

Le macrobenthos du bassin versant Yèvre-Auron (France, Région Centre -Val de Loire) :

2. Répartition des Plécoptères et des Trichoptères [Plecoptera & Trichoptera]

par Anne-Sophie HESSE* & Sylvain MANGOT

Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement, Laboratoire d'hydrobiologie,
5 avenue Buffon, F - 45064 Orléans cedex 2

*Auteur correspondant : anne-sophie.hesse@developpement-durable.gouv.fr

Mots clés : Trichoptères, inventaire, région Centre - Val de Loire, Yèvre, Auron.

Les Trichoptères constituent un indicateur pertinent pour évaluer l'intégrité et la diversité des habitats d'un cours d'eau. Les Plécoptères sont très complémentaires des Trichoptères car très sensibles aux pollutions chimiques. Ces deux ordres ont par conséquent été utilisés dans cette étude pour évaluer l'état biologique du bassin versant Yèvre-Auron (région Centre -Val de Loire, France). Un inventaire des espèces de Trichoptères et de Plécoptères a été réalisé durant un an (2011/2012) à 29 stations. Seuls sept genres de Plécoptères ont été recensés, et uniquement sur les cours d'eau proches de leur état naturel et situés sur des portions préservées du bassin versant. Cela témoigne des fortes pressions qui ont été exercées sur le bassin. 37 espèces et 5 genres de Trichoptères appartenant à 16 familles ont été recensés sur le bassin versant ; les plus fortes richesses systématiques en Trichoptères ayant été observées dans les cours d'eau présentant une diversité en habitats élevée et un recouvrement en hydrophytes important. Aucun lien entre le cortège d'espèces de Trichoptères inventoriées à une station et les pressions chimiques qui s'y exercent n'a été mis en évidence. Cela peut suggérer que les Trichoptères sont de meilleurs indicateurs de la qualité physique d'un milieu que de sa qualité chimique.

Benthic macroinvertebrates from the Yèvre-Auron watershed (Centre -Val de Loire region, France): 2. distribution of stoneflies and caddisflies [Plecoptera & Trichoptera]

Keywords: Trichoptera, inventory, Centre – Val de Loire region, Yèvre, Auron.

Trichoptera are a good indicator for estimating integrity and diversity of rivers habitats while Plecoptera are a good indicator for evaluating chemical pressures on environment. Both orders have therefore been used in this study to assess the biological status of the Yèvre-Auron watershed (Centre- Val de Loire region, France). An inventory of caddisfly and stonefly species was carried out during one year (2011/2012) at 29 stations. Only 7 genera of stoneflies were recorded, and only in preserved streams of the watershed. This reflects the strong pressure that was exerted over this catchment. 37 species and 5 genera of Trichoptera belonging to 16 families were identified. The highest values of systematic richness of caddisflies correspond to streams with a high habitat diversity and a significant percentage cover by hydrophytes. No link between the species of Trichoptera recorded at a station and the chemical pressure exerted on the station has been highlighted. This may suggests that caddisflies are better indicators of physical quality than of chemical quality of streams and rivers.

1. Introduction

Les insectes aquatiques constituent un maillon primordial de la dynamique écologique des milieux lotiques en intervenant dans le cycle des nutriments et dans les transferts trophiques des écosystèmes (VANNOTE et al. 1980, CUMMINS et al. 1989, CAPITULO et al. 2002, DOHET et al. 2002). Parmi eux, les Éphémères, les Plécoptères et les Trichoptères (regroupement des EPT), sont les insectes aquatiques les plus utilisés pour évaluer la qualité biologique des milieux aquatiques (ROSENBERG & RESH 1993, MERRITT et al. 2008). Cela est très vraisemblablement lié à leur importante diversité écologique et leur forte abondance dans presque tous les types de milieux aquatiques (PEREIRA et al. 2012). Ils sont particulièrement sensibles aux changements hydromorphologiques, biologiques, physiques et chimiques de leur environnement et colonisent des eaux de bonne qualité et bien oxygénées (BISPO et al. 2006). Ils sont ainsi de bons bioindicateurs (BAUMANN 1979; SPIES et al. 2006).

L'objet de cette étude est d'évaluer la qualité biologique du bassin versant Yèvre-Auron, situé en région Centre - Val de Loire et ayant subi de fortes pressions anthropiques au cours des années 1950/60 (curage, rectification, etc.). Compte tenu de la littérature précédemment citée, l'étude est focalisée sur le groupe des EPT. Les Éphémères ayant fait l'objet d'une publication précédente (MANGOT & HESSE 2015), cet article présente les résultats relatifs aux Plécoptères et aux Trichoptères.

L'ordre des Plécoptères est composé d'espèces particulièrement sensibles à la dégradation de leurs milieux. La majorité de ces dernières évoluent en effet en milieux lotiques, frais et bien oxygénés (BAUMANN 1979). Des cortèges d'espèces se succèdent ainsi de l'amont vers l'aval des bassins versants, principalement sous l'influence de la température de l'eau ; la plus grande diversité de Plécoptères est rencontrée dans les petits cours d'eau subissant de faibles pressions anthropiques et à proximité des sources. Quelques espèces sont néanmoins observables en milieux lenticques, telles que *Nemoura cinerea* ou *N. dubitans* (RUFFONI 2009). Les pressions anthropiques croissantes exercées sur les milieux aquatiques tendent à faire disparaître de nombreuses espèces de Plécoptères ou, pour les espèces plus résistantes, à générer des mouvements de migration vers des zones refuge encore préservées en amont des bassins versants. Les Plécoptères sont ainsi absents de nombreux milieux aquatiques, contrairement aux Trichoptères ; à ce titre, ils constituent des bioindicateurs de milieux dégradés moins pertinents que ces derniers. Ils ne seront par conséquent pas utilisés en tant que tels dans cette étude. Néanmoins, la très grande polluosensibilité de la majorité des espèces de Plécoptères les expose à la disparition. Il est par conséquent indispensable de suivre leurs peuplements.

Les Trichoptères constituent l'un des groupes de macroinvertébrés benthiques les plus diversifiés. D'où une large diversité de stratégies écologiques et comportementales qui leur permet de coloniser une vaste gamme de milieux aquatiques, aussi bien lotiques que lenticques (MACKAY & WIGGINS 1979, STROOT & DEPIEREUX 1989). Néanmoins, de nombreuses espèces présentent des exigences environnementales strictes (DOHET 2002, DOHET et al. 2002). Cette caractéristique fait des Trichoptères l'un des groupes les plus utilisables pour l'étude de la structure et du fonctionnement d'un écosystème d'eau douce. Plus particulièrement, PEREIRA et al. (2012) ont démontré que les Trichoptères sont particulièrement sensibles à l'intégrité des habitats.

Les objectifs de l'étude présentée ici sont :

- d'établir un inventaire global des espèces de ces deux ordres présentes sur le bassin versant Yèvre-Auron et ainsi produire une liste la plus exhaustive possible ;

- de suivre durant un cycle annuel l'évolution de la composition de la communauté des Plécoptères et Trichoptères sur le bassin Yèvre-Auron ;
- de contribuer à partir de l'inventaire des Trichoptères, à l'évaluation de l'état morphodynamique des cours d'eau du bassin versant et de l'intégrité de leurs habitats.

2. Matériel et méthodes

Le matériel et les méthodes utilisés ont fait l'objet d'une description détaillée dans une publication précédente (MANGOT & HESSE op. cit.), à laquelle le lecteur est prié de se reporter. Le site d'étude (Fig. 1), les stations suivies (Tableau 1), les méthodes d'analyse et de traitement des données sont identiques à ceux utilisés dans cet article. Le traitement des données a simplement été complété ici par une Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) réalisée avec le logiciel R, car la discrimination des espèces issue de la Classification Hiérarchique Ascendante était insuffisante.

La détermination au seul niveau générique a été retenue pour :

- les spécimens du genre *Zwicknia* récemment érigé (BOUMANS & MURANY 2014), la détermination des espèces ne pouvant être réalisée avec une sécurité suffisante qu'à la phase adulte. Il en est de même pour les Trichoptères des genres *Orthotrichia* et *Hydroptila*.
- Les larves du genre *Amphinemura*, toutes à de jeunes stades. Il en est de même pour les spécimens de Trichoptères des genres *Ceraclia*, *Tinodes* et *Rhyacophila*.

Enfin, la séparation des espèces *Chaetopteryx villosa* et *C. fusca* étant impossible à la phase larvaire, nous retenons le complexe d'espèces *C. villosa-fusca*.

3. Résultats

3.1. Inventaire des espèces de Plécoptères

Les résultats de cet inventaire sont présentés dans le Tableau 2 (p. 39). 37 espèces ont été déterminées aux 29 stations prospectées, le niveau générique a été retenu pour les larves endommagées ou les jeunes stades.

Seules des espèces de Plécoptères communes dans la Région Centre - Val de Loire ont été répertoriées sur le bassin versant Yèvre-Auron, à l'exception du genre *Zwicknia*, dont les espèces peuvent être considérées comme vulnérables en France (selon Opie-benthos) en raison du morcellement des populations. Les spécimens de ce genre ont été collectés dans des ruisseaux temporaires majoritairement forestiers. Les autres taxons recensés sont fréquemment rencontrés en région Centre - Val de Loire et plus généralement sur le territoire français (NATURE CENTRE & CONSERVATOIRE BOTANIQUE NATIONAL DU BASSIN PARISIEN 2014). Les plus fréquents sur le bassin versant Yèvre-Auron sont *Isoptera grammatica*, *Leuctra geniculata* et des espèces du genre *Nemoura*. Les moins fréquents sont ceux appartenant aux genres *Amphinemura* (répertorié à 3 stations), et *Leuctra* hors *L. geniculata* (3 stations) et à l'espèce *Taeniopteryx nebulosa* (4 stations). Les stations présentant la richesse spécifique la plus élevée sont situées dans le sous-bassin versant du Barangeon, le territoire le plus préservé du bassin versant Yèvre-Auron, et présentent majoritairement un fonctionnement temporaire.

Il ressort par ailleurs des résultats que les premières espèces de Plécoptères à coloniser un milieu appartiennent au genre *Nemoura* ou au genre *Leuctra*, les autres espèces ne colonisant le site que si des espèces d'un de ces deux genres sont présentes. Ces dernières peuvent donc être qualifiées d'espèces pionnières. Ce résultat est valable uniquement pour les cours d'eau au fonctionnement permanent. Pour les cours d'eau temporaires, *Zwicknia*, est, à certains sites, le seul genre de Plécoptères répertorié.

Enfin, les résultats de cette étude soulignent un confinement géographique des espèces de Plécoptères recensées. Contrairement aux Éphémères pour lesquels à un type de milieu pouvait être associé un peuplement spécifique (MANGOT & HESSE 2015), on note une absence des Plécoptères dans la plupart des sites présentant pourtant des caractéristiques physiques favorables, les populations actuelles se limitant à quelques sites isolés.

3.2. Inventaire des espèces de Trichoptères

Les résultats de l'inventaire de cet ordre sont présentés dans le Tableau 3 (p.40). 37 espèces ont été déterminées aux 29 stations, les spécimens endommagés ou trop immatures se rangeant dans 10 genres.

Stations (cours d'eau + commune)	Code	Lm
Yèvre à Baugy	Y_01	4,6
Airain à Les Bourdelins	Y_02	5
Yèvre à Osmoy	Y_03	8
Auron à Bessais-le-Fromental	Y_05	8
Sagonnin à Sagonne	Y_06	3,5
Ruisseau de Cocherat à Thaumiers	Y_08	2
Auron à l'amont de Bourges	Y_011	10
Ouatier à Sainte-Solange	Y_012	5
Langis à Saint-Germain-du-Puy	Y_013	2
Rau de Poisson à Allogny	Y_014	2
Rau de l'Auxigny à Saint-Palais	Y_015	2
Moulon à Menetou-Salon	Y_016	3
Rampenne à Bourges	Y_017	4
Yèvre à Foecy	Y_018	24
Ruisseau de la Guette à Neuvy-sur-Barangeon	Y_019	2
Barangeon à Neuvy-sur-Barangeon	Y_020	7
Ruisseau de la Foresterie à Allogny	Y_021	2
Ruisseau de Belle Borne à Saint-Eloy-de-Gy	Y_022	2
Ruisseau de la Bertherie à Allogny	Y_024	2
Ruisseau des Fontaines à Vignoux-sur-Barangeon	Y_025	2
Barangeon à Vignoux-sur-Barangeon	Y_026	8,1
Barangeon à Saint-Palais	Y_027	6
Barangeon à Méry-es-Bois	Y_028	5
Auron à Pamay	Y_029	40
Yèvre à Bourges	Y_030	12,2
Moulon à Bourges	Y_031	5,8
Colin à Saint-Germain-du-Puy	Y_032	4,9
Auron à l'aval de Bourges	Y_033	15
Airain à Osmery	Y_034	3,6

Tableau 1. Stations de prélèvement : nom du cours d'eau / commune, code donné à la station, et largeur mouillée moyenne (Lm).

Table 1. Sampling stations: name of the river / city, station code, average wetted width of the stream.

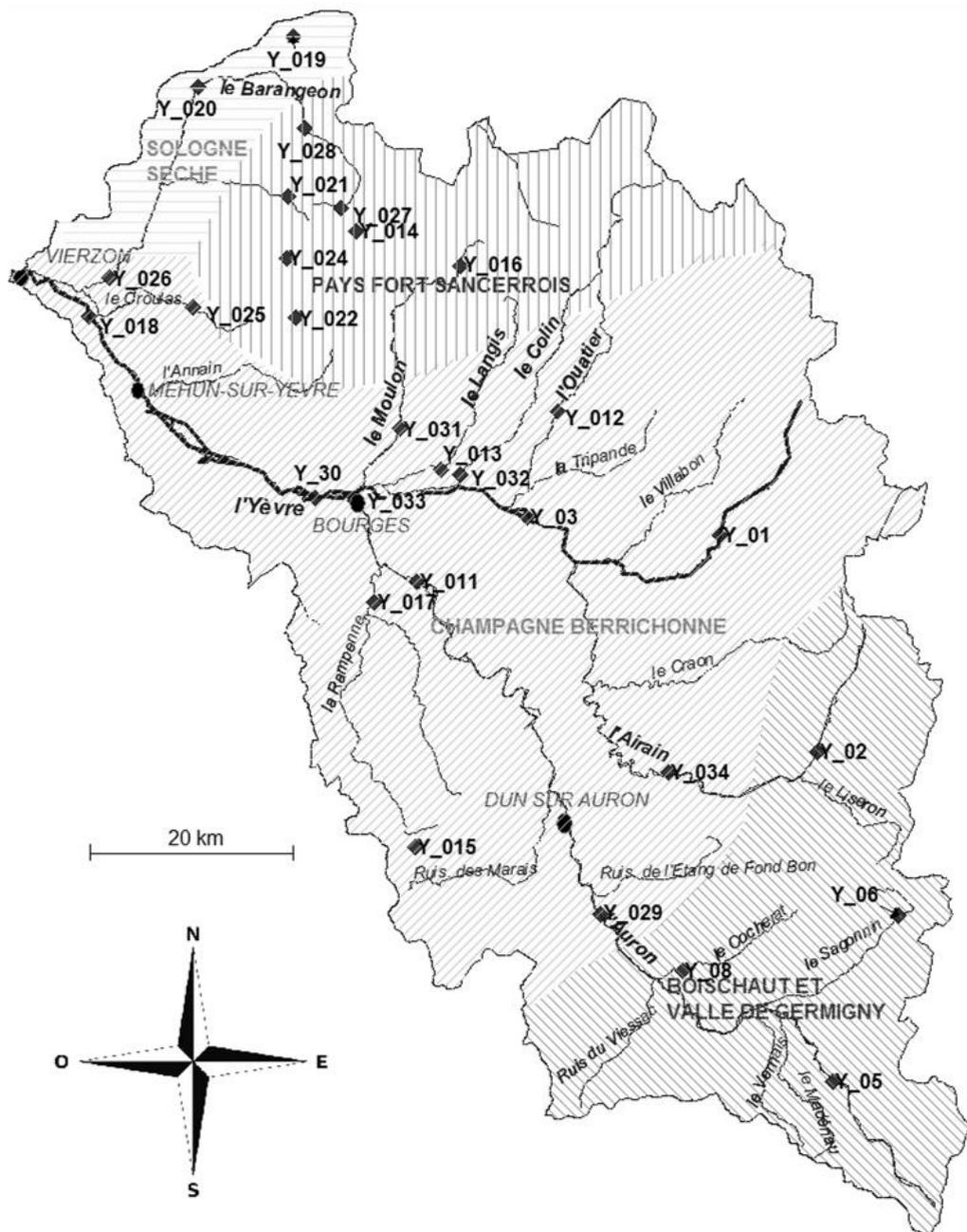


Figure 1. Emplacement des stations de prélèvement.

Figure 1. Location of the sampling sites

Le matériel examiné appartient à 16 familles : Beraeidae, Brachycentridae, Glossosomatidae, Goeridae, Hydropsychidae, Hydroptilidae, Lepidostomatidae, Leptoceridae, Limnephilidae, Molanidae, Philopotamidae, Phryganeidae, Polycentropodidae, Psychomyiidae, Rhyacophilidae et Sericostomatidae. Trois espèces, soit 10 % des espèces déterminées, sont considérées comme peu représentées sur le territoire français (d'après Opie-benthos selon l'état actuel des connaissances) : *Trichostegia minor*, *Synagapetus dubitans* et *Agraylea multipunctata*.

À l'échelle du bassin versant Yèvre-Auron, 5 espèces peuvent être qualifiées de communes : *Polycentropus flavomaculatus* (fréquence d'occurrence de 0,41), *Lepidostoma hirtum* (0,41), *Athripsodes cinereus* (0,52), *Mystacides azureus* (0,34) et *Sericostoma flavicorne* (0,31). Deux tribus peuvent également être considérées communes avec des fréquences de 0,55 et 0,58 respectivement : les Limnephilini et les Stenophylacini-Chaetopterygini, ainsi que 5 genres : *Hydropsyche* (0,58), *Hydroptila* (0,48), *Athripsodes* (0,51), *Ithytrichia* (0,38) et *Rhyacophila* (0,48). En majorité des espèces recensées sur le bassin versant Yèvre-Auron peuvent être considérées comme plutôt assez rares, avec des fréquences d'occurrence inférieures à 7 %, ce qui correspond à une présence à deux stations au maximum.

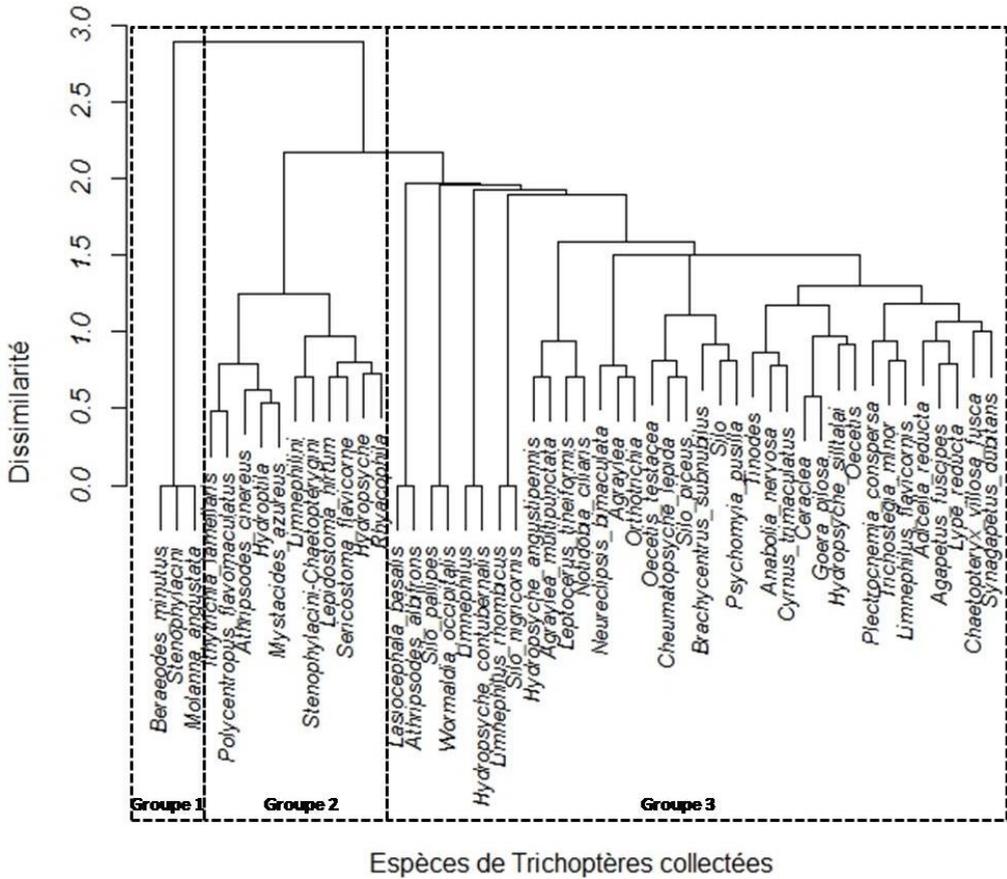


Figure 2. Dendrogramme représentant l'affinité entre espèces de Trichoptères (par la Méthode de Ward).

Figure 2. Dendrogram representing the affinity between Trichoptera species (by Ward's Method).

3.3. Affinité entre espèces de Trichoptères

L'affinité entre espèces a été évaluée avec le coefficient de Jaccard, dont la valeur moyenne trouvée pour cette étude est de 0,54. Ce coefficient témoigne d'une similarité moyenne entre les espèces : les distributions des espèces de Trichoptères sont peu homogènes et très variables sur le bassin versant Yèvre-Auron. Afin de visualiser cette tendance, un dendrogramme a été réalisé (Fig. 2). Ce dernier a été coupé à une hauteur égale à 2 ce qui aboutit à trois groupes de taxons. Plus un arbre est coupé bas, plus la classification obtenue est fine. Cependant, une hauteur de coupe est pertinente si elle se trouve entre 2 nœuds dont les hauteurs sont éloignées le plus possible : ce critère est appelé « critère du saut minimum ». Il faut ainsi éviter l'effet de chaîne produit par un dendrogramme en escalier. C'est pourquoi le dendrogramme présenté en Figure 2 n'a pas été coupé à une hauteur inférieure à 2.

Ce dendrogramme paraît mettre en évidence deux critères de similarité entre taxons :

- Le type de milieu colonisé ;
- La fréquence d'occurrence des taxons dans le bassin versant.

Le premier groupe issu du dendrogramme est composé des espèces *Beraeodes minutus*, *Mollanna angustata* et de la tribu Stenophylacini. La valeur de dissimilarité est nulle, ces trois taxons étant proches par leur habitat et par leur fréquence d'occurrence (ils n'ont été récoltés que dans le Colin à Saint-Germain-du-Puy, station Y_032).

Le second groupe est composé des 11 espèces, genres et tribus les plus fréquemment recensés sur le bassin versant Yèvre-Auron (cf. paragraphe 4.3), c'est à dire présentant une fréquence d'occurrence supérieure à 31 %, ce qui correspond à une présence à 9 stations. La valeur de dissimilarité de ce groupe est de 1,3 ; elle est plus élevée que pour le groupe 1, car si les taxons du groupe 2 sont proches par leur fréquence d'occurrence, ils ont été recensés à des stations très diverses. *Ithytrichia lamellaris* et *Polycentropus flavomaculatus* d'une part, *Mystacides azureus* et le genre *Hydroptila* d'autre part, ont été répertoriées ensemble à une majorité de stations.

Le troisième groupe est difficilement interprétable car le dendrogramme présente une structure en escalier. Pour pallier ce problème, une Analyse Factorielle des Correspondances a été réalisée sur les seuls taxons déterminés à l'espèce.

3.4. Analyse Factorielle des Correspondances

L'AFC de la distribution des espèces de Trichoptères le long des stations prélevées (Fig. 3) montre que le premier plan factoriel (axes 1 et 2) explique seulement 24 % de l'inertie totale, soit 1/5 de l'information totale. Le premier axe du plan factoriel explique 13 % de l'inertie totale et le second 11 %. Ce faible pourcentage confirme la difficulté d'interprétation de ces données. L'analyse des contributions absolues montre que l'axe 1 est majoritairement expliqué par Y21 (contribution absolue : 3910), puis dans une moindre mesure par Y14 (contribution absolue : 1826) et Y_24/Y_15 (contribution absolue : 1078). L'axe 2 est en revanche très majoritairement expliqué par Y17 (contribution absolue : 6618), les autres variables ne contribuant que faiblement à sa définition (contribution absolue de la seconde variable la plus influente: 1535).

La projection conjointe des individus et des variables souligne la rareté des espèces suivantes sur le bassin versant Yèvre-Auron :

- *Wormaldia occipitalis*, collectée uniquement sur le ruisseau de la Foresterie à Allogny (Y21) ;
- *Synagapetus dubitans*, recoltée uniquement sur la Rampenne à Bourges (Y17) ;
- *Trichostegia minor*, collectée uniquement sur le ruisseau de Poisson à Allogny (Y14). La présence de cette espèce de milieux lenticules en cours d'eau doit alerter sur un possible dysfonctionnement hydromorphologique de cette station ou sur l'influence potentielle d'un étang sur la partie amont.

L'analyse des autres plans factoriels n'a pas permis de dégager d'autres informations complémentaires pertinentes.

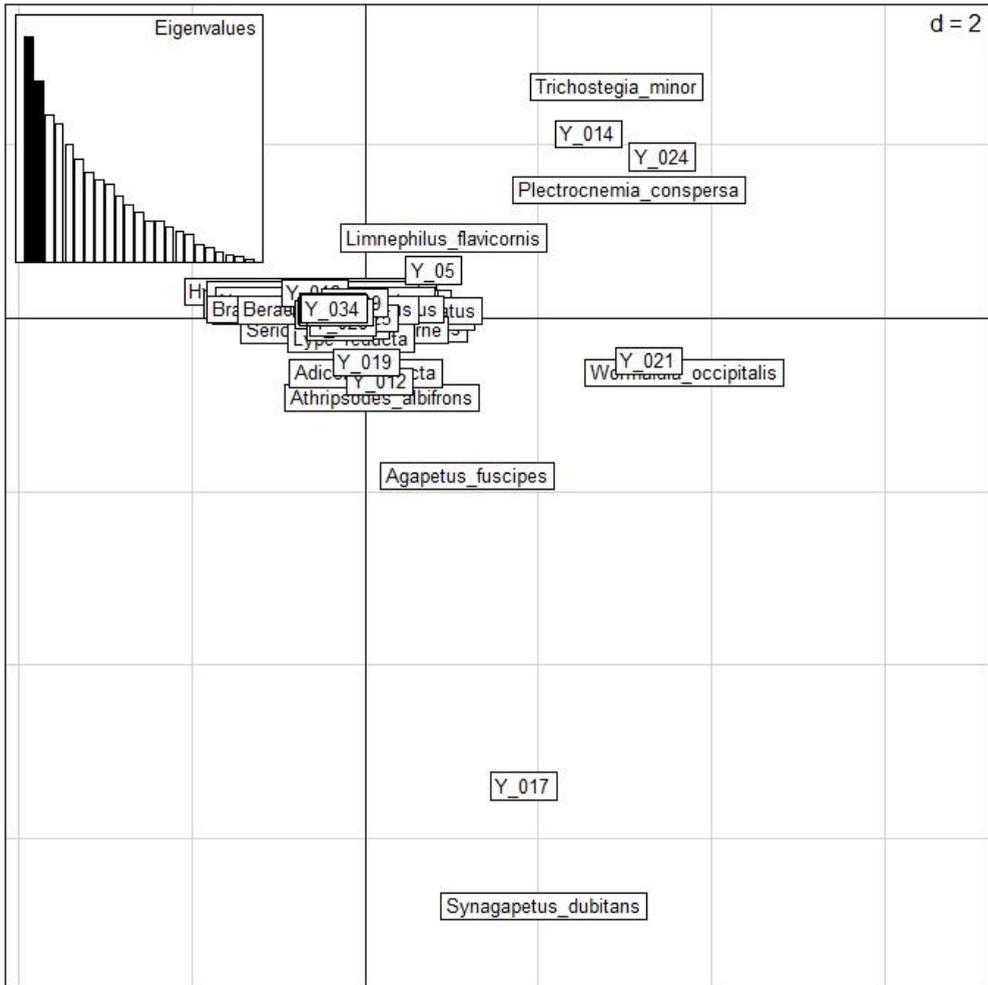


Figure 3. Analyse Factorielle des Correspondances : représentation conjointe des deux variables (espèces de Trichoptères et sites de prélèvements).

Figure 3. Factorial Correspondence Analysis: joint graphic representation of the two variables (Trichoptera species and sampling stations).

3.5 Affinité entre stations de prélèvement

L'affinité entre les stations de prélèvement a été évaluée avec le coefficient de Jaccard, dont la valeur moyenne trouvée pour cette étude est de 0,90. Ce coefficient élevé témoigne d'une similarité importante entre les stations. Afin d'affiner cette première tendance, un dendrogramme a été réalisé (Fig. 4).

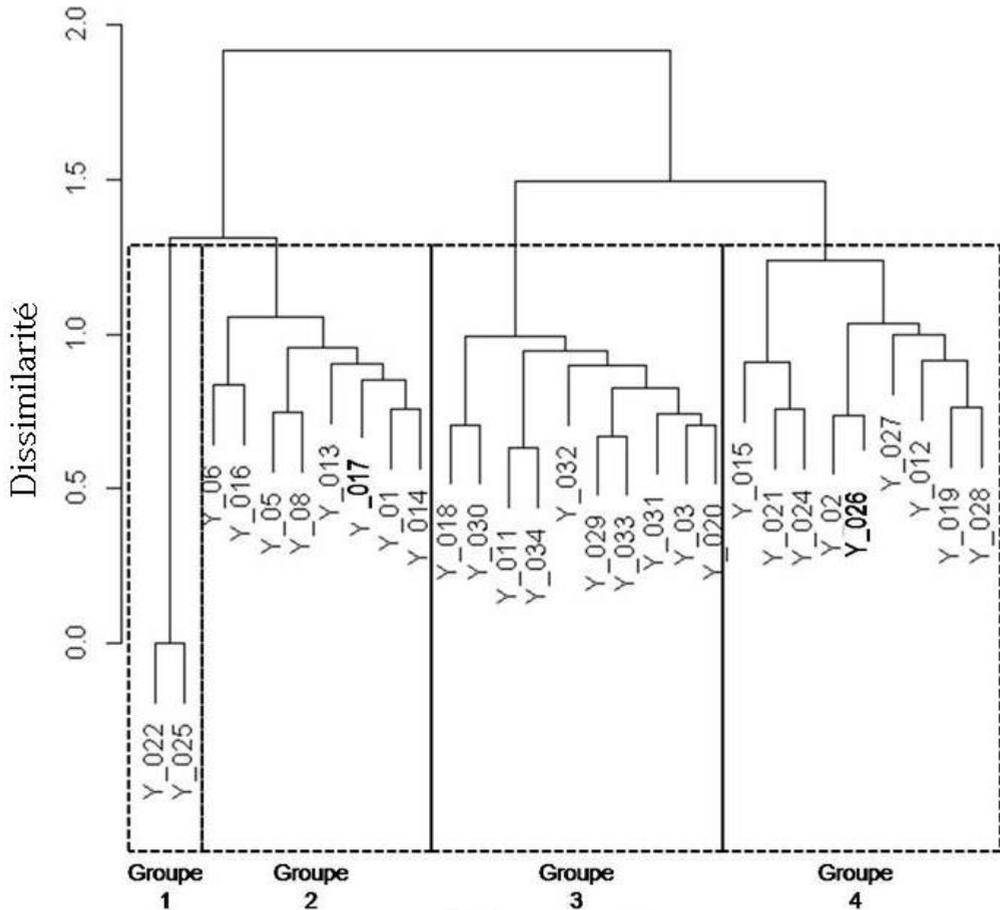


Figure 4. Dendrogramme représentant l'affinité entre les sites de prélèvements, basée sur les peuplements de Trichoptères (par la Méthode de Ward).

Figure 4. Dendrogram representing the affinity between sampling station based on Trichoptera records (by Ward's Method).

Ce dendrogramme a été coupé à une hauteur égale à 1,3 ce qui aboutit à quatre groupes de station. Il n'a pu être coupé à une hauteur inférieure car il présenterait alors une structure en escalier. Il met en évidence un regroupement des stations selon la diversité des habitats présents. Il

s'agit de l'unique critère d'affinité observé entre les sites, contrairement à ce qui avait été constaté pour les Éphémères (MANGOT & HESSE 2015) où un regroupement des sites selon leur largeur et les pressions subies avait été observé.

Le dendrogramme isole ainsi premièrement deux ruisseaux (Groupe 1 : Y_22 et Y_25) aux habitats peu diversifiés et au fond majoritairement sableux. La valeur de dissimilarité de ce groupe est nulle ce qui signifie que ces deux stations sont très proches, tant par leur emplacement que par leur peuplement en Trichoptères. Il s'agit en effet de deux ruisseaux à l'écoulement temporaire situés sur le sous-bassin versant du Barangeon. N'y ont été recensés que des taxons appartenant à la famille des Limnephilidae.

Le dendrogramme sépare ensuite les stations à habitats diversifiés. Le Groupe 2 rassemble celles où les hydrophytes sont présents de façon marginale et le Groupe 3 de façon dominante. Lorsque les hydrophytes sont peu denses, la diversité en Trichoptères est faible à moyenne (indice de Shannon-Weaver inférieur à 2,1). Les espèces recensées colonisent dans ce cas préférentiellement des substrats minéraux (Groupe 2). Au contraire, lorsque les hydrophytes constituent l'un des habitats majoritaires, la diversité en Trichoptères est plus élevée (indice de Shannon-Weaver supérieur à 2,3), quelles que soient les pressions subies par la station. Y sont recensés aussi bien des espèces colonisant des substrats minéraux, que d'autres colonisant des substrats végétaux. Le peuplement en Trichoptères est ainsi enrichi par les genres *Orthotrichia* et *Ithytrichia*.

Contrairement aux Éphémères pour lesquels à un type de milieu était associé un cortège d'espèces particulières (MANGOT & HESSE 2015), le peuplement de Trichoptères n'est pas transposable d'un site à un autre, même si deux sites présentent des caractéristiques physico-chimiques et hydromorphologiques très voisines. Cela témoigne d'un confinement géographique très prononcé des espèces de Trichoptères, dont la majorité recensées montre ainsi une fréquence d'occurrence très faible sur le bassin Yèvre-Auron, malgré la présence de leur habitat préférentiel sur de nombreux sites. Le même phénomène étant observé chez les Plécoptères, il est impossible d'associer un peuplement de Trichoptères spécifique à un peuplement de Plécoptères et/ou d'Éphémères spécifique. Les regroupements de sites obtenus par les dendrogrammes réalisés sur les matrices présence/absence de ces trois ordres conduisent par conséquent logiquement à des regroupements de sites très différents et ainsi à une redondance des résultats très faible entre les trois ordres d'EPT, ensemble en général considéré comme plus homogène.

4. Discussion

4.1. Une diversité de Plécoptères plus importante dans les cours d'eau temporaires

Les Plécoptères présentent une morphologie longiligne relativement homogène, comparative-ment aux Éphémères ou aux Trichoptères. Ils montrent en revanche une grande diversité dans leurs stratégies de survie (FOCHETTI & TIERNO DE FIGUEROA 2008). Des espèces présentent un cycle de vie univoltin, tandis que d'autres se développent selon des cycles semi ou bivoltins. Certaines sont ainsi adaptées à la vie dans les cours d'eau intermittents. Plus précisément, elles sont pré-adaptées à ce type de cours d'eau par leur cycle de vie très court, automnal et printanier (GRAF et al. 2009). Elles y constituent une communauté stable et uniforme de résidents permanents qui éclosent chaque année (CLIFFORD 1965). Le cours d'eau où la diversité de Plécoptères la plus élevée a été

constatée au cours de la présente étude est temporaire, en condition d'assec durant la période estivale : le ruisseau de la Foresterie à Allogny (indice de Shannon-Weaver de 1,79). En termes de diversité se placent ensuite un autre cours d'eau temporaire (indice de Shannon-Weaver de 1,61), le ruisseau de la Bertherie à Allogny, et un cours d'eau permanent, le Barangeon à Vignoux-sur-Barangeon. Ce résultat est cohérent avec les caractéristiques hydromorphologiques de ces cours d'eau, situés sur le sous-bassin versant le plus préservé du bassin versant Yèvre-Auron (MANGOT & HESSE 2015) mais également avec la littérature qui traite de l'adaptation des Plécoptères à l'intermittence des cours d'eau.

Tous les genres et toutes les espèces de Plécoptères du bassin versant Yèvre-Auron ont été recensés sur au moins un cours d'eau temporaire, à l'exception de *Leuctra geniculata*. Cette espèce n'a été récoltée que dans des cours d'eau permanents. Elle appartient au groupe d'espèces adultes en fin d'été et en automne (période de vol de septembre à décembre selon BERTHÉLEMY 1966) avec un développement larvaire en fin de printemps et en été, et ne supportant pas des conditions d'assec (PARIL et al. 2008). Elle ne peut par conséquent être présente que dans des cours d'eau permanents l'été.

Dans les cours d'eau présentant des périodes d'assec estivales et automnales, n'ont été très logiquement recensées que des espèces possédant un développement larvaire hivernal et une émergence printanière. *Brachyptera risi*, *Taeniopteryx nebulosa*, *Zwickyia* sp. et *Isoperla grammatica* émergent ainsi majoritairement au printemps, ce qui est également le cas de la plupart des espèces d'*Amphinemura* (GRAF et al. 2009). Sur des cours d'eau soumis uniquement à des périodes d'assec estivales, les espèces citées précédemment ont également été recensées, ainsi que des espèces du genre *Leuctra*, dont les périodes d'émergence sont très variées (GRAF et al. 2009).

4.2. Espèces communes et espèces rares de Trichoptères

Cinq espèces de Trichoptères peuvent être considérées comme communes sur le bassin versant Yèvre-Auron : *Polycentropus flavomaculatus*, *Lepidostoma hirtum*, *Athripsodes cinereus*, *Mystacides azureus* et *Sericostoma flavicorne*. Il s'agit d'espèces communes en région Centre – Val de Loire et plus généralement sur le territoire français (données Opie-benthos), présentant des valences écologiques larges en termes d'habitats, de vitesse de courant, de largeur et de profondeur du cours d'eau. *Polycentropus flavomaculatus* est une espèce à la valence écologique très large : elle colonise en effet tout type de milieu aquatique (HICKIN 1967). Très commune, elle est ainsi observée aussi bien en ruisseaux, rivières que dans des lacs subalpins (DÉCAMPS 1967). *Lepidostoma hirtum* est une espèce de petits et moyens cours d'eau, colonisant préférentiellement les débris organiques. Elle est ainsi majoritairement recensée en zones lenticques ou de faible courant, mais peut également être présente en zones lotiques (DÉCAMPS op. cit., HICKIN op. cit., GRAF et al. op. cit.). Ce caractère ubiquiste en fait une espèce bien représentée en France. *Athripsodes cinereus* est également une espèce de petits et moyens cours d'eau, mais colonisant préférentiellement les substrats minéraux (sable, graviers, pierres) du chenal principal. Elle est ainsi surtout recensée en milieux lotiques (DÉCAMPS op. cit.), mais est régulièrement récoltée dans des cours d'eau à faible écoulement (HICKIN op. cit., GRAF et al. op. cit.). Comme pour *Lepidostoma hirtum*, cette capacité à coloniser milieux lotiques et lenticques explique très vraisemblablement sa large répartition. *Mystacides azureus* colonise des cours d'eau de taille très variable (DÉCAMPS, op.cit.), avec une vitesse de courant très faible et même des lacs de montagne (DÉCAMPS op. cit.) : elle trouve en effet refuge dans les hydrophytes et des débris organiques (GRAF et al. 2008). *M. azureus* montre une grande sensibilité à la pollution chimique au sens large, c'est à dire aussi bien à la

teneur en ammonium, en phosphates, en sulfates qu'à la saturation en oxygène ou la concentration en matières en suspension (BONADA et al. 2004). Son recensement à 10 stations du bassin Yèvre-Auron est ainsi un indicateur très positif de la qualité chimique de ce dernier. *Sericostoma flavicorne* est une espèce ubiquiste, recensée dans des cours d'eau de taille très variable et colonisant aussi bien des substrats minéraux qu'organiques (GRAF et al. 2008), d'où son abondance sur le bassin versant.

L'AFC a permis de mettre en évidence des espèces singulières : *Synagapetus dubitans*, *Trichostegia minor* et *Wormaldia occipitalis*. *S. dubitans* est une espèce crénale et hypocrénale, sténotherme d'eau froide (GRAF et al. 2008, VON FUMETTI 2008, VON FUMETTI & NAGEL 2011). Elle est ainsi caractéristique des zones de source et sa grande sensibilité aux variations de température (GRAF et al. 2008) en fait une espèce peu représentée en région Centre – Val de Loire et plus généralement sur le territoire français (données Opie-benthos). Cela est en accord avec le fait qu'elle n'ait été trouvée que sur la Rampenne à Bourges, cours d'eau essentiellement alimenté par des remontées de nappes d'eau souterraine. La Rampenne présente ainsi des assècs annuels importants et peut rester plusieurs mois sans écoulement de surface lorsque le niveau des nappes est bas. *Wormaldia occipitalis* est également caractéristique des zones de source (BRINKMANN et al. 1996; GRAF et al. 2008). Cette espèce présente une écologie très proche de *S. dubitans* et a été recensée sur un des affluents du Barangeon : le ruisseau de la Foresterie. Il s'agit d'un petit cours d'eau au fond essentiellement pierreux, ce qui est cohérent avec l'écologie de *W. occipitalis*. Comme *S. dubitans*, *W. occipitalis* présente une grande sensibilité aux variations de température, et est peu représentée en région Centre - Val de Loire. Il n'est donc pas surprenant qu'elle n'ait été recensée qu'à une seule station. Elle est en revanche davantage représentée sur le territoire français que *S. dubitans* (données Opie-benthos). *Trichostegia minor* est une espèce de milieux lenticules (lacs, étangs, canaux, etc.) (HICKIN 1967, OTTO & SVENSSON 1980, OTTO 1983). Notre étude étant centrée sur les milieux lotiques, il n'est donc pas surprenant qu'elle apparaisse rare sur le bassin versant Yèvre-Auron. Elle colonise préférentiellement les macrophytes et les débris organiques très fins (HICKIN op. cit., GRAF et al. op. cit.). Or, elle a été trouvée dans un petit cours d'eau au fond majoritairement pierreux, le ruisseau de Poisson à Allogny, ne correspondant pas à l'habitat préférentiel de cette espèce, mais qui traverse deux étangs ; cela explique très vraisemblablement la présence d'éléments benthiques caractéristiques des milieux lenticules dans ce cours d'eau. Notons toutefois que DÉCAMPS (1967) a signalé cette espèce d'une rivière pyrénéenne à basse altitude, la Nive à 170 m, où elle était rare.

4.3. Répartition des Trichoptères selon les habitats

Notre précédente étude a traité de la diversité des espèces d'Éphémères sur le même bassin versant. Elle a mis en évidence la triple influence sur la répartition des espèces :

- des pressions anthropiques subies par la station de prélèvement
- de sa place dans le bassin versant
- de la taille du cours d'eau.

Ce résultat est très cohérent avec des travaux d'origine allemande assez récents qui considèrent que la taille du cours d'eau et la distance à la source expliquent significativement la composition de la faune d'un milieu (HERING et al. 2004, LORENZ et al. 2004). Des résultats similaires étaient attendus pour cette étude sur les Trichoptères, mais les analyses statistiques réalisées n'ont pas

démontré de tels liens ; la répartition des espèces de Trichoptères qui a été observée est très hétérogène et indépendante de l'emplacement de la station dans le bassin versant, des pressions chimiques qu'elle subit ou encore de la taille du cours d'eau à cet endroit.

Ces analyses ont en revanche mis en évidence une répartition des sites de prélèvement selon le pourcentage de recouvrement en hydrophytes. Les stations présentant des hydrophytes comme habitat dominant regroupent principalement des espèces vivant au sein de cet habitat, telles que *Neureclipsis bimaculata*, *Anabolia nervosa*, *Limnephilus rhombicus*, *Leptocerus tineiformis* ou *Beraeodes minutus*. Les stations où n'ont pas été observés de macrophytes regroupent des espèces colonisant principalement des substrats minéraux (sable, graviers, pierres), telles qu'*Athripsodes albifrons* ou *Silo pallipes* ou bien colonisant la litière, les branchages, les racines, telles que *Lasiocephala basalis* ou *Adicella reducta*. Les stations présentant des hydrophytes comme habitat marginal regroupent à la fois des espèces colonisant des substrats minéraux et d'autres colonisant des substrats végétaux, ce qui élargit le cortège d'espèces pouvant potentiellement être présentes à la station.

Cette étude a ainsi mis en évidence que les sites hébergeant une diversité en Trichoptères élevée sont aussi ceux présentant une diversité en habitats élevée. Aucun lien n'a en revanche été démontré avec les pressions chimiques exercées sur le milieu. Ce résultat suggère que les Trichoptères constituent des bioindicateurs efficaces pour évaluer l'intégrité et la diversité des habitats d'un milieu. Ils seraient ainsi de meilleurs indicateurs de la qualité physique que de la qualité chimique d'un milieu. Ce résultat est cohérent avec la littérature qui souligne la forte dépendance des Trichoptères à la stabilité de leurs habitats (GEORGIAN & THORP 1992, DEATH 2003). Les caractéristiques du substrat (taille, stabilité, hétérogénéité, etc.) sont connues pour influencer sur la distribution de nombreux invertébrés benthiques (GURTZ & WALLACE 1984). Ce résultat semble d'autant plus exact pour l'ordre des Trichoptères que de nombreuses études ont montré une corrélation positive significative entre le recouvrement en macrophytes et la distribution des larves de Trichoptères (WILLIAMS & HYNES 1973, WALLACE 1975, HAEFNER & WALLACE 1981, MCAULIFFE 1983, 1984). Cette corrélation serait expliquée par le fait qu'un fort couvert végétal offre un large support pour établir des filets de capture (cas par exemple des Hydropsychidae) ainsi que de nombreuses caches pour échapper aux prédateurs (MINSHALL 1984).

4.4. Confinement géographique des Plécoptères et des Trichoptères

Notre étude a mis en évidence l'influence d'un possible confinement géographique sur la répartition des Plécoptères et des Trichoptères. Le confinement géographique d'espèces résulte de leur très faible capacité d'adaptation à de nouvelles conditions environnementales, ce qui va à l'encontre de la colonisation de nouveaux sites et réduit de facto drastiquement l'aire géographique de leur répartition. Sur le bassin Yèvre-Auron, de nombreuses espèces de Plécoptères et de Trichoptères, ayant pour point commun une très forte polluosensibilité, n'ont ainsi été recensées que sur un unique site alors que d'autres stations répondant à leurs exigences écologiques, sont présentes sur le bassin. On peut noter en revanche que ce phénomène est moins marqué chez les Éphémères : pour cet ordre d'insectes, à un type de milieu (par exemple ruisseau forestier préservé) est associé un cortège d'espèces inféodées que l'on retrouve de manière régulière à quelques exceptions près (MANGOT & HESSE 2015).

La littérature met en évidence que l'un des facteurs prédominants dans la dynamique d'une population, sa répartition et la colonisation de nouveaux sites, est la capacité de dispersion de l'espèce (BRIERS et al. 2004). Celle-ci peut se faire par deux moyens : la dispersion passive et la

dispersion active (BILTON et al. 2001). La dispersion passive des insectes aquatiques résulte pour la phase aquatique d'un phénomène de dérive ou de transport par d'autres organismes. Les capacités de dispersion se limitent alors majoritairement au cours d'eau colonisé et à ses affluents. La dispersion active des insectes aquatiques résulte d'une migration volontaire des larves orientées face au courant en milieu lotique, ou du vol des adultes. Or, les capacités de vol des adultes de Plécoptères sont très limitées, quelques dizaines de mètres seulement autour du chenal principal (BRIERS et al. 2004; PETERSEN et al. 2004). Les Trichoptères semblent parcourir des distances encore plus faibles (PETERSEN op. cit.). De plus, la faible durée de vie des adultes d'EPT limite encore davantage leurs capacités de dispersion (BRITAIN 1990). Cela dit, en montagne et en haute montagne, le cycle de colonisation de MÜLLER (1954) est une migration active, un vol vers l'amont des cours d'eau sur des distances non négligeables, qui touche les trois ordres d'EPT et en particulier les Éphémères (THOMAS 1975). PETERSEN et al. (2004) concluent ainsi que le chenal principal, via la dispersion passive des larves, reste la principale voie de dispersion des EPT. La dispersion de ces organismes est alors influencée par les changements de conditions environnementales, ce qui entraîne un endémisme parfois très prononcé pour les espèces les plus polluosensibles (FOCHETTI & DE FIGUEROA 2006).

5. Conclusion

Les cours d'eau du bassin versant Yèvre-Auron ont subi de nombreux travaux de curage et de rectification entre les années 1950 et 1970, dégradant fortement leur qualité hydromorphologique. Les conséquences de ces fortes pressions anthropiques sont encore nettement visibles à l'heure actuelle, peu de sous-bassins versants étant proches de leur état naturel. Les Plécoptères ont été exclusivement collectés sur les portions de cours d'eau préservées ; leur diversité sur le bassin versant Yèvre-Auron reste ainsi faible.

Cette étude a d'autre part mis en évidence que la diversité des espèces de Trichoptères était dépendante des habitats présents dans le milieu et plus particulièrement du recouvrement en macrophytes. Aucun autre lien, notamment avec la position de la station dans le bassin versant, n'a été démontré. Cela suggère que les Trichoptères sont davantage des indicateurs de la qualité physique d'un milieu que de sa qualité chimique.

Remerciements

Nous tenons à remercier vivement Gennaro Coppa et Jacques Le Doaré pour l'aide précieuse qu'ils nous ont fournie en confirmant nos déterminations.

Travaux cités

- BAUMANN, R. W. 1979. Nearctic stonefly genera as indicators of ecological parameters (Plecoptera: Insecta). *Great Basin Naturalist*, **39** (3): 241-244.
- BERTHÉLEMY, C. 1966. Recherches écologiques et biogéographiques sur les Plécoptères et Coléoptères d'eau courante (*Hydraena* et *Elminthidae*) des Pyrénées. *Annales de Limnologie*, **2** (2) : 227- 458.
- BILTON, D. T., J. R. FREELAND & B. OKAMURA. 2001. Dispersal in freshwater invertebrates. *Annual review of ecology and systematics*, **32**: 59-181.
- BISPO, P., L. OLIVEIRA, L. BINI & K. SOUSA. 2006. Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera assemblages from riffles in mountain streams of Central Brazil: environmental factors influencing the distribution and abundance of immatures. *Brazilian Journal of Biology*, **66** (2B): 611-622.

- BONADA, N., C. ZAMORA-MUNOZ, M. RIERADEVALL & N. PRAT. 2004. Ecological profiles of caddisfly larvae in Mediterranean streams: implications for bioassessment methods. *Environmental Pollution*, **132** (3): 509-521.
- BOUMANS, L. & D. MURÁNYI. 2014. Two new species of *Zwicknia* Murányi, with particular data on the phylogenetic position of the genus (Plecoptera, Capniidae). *Zootaxa*, **3808** (1): 1-91.
- BRIERS, R. A., J. H. R. GEE, H. M. CARISS & R. GEOGHEGAN. 2004. Inter-population dispersal by adult stoneflies detected by stable isotope enrichment. *Freshwater Biology*, **49** (4): 425-431.
- BRINKMANN, R., H. REUSCH & S. SPETH. 1996. *Wormaldia*-Vorkommen im norddeutschen Tiefland (Trichoptera, Philopotamidae). *Lauterbornia*, **25**: 107-115.
- BRITTAIN, J. E. 1990. Life history strategies in Ephemeroptera and Plecoptera. Pp. 1-12 in *Mayflies and stoneflies: life histories and biology*. I. C. Campbell. (ed). Kluwer. Dordrecht. The Netherlands.
- CAPITULO, A. R., A. PAGGI & C. OCON. 2002. Zoobenthic communities in relation with the slope, substrate heterogeneity and urban disturbances in Pampean hill streams (Argentina). *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie*, **28**: 1267-1273.
- CLIFFORD, H. F. (1965). *The ecology of invertebrates in an intermittent stream*, H. F. Thesis. Dept. of Zoology, University of Alberta Edmonton, Alberta. 40 pp.
- CUMMINS, K. W., M. A. WILZBACH, D. M. GATES, J. B. PERRY & W. B. TALIAFERRO. 1989. Shredders and riparian vegetation. *Bio-Science*, **39**: 24-30.
- DEATH, R. G. 2003. Spatial patterns in lotic invertebrate community composition: is substrate disturbance actually important? *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **60** (5): 603-611.
- DÉCAMPS, H. 1967. Introduction à l'étude écologique des Trichoptères des Pyrénées. *Annales de Limnologie*, **3** (1): 101-176.
- DOHET, A. 2002. Are caddisflies an ideal group for the biological assessment of water quality in streams. *Nova Supplementa Entomologica (Proceedings of the 10th International Symposium on Trichoptera)*.
- DOHET, A., D. DOLISY, L. HOFFMANN & M. DUFRÈNE. 2002. Identification of bioindicator species among Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera in a survey of streams belonging to the rhithral classification in the Grand Duchy of Luxembourg *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie*, **28**: 381-386.
- FOCHETTI, R. & J. M. TIERNO DE FIGUEROA. 2006. Notes on diversity and conservation of the European fauna of Plecoptera (Insecta). *Journal of Natural History*, **40** (41-43): 2361-2369.
- FOCHETTI, R. & J. M. TIERNO DE FIGUEROA. 2008. Plecoptera. In *Fauna d'Italia* volume 43. Calderini (eds). 339 pp.
- GEORGIAN, T. & J. H. THORP. 1992. Effects of microhabitat selection on feeding rates of net-spinning caddisfly larvae. *Ecology*, **73**: 229-240.
- GRAF, W., A. W. LORENZ, J. M. TIERNO DE FIGUEROA, S. LÜCKE, M. J. LOPEZ-RODRIGUEZ & C. DAVIES. 2009. Plecoptera. *Distribution and Ecological Preferences of European Freshwater Organisms*. Schmidt-Kloiber A. & D. Hering (eds). Pensoft publishers, Sofia. Moscow. 262 pp.
- GRAF, W., J. MURPHY, J. DAHL, C. ZAMORA-MUNOZ & M. J. LOPEZ-RODRIGUEZ. 2008. Distribution and ecological preferences of European freshwater organisms. Volume 1. Trichoptera, Pensoft Publishing.
- GURTZ, M. E. & J. B. WALLACE. 1984. Substrate-mediated response of stream invertebrates to disturbance. *Ecology*, **65**: 1556-1569.
- HAEFNER, J. D. & J. B. WALLACE. 1981. Production and potential seston utilization by *Parapsyche cardis* and *Dipterotrana modesta* (Trichoptera, Hydropsychidae) in two streams draining contrasting southern Appalachian watersheds. *Environmental Entomology*, **10** (4): 433-441.
- HERING, D., C. MEIER, C. RAWER-JOST, C. K. FELD, R. BISS, A. ZENKER, A. SUNDERMANN, S. LOHSE & J. BÄHMER. 2004. Assessing streams in Germany with benthic invertebrates: selection of candidate metrics. *Limnologica-Ecology and Management of Inland Waters*, **34** (4): 398-415.
- HICKIN, N. E. 1967. Caddis larvae. Larvae of the British Trichoptera. Fairleigh Dickinson University Press. 480 pp.
- LORENZ, A., C. K. FELD & D. HERING. 2004. Typology of streams in Germany based on benthic invertebrates: Ecoregions, zonation, geology and substrate. *Limnologica-Ecology and Management of Inland Waters*, **34** (4): 379-389.

- MACKAY, R. J. & G. B. WIGGINS. 1979. Ecological diversity in Trichoptera. *Annual Review of Entomology*, **24** (1): 185-208.
- MCAULIFFE, J. R. 1983. Competition, colonization patterns, and disturbance in stream benthic communities. Pp. 137-156 in Barnes J. R & G. W. Minshall (eds). *Stream ecology: application and testing of general ecological theory*. Plenum Press, New-York.
- MCAULIFFE, J. R. 1984. Competition for space, disturbance, and the structure of a benthic stream community. *Ecology*, **65**: 894-908.
- MANGOT, S. & A.-S. HESSE. 2015. Le macrobenthos du bassin versant Yèvre-Auron (France, Région Centre) : 1. Répartition des Éphéméroptères [Ephemeroptera]. *Ephemera*, **15** (1): 27-45.
- MERRITT, R. W., K. W. CUMMINS & M. B. BERG. 2008. *An introduction to the aquatic insects of North America*. 4th ed. Kendall Hunt, Dubuque, 1158 pp.
- MINSHALL, G. 1984. Aquatic insect-substratum relationships. Pp. 358-400 in *The ecology of aquatic insects*. H. Resch. & D. Rosenberg (eds).
- MÜLLER, K. 1954. Investigations on the organic drift in North Swedish streams. *Reports of the Institute of Freshwater Research of Drottningholm*, **35**: 133-148.
- NATURE CENTRE & CONSERVATOIRE BOTANIQUE NATIONAL DU BASSIN PARISIEN. 2014. Livre rouge des habitats et des espèces menacés de la région Centre. Orléans. 502 pp.
- NATURE CENTRE & CONSERVATOIRE BOTANIQUE NATIONAL DU BASSIN PARISIEN. 2014. Perles (Plécoptères). Pp. 313-317 in *Livre rouge des habitats naturels et des espèces menacées de la région Centre*. Nature Centre (eds).
- OTTO, C. 1983. Behavioural and physiological adaptations to a variable habitat in two species of case-making caddis larvae using different food. *Oikos*, **41**: 188-194.
- OTTO, C. & B. S. SVENSSON. 1980. The significance of case material selection for the survival of caddis larvae. *The Journal of Animal Ecology*, **49** (3): 855-865.
- PARIL, P., J. BOJKOVA, J. SPACEK & J. HELESIC. 2008. Ecology of *Leuctra geniculata* (Plecoptera, Leuctriidae), an Atlantomediterranean species on the north-eastern border of its area. *Biologia*, **63** (4): 574-581.
- PEREIRA, L. R., H. S. R. CABETTE & L. JUVEN. 2012. Trichoptera as bioindicators of habitat integrity in the Pindaiba river basin, Mato Grosso (Central Brazil). *Annales de Limnologie-International Journal of Limnology*, **48** (3): 295-302.
- PETERSEN, I., Z. MASTERS, A. G. HILDREW & S. J. ORMEROD. 2004. Dispersal of adult aquatic insects in catchments of differing land use. *Journal of Applied Ecology*, **41b** (5): 934-950.
- ROSENBERG, D. M. & V. H. RESH. 1993. Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates, Chapman & Hall. 488 pp.
- ROUTLEDGE, R. 1979. Diversity indices: Which ones are admissible? *Journal of Theoretical Biology*, **76** (4): 503-515.
- RUFFONI, A. 2009. Les Plécoptères (Insecta, Plecoptera). *Revue scientifique Bourgogne-Nature*, **9** (10): 18-26.
- SPIES, M., C. FROELICH & C. KOTZIAN. 2006. Composition and diversity of Trichoptera Kirby, 1813 (Insecta) larvae communities in Jacui River middle section and some tributaries, Rio Grande do Sul State, Brazil. *Iheringia, Série Zoologia*, **96** (4): 389-398.
- STROOT, P. & E. DEPIEREUX. 1989. Proposition d'une méthodologie pour établir des "Listes Rouges" d'invertébrés menacés. *Biological Conservation*, **48** (3): 163-179.
- TEAM, R. D. C. 2008. R: a language and environment for statistical computing *R Foundation for Statistical Computing*.
- THOMAS, A.G.B. 1975. Ephéméroptères du Sud-Ouest de la France. 1. Migrations d'imagos à haute altitude. *Annales de Limnologie*, **11** (1) : 47-66.
- VANNOTE, R. L., G. W. MINSHALL, K. W. CUMMINS, J. R. SEDELL & C. E. CUSHING. 1980. The river continuum concept. *Canadian journal of fisheries and aquatic sciences*, **37** (1): 130-137.
- VON FUMETTI, S. 2008. Distribution, discharge and disturbance: new insights into faunal spring ecology. *Doctoral dissertation, University of Basel*. 89 pp.
- VON FUMETTI, S. & P. NAGEL. 2011. A first approach to a faunistic crenon typology based on functional feeding groups. *Journal of Limnology*, **70** (Supplement 1): 147-154.

WALLACE, J. B. 1975. Food partitioning in net-spinning Trichoptera larvae: *Hydropsyche venularis*, *Cheumatopsyche etrona*, and *Macronema zebratum* (Hydropsychidae). *Annals of the Entomological Society of America*, **68** (3): 463-472.

WARD, J. V. 1992. Aquatic insect ecology. 1. Ecology and habitat. New-York. John Wiley & Sons, Inc. 438 pp.

WILLIAMS, N. & H. B. N. HYNES. 1973. Microdistribution and feeding of the net-spinning caddisflies (Trichoptera) of a Canadian stream. *Oikos*, **24**: 73-84.

Annexe 1

Stations	Y_01	Y_02	Y_03	Y_05	Y_06	Y_08	Y_11	Y_12	Y_13	Y_14	Y_15	Y_16	Y_17	Y_18	Y_19	Y_20	Y_21	Y_22	Y_24	Y_25	Y_26	Y_27	Y_28	Y_29	Y_30	Y_31	Y_32	Y_33	Y_34	Fréquence
Taxons																														
<i>Nemoura</i> sp.	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	34,5
<i>Nemoura cinerea</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	6,9
<i>Nemoura lacustris</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,9
<i>Amphinemura</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10,3
<i>Brachyptera risi</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	27,6
<i>Zwicknia</i> sp.	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	20,7
<i>Isoperla grammatica</i>	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	44,8
<i>Leuctra geniculata</i>	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	37,9
<i>Leuctra</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	13,8
<i>Taeniopteryx nebulosa</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	10,3
Richesse spécifique	2	2	2	1	0	0	1	1	2	3	1	0	2	2	5	4	6	3	5	2	4	3	1	4	1	0	1	2	2	
Indice de Shannon-Weaver	0,7	0,7	0,7	0	0	0	0	0	0,7	1,1	0	0	0,7	0,7	1,6	1,4	1,8	1,1	1,6	0,7	1,6	1,1	0	1,4	0	0	0	0,7	0,7	

Tableau 2. Matrice de présence/absence des espèces de Plécoptères identifiées aux stations de prélèvements ; fréquence d'occurrence de chaque espèce ; richesse spécifique et indice de diversité de Shannon-Weaver à chaque station.

Table 2. Matrix of presence/absence of the stonefly species recorded at sampling stations; frequency of occurrence of each species; specific richness and Shannon-Weaver diversity index at each sampling station.

Annexe 2

Pp 40-41 :

Tableau 3. Matrice de présence/absence des espèces de Trichoptères identifiées aux stations de prélèvements ; fréquence d'occurrence de chaque espèce ; richesse spécifique et indice de diversité de Shannon-Weaver à chaque station.

Table 3. Matrix of presence/absence of the caddisfly species recorded at sampling stations; frequency of occurrence of each species; specific richness and Shannon-Weaver diversity index at each sampling station.

TAXONS	Stations																	
	Y_01	Y_02	Y_03	Y_05	Y_06	Y_08	Y_011	Y_012	Y_013	Y_014	Y_015	Y_016	Y_017	Y_018	Y_019			
<i>Trichostegia minor</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0			
<i>Anobolia nervosa</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
<i>Limnephilini</i>	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0			
<i>Limnephilus sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0			
<i>Limnephilus flavicornis</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0			
<i>Limnephilus rhombicus</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
<i>Stenophylacini-Chaetopterygini</i>	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1			
<i>Stenophylacini</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
<i>Chaetopteryx villosa/fusca</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
<i>Lepidostoma hirtum</i>	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1			
<i>Lasiocephala basalis</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0			
<i>Synagapetus dubitans</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0			
<i>Agapetus fuscipes</i>	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1			
<i>Hydropsyche sp.</i>	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1			
<i>Hydropsyche angustipennis</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0			
<i>Hydropsyche contubernalis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0			
<i>Hydropsyche sitalai</i>	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0			
<i>Cheumatopsyche lepida</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
<i>Agraylea sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
<i>Agraylea multipunctata</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
<i>Hydroptila sp.</i>	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1			
<i>Ithytrichia lamellaris</i>	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0			
<i>Orthotrichia sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0			
<i>Athripsodes albifrons</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0			
<i>Athripsodes cinereus</i>	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0			
<i>Ceraclea sp.</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0			
<i>Leptocerus tineiformis</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
<i>Mystacides azureus</i>	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0			
<i>Oecetis sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
<i>Oecetis testacea</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
<i>Adicella reducta</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1			
<i>Tinodes sp.</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0			
<i>Notidobia ciliaris</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1			
<i>Silo sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1			
<i>Silo nigricornis</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
<i>Silo pallipes</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
<i>Silo piceus</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
<i>Goera pilosa</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0			
<i>Polycentropus flavomaculatus</i>	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1			
<i>Cynrus trimaculatus</i>	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0			
<i>Neureclipsis bimaculata</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0			
<i>Plectrocnemia conspersa</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0			
<i>Rhyacophila sp.</i>	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0			
<i>Sericostoma flavicorne</i>	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1			
<i>Psychomyia pusilla</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
<i>Lype reducta</i>	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1			
<i>Brachycentrus subnubilus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0			
<i>Wormaldia occipitalis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
<i>Molanna angustata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
<i>Beraeodes minutus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
Richesse spécifique	3	6	17	8	8	5	10	10	1	7	1	5	4	10	11			
Indice de Shannon-Weaver	1,1	1,8	2,8	2,1	2,1	1,6	2,3	2,3	0	1,9	0	1,6	1,4	2,3	2,4			

Y_020	Y_021	Y_022	Y_024	Y_025	Y_026	Y_027	Y_028	Y_029	Y_030	Y_031	Y_032	Y_033	Y_034	Fréquence	Stations	TAXONS
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,4		<i>Trichostegia minor</i>
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	6,9		<i>Anobolia nervosa</i>
1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	55,2		<i>Limnephilini</i>
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,4		<i>Limnephilus sp.</i>
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	10,3		<i>Limnephilus flavicornis</i>
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,4		<i>Limnephilus rhombicus</i>
1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	58,6		<i>Stenophylacini-Chaetopterygini</i>
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	3,4		<i>Stenophylacini</i>
0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	3,4		<i>Chaetopteryx villosa/fusca</i>
1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	41,4		<i>Lepidostoma hirtum</i>
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,4		<i>Lasiocephala basalis</i>
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,4		<i>Synagapetus dubitans</i>
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17,2		<i>Agapetus fuscipes</i>
1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	1	48,3		<i>Hydropsyche sp.</i>
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,9		<i>Hydropsyche angustipennis</i>
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,4		<i>Hydropsyche contubernalis</i>
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	13,8		<i>Hydropsyche siltalai</i>
1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	13,8		<i>Cheumatopsyche lepida</i>
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	3,4		<i>Agraylea sp.</i>
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,4		<i>Agraylea multipunctata</i>
1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	48,3		<i>Hydroptila sp.</i>
1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	37,9		<i>Ithytrichia lamellaris</i>
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	6,9		<i>Orthotrichia sp.</i>
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,4		<i>Athripsodes albifrons</i>
1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	51,7		<i>Athripsodes cinereus</i>
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	17,2		<i>Ceraclea sp.</i>
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	6,9		<i>Leptoceris tineiformis</i>
1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	34,5		<i>Mystacides azureus</i>
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	10,3		<i>Oecetis sp.</i>
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,4		<i>Oecetis testacea</i>
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,4		<i>Adicella reducta</i>
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	10,3		<i>Tinodes sp.</i>
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	13,8		<i>Notidobia ciliaris</i>
0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	17,2		<i>Silo sp.</i>
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,4		<i>Silo nigricornis</i>
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,4		<i>Silo pallipes</i>
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,9		<i>Silo piceus</i>
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	17,2		<i>Goera pilosa</i>
1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	41,4		<i>Polycentropus flavomaculatus</i>
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	17,2		<i>Cyrnus trimaculatus</i>
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	6,9		<i>Neureclipsis bimaculata</i>
0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17,2		<i>Plectrocnemia conspersa</i>
1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	48,3		<i>Rhyacophila sp.</i>
1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	31,0		<i>Sericostoma flavicorne</i>
1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	10,3		<i>Psychomyia pusilla</i>
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	20,7		<i>Lype reducta</i>
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,4		<i>Brachycentrus subnubilus</i>
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,4		<i>Wormaldia occipitalis</i>
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	3,4		<i>Molanna angustata</i>
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	3,4		<i>Beraeodes minutus</i>
16	7	2	3	2	9	2	6	15	11	12	14	16	14			Richesse spécifique
2,8	1,9	0,7	1,1	0,7	2,3	0,7	1,8	2,7	2,4	2,5	2,6	2,8	2,6			Indice de Shannon-Weaver