

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

1. Répartition des Éphéméroptères [Ephemeroptera]

par Sylvain MANGOT & Anne-Sophie HESSE*

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 : Éphéméroptères, inventaire, région Centre, hydromorphologie.

Les Éphémères sont de bons indicateurs de l'état hydromorphologique d'un cours d'eau. Ils ont par conséquent été utilisés dans cette étude pour évaluer l'état hydromorphologique du bassin versant Yèvre-Auron (région Centre, France). Un inventaire des éphémères au niveau spécifique a été réalisé durant un an (2011/2012) à 29 stations. Cinq espèces remarquables ont été collectées, dont les deux premières citées sont nouvelles pour la région Centre: *Electrogena ujhelyii*, *Nigrobaetis niger*, *Labiobaetis atrebatinus*, et *Caenis beskidensis*, qui peuvent être considérées comme « espèces à surveiller » de par le morcellement de leurs habitats, ainsi qu'*Ecdyonurus torrentis*, qui peut être considérée comme « espèce en danger » sur le territoire français et dont la présence témoigne du caractère très préservé du Nord du bassin versant Yèvre-Auron. En revanche, le cortège des espèces d'Éphémères recensées sur la majorité du bassin reste commun et indique de fortes pressions anthropiques, notamment en termes de recalibrage, qui ont été exercées sur la plus grande partie du bassin.

Benthic macro-invertebrates from the Yèvre-Auron watershed (Centre region, France): 1. distribution of mayflies [Ephemeroptera]

Keywords: mayflies, inventory, Centre region, hydromorphology.

Mayflies are often used to evaluate the hydromorphological status of rivers. They were therefore used in this study to assess the hydromorphological status of the watershed Yèvre-Auron ("Centre" region, France). An inventory of mayflies from this watershed was carried out during one year (2011/2012) at 29 stations. It allowed the identification of two species new for the "Centre" region: *Nigrobaetis niger* and *Electrogena ujhelyii*. Four vulnerable species were recorded: *Nigrobaetis niger*, *Labiobaetis atrebatinus*, *Electrogena ujhelyii* and *Caenis beskidensis*, which can be considered as "species to monitor" because of the fragmentation of their habitats. One threatened species *Ecdyonurus torrentis* was captured. It can be considered as "endangered species" on the french territory. The presence of this species reflects the highly conserved nature of the North of the watershed Yèvre-Auron. However the majority of the species which were recorded on the watershed remains common. It reflects the important anthropogenic pressures, particularly recalibrations that were exerted on the watershed.

Introduction

Le bassin versant Yèvre-Auron, situé en majorité dans le département du Cher, a été particulièrement impacté par les lourds travaux d'aménagement entrepris entre les années 1950 et 1980 sur le territoire français. Ces travaux avaient pour objectif d'exonder les terres et de les assainir afin de les cultiver. Pour atteindre cet objectif, les cours d'eau ont été recalibrés, rectifiés, curés et un grand nombre d'ouvrages hydrauliques (en moyenne tous les 2 km) ont été implantés. Cela a eu pour conséquence une rupture des équilibres morphodynamiques et une accélération des crues vers l'aval. Sur les 500 km de cours d'eau du bassin, les 2/3 sont ainsi affectés par les travaux passés et présentent une artificialisation dont le taux est variable.

Bien qu'ayant subi une forte pression anthropique, le territoire de ce bassin versant semble conserver un bon potentiel écologique d'après les peuplements piscicoles en place (Sage Yèvre - Auron 2005). Le Barangeon, le Colin et le Moulon, affluents de l'Yèvre, restés proches de leur état naturel, contribuent très largement à maintenir ce potentiel. Ce constat reposant uniquement sur le compartiment poissons, des études complémentaires ciblées sur d'autres compartiments biologiques sont nécessaires afin d'affiner notre connaissance de la qualité biologique et de la dynamique morphologique des cours d'eau et mieux appréhender des protections réglementaires à mettre en place et des opérations de restauration à initier.

La diversité des insectes aquatiques, et en particulier celle des Éphéméroptères, des Plécoptères et des Trichoptères, est très largement utilisée à l'heure actuelle, parfois même exclusivement, pour évaluer la qualité des cours d'eau. Parmi ces ordres, les Éphémères constituent des indicateurs particulièrement pertinents pour évaluer la qualité morphodynamique d'un cours d'eau car ils sont particulièrement sensibles à la dynamique morphologique du milieu qu'ils colonisent (GALDEAN 1992; FOECKLER et al. 1994; MERCIER 1999). Le moindre changement morphodynamique peut être particulièrement défavorable à certaines espèces ; à titre d'exemple nous pouvons citer les effets du colmatage sur la baisse de la diversité des Éphémères (MERCIER 1999). Afin d'améliorer les connaissances actuelles sur la qualité morphodynamique du réseau hydrographique du bassin versant Yèvre-Auron, une étude fine des espèces d'Éphémères présentes sur ce territoire a été réalisée. Plus précisément, les objectifs de cette étude étaient de :

- établir un inventaire global des Éphémères présents sur le bassin versant Yèvre-Auron et ainsi produire une liste la plus exhaustive possible des espèces le caractérisant ;
- suivre durant une année l'évolution de la composition de la communauté des Éphémères sur le bassin Yèvre-Auron ;
- contribuer, à partir de cet inventaire, à l'évaluation de l'état morphodynamique des cours d'eau du bassin versant.

1. Méthodes et matériel

1.1. Description du site d'étude

Le bassin Yèvre-Auron est un sous-bassin versant du Cher et de la Loire. Il s'étend sur deux régions, le Centre et l'Auvergne, mais couvre majoritairement le département du Cher et présente une superficie de 2370 km². À forte dominante rurale, ce bassin ne dispose que d'un seul pôle urbain, la ville de Bourges. Le reste du territoire est dédié à la culture intensive de céréales

(Champagne berrichonne, partie centrale du bassin), à l'élevage (partie Sud) ainsi qu'à l'arboriculture et aux vignobles (partie Nord). Seuls, l'extrême Nord situé à la frange de la forêt de Sologne, et l'extrême Sud avec la forêt de Tronçais, conservent des espaces boisés. Ceux de l'extrême Nord disposent de petits cours d'eau à caractère temporaire, comme le sont également la Rampenne et le Langis à l'amont immédiat de Bourges. Le bassin versant Yèvre-Auron peut être ainsi scindé en quatre sous-bassins :

- Barangeon ;
- Yèvre et ses affluents rive droite (Annain, Moulon, Langis, Colin, Ouâtier) ;
- Airain ;
- Auron.

Sur les 330 km de linéaire de cours d'eau, les 2/3 sont largement dégradés, souvent par des travaux de rectification et de recalibrage. Tous les cours d'eau sont ainsi très logiquement classés en seconde catégorie piscicole, à l'exception de l'Ouâtier et du Barangeon, classés en première catégorie. Quelques espèces invasives de faune et de flore sont à signaler, telles que le Ragondin (*Myocastor coypus*), l'Écrevisse américaine (*Orconectes limosus*) ou l'Écrevisse de Louisiane (*Procambarus clarkii*).

1.2. Stations suivies

34 stations ont été choisies sur l'ensemble du bassin versant Yèvre-Auron pour mener cette étude (Fig. 2). Quatre périodes de prélèvements ont été définies sur un an à raison d'un prélèvement par station et par saison:

- suivi d'été : prélèvements effectués au cours du mois de juillet 2011 ;
- suivi d'automne : prélèvements effectués au cours du mois de novembre 2011 ;
- suivi d'hiver : prélèvements effectués au cours des mois de février et de mars 2012 ;
- suivi de printemps : prélèvements effectués au cours des mois d'avril et de mai 2012.

Le libellé de ces stations ainsi que leurs largeurs mouillées respectives sont donnés dans le Tableau 1.

1.3. Prélèvements des stades aquatiques

Dans un premier temps, les différents substrats présents sur la station à prélever ont été identifiés. Seuls les substrats les plus biogènes (selon le protocole de prélèvement XP T90-333) ont été retenus pour l'échantillonnage. Dans un second temps, l'échantillonnage a été réalisé à pied à l'aide d'une épuisette de vide de maille 1000 µm.

Les échantillons provenant des différents habitats prélevés sur une même station et à une même date ont été regroupés juste après leur prélèvement au sein d'un même échantillon. Cet échantillon a été conservé en alcool à 90 % et transporté au laboratoire sans précautions particulières. Pour chaque station, quatre échantillons ont ainsi été récoltés sur une année, soit un par saison.

1.4. Captures d'imagos

Une chasse d'adulte de 15 minutes a été effectuée à chaque station et lors de chaque campagne de prélèvements. Les adultes capturés ont été conservés en alcool à 90 %.

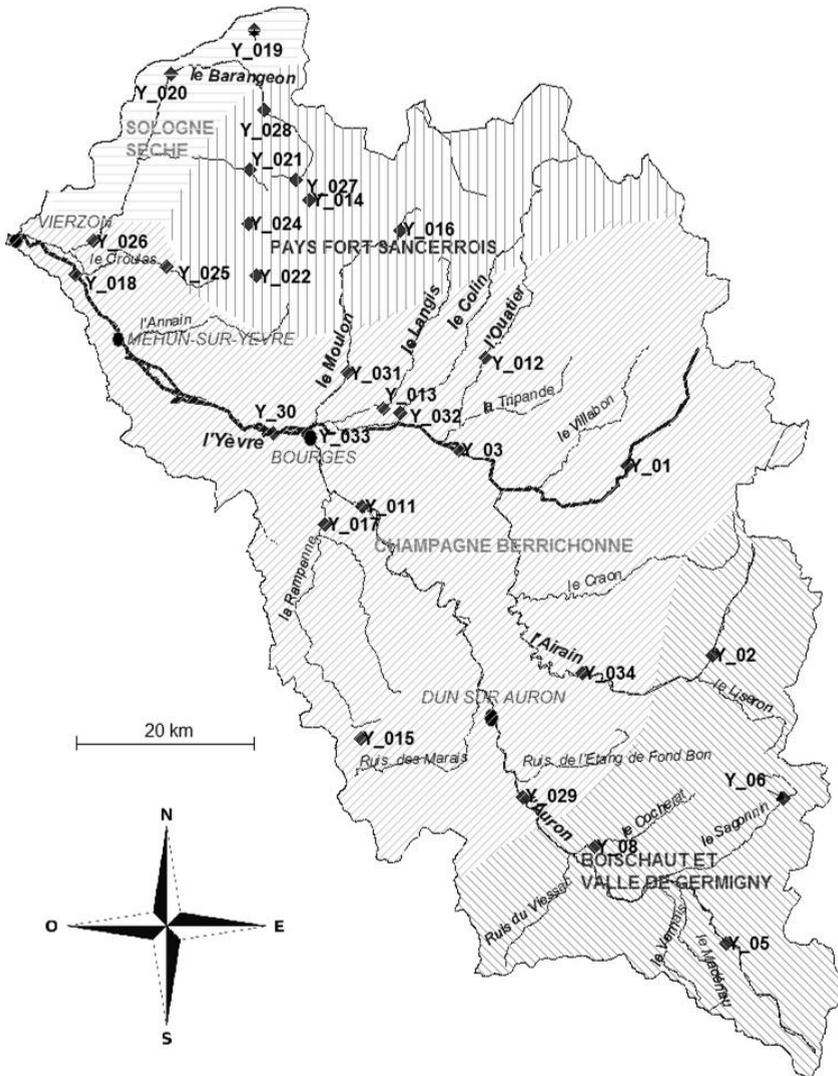


Figure 1. Localisation des stations de prélèvement.

Figure 1. Location of the sampling sites.

| 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 (1) | 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 Parnay | 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 (2) | Y_033 | 15 |
| Airain à Osmery | Y_034 | 3,6 |

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

Table 1. Sampling stations: name of the river / city, station code during this study, average wetted width of the stream at each sampling sites.

1.5. Détermination

La détermination du matériel récolté a été effectuée à l'espèce, dans la limite de la maturité des larves et de leur état de conservation, à l'aide d'une loupe binoculaire et d'un grossissement x120. En cas de doute sur l'identification, le taxon posant problème a été envoyé pour expertise au groupe de travail Opie-benthos de l'Office pour les Insectes et leur Environnement.

Seul le genre *Caenis* a fait exception : compte tenu des difficultés soulignées dans la littérature pour distinguer les stades larvaires jeunes de *Caenis macrura* et de *C. luctuosa* (LABAT et al. 2004), la distinction entre ces deux espèces n'a pas été réalisée et les taxons correspondants ont été notés comme appartenant au groupe *Caenis luctuosa/macrura*.

1.6. Analyses statistiques

Les résultats ont été présentés sous forme d'un tableau présence/absence d'espèces. À partir de ce tableau ont été calculés :

- la fréquence relative de capture de chaque espèce, égale au nombre de captures divisé par le nombre de stations prospectées ;
- l'indice de diversité de Shannon-Weaver, qui est couramment utilisé en écologie pour évaluer la diversité au sein d'un peuplement (ROUTLEDGE 1979). Précisons bien que les valeurs indiciaires obtenues ont été calculées sur les simples présence-absence (1 ou 0) de chaque espèce et non sur les effectifs des populations considérées.

Ces indices ont été complétés d'une Classification Hiérarchique Ascendante. Pour ce faire, le coefficient de similarité de JACCARD, ancien (1902) mais très simple, basé sur la matrice de présence/absence des différentes espèces d'Éphémères, a été calculé. Cela a abouti à deux matrices : la matrice de similarité entre stations et la matrice d'association entre espèces. Deux dendrogrammes ont ensuite été construits à partir de ces matrices par la méthode de Ward. L'ensemble des statistiques menées pour cette étude a été réalisé avec le logiciel R (TEAM 2008).

2. Résultats

2.1. Stations prises en compte

Sur les 34 stations initialement sélectionnées pour cette étude, 29 ont été prises en compte et 5 ont été écartées (Y_04, Y_07, Y_09, Y_010, Y_023) en raison des difficultés d'accès au cours d'eau (lit sur-creusé, berges abruptes) ou de profondeur trop élevée pour réaliser des prospections à pied.

2.2. Comparaison avec l'historique de données

Ephemerella notata avait été capturée et identifiée en 1999 par des agents du ministère en charge de l'écologie sur deux stations du Barangeon : à Vignoux-sur-Barangeon et Neuvy-sur-Barangeon (Y_026 et Y_020). Les prospections qui ont été menées pour la présente étude n'ont pas permis la capture d'individus de cette espèce, malgré des recherches poussées à chaque saison sur les sites originels de colonisation.

2.3. Inventaire des espèces d'Éphémères collectées

Les résultats de l'inventaire sont présentés dans le Tableau 2 (pages 60-61). 31 espèces ont été déterminées sur les 29 stations prospectées. Certains spécimens se sont révélés trop abîmés ou trop immatures pour être déterminés à l'espèce. Dans ce cas, le niveau de détermination a été le genre. Ces 31 espèces appartiennent à 9 familles : Leptophlebiidae, Potamanthidae, Polymitarcyidae, Ephemeridae, Caenidae, Ephemerellidae, Baetidae, Heptageniidae et Siphonuridae. Trois espèces, soit 7.5 % des espèces déterminées, sont considérées comme « espèces à surveiller » sur le territoire français, à savoir *Ephemera lineata*, *Caenis pseudorivulorum* et *Nigrobaetis niger* car leurs populations sont peu nombreuses et peu denses (BRULIN 2006).

À l'échelle du bassin versant Yèvre-Auron, six espèces peuvent être qualifiées de « courantes » avec des fréquences relatives respectives de 0.28, 0.21, 0.26, 0.24, 0.58 et 0.37 : *Baetis rhodani*, *Cloeon dipterum*, *Centroptilum luteolum*, *Procloeon bifidum*, *Serratella ignita* et *Ephemera danica*. Il est important de noter que la majorité des espèces recensées sur le bassin versant Yèvre-Auron peuvent être qualifiées de « rares » sur ce territoire, avec des fréquences relatives de 3.5 %, ce qui correspond à un recensement sur une unique station.

2.4. Affinité entre espèces

L'affinité entre espèces a été évaluée avec le coefficient de Jaccard, dont la valeur moyenne trouvée pour cette étude est de 0.57. Ce coefficient témoigne d'une similarité significative entre les espèces : les distributions des espèces d'Éphémères sont homogènes et peu variables sur le bassin versant Yèvre-Auron. Pour affiner cette première tendance, un dendrogramme a été réalisé.

Le dendrogramme a été coupé à une hauteur égale à 1, ce qui aboutit à huit groupes d'espèces d'Éphémères. Il met en évidence deux grands critères de similarité entre taxons :

1. Le milieu colonisé selon la taille du cours d'eau ;
2. La fréquence relative de capture du taxon sur le bassin versant.

Un premier groupe constitué de quatre espèces (noté « Groupe 1 » sur la Figure 2) se distingue ainsi du reste. Il rassemble *Electrogena ujhelyii*, *Rhithrogena picteti*, *Alainites muticus* et *Ecdyonurus torrentis*, espèces colonisant très préférentiellement de petits ruisseaux des têtes des bassins versants. Son coefficient de dissimilarité est nul, ce qui signifie que ces quatre espèces sont très proches tant au niveau du type de milieu colonisé qu'au niveau de leur fréquence relative. Elles ont en effet été capturées à une seule station: Y_021 le Ruisseau de la Foresterie à Allogny, petit cours d'eau forestier en tête de bassin versant.

Un second groupe (noté « Groupe 2 » sur la Figure 2) rassemble des espèces vivant au sein de rivières et non plus de ruisseaux. Il peut être scindé en 3 sous-groupes (Fig. 2). Le sous-groupe 1 réunit *Potamanthus luteus*, *Caenis pseudorivulorum*, *Baetis buceratus* et *Labiobaetis atrebatinus*, espèces colonisant très préférentiellement l'aval des grands cours d'eau. Son coefficient de dissimilarité est également nul, ces espèces n'ayant été capturées qu'à la seule station Y_018, l'Yèvre à Foecy, cours d'eau d'une largeur mouillée moyenne de 26 m à la station prospectée et située à l'aval du bassin versant.

Le sous-groupe 2 est composé de deux espèces : *Baetis fuscatus* et *Heptagenia sulphurea*, capturées uniquement à la station Y_026, le Barangeon à Vignoux-sur-Barangeon. Son coefficient de dissimilarité est donc nul, Ce sous-groupe est proche du sous-groupe 1 en termes de

fréquence relative mais s'en distingue par le type de milieu colonisé. Le cours d'eau est dans ce cas moins profond et moins large ; il présente en effet une largeur mouillée moyenne de 8.1 m à la station prospectée.

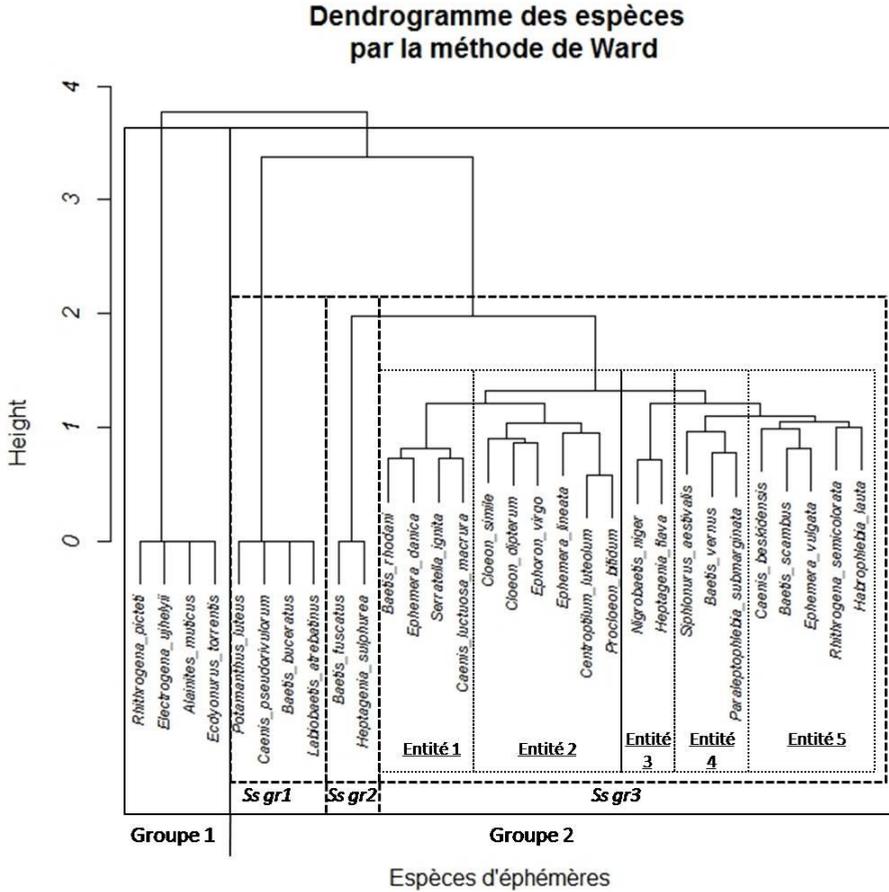


Figure 2. Dendrogramme représentant l'affinité entre les espèces d'Éphémères.

Figure 2. Dendrogram representing the affinity between mayfly species.

Le sous-groupe 3 se distingue des deux précédents par la valeur non nulle du coefficient de dissimilarité entre espèces. Six entités peuvent y être dégagées avec leurs coefficients de dissimilarité proches de 1, ce qui témoigne d'une bonne fiabilité et robustesse de l'analyse :

- l'entité 1 regroupe les quatre espèces les plus représentées sur le bassin versant Yèvre-Auron, toutes stations confondues : *Serratella ignita*, *Caenis luctuosa/macrura*, *Baetis rhodani* et *Ephemera danica* ;

- l'entité 2 regroupe six espèces communes des cours d'eau de moyenne et grande taille : *Ephemera lineata*, *Cloeon dipterum*, *C. simile*, *Ephoron virgo*, *Centropilum luteolum* et *Procloeon bifidum*. Ces six espèces ont été collectées ensemble à une station, Y_018, l'Yèvre à Foecy. Parmi elles, les Baetidae colonisent préférentiellement les plats et les zones lenticules des cours d'eau de taille moyenne. *Ephemera lineata* vit préférentiellement à l'aval des grands cours d'eau, tout comme *Ephoron virgo* ;

- l'entité 3 regroupe deux espèces colonisant préférentiellement des cours d'eau de taille moyenne présentant des zones courantes (*Nigrobaetis niger* et *Heptagenia flava*). Cela est cohérent avec la morphologie des cours d'eau au sein desquels ces espèces ont été récoltées, à savoir l'amont de l'Auron et de l'Yèvre ;

- l'entité 4 regroupe deux espèces caractéristiques de zones lentes plus ou moins tourbeuses (*Siphonurus aestivalis*, *Baetis vernus*) et une troisième espèce caractéristique des rivières au fond pierreux et à courant soutenu (*Paraleptophlebia submarginata*). Ces trois espèces, aux traits écologiques très différents, ont pourtant été collectées dans le Langis, cours d'eau temporaire présentant des alternances entre zones de radiers (constituées de pierres et de racines) et zones de mouilles (constituées de litière et de vase). *Siphonurus aestivalis*, *Baetis vernus* ont été collectées dans les zones de mouille tandis que *Paraleptophlebia submarginata* a été trouvée dans les zones de radiers avec *Habrophlebia lauta* ;

- l'entité 5 regroupe cinq espèces qui ont été capturées dans de petits cours d'eau situés en tête de bassin versant : *Habrophlebia lauta*, *Rhithrogena semicolorata*, *Baetis scambus*, *Caenis beskidensis* et *Ephemera vulgata*. Les milieux dans lesquels ces espèces ont été recensées sont en cohérence avec leurs traits écologiques, à l'exception d'*Ephemera vulgata*. Cette dernière colonise en effet préférentiellement la partie lente des grands cours d'eau ainsi que les plans d'eau. Or, elle a été recensée dans le Sagonnin, petit cours d'eau situé en tête du sous-bassin versant de l'Arnon. Il a pour particularité d'être très colmaté et de présenter des vitesses d'écoulement très faibles ce qui pourrait expliquer la présence d'*E. vulgata*.

2.5. Affinité entre stations de prélèvement

L'affinité entre les stations de prélèvement a été évaluée par le coefficient de Jaccard, dont la valeur moyenne de 0,85 trouvée pour cette étude, témoigne d'une forte similarité entre les stations prospectées. Pour affiner cette première tendance, un dendrogramme a été réalisé.

Ce dendrogramme a été coupé à une hauteur égale à 1,2 ce qui aboutit à cinq groupes de stations. Il met en évidence deux grands critères de similarité entre stations :

1. La diversité du milieu en espèces d'Éphémères ;
2. La taille du cours d'eau et l'intensité des pressions anthropiques s'exerçant sur les stations.

Un premier groupe (noté « Groupe 1 » sur la Figure 3) composé de quatre sites, Y_027, Y_025, Y_022 et Y_024 (Fig. 3), se distingue ainsi du reste des stations. Son coefficient de dissimilarité est nul, ce qui signifie que ces quatre stations sont très proches, tant au niveau du type de leur diversité que de leur morphologie. Leur coefficient de diversité de Shannon-Weaver (basé ici sur la présence-absence, 1 ou 0) est soit nul (Y_024 : une seule espèce présente) soit impossible à calculer (Y_022, 025 et 027 : aucun éphémère présent). Ces quatre stations sont proches géographiquement car toutes situées au sein des forêts d'Allogny et de Saint-Palais et très proches morphologiquement. Elles correspondent à des cours d'eau temporaires au substrat pierreux et ont présenté des périodes d'assec durant plusieurs mois de l'année. Elles ont par

ailleurs pour point commun de subir une acidification naturelle liée au sol forestier et subir l'influence de routes départementales très fréquentées.

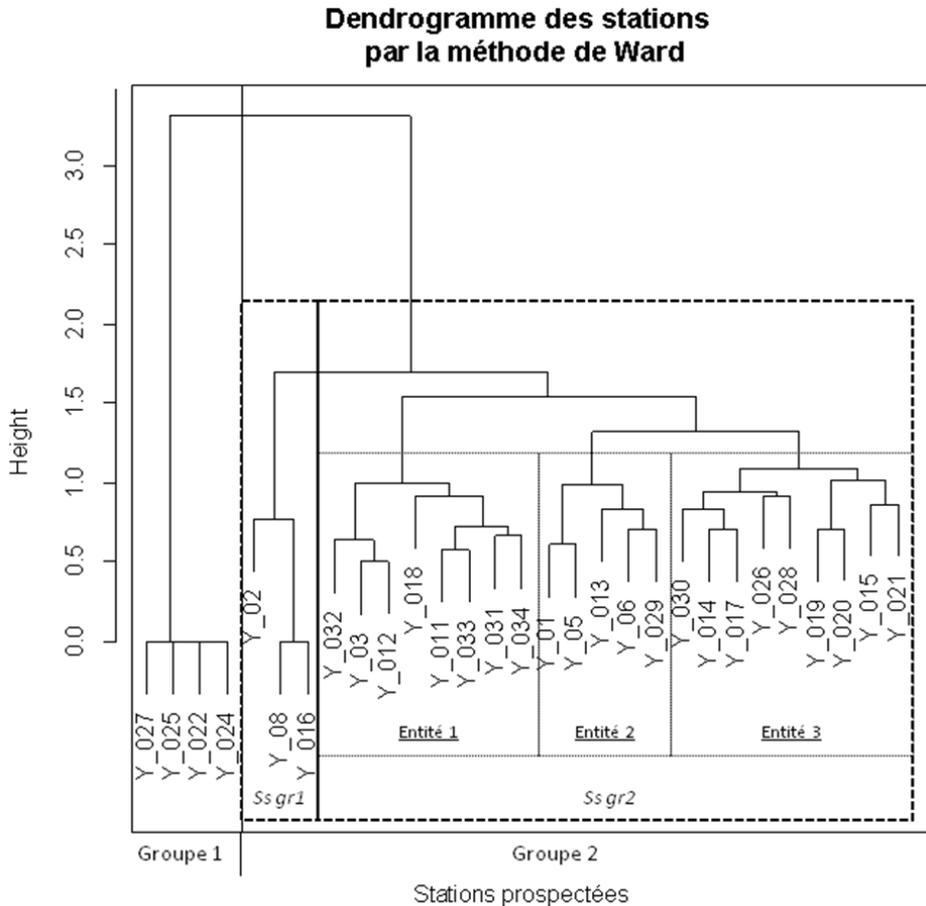


Figure 3. Dendrogramme représentant l'affinité entre les stations de prélèvement.

Figure 3. Dendrogram representing the affinity between sampling stations.

Un second groupe (noté « Groupe 2 » sur la Figure 3) rassemble les sites où l'indice de diversité de Shannon-Weaver est non nul. Ce groupe peut être scindé en 2 sous-groupes (Fig. 3). Y_02, Y_08 et Y_016 forment le sous-groupe 1 (Fig. 3). L'indice de Shannon-Weaver de ces trois sites est de 1,098. Seules des espèces d'Éphémères très communes sur le territoire français ont été recensées à ces stations : *Baetis rhodani*, *Ephemera danica* et *Caenis macrura/luctuosa*. Ces quatre stations, situées sur des cours d'eau permanents, ont pour particularité d'avoir été recalibrées et d'être peu diversifiées en habitats ; leur fond est majoritairement composé de sable et de limons. Elles sont soumises à une forte pression agricole marquée par une absence de ripisylve, un colmatage des habitats, une pollution azotée et phosphorée et une pollution aux pesticides (données de l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne). Elles subissent également de fortes varia-

tions de niveau d'eau ainsi qu'une forte pression urbaine liées aux voies de communication, les stations étant situées à proximité de routes départementales très fréquentées.

Le sous-groupe 2 rassemble des stations où l'indice de Shannon-Weaver est supérieur à 2 ou présentant des espèces peu communes sur le bassin versant. Ce sous-groupe peut être découpé en trois entités (Fig. 3) :

- l'entité 1 regroupe huit stations situées sur des cours d'eau permanents dont l'indice de diversité de Shannon-Weaver est proche de 2. Ce groupe de stations présente des vitesses d'écoulement et des habitats plus diversifiés, avec notamment la présence de pierres et de graviers. La pression liée à l'urbanisation est faible. En revanche, ces stations sont soumises à une forte pression agricole marquée par une absence de ripisylve, un colmatage des habitats et une pollution azotée et phosphorée (données de l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne). Malgré ces fortes pressions agricoles, la diversité des Éphémères y est élevée en comparaison des autres stations. Toutefois, le cortège d'Éphémères n'est composé que d'espèces ubiquistes. On y retrouve les espèces du sous-groupe 1 accompagnées d'individus des espèces *Centroptilum luteolum*, *Cloeon dipterum*, *Procloeon bifidum* et *Serratella ignita*.

- l'entité 2 regroupe des stations où l'indice de Shannon-Weaver est également proche de 2. Elles correspondent à de petits cours d'eau où des espèces rares à l'échelle du bassin versant Yèvre-Auron ont été capturées. La diversité des Éphémères y est importante et augmente grâce notamment à la présence d'espèces caractéristiques de milieux lenticques, telles que *Baetis vernus* et *Siphonurus aestivalis*. Ce groupe de stations rassemble en effet des cours d'eau présentant de faibles vitesses d'écoulement et une majorité de zones lenticques. Ils subissent d'une part une pression agricole et d'autre part une pression liée à l'urbanisation et plus particulièrement aux voies de communication, ces stations étant situées à proximité de routes départementales très fréquentées.

- l'entité 3 est composée de 9 stations majoritairement situées sur le Nord du bassin versant et subissant des pressions anthropiques limitées. On y retrouve notamment les petits cours d'eau temporaires des forêts d'Allogny et de Saint-Palais. Y_30 fait exception car elle est située sur l'Yèvre à la périphérie de Bourges et est particulièrement impactée par l'urbanisation. La diversité des Éphémères est peu importante sur ce groupe de stations, l'indice de Shannon-Weaver étant proche de 1, malgré la présence d'espèces rares à l'échelle du bassin versant Yèvre-Auron telles que *Rhithrogena semicolorata*, *Ecdyonurus torrentis* ou *Electrogena ujhelyii*.

Ces résultats mettent par conséquent en évidence trois points principaux :

- les périodes d'assec tendent à faire chuter la diversité des Éphémères ;
- la diversité des Éphémères augmente avec la diversité des habitats ;
- la pression agricole n'influence pas la quantité du cortège d'Éphémères mais sa qualité : les espèces polluosensibles étant remplacées par des espèces ubiquistes.

Pp 60-61:

Tableau 2. Matrice de présence/absence des différentes espèces d'Éphémères capturées aux stations de prélèvements avec la fréquence relative de chaque espèce, ainsi que la richesse spécifique et l'indice de diversité de Shannon-Weaver (calculé sur la présence-absence 1 ou 0) pour chaque station.

Table 2. Matrix representing the presence/absence of the different mayflies species captured at the sampling stations. The relative frequency of each species was evaluated with the specific richness and the Shannon-Weaver diversity index (calculated on presence-absence 1 or 0) for each sampling station.

| <i>Espèces</i> | 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 |
| <i>Alainites muticus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Baetis</i> sp. | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| <i>Baetis buceratus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| <i>Baetis fuscatus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Baetis rhodani</i> | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Baetis scambus</i> | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Baetis vernus</i> | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Centroptilum luteolum</i> | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| <i>Cloeon dipterum</i> | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| <i>Cloeon simile</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Procloeon bifidum</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| <i>Labiobaetis atrebatinus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| <i>Nigrobaetis niger</i> | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Siphonurus aestivalis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Heptagenia</i> sp. | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| <i>Heptagenia flava</i> | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Heptagenia sulphurea</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Ecdyonurus torrentis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Electrogena ujhelyii</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Rhithrogena</i> sp. | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Rhithrogena semicolorata</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Rhithrogena picteti</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Serratella ignita</i> | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| <i>Caenis</i> sp. | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Caenis beskidensis</i> | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Caenis luctuosa</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| <i>Caenis macrura</i> | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Caenis pseudorivulorum</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| <i>Ephemera</i> sp. | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| <i>Ephemera danica</i> | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Ephemera lineata</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| <i>Ephemera vulgata</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| <i>Ephoron virgo</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| <i>Paraleptophlebia</i> sp. | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Paraleptophlebia submarginata</i> | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Habrophlebia</i> sp. | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| <i>Habrophlebia lauta</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Potamanthus luteus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Richesse spécifique | 5 | 3 | 8 | 8 | 9 | 3 | 7 | 6 | 6 | 3 | 2 | 3 | 3 | 14 |
| Indice de Shannon-Weaver | 1,61 | 1,1 | 2,08 | 2,08 | 2,2 | 1,1 | 1,95 | 1,79 | 1,79 | 1,1 | 0,69 | 1,1 | 1,1 | 2,64 |

| Y_019 | 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 relative | Stations | Espèces |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--------------------|----------|--------------------------------------|
| 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0345 | | <i>Alainites muticus</i> |
| 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0,6207 | | <i>Baetis</i> sp. |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0345 | | <i>Baetis buceratus</i> |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0345 | | <i>Baetis fuscatus</i> |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0,2759 | | <i>Baetis rhodani</i> |
| 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0,1724 | | <i>Baetis scambus</i> |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,1724 | | <i>Baetis vernus</i> |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0,2759 | | <i>Centropilum luteolum</i> |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0,2069 | | <i>Cloeon dipterum</i> |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0,0345 | | <i>Cloeon simile</i> |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0,2414 | | <i>Procloeon bifidum</i> |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0345 | | <i>Labiobaetis atrebatinus</i> |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0345 | | <i>Nigrobaetis niger</i> |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0345 | | <i>Siphonurus aestivalis</i> |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,1724 | | <i>Heptagenia</i> sp. |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0345 | | <i>Heptagenia flava</i> |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0345 | | <i>Heptagenia sulphurea</i> |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0345 | | <i>Ecdyonurus torrentis</i> |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0345 | | <i>Electrogena ujhelyii</i> |
| 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0345 | | <i>Rhithrogena</i> sp. |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0345 | | <i>Rhithrogena semicolorata</i> |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0345 | | <i>Rhithrogena picteti</i> |
| 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0,5862 | | <i>Serratella ignita</i> |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0,2069 | | <i>Caenis</i> sp. |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0345 | | <i>Caenis beskidensis</i> |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0,2069 | | <i>Caenis luctuosa</i> |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0,1724 | | <i>Caenis macrura</i> |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0345 | | <i>Caenis pseudorivulorum</i> |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0,1724 | | <i>Ephemera</i> sp. |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0,3793 | | <i>Ephemera danica</i> |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0345 | | <i>Ephemera lineata</i> |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0,1034 | | <i>Ephemera vulgata</i> |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0,1379 | | <i>Ephoron virgo</i> |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0,1724 | | <i>Paraleptophlebia</i> sp. |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,1379 | | <i>Paraleptophlebia submarginata</i> |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,1034 | | <i>Habrophlebia</i> sp. |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0345 | | <i>Habrophlebia lauta</i> |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0345 | | <i>Potamanthus luteus</i> |
| 3 | 4 | 8 | 0 | 1 | 0 | 11 | 0 | 1 | 9 | 4 | 7 | 6 | 8 | 8 | | | Richesse spécifique |
| 1,1 | 1,39 | 2,08 | - | 0 | - | 2,1 | - | 0 | 2,2 | 1,39 | 1,95 | 1,79 | 2,08 | 2,079 | | | Indice de Shannon-Weaver |

3. Discussion

3.1. La probable disparition d'*Ephemerella notata*

BRULIN (2007) a proposé de considérer l'espèce *Ephemerella notata* comme « en danger » car elle n'était connue en 2006 que de quelques cours d'eau du Centre de la France, principalement situés sur le bassin de la Loire. Seulement neuf stations parmi les relevés de cet auteur hébergeaient *E. notata* en 2006 (12 en 2015, M. Brulin comm. pers.). L'espèce connaît une régression constante en France comme dans d'autres pays européens. Compte tenu de ces conclusions et des résultats de cette étude, *E. notata* a très vraisemblablement disparu du sous-bassin versant du Barangeon et ainsi plus globalement du bassin versant Yèvre-Auron.

3.2. Niveau de rareté des espèces capturées

Aucune espèce d'Éphémères considérée en « situation critique » sur le territoire français n'a été recensée sur le bassin versant Yèvre-Auron si on se réfère aux listes disponibles dans la littérature (MASSELOT & BRULIN 2001), c'est-à-dire qu'elles ne sont pas menacées d'extinction. Elles présentent en revanche un niveau de rareté variable en France. Cette étude se réfèrera à la classification proposée par l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature et de ses ressources en 2001 et reprise par BRULIN (2006). Par niveau de rareté décroissant : Éteint / En danger critique d'extinction / En danger / Vulnérable / Quasi menacé / Préoccupation mineure / Données insuffisantes.

La présente étude met en évidence les points suivants :

- 6 espèces peuvent être considérées communes sur le bassin versant Yèvre-Auron : *Baetis rhodani*, *Cloeon dipterum*, *Centroptilum luteolum*, *Procloeon bifidum*, *Serratella ignita* et *Ephemera danica*. Elles sont plus généralement notées dans la littérature comme étant très abondantes et courantes sur le territoire français (LE DOARÉ & TROËL 2011). Elles colonisent préférentiellement les cours d'eau de petite et moyenne taille mais sont également retrouvées au sein de ruisseaux, de grands cours d'eau ou même de lacs (BRULIN 2006; BRULIN 2011). Il est par conséquent logique qu'elles soient communes sur le bassin versant Yèvre-Auron. Par ailleurs, *Baetis rhodani*, *Cloeon dipterum*, *Centroptilum luteolum*, et *Procloeon bifidum* ont une écologie proche et cohabitent très fréquemment dans les herbiers (LE DOARÉ & TROËL 2011). Ce n'est ainsi pas surprenant de les capturer à une même station.

- 16 espèces d'Éphémères peuvent être considérées rares sur le bassin versant Yèvre-Auron. Toutefois, il convient d'être prudent en ce qui concerne les espèces caractéristiques des fleuves et des grands cours d'eau, comme *Potamanthus luteus*, *Baetis buceratus*, *B. fuscatus*, *Heptagenia flava* et *Ephemera lineata*. En effet, cette étude a été basée sur des prospections à pied, difficiles pour ce qui concerne les cours d'eau profonds, et pouvant ainsi minorer nos résultats. Néanmoins, dans le cas d'*Ephemera lineata*, l'espèce est considérée comme menacée de disparition en Allemagne et est peu représentée sur le territoire français où elle pourrait avoir un statut d'« espèce à surveiller » (BRULIN 2006). Par conséquent, sa présence à l'aval de l'Yèvre mérite d'être soulignée. Dans le cas de *Baetis fuscatus*, alors que la littérature souligne la préférence de cette espèce pour les grands cours d'eau (GARCIA et al. 2004; LE DOARÉ & TROËL 2011; Opie-benthos 2014), elle a été répertoriée à la station Y_026, le Barangeon à Vignoux-sur-Barangeon, cours d'eau de largeur moyenne proche de 8 m. Cela montre la capacité de *B. fuscatus* à coloni-

ser des cours d'eau de plus petite taille. Le Barangeon, riche en herbiers, répond aux besoins de *B. fuscatus* en termes d'habitats, tout comme l'Yèvre. La confluence de ces deux cours d'eau est d'ailleurs très proche de la station Y_026 et les individus capturés sur le Barangeon pourraient ainsi provenir de l'Yèvre. En ce qui concerne *Heptagenia flava*, cette espèce peut être considérée comme « vulnérable » en France, car son milieu préférentiel, situé sur l'aval des bassins versants, subit des pressions anthropiques grandissantes (Opie-benthos 2014). Il est dès lors important de souligner sa présence sur la station Y_06, l'Auron à Bessais-le-Fromental.

Parmi les 11 espèces rares restantes, quatre présentent des populations éparées sur le territoire français. Elles peuvent ainsi être considérées comme « à surveiller » (Opie-benthos 2014). Il s'agit de *Nigrobaetis niger*, *Labiobaetis atrebatinus*, *Electrogena ujhelyii* et *Caenis beskidensis*. Une autre espèce, *Ecdyonurus torrentis*, peut être considérée comme « en danger » en France en raison du faible nombre des stations où elle est connue. Ce niveau de rareté s'explique très vraisemblablement par l'écologie de cette espèce qui colonise préférentiellement des petits cours d'eau très préservés au substrat de galets et cailloux, de graviers (VERNEAUX et al. 2003). En France, elle est ainsi souvent collectée dans des ruisseaux en milieu forestier (Opie-benthos 2014). Cela est cohérent avec la morphologie de la station où elle a été capturée : Y_021, le Ruisseau de la Foresterie à Allogny, ruisseau forestier caillouteux situé dans un milieu préservé, faiblement impacté par les activités humaines. Les autres espèces rares sur le bassin versant Yèvre-Auron sont communes sur le territoire français (Opie-benthos 2014). *Siphonurus aestivalis* vit principalement dans des zones marécageuses en bordure des grands cours d'eau. Ce type de milieu n'ayant pas été prospecté, il est logique qu'elle apparaisse comme rare sur le bassin versant Yèvre-Auron. *Cloeon simile* colonise plutôt les milieux stagnants, notamment les lacs et les étangs. Il est ainsi également logique qu'il ait été peu récolté au cours de cette étude. *Rhithrogena picteti* et *R. semicolorata* colonisent préférentiellement de petits cours d'eau caillouteux et des ruisseaux (ELLIOTT & HUMPESCH 2010; LE DOARÉ & TROËL 2011). Bien que répandues en France, elles sont rares sur le bassin versant Yèvre-Auron car leur micro-habitat y est peu représenté ; elles ont été capturées dans de petits cours d'eau n'ayant pas ou peu subi de dégradations liées aux activités humaines.

3.3. Apports de la présente étude à l'inventaire des Éphémères de la Région Centre

Un inventaire des Éphémères de la région Centre a été réalisé en 1999 (CHOVET & LÉCUREUIL 1999). Il a été enrichi par cette étude de deux nouvelles espèces : *Nigrobaetis niger* et *Electrogena ujhelyii*. *N. niger* apparaît déjà dans la liste proposée par CHOVET & LÉCUREUIL (1999) mais recensée dans le département de l'Yonne (hors région Centre). La présente étude ajoute également de nouveaux sites à ceux préalablement prospectés par CHOVET & LÉCUREUIL (1999 *ibid*) et complète ainsi nos connaissances de la répartition des éphémères.

3.4. Lien entre pressions anthropiques et diversité des Éphémères

Notre étude a mis en évidence que les cours d'eau temporaires présentaient les diversités d'Éphémères les plus faibles. Pourtant, les Éphémères, tout comme les Trichoptères, les Coléoptères et les Diptères, peuvent être bien adaptés à la vie dans de tels biotopes (WILLIAMS 1996), en raison du cycle vital court et du multivoltinisme de certaines espèces. Les plus représentées

sur le bassin versant Yèvre-Auron sont multivoltines et pourraient ainsi être retrouvées dans des cours d'eau temporaires, si ces derniers connaissent toutefois une période en eau suffisamment longue. Chez les espèces univoltines, une autre adaptation est présentée par une période de vol assez précoce pour permettre l'éclosion de larves néonates en milieu aqueux et leur enfoncement dans le sous-écoulement lors de l'assec. Il pourrait s'agir d'éléments limitants pour que les stations Y_025, Y_022 et Y_024, observées en assec durant deux campagnes de prélèvements, puissent abriter des Éphémères. Les quatre stations du Groupe 1 subissent par ailleurs une acidification naturelle liée au sol forestier et sont sous l'influence de routes départementales très fréquentées. En revanche, les stations Y_14, Y_17 et Y_21, bien qu'étant situées sur des cours d'eau temporaires, présentent des valeurs de l'indice de Shannon-Weaver respectivement de 1.1, 1.1 et 2.08 et ne subissent aucune pression anthropique notable ce qui tend à confirmer notre hypothèse selon laquelle la pression exercée par le réseau routier limiterait la diversité des Éphémères.

Cette étude a par ailleurs mis en évidence que le cortège des Éphémères dans les stations les plus impactées par les pressions agricoles et urbaines, était uniquement constitué de trois espèces : *Baetis rhodani*, *Caenis macrura/luctuosa* et *Ephemera danica*. Cela n'est pas surprenant puisque les larves de *Baetis rhodani* sont assez tolérantes vis à vis de la pollution organique, montrent une grande résistance aux contaminations par des métaux lourds (FIALKOWSKI et al. 2002), et vivent dans des habitats très variés (LE DOARÉ & TROËL 2011). *Ephemera danica* est également résistante aux contaminations métalliques (DUKOWSKA et al. 2012). *Caenis macrura* est même considérée comme l'une des espèces d'Éphémères les plus tolérantes par LOCK & GOETHALS (2011) et elle peut vivre dans des cours d'eau canalisés et subissant des pollutions agricoles diffuses (PLIÛRAITË et al. 2010). Enfin, *Caenis luctuosa* est commune dans des cours d'eau temporaires méditerranéens et se montre tolérante à des pollutions aussi bien organiques que minérales (BELFIORE 1983, PERAN et al. 1999).

Dans les cours d'eau subissant de fortes pressions agricoles mais de faibles impacts liés à l'urbanisation, le précédent cortège d'Éphémères est complété par *Centroptilum luteolum*, *Cloeon dipterum*, *Procloeon bifidum* et *Serratella ignita*. Ces cours d'eau présentent des vitesses d'écoulement et des habitats plus diversifiés, ce qui peut expliquer l'augmentation de cette diversité spécifique (BAUERNFEIND & MOOG 2000, ARIMORO & MULLER 2009). Les trois premières espèces citées tolèrent le colmatage et les faibles concentrations en oxygène (MENETREY et al. 2008) d'où leur possible présence dans des milieux fortement impactés par les activités agricoles. Elles colonisent préférentiellement les végétaux aquatiques (BUFFAGNI et al. 2009). *Serratella ignita* est une espèce ubiquiste très résistante aux pollutions organiques (LE DOARÉ & TROËL 2011). Elle tolère de larges variations de température et de concentration en oxygène dissous ainsi que des contaminations en métaux lourds (VIDINOVA & RUSSEV 1997).

Lorsque les pressions agricoles diminuent, le cortège d'Éphémères change en qualité mais non en quantité. Les espèces ubiquistes *Baetis rhodani*, *Serratella ignita* et *Ephemera danica* sont toujours présentes tandis que *Centroptilum luteolum*, *Cloeon dipterum*, et *Procloeon bifidum* sont remplacées par des espèces telles qu'*Alainites muticus*, *Nigrobaetis niger*, *Heptagenia sulphurea*, *Ecdyonurus torrentis*, *Electrogena ujhelyii* ou *Rhithrogena picteti*. Ces espèces, bien que tolérantes de faibles pollutions, privilégient les petits cours d'eau bien oxygénés et peu impactés (LE DOARÉ & TROËL 2011). Ces résultats rejoignent ceux d'ARIMORO & MÜLLER (2010) qui ont mis en évidence la présence d'espèces d'Éphémères supportant le colmatage à des stations correspondant à une occupation du sol majoritairement agricole ; ces espèces sont remplacées par des taxons d'eau claire et courante dès lors que les pressions agricoles diminuent.

En conclusion, le nombre d'espèces d'Éphémères diminue lorsque le milieu est très impacté non seulement au niveau de la qualité de l'eau mais également au niveau de la qualité des habitats. Lorsque le milieu présente des habitats diversifiés, le nombre d'espèces d'Éphémères tend à augmenter, la qualité des espèces présentes permettant de définir les pressions subies à ces stations. Ce résultat est cohérent avec ceux présentés par LOCK ET GOETHALS (2011) qui mettent en évidence des cortèges d'espèces particuliers selon la qualité physico-chimique de l'eau.

4. Conclusion

Le bassin Yèvre-Auron a subi de lourds travaux d'aménagement au cours des années 1950 / 1960, notamment pour le recalibrage des cours d'eau. Ces travaux ont fortement impacté leur état hydromorphologique et cette étude met en évidence que les conséquences sont toujours visibles à l'heure actuelle, notamment sur les sous-bassins versants de l'Auron et de l'Airain. Néanmoins, les communautés des Éphémères recensées montrent que le bassin versant Yèvre-Auron possède un bon potentiel hydromorphologique. Six espèces d'Éphémères peu communes sur le territoire français y ont d'autre part été recensées, dont une (*Ecdyonurus torrentis*) peut être considérée comme « en danger » en France. Cette dernière, polluosensible, témoigne du caractère très préservé du Nord de ce bassin versant.

Remerciements

Nous tenons à remercier Murielle Lethrosne (statisticienne régionale à la Dreal Centre) pour l'aide qu'elle nous a apportée dans la réalisation et l'interprétation des analyses statistiques présentées dans cette étude. Nous remercions également vivement Michel Brulin pour l'appui technique en validant une part de nos déterminations ainsi que Michel Chovet pour ses précieux conseils lors de la rédaction de cet article.

Travaux cités

- ARIMORO, F. O. & W. J. MULLER. 2010. Mayfly (Insecta, Ephemeroptera) community structure as an indicator of the ecological status of a stream in the Niger Delta area of Nigeria. *Environmental monitoring and assessment*, **166** (1-4): 581-594.
- BAUERNFEIND, E. & O. MOOG. 2000. Mayflies (Insecta, Ephemeroptera) and the assessment of ecological integrity: a methodological approach (pp. 71-83). Springer, Netherlands.
- BELFIORE, C., 1983. *Guide per il riconoscimento delle specie animali delle acque interne italiane*. 24. Efemeroteri (Ephemeroptera). Consiglio Nazionale delle Ricerche, Rome.
- BRULIN, M. 2006. Atlas de distribution des Éphémères de France. 1ère partie: hors Baetidae et Heptageniidae (Insecta, Ephemeroptera). *Ephemera*, **8** (1): 1-73.
- BRULIN, M. 2011. Atlas de distribution des Éphémères de France. 3ème partie: familles des Ametropodidae et des Baetidae (Ephemeroptera). *Ephemera*, **12** (2): 65-109.
- BUFFAGNI, A., M. CAZZOLA, M. J. LOPEZ-RODRIGUEZ, J. ALBA-TERCEDOR & D. J. ARMANINI. 2009. *Distribution and ecological preferences of European freshwater organisms*. Volume 3: Ephemeroptera. Pensoft Publisher, Sofia-Moskow. 254 pp.
- CHOVET, M. & J.-Y. LÉCUREUIL. 1999. Les Éphémères de la région Centre (France). *Ephemera*, **1** (2): 131-142.
- DUKOWSKA, M., J. MICHALOWICZ & M. GRZYBKOWSKA. 2012. Influence of natural organic matter and metal accumulation in sediment on riverine macrobenthic assemblages. *Polish Journal of Ecology*, **60** (2): 351-362.

- ELLIOTT, J. M. & U. HUMPECH. 2010. Mayfly larvae (Ephemeroptera) of Britain and Ireland: keys and a review of their ecology. Freshwater Biological Association (FBA). Scientific Publication n° 66. 152 pp.
- FIALKOWSKI, W., M. KLONOWSKA-OLEJNIK, B. D. SMITH & P. S. RAINBOW. 2003. Mayfly larvae (*Baetis rhodani* and *B. vernus*) as biomonitors of trace metal pollution in streams of a catchment draining a zinc and lead mining area of Upper Silesia, Poland. *Environmental Pollution*, **121** (2): 253-267.
- FOECKLER, F., W. KRETSCHMER, O. DEICHNER & H. SCHMIDT. 1994. Les communautés de macroinvertébrés dans les chenaux abandonnés par une rivière en cours d'incision, la basse Salzach (Bavière, Allemagne) / Macro-invertebrate communities in the abandoned channels of a river in the process of entrenchment: the lower Salzach, Bavaria, Germany. *Revue de géographie de Lyon*, **69**: 31-40.
- GALDEAN, N. 1992. Utilisation of mayflies (Insecta, Ephemeroptera) for dividing some Romanian running waters into zones. *Travaux du Muséum d'Histoire naturelle «Grigore Antipa»*, **32**: 399-423.
- GARCIA, X.-F., M. BRAUNS & M. PUSCH. 2004. Ecological effects of different shore protection types on the River Elbe, East Germany. *DGL, Tagungsbericht*: 1-5.
- JACCARD, P. 1902. Lois de distribution florale dans la zone alpine. *Bulletin de la Société vaudoise des Sciences naturelles*, **38** : 69-130.
- LABAT, D., O. DELZONS, A. THOMAS, B. SÉBASTIEN & V. MARIE. 2004. Évolution sur 40 ans du peuplement en Éphémères d'une petite rivière des Prépyrénées, le Volp: résultats préliminaires (Ephemeroptera). *Ephemera*, **4** (1): 15-34.
- LE DOARÉ, J. & P. TRÔËL. 2011. *Les merveilleux Éphémères des rivières de France et d'ailleurs*. Publ. Priv. 255 pp.
- LOCK, K. & P. L. GOETHALS. 2011. Distribution and ecology of the mayflies (Ephemeroptera) of Flanders (Belgium). *Annales de Limnologie-International Journal of Limnology*, **47** (02): 159-165.
- MASSELOT, G. & M. BRULIN. 2001. Les Éphémères d'intérêt patrimonial pour la France. 1. Première liste: espèces éteintes et espèces en situation critique (Ephemeroptera). *Ephemera*, **2** (1): 59-65.
- MENETREY, N., B. OERTLI, M. SARTORI, A. WAGNER & J. B. LACHAVANNE. 2008. Eutrophication: are mayflies (Ephemeroptera) good bioindicators for ponds? *Hydrobiologia*, **597** (1): 125-135.
- MERCIER, A. 1999. L'importance du fonctionnement morphodynamique du cours d'eau sur les habitats des éphémères. L'exemple d'une rivière de montagne : l'Ariège (Pyrénées centrales françaises). *Ephemera*, **1** (2): 111-117.
- PERÁN, A., J. VELASCO & A. T. MILLAN. 1999. Life cycle and secondary production of *Caenis luctuosa* (Ephemeroptera) in a semiarid stream (Southeast Spain). *Hydrobiologia*, **400**: 187-194.
- PLIŪRAITĖ, V. & V. KESMINAS. 2010. Response of benthic macroinvertebrates to agricultural pollution and channelization in the Mūša River. *Lithuania.Fresenius Environmental Bulletin*, **19** (12a): 2929-2937.
- ROUTLEDGE, R. 1979. Diversity indices: Which ones are admissible? *Journal of Theoretical Biology*, **76** (4): 503-515.
- SAGE YÈVRE - AURON. 2005. Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux du Bassin Yèvre-Auron - Synthèse générale.
- TEAM, R. D. C. 2008. R: a language and environment for statistical computing. R. Foundation for Statistical computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0.
- VERNEAUX, J., A. SCHMITT, V. VERNEAUX & C. PROUTEAU. 2003. Benthic insects and fish of the Doubs River system: typological traits and the development of a species continuum in a theoretically extrapolated watercourse. *Hydrobiologia*, **490** (1-3): 63-74.
- VIDINOVA, Y. & B. RUSSEV. 1997. Distribution and ecology of the representatives of some ephemeropteran families in Bulgaria. Ephemeroptera & Plecoptera: Biology—Ecology—Systematics. MTL, Fribourg, Switzerland: 139-146.
- WILLIAMS, D. D. 1996. Environmental constraints in temporary fresh waters and their consequences for the insect fauna. *Journal of the North American Benthological Society*, **15** (4): 634-650.

Sites internet

OPIE-BENTHOS. 2014. www.opie-benthos.fr.