMID, P.E. 1993. *A key to the larval Chironomidae and their instars from Austrian Danube region streams and rivers. Part 1: Diamesinae, Prodiamesinae and Orthoclaadiinae.* Wasser und Abwasser Suppl. 3/93: 1-513.
- SERRA-TOSIO, B. 1967. Sur les Orthoclaadiinae du genre *Heleniella* Gowin. *Deutsche Entomologische Zeitschrift* 14: 153-162.
- SERRA-TOSIO, B. 1973. Ecologie et biogéographie des Diamesini d'Europe (Diptera, Chironomidae). *Travaux du Laboratoire d'Hydrobiologie et de Pisciculture de Grenoble*, 63: 5-175.
- SERRA-TOSIO, B. 1974. La mouche des glaciers *Diamesa steinboeckii* Goetgh., insecte des montagnes à ailes réduites (Diptera, Chironomidae). *Trav. Scient. Parc National de la Vanoise* 5: 165-189.
- SERRA-TOSIO, B. 1989. Ecologie et biogéographie des Boreoheptagya (Diptera, Chironomidae, Diamesinae). *Acta Biol. Debr. Oecol. Hung.* 3: 289-294.
- STEFFAN, A.W. 1971. Chironomid (Diptera) biocoenoses in Scandinavian glacier brooks. *Canadian Entomologist* 103: 477-486.
- STEINBÖCK, O. 1941. Die Tierwelt der Gletschergewässer. *Zeitschrift Deutsch-Ostereich. Alpenvereins* 65: 263-275.
- THIENEMANN, A. 1941. Lappländische Chironomiden und ihre Wohngewässer (Ergebnisse von Untersuchungen im Abiskogebiet in Schwedisch-Lapland). *Arch. Hydrobiol. Suppl.* 17: 1-253.
- TOCKNER, K., F. MALARD, P. BURGHERR, C.T. ROBINSON, U. UELINGER, R. ZAH & J.V. WARD 1997. Physico-chemical characterization of channel types in a glacial flood plain (Val Roseg, Switzerland). *Arch. Hydrobiol.* 140: 433-463.
- UELINGER, U., C.T. ROBINSON, M. HIEBER & R. ZAH 2010. The physico-chemical habitat template for periphyton in alpine glacial streams under a changing climate. *Hydrobiologia* 657: 107-121.
- WARD, J.V. 1994. Ecology of alpine streams. *Freshwat. Biol.* 32: 277-294.
- WARD, J.V., G. BRETSCCHKO, M. BRUNKE, D.L. DANIELOPOL, J. GIBERT, T. GONSER & A.G. HILDREW 1998. The boundaries of river systems: the metazoan perspective. *Freshwat. Biol.* 40: 531-569.
- WIEDERHOLM, T. 1983. Chironomidae of the Holarctic region. Keys and Diagnoses. Part 1. *Larvae. Ent. Scand. Suppl.* 19: 1-449.
- WIEDERHOLM, T. 1986. Chironomidae of the Holarctic region. Keys and Diagnoses. Part 2. *Pupae. Ent. Scand. Suppl.* 28: 1-482.
- WIEDERHOLM, T. 1989. Chironomidae of the Holarctic region. Keys and Diagnoses. Part 3. *Adult males. Ent. Scand. Suppl.* 34: 1-532.
- ZEMP, M., W. HAEBERLI, M. HOELZLE & F. PAUL 2006. Alpine glaciers to disappear within decades? *Geophysical Research Letters* 33: 1-4.

GLOSSAIRE

Zone hygropétrique ou madicole : zone d'embruns ou de fins films d'eau ruisselant le long de cascades ou au bord des torrents.

Source rhéocrène : source qui coule directement hors du sol, l'eau étant souvent libérée sous pression ; elle forme directement un ruisseau.

Zone hyporhéique : ensemble des sédiments saturés en eau, situés au-dessous et sur les côtés des cours d'eau.