

Évolution de la végétation macrophytique et trophie dans deux ruisseaux du bassin hydrographique de la molignée (condroz, belgique)

Evolution of the macrophyte vegetation and trophic state in two streams of the Mollignée catchment (Condroz, Belgium)

Guy Bouxin

Volume 24, Number 3, 2011

URI: <https://id.erudit.org/iderudit/1006476ar>

DOI: <https://doi.org/10.7202/1006476ar>

[See table of contents](#)

Publisher(s)

Université du Québec - INRS-Eau, Terre et Environnement (INRS-ETE)

ISSN

1718-8598 (digital)

[Explore this journal](#)

Cite this article

Bouxin, G. (2011). Évolution de la végétation macrophytique et trophie dans deux ruisseaux du bassin hydrographique de la molignée (condroz, belgique). *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, 24(3), 253–266. <https://doi.org/10.7202/1006476ar>

Article abstract

The aquatic, amphibious and supra-aquatic vegetation of a stream (called Mollignée) and its main tributary (called Flavion) from a catchment in the south of Belgium was studied in 1994 and 2005 in the main stream and in 1995 and 2006 in the tributary. The stream channels were divided into 50 and 36 contiguous 500-meter long sections in the Mollignée and Flavion, respectively. In each section, the vegetation was described and various mesological parameters of the stream channel and floodplain were recorded. In 2005 and 2006, the water and amphibious Bryophytes as well as the filamentous Algae were also recorded. The statistical data analysis was conducted from the tables of aquatic and amphibious macrophytes, by means of multivariate analyses such as non-symmetrical correspondence analysis. The dataset containing juxtaposed floristic and mesological tables was analysed using multiple factor analysis. The macrophyte biological index for rivers (IBMR) was calculated for each section. The results show, over a period of eleven years, a decrease in frequency of a lot of bank species and important changes in the vegetation linked to the water environment. There is an increase of species favoured by organic pollution and a reduction in species intolerant of that pollution. The presence of farms, cattle trampling, domestic pollution or urbanization are factors correlated with these changes. The contributions of the various techniques of data processing are discussed. Management suggestions are discussed.



ÉVOLUTION DE LA VÉGÉTATION MACROPHYTIQUE ET TROPHIE DANS DEUX RUISSEAUX DU BASSIN HYDROGRAPHIQUE DE LA MOLIGNÉE (CONDROZ, BELGIQUE)

Evolution of the macrophyte vegetation and trophic state in two streams of the Molinee catchment (Condroz, Belgium)

GUY BOUXIN

Fondation Gouverneur René Close, Place Saint-Aubain 2, 5000, Namur, Belgique

Reçu le 6 août 2008, accepté le 1^{er} décembre 2010

RÉSUMÉ

La végétation aquatique amphibie et supra-aquatique d'un ruisseau (appelé Molinee) et de son principal affluent (appelé Flavion), d'un bassin hydrographique du sud de la Belgique, a été étudiée en 1994 et en 2005 dans la rivière principale, et en 1995 et 2006 dans l'affluent. Les lits mineurs des ruisseaux ont été découpés en 50 et 36 sections contiguës de 500 mètres de longueur dans la Molinee et dans le Flavion respectivement. Dans chaque section, la végétation a été décrite et divers paramètres mésologiques des lits mineur et majeur ont été enregistrés. En 2005 et 2006, les bryophytes aquatiques et amphibies, ainsi que les algues filamenteuses, ont aussi été enregistrées. L'analyse statistique des données fut réalisée à partir des fichiers de macrophytes aquatiques et amphibies au moyen d'analyses multivariées, comme l'analyse non symétrique des correspondances. Les ensembles

contenant des tableaux floristiques et mésologiques juxtaposés ont été analysés au moyen de l'analyse factorielle multiple. L'indice biologique macrophytique (IBMR) a été calculé dans chaque section. Les résultats montrent, sur une période de 11 ans, une diminution de fréquence de plusieurs espèces de berge et des changements importants dans la végétation liée au milieu aquatique. Ces changements consistent en une augmentation d'espèces favorisées par la pollution organique et une régression d'espèces intolérantes à cette pollution. Les fermes, le piétinement par le bétail, la pollution domestique ou l'urbanisation sont des facteurs corrélés à ces changements. L'apport des diverses techniques et des propositions de gestion est discuté.

Mots-clés : *Algues, analyses multivariées, bryophytes aquatiques, indice macrophytique, pollution organique, trophie, végétation des ruisseaux.*

ABSTRACT

The aquatic, amphibious and supra-aquatic vegetation of a stream (called Molignée) and its main tributary (called Flavion) from a catchment in the south of Belgium was studied in 1994 and 2005 in the main stream and in 1995 and 2006 in the tributary. The stream channels were divided into 50 and 36 contiguous 500-meter long sections in the Molignée and Flavion, respectively. In each section, the vegetation was described and various mesological parameters of the stream channel and floodplain were recorded. In 2005 and 2006, the water and amphibious Bryophytes as well as the filamentous Algae were also recorded. The statistical data analysis was conducted from the tables of aquatic and amphibious macrophytes, by means of multivariate analyses such as non-symmetrical correspondence analysis. The dataset containing juxtaposed floristic and mesological tables was analysed using multiple factor analysis. The macrophyte biological index for rivers (IBMR) was calculated for each section. The results show, over a period of eleven years, a decrease in frequency of a lot of bank species and important changes in the vegetation linked to the water environment. There is an increase of species favoured by organic pollution and a reduction in species intolerant of that pollution. The presence of farms, cattle trampling, domestic pollution or urbanization are factors correlated with these changes. The

contributions of the various techniques of data processing are discussed. Management suggestions are discussed.

Key words: *algae, aquatic bryophytes, macrophytic index, multivariate analyses, organic pollution, trophic state, stream vegetation.*

1. INTRODUCTION

Les deux ruisseaux concernés par cette étude, la Molignée et le ruisseau de Flavion, ont été décrits pendant les années 1994 et 1995 (BOUXIN, 1999). Plusieurs groupements végétaux ont ainsi été définis et cartographiés. La constatation d'importants changements dans l'abondance de quelques espèces aquatiques, sur une aussi courte période, a induit une seconde étude, sur exactement les mêmes sites, 11 années plus tard.

La Molignée, ruisseau de 25 kilomètres de long, et le ruisseau de Flavion, long de 18 kilomètres, prennent leur source à une altitude de 285 mètres. La Molignée se jette dans la Meuse, à une altitude de 100 mètres (Figure 1). Le présent travail s'intègre dans une étude pluridisciplinaire du bassin versant de la Molignée (COLLECTIF A, 2001; COLLECTIF B, 2004). Elle a été suivie de propositions de gestion, régulièrement actualisées sur un site Internet (COLLECTIF C, 2007).

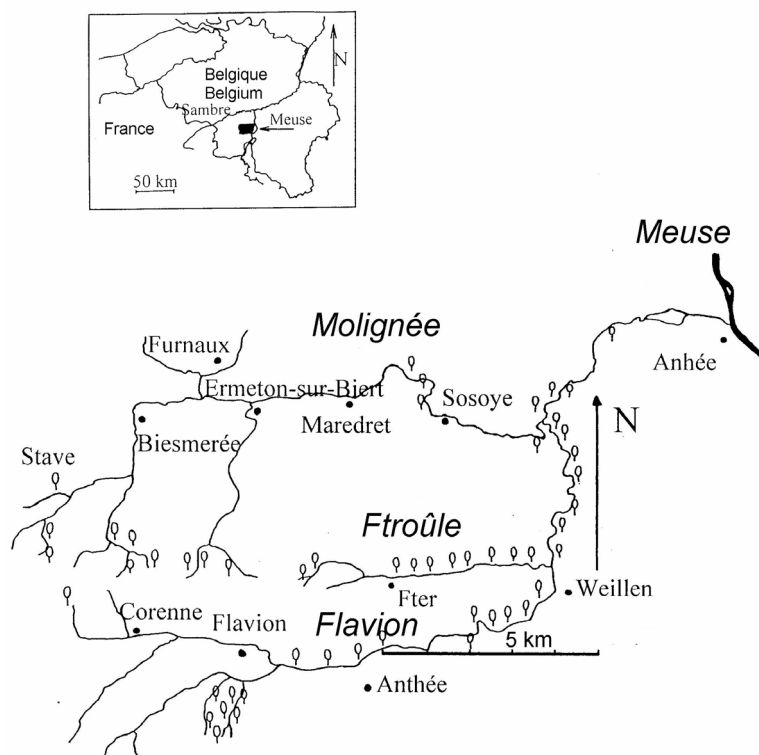


Figure 1. Situation du bassin hydrographique de la Molignée. Principaux ruisseaux (Flavion, Ftroûle et Molignée), villages et sites boisés.
Location of the Molignée catchment area. Main streams (Flavion, Ftroûle and Molignée), villages and wooded sites.

Les écosystèmes des deux ruisseaux sont régulièrement menacés par les activités humaines comme des rejets accidentels de kérosène, de mazout ou de lisier, des épandages d'herbicides parfois directement sur les berges, ou de sels de déneigement sur les routes longeant les cours d'eau. Pendant l'été, de l'eau est pompée dans la rivière pour arroser des champs de maïs situés dans la plaine alluviale. Certaines sources sont menacées ou transformées en dépotoirs. Le piétinement des berges par le bétail est fréquent. Des projets d'égouttage et d'épuration d'eau sont en cours, mais l'épuration ne portera que sur les eaux usées domestiques. D'une manière plus générale, les curages de ruisseau, avec enlèvement d'une partie du lit et un reprofilage des berges, sont des causes possibles de changements dans la végétation.

La première description utilisait les macrophytes de grande taille, c'est-à-dire les anthophytes et ptéridophytes, mais suite aux travaux de HAURY *et al.* (1996, 1998, 2000), HAURY et MULLER (1991), PORTER *et al.* (2008), VERAART (2008), et en accord avec la directive-cadre sur l'eau de l'Union européenne (FOERSTER *et al.*, 2004), les algues filamenteuses et les bryophytes aquatiques et amphibies ont été introduites dans la deuxième campagne de relevés. Comme la première étude (BOUXIN, 1999) ne portait que sur les hydrophytes, les amphiphytes, les hélrophytes, les espèces supra-aquatiques appartenant aux spermatophytes, aux ptéridophytes et à une seule espèce de bryophytes (*Fontinalis antipyretica*), la comparaison avec les données de 2005 et de 2006 ne peut se faire que sur la base de ces groupes de plantes. Une nouvelle observation exhaustive des 50 sections de la Molignée et des 36 sections du ruisseau de Flavion a donc été entreprise pendant les étés 2005 et 2006.

D'après BAKKER *et al.* (1996), l'étude sur de longues périodes de parcelles permanentes est une méthode permettant de découvrir les voies de changement de la végétation, leurs causes (agents, circonstances ou actions responsables des successions de végétation) et leurs mécanismes (interactions qui contribuent aux changements). Il faut au moins une période de dix ans pour qu'une étude soit considérée comme portant sur le long terme, ce qui est le cas pour nos observations.

Plusieurs méthodes existent pour mettre en évidence les directions de changement dans la végétation (BAKKER *et al.*, 1996). Les techniques de classification de relevés sont susceptibles de montrer le passage d'un groupement végétal à un autre. Les techniques d'ordination des tableaux de relevés reprenant des données de plusieurs années permettent d'illustrer, en un seul graphe, les changements dans la composition floristique de la végétation. Les techniques de régression non linéaire, basées sur l'évolution dans le temps des abondances spécifiques, fournissent une occasion de faire la distinction entre des tendances générales et de simples fluctuations. L'abondance moyenne d'espèces appartenant à

de mêmes groupes fonctionnels, ou l'abondance relative des syntaxa peuvent être observées dans le temps.

Les techniques mettant en relation la végétation et la qualité de l'eau sont nombreuses : les indices biotiques et les cotes associées aux espèces en fonction de la saprobie et de la trophie, par exemple, les informations apportées par diverses études floristiques et les analyses multivariées (ordinations, classifications).

L'objectif de cette étude est double :

- montrer l'évolution de la végétation du lit mineur d'une rivière et de son principal affluent sur une période de 11 ans, et mettre en évidence les agents responsables;
- montrer l'apport de diverses techniques dans la compréhension des relations entre la végétation et la qualité de l'eau.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

Chaque rivière a été découpée en sections contiguës de 500 mètres de long. La longueur des sections détermine la finesse de l'étude. Cette étude utilise principalement les végétaux comme bioindicateurs du milieu aquatique. Leur répartition est mise en relation avec divers paramètres des lits majeur et mineur.

2.1 Description de l'environnement et de la végétation

Des analyses chimiques des eaux ont été réalisées à plusieurs reprises sur des échantillons récoltés le même jour, tout le long du cours d'eau. Elles portent sur le pH, la conductivité, la dureté totale, la dureté carbonatée, la concentration en ammonium, nitrate et nitrite, orthophosphate et chlorure, et le pourcentage de saturation en oxygène. Les relations entre ces variables ont été analysées (BOUXIN, 1999).

L'environnement des relevés a été décrit au moyen de divers paramètres représentés par une variable ordinale, ou par une ou plusieurs modalités. L'appartenance à une modalité est notée 1, la non-appartenance est notée 0. Dans un relevé, deux ou plusieurs modalités d'un même paramètre sont parfois présentes (par exemple, pour la largeur du ruisseau qui n'est pas constante ou pour le substrat constitué d'un mélange de blocs et de cailloux). Les quatre premiers paramètres présentés ci-dessous ont été déterminés à partir de photos aériennes récentes, ce qui a permis d'exprimer, de manière plus précise que dans l'étude précédente (BOUXIN, 1999), l'occupation du terrain. Les paramètres retenus en 2005 et 2006 sont :

- le caractère forestier : proportion des rives gauche et droite en contact direct avec un massif forestier, variables ordinales 0, 1 (1 à 25 %), 2 (26 à 50 %), 3 (51 à 75 %), 4 (76 à 100 %);
- le caractère ouvert (champs, pâtures) : mêmes variables ordinales;
- le caractère urbanisé : proportion du ruisseau en contact ou traversant une zone habitée, mêmes variables ordinales;
- la bordure linéaire d'arbres : proportion du ruisseau bordée par une ligne d'arbres, mêmes variables ordinales. La présence de conifères en bordure de ruisseau (variable 0 - 1);
- l'ordre du ruisseau (variables ordinales de 1 à 4);
- la minéralité de l'eau, variables ordinales : 1 (de 0 à 200 μ S), 2 (de 201 à 400 μ S), 3 (> 400 μ S);
- la largeur maximale du cours d'eau, variables ordinales : 1 (\leq 1 m), 2 (1,1 à 3 m), 3 (3,1 à 5 m), 4 (5,1 à 8 m), 5 (> 8 m);
- la profondeur maximale du cours d'eau, variables ordinales : 1 (\leq 0,1 m), 2 (0,11 à 0,3 m), 3 (0,31 à 0,5 m), 4 (0,51 à 1 m), 4 (> 1 m);
- le substrat lentique dominant, variables ordinales : 1 (vase), 2 (sable), 3 (graviers), 4 (cailloux), 5 (blocs). Mêmes variables pour le substrat lentique accessoire, le substrat lotique dominant et le substrat lotique accessoire;
- la pente générale, variables ordinales : 1 (0 à 0,5 %), 2 (0,51 à 1 %), 3 (1,01 à 2 %);
- la vitesse du courant, cinq modalités : négligeable (pas de mouvement apparent, en amont d'une retenue), lente (surface calme, plantes de surface calmes), modérée (surface ondulant faiblement, plantes de surface en mouvement), rapide (surface ondulant fortement, plantes bougeant vigoureusement), très rapide (surface brisée par blocs et pierres);
- le caractère encaissé de la berge, cinq modalités : \leq 20 cm, 21 à 50 cm, 51 à 100 cm, 101 à 200 cm, > 200 cm;
- la pente de la berge, trois modalités : \leq 30°, 31 à 60°, > 60°;
- le type de vallée, quatre modalités : en V non tronqué et en V faiblement et horizontalement tronqué : le cours d'eau longeant le pied d'un des flancs de vallée. En V fortement tronqué : le cours d'eau serpentant dans la vallée. En V très fortement ou totalement tronqué;
- la nature de la roche sous-jacente, trois modalités : psammite, calcaire, schiste houiller;
- la présence de fermes agissant directement sur le cours d'eau (pollution organique principalement) : une ferme = 1 dans quatre sections à partir de cette ferme; si une deuxième ferme est présente, on additionne les unités. Chaque fois, une seule modalité pour la présence de clôtures le long du cours d'eau, le piétinement par le bétail, le caractère rudéralisé des berges (orties abondantes), la présence de berges en dur et de ponts (nombreux le long

de la Molignée).

La présence et l'abondance des macrophytes aquatiques et amphibies, des espèces herbacées et ligneuses hygrophiles ont été notées dans chacune des sections; l'observation est donc exhaustive. Dans chaque section, la liste des espèces est établie et la relation avec le plan d'eau précisée : espèce flottante, enracinée sous le plan d'eau, enracinée sur la marge du ruisseau ou sur la berge, généralement au-dessus du plan d'eau (sauf en période de fortes eaux). Une espèce est notée abondante si son abondance-dominance est supérieure à 1 dans l'échelle de Braun-Blanquet. Des tableaux espèces-relevés sont construits avec, dans chaque ligne, des données de type 0 (absence), 1 (présence) ou 2 (abondance). Les bryophytes aquatiques, présentes sur les blocs, sur des souches ou des débris végétaux, ont été notées pour la plupart en présence-absence, sauf pour *Fontinalis antipyretica*, dont l'abondance est évaluée de la même manière que pour les anthophytes. Les bryophytes de berge ont été recensées en présence-absence. Certaines espèces sont amphibies. Les algues filamenteuses, récoltées le plus souvent sur des cailloux ou des blocs rocheux, ont aussi été notées en présence-absence. Elles ont été récoltées à plusieurs reprises, surtout dans les zones riches en espèces. Leur abondance, toutes espèces confondues, a été considérée dans une variable particulière.

2.2 Analyse des données

Parmi les indices macrophytiques, nous avons écarté d'emblée l'indice de perturbation, comme celui qui est proposé par HASLAM et WOLSELEY (1981), car il fait appel à une biotypologie de référence considérée comme « normale », en dehors de toute perturbation. Dans les régions que nous prospectons, ces références sont impossibles à établir avec précision et cet indice perd de sa pertinence. Parmi tous les indices présentés par HAURY *et al.* (2000), nous avons d'abord retenu les indices saprobiques et les indices trophiques adaptés à nos données et à nos objectifs, à savoir : l'indice saprobiotique de Husak, l'indice de Harding, l'indice TIM (Trophic Index of Macrophytes (SCHNEIDER et MELZER, 2003)), le rang trophique moyen ou MTR de Holmes (1995 et 1996, cité par HAURY *et al.*, 2001) et l'indice biologique macrophytique des rivières IBMR (HAURY *et al.*, 2000 et 2006). L'indice fut construit à partir des résultats de nombreux travaux et d'observations de terrain. Il a été élaboré à partir des seuls macrophytes aquatiques. Les hygrophytes, héliophytes et bryophytes subaquatiques ne sont pas prises en compte, car leurs relations avec la qualité de l'eau se sont révélées pauvres. L'indice est calculé à partir d'algues filamenteuses, de lichens (deux espèces), de bryophytes aquatiques, de ptéridophytes, de phanérogames et de deux espèces hétérotrophes. Deux critères sont considérés pour chaque taxon. La cote spécifique varie de 0 (forte pollution organique et taxa hétérotrophes) à 20 (oligotrophie). Elle donne une valeur globale de qualité

d'eau déterminée par deux nutriments (ammonium et orthophosphate) et de forte pollution organique, indiquée par la présence de fungi d'eaux d'égoûts. La distribution des espèces couvre quatre classes de trophie (oligotrophie, mésotrophie, eutrophie et hypertrophie), ce qui permet de définir un coefficient d'amplitude écologique, variant de 1 (large amplitude, couvrant trois classes de trophie) à 3 (amplitude très limitée, retrainte à une seule classe).

Nos données ont donc été intégrées dans le calcul de l'indice IBMR :

$$IBMR = \frac{\sum_i E_i * K_i * C_{si}}{\sum_i E_i * K_i} \quad (1)$$

avec E_i : coefficient d'amplitude écologique, K_i : coefficient de couverture et C_{si} : cote spécifique.

La qualité de l'eau est très bonne si l'IBMR est supérieur à 14, bonne si l'IBMR est inférieur ou égal à 14 et supérieur à 12, est modérée si l'IBMR est inférieur ou égal à 12 et supérieur à 10. Cependant, elle est pauvre si l'IBMR est inférieur ou égal à 10 et supérieur à 8 et est très mauvaise si l'IBMR est inférieur ou égal à 8.

Les analyses statistiques des tableaux de relevés reprennent globalement les mêmes techniques que précédemment (BOUXIN, 1999), avec l'examen des fréquences marginales, de la dispersion horizontale de chaque espèce et la transformation des tableaux, avec suppression des espèces rares et approche multiscalair. Diverses analyses multivariées sont alors appliquées. Or cette fois, nous devons aussi comparer les tableaux de relevés réalisés à une dizaine d'années d'intervalle. La végétation a quelque peu changé, mais également certaines caractéristiques mésologiques. Plusieurs techniques sont disponibles. On peut soumettre chaque tableau séparément à une analyse appropriée (analyse en composantes principales ou PCA, analyse des correspondances ou CA, analyse des correspondances non symétrique ou NSCA) et comparer les résultats. La différence entre CA et NSCA concerne précisément la métrique. Les espèces ont un poids uniforme égal à l'unité dans NSCA, alors que CA est basée sur la métrique χ_2 qui implique une double moyenne calculée à partir des totaux marginaux des lignes et colonnes des tableaux. Dans NSCA, une forte importance est accordée aux espèces abondantes et l'incidence des espèces rares est fortement limitée. Dans un tableau d'occurrences, un grand nombre de taxons rares n'est donc pas un inconvénient. Un poids très faible ramène automatiquement un taxon vers l'origine. Le caractère significatif ou non des contributions relatives des axes ou des contributions relatives des espèces sur les axes est déterminé par permutations suivant la technique explicitée par BOUXIN (1999). Au moins 1 000 permutations ont été chaque fois effectuées.

Si les analyses séparées restent utiles, on dispose actuellement de techniques d'analyse traitant simultanément, et de manière intégrée, un ensemble de tableaux et conduisant à une présentation unique. Les analyses factorielles multiples sont des outils appropriés, pour autant que les tableaux aient exactement les mêmes relevés en commun, ce qui est le cas de nos données. L'analyse factorielle multiple ou AFMULT est une généralisation des techniques de couplage de tableaux. Elle est une des méthodes les plus pratiques parmi les méthodes d'ordination simultanée de K tableaux (CHESSEL, 1997; CHESSEL et GIMARET, 1997; GIMARET-CARPENTIER *et al.*, 1998). On dispose de K tableaux ayant en commun n individus, chacun d'eux correspondant à un groupe de variables. L'AFMULT, pour uniformiser le rôle des tableaux dans l'analyse simultanée, consiste à ramener à une échelle commune les inerties projetées sur le premier axe de l'ordination de chaque tableau. L'analyse factorielle multiple est construite sur la technique d'analyse en composantes principales ou d'analyse des correspondances. Elle nécessite une PCA (ou une CA-NSCA) du tableau formé par la réunion des K tableaux de départ et une PCA (ou une CA-NSCA) pour chacun des tableaux séparés. Elle a été utilisée dans diverses études de cours d'eau par HAURY et BAGLINIÈRE (1990) et HAURY *et al.* (1998). D'autres exemples sont présentés dans BOUXIN (2008).

En vue de réaliser les comparaisons dans le temps (Molignée en 1994 et 2005; Flavion en 1995 et 2006), nous avons retenu les techniques suivantes :

- l'analyse en composantes principales pour les données mésologiques ou le mélange de données floristiques et mésologiques;
- l'analyse non symétrique des correspondances pour les données floristiques seules de tableaux isolés;
- l'analyse factorielle multiple basée soit sur l'analyse en composantes principales, soit sur l'analyse non symétrique des correspondances, pour les ensembles de tableaux.

Des techniques de classification des relevés (BOUXIN, 2008) sont aussi utilisées en partant des coordonnées des relevés sur les premiers axes, mais les résultats ne sont pas présentés ici. Les études phytosociologiques ne sont pas abordées dans ce texte.

3. RÉSULTATS

Parmi les changements mineurs intervenus pendant 11 années dans la liste des espèces, notons l'apparition d'*Impatiens glandulifera* (deux présences) dans le ruisseau de Flavion et celle d'*Elodea nuttallii* (deux présences),

Potamogeton natans (une présence) et *Zannichellia palustris subsp. palustris* (trois présences) dans la Molignée. N'ont pas été revues dans la Molignée : *Eloдея canadensis*, *Epilobium obscurum*, *Groenlandia densa* et *Myriophyllum spicatum*. Signalons enfin l'apparition de l'algue verte *Ulva flexuosa subsp. pilifera* dans le bassin versant (COLLECTIF C, 2007). Analysons maintenant les changements dans les fréquences entre les décades 1990 et 2000, dans les deux ruisseaux. Parmi les héliophytes, les amphiphytes et les espèces supra-aquatiques, on constate une diminution significative, parfois très forte, de la fréquence de 25 espèces communes, aussi bien le long de la Molignée que du Flavion. On y trouve des espèces dont la fréquence, selon GRIME *et al.* (1988), est centrée sur les milieux peu perturbés comme *Angelica sylvestris*, *Filipendula ulmaria* et *Petasites hybridus*, peu ou modérément perturbés comme *Ranunculus repens*, *Solanum dulcamara* et *Sparganium erectum*; certaines sont simplement réputées comme exclues des milieux les plus perturbés, comme *Lotus pedunculatus*. Il y a donc une diminution de la fréquence d'espèces sensibles, au moins à de fortes perturbations. Par contre, une espèce comme *Myosoton aquaticum*, résistante aux eaux d'égoût, régresse également. Il semble donc y avoir une pression de plus en plus forte sur la végétation des berges, et principalement celles des milieux, au moins en partie, ouverts. L'usage d'herbicides sur la marge de ruisseaux a été constaté. La source de la Molignée a été labourée. Dans le Flavion, des phénomènes karstiques se manifestent régulièrement et des portions de ruisseau traversant de grosses exploitations agricoles ont été approfondies, laissant les berges verticales et pratiquement nues. Les milieux forestiers, avec par exemple *Chrysosplenium oppositifolium* ou *Stellaria nemorum*, sont mieux protégés, puisque les fréquences de ces espèces augmentent.

En ce qui concerne les hydrophytes, et donc plus particulièrement la qualité de l'eau, on remarque la relative stabilité de *Ranunculus fluitans*. *Callitriche obtusangula* augmente fortement dans la Molignée et reste absente du Flavion. Cette espèce est résistante à une forte minéralité de l'eau, jusqu'aux eaux saumâtres (POT, 2003), ainsi qu'à des teneurs assez fortes en ammoniac (mais cote de saprobie assez faible). *Veronica beccabunga*, également sensible à la saprobie, voit aussi sa fréquence augmenter dans la Molignée et diminuer dans le Flavion. *Callitriche platycarpa* régresse dans la Molignée, mais double pratiquement sa fréquence dans le Flavion (cote de saprobie plus élevée que la précédente); cette espèce vit dans des eaux passablement riches en nutriments (POT, 2003), mais se développe quand des eaux usées sont rejetées dans la rivière. *Potamogeton crispus* réagit de même; cette espèce résiste aux pollutions urbaine et organique (cote de saprobie élevée). *Veronica anagallis-aquatica* réagit de manière comparable. *Eloдея nuttallii* a fortement augmenté sa fréquence dans le Flavion; cette espèce recherche les eaux très riches en nutriments. La fréquence de trois espèces augmente dans les deux ruisseaux : *Lemna minor*, *Nasturtium officinale*

(amphiphyte) et *Fontinalis antipyretica*. D'une manière générale, les espèces eutrophes deviennent plus fréquentes, mais une différence nette se marque entre les deux ruisseaux : les espèces sensibles à la saprobie régressent dans le Flavion et se développent dans la Molignée.

3.1 Analyse des correspondances non symétriques

L'analyse des fichiers complets avec les espèces supra-aquatiques montre, d'une manière globale, une assez grande similitude entre les végétations de 1994 et de 2005, mais il apparaît que les plantes aquatiques jouent un plus grand rôle (sous forme de contribution relative) en 2005 qu'en 1994. Les analyses réalisées ensuite avec les seules espèces aquatiques et amphibies se sont révélées les plus sensibles aux changements environnementaux et sont les seules illustrées. Afin de mettre en évidence les changements dans les groupes floristiques, nous avons réalisé une analyse groupant les deux fichiers en un seul, de 1994 et 2005. Dans ce cas précis, comme les contributions relatives du premier axe sont numériquement très proches dans les deux ensembles de relevés traités séparément, une analyse simple a suffi.

Cette présentation des résultats (Figure 2) montre, dans la Molignée :

- la stabilité relative de deux espèces rhéophiles (*Fontinalis antipyretica* et *Ranunculus fluitans*) et d'une espèce des milieux lenticules (*Rorippa amphibia*);
- le recul de *Glyceria notata*;
- le net développement de : *Agrostis stolonifera*, *Callitriche platycarpa*, *Cardamine amara*, *Myosotis scorpioides*, *Nasturtium officinale* et *Solanum dulcamara*;
- *Persicaria hydropiper*, en se rapprochant nettement de l'axe 2, montre un net recul dans le cours supérieur depuis 1994 (diminution de la saprobie) et une plus grande fréquence actuelle dans le cours inférieur.

La présentation des résultats est la même avec le ruisseau de Flavion. On constate qu'il y a une relative constance pour *Agrostis stolonifera* et *Ranunculus fluitans*. En 2006, il y a un contraste accentué entre le cours supérieur du Flavion (*Glyceria notata*) traversant villages et exploitations agricoles, et le cours inférieur partiellement forestier et occupé par *Fontinalis antipyretica*. Des changements importants apparaissent dans les sept premières sections (dominées par *Epilobium hirsutum* et *Persicaria hydropiper*) et les 14 suivantes envahies par *Callitriche platycarpa*.

Quelques changements visibles ont eu une incidence certaine, comme l'arrachage d'arbustes occupant la crête de berge, le reprofilage ou l'approfondissement du cours, la disparition locale de l'eau suite à des phénomènes karstiques et divers aménagements sur les rives, non respectueux du cours

d'eau (hangar agricole placé trop près du ruisseau, installation d'une dalle de béton supportant un silo de maïs, avec un important risque d'écoulement de liquide organique dans le lit mineur).

3.2 Analyse factorielle multiple des fichiers de 2005 et 2006

L'analyse factorielle multiple, basée sur NSCA, des fichiers des anthophytes, des bryophytes et des algues filamenteuses de la Molignée est maintenant présentée.

On reconnaît aisément deux parties (Figure 3) : le cours supérieur avec les sections 1 à 19 et le cours inférieur, de 20 à 50. Le cours supérieur est caractérisé par plusieurs espèces

d'anthophytes et un bryophyte, tandis que le cours inférieur l'est par des espèces de ces deux embranchements, et aussi par l'algue *Melosira varians*.

Le second axe sépare, dans le cours supérieur, les sections 1 à 4 boisées des sections 5 à 19, situées en milieu éclairé. Ces dernières subissent les effets de l'agriculture et des rejets d'eaux usées avec un développement de *Callitriche platycarpa*, de *Phalaris arundinacea* et de plusieurs algues filamenteuses comme *Cladophora glomerata*, *Microspora amoena*, *Oedogonium capillare* et *Vaucheria sp.* (cette dernière présente presque partout à partir de la section 5).

Sur le troisième axe, on retient surtout les sections inférieures dominées par *Rorippa amphibia* et *Cinclidotus riparius*.

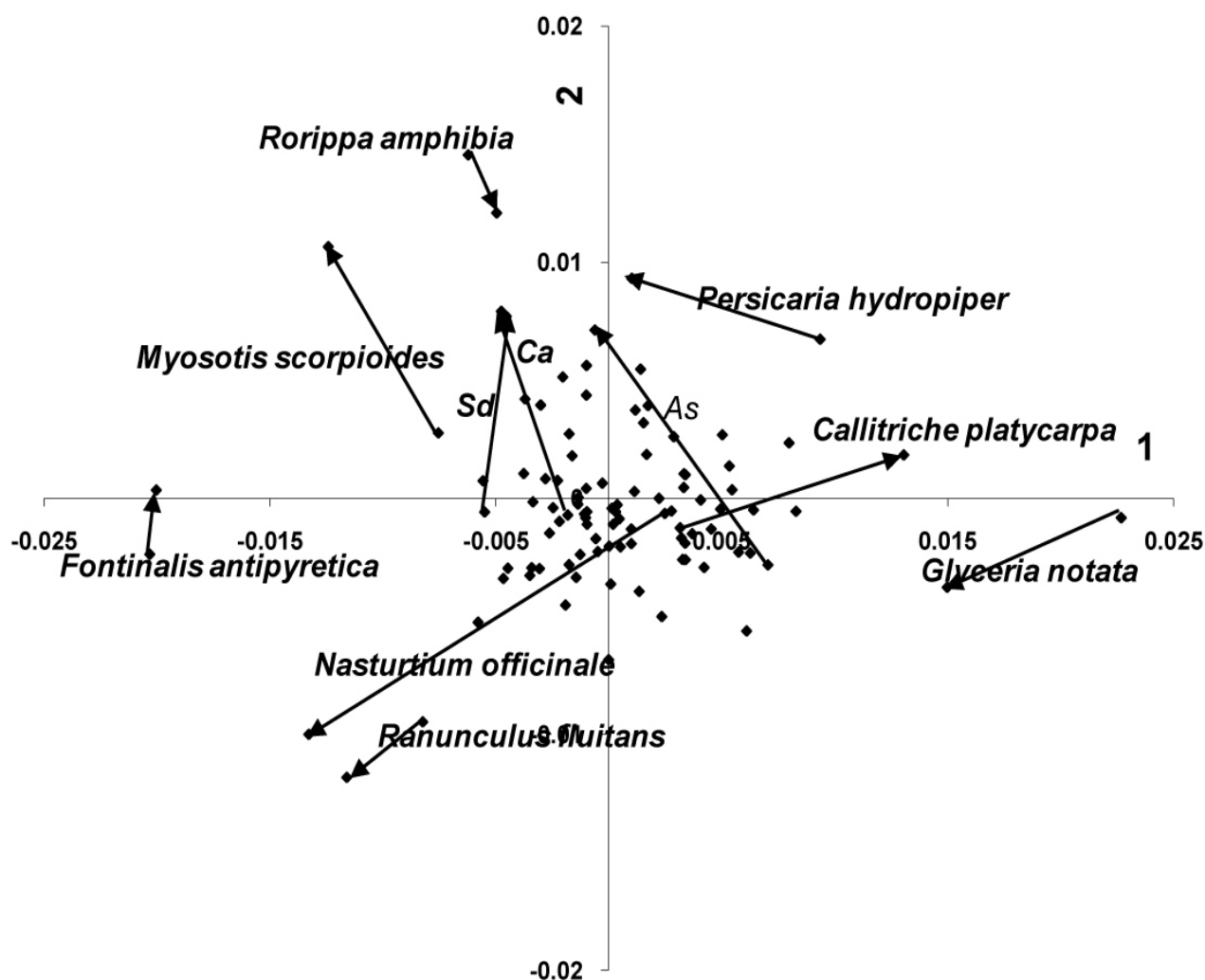


Figure 2. Coordonnées des hydrophytes et amphiphytes sur les axes 1 et 2 de l'analyse non symétrique des correspondances, des données réunies de 1994 et 2005 dans la Molignée. Les flèches indiquent le changement de 1994 à 2005. As = *Agrostis stolonifera*; Ca = *Cardamine amara*; Sd = *Solanum dulcamara*.
Coordinates of the hydrophytes and amphiphytes on the axes 1 and 2 of the non-symmetrical correspondence analysis, of the mixed data of 1994 and 2005, in the Molignée. The arrows indicate the change from 1994 to 2005. As = *Agrostis stolonifera*; Ca = *Cardamine amara*; Sd = *Solanum dulcamara*.

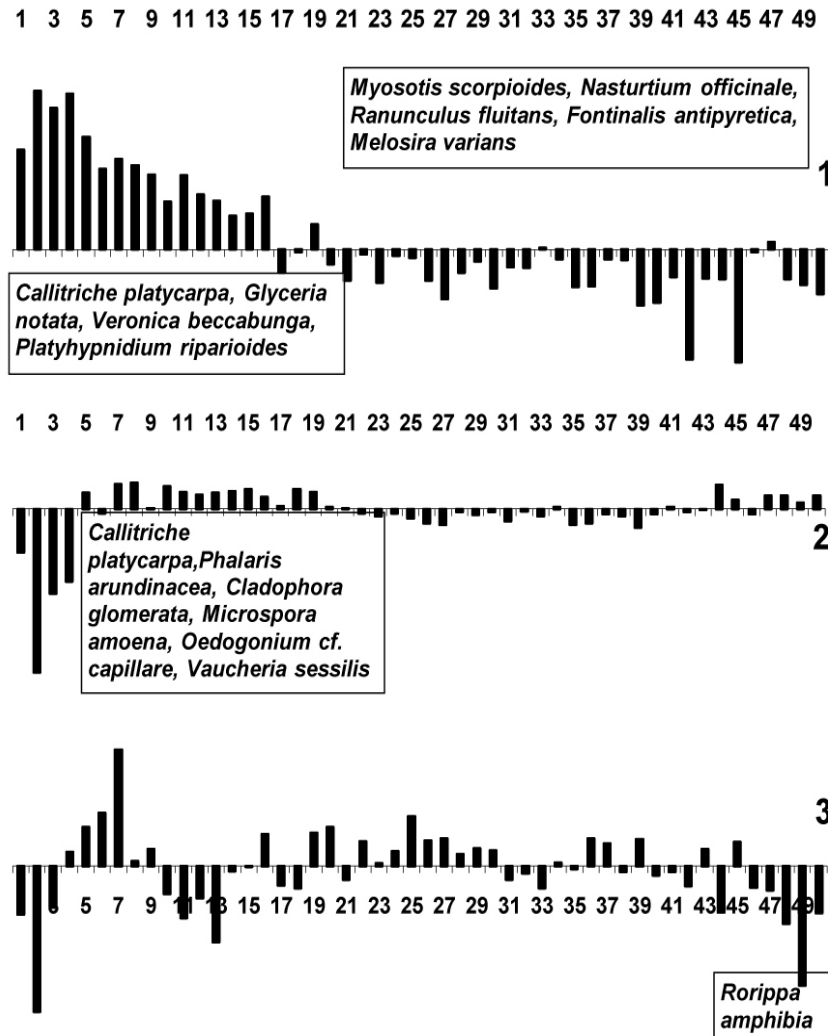


Figure 3. Analyse factorielle multiple, basée sur l'analyse non symétrique des correspondances, des trois tableaux des anthophytes (hydrophytes et amphiphytes seulement), bryophytes et algues de la Mognée. Coordonnées des 50 sections sur les axes 1 à 3.

Multiple factor analysis, based on non-symmetrical correspondence analysis, of the three tables of the Anthophytes (hydrophytes and amphiphytes only), Bryophytes and Algae of the Mognée. Coordinates of the 50 sections on the axes 1 to 3.

Dans l'analyse suivante, on réunit les trois fichiers de plantes aquatiques et de marge, et le fichier des variables de l'environnement. Dans ce cas, l'analyse factorielle multiple repose sur l'analyse en composantes principales. Elle se justifie pleinement, vu la grande différence entre les contributions relatives attachées aux premiers axes des analyses séparées.

Le premier axe de l'analyse traduit un gradient de la rivière, jusqu'à la section 16, avec le changement progressif de plusieurs paramètres comme la largeur, la profondeur de l'eau et la diminution de la pente, puis une relative constance dans les deux tiers inférieurs.

L'axe 2 oppose le cours moyen et le cours inférieur, dans la partie où le sous-sol est composé de schiste (ce qui correspond

à quelques détails près à l'axe 3 de l'analyse précédente avec *Rorippa amphibia*).

Les axes 3 et 4 sont clairement liés à l'eutrophisation et à la saprobie, c'est la raison pour laquelle ce sont les seuls représentés (Figure 4).

L'axe 3 oppose, d'un côté, les milieux forestiers des sections proches de la source ou des cours moyen et inférieur, et de l'autre, les milieux ouverts du cours supérieur. Dans les sections supérieures, les bryophytes aquatiques et les algues filamenteuses sont absentes ou très rares, la pente est forte et la vallée en V. Avec des coordonnées négatives, on trouve un groupe d'espèces et de variables du cours supérieur, en milieu ouvert, éclairé. Avec la coordonnée la plus élevée, se trouve la variable « ferme », entourée de

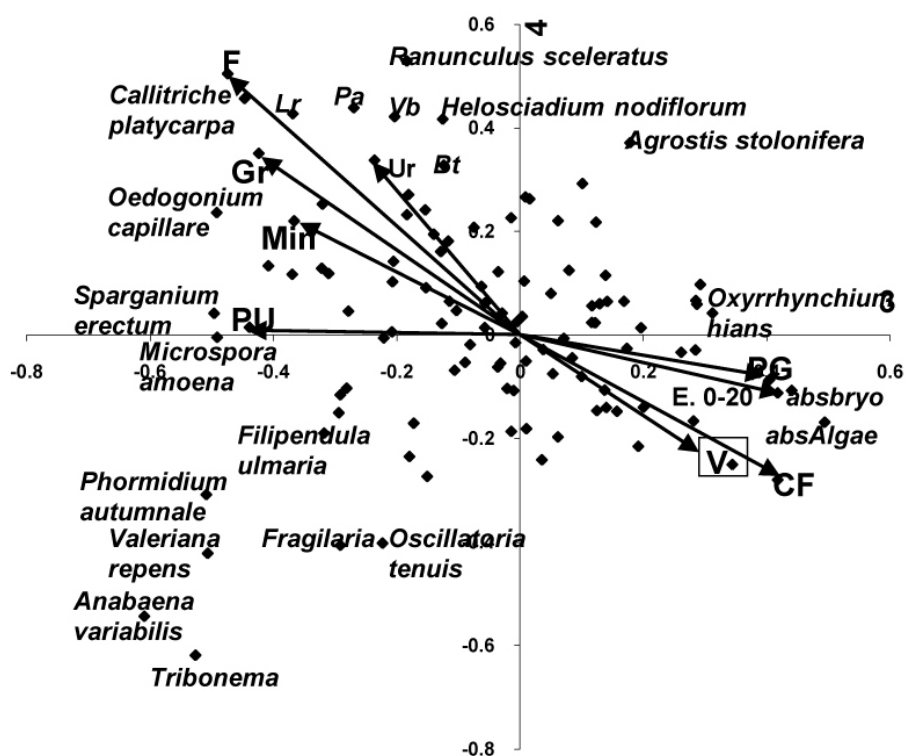


Figure 4. Analyse factorielle multiple, basée sur l'analyse en composantes principales, des quatre tableaux anthophytes-ptéridophytes, bryophytes, algues et variables environnementales de la Mollignée. Coordonnées des variables sur les axes 3 et 4. Absbryo et absAlgae = absence des bryophytes ou des algues; Bt = *Bidens tripartita*; Lr = *Leptodictyum riparium*; Pa = *Phalaris arundinacea*; Vb = *Veronica beccabunga*. CF = caractère forestier des rives; E. 0-20 cm = encaissement de 0 à 20 cm; F = fermes; Gr = graviers; Min = minéralité de l'eau; PG = pente générale; PU = pollution urbaine; Ur = caractère urbanisé; V = vallée en V.

*Multiple factor analysis, based on principal component analysis, of the four tables Anthophytes-Pteridophytes, Bryophytes, Algae and environmental variables of the Mollignée. Coordinates of the variables on the axes 3 and 4. Absbryo et absAlgae = absence of bryophytes or algae; Bt = *Bidens tripartita*; Lr = *Leptodictyum riparium*; Pa = *Phalaris arundinacea*; Vb = *Veronica beccabunga*. CF = forested character of waterside; E. 0-20 = embankment 0-20 cm; F = farms; Gr = gravel; Min = water minerality; PG = general slope; PU = urban pollution; Ur = urban character; V = V valley.*

plusieurs espèces : *Callitriche platycarpa*, *Leptodictyum riparium*, *Oedogonium capillare* et *Sparganium erectum*. Les variables « pollution domestique », « caractère urbanisé » et « graviers » sont proches. Cette zone présente une eau bien minéralisée; le courant est modéré en de nombreux endroits. Ces espèces, et du moins les trois premières, peuvent être qualifiées de résistantes à la pollution organique. La mousse *Leptodictyum riparium* est d'ailleurs considérée comme l'une des plus tolérantes aux pollutions, tout en étant indifférente aux caractéristiques géochimiques (BAILLY *et al.*, 2004). Dans une moindre mesure, on note également *Phormidium autumnale*, *Glyceria fluitans* et *Ranunculus sceleratus*. Par rapport à 1994, *Callitriche platycarpa* est moins fréquente en 2005, mais centrée sur les sections 8 à 20 et surtout beaucoup plus abondante. On peut en déduire que cet axe 3 est clairement lié à une augmentation de la saprobie,

entre 1994 et 2005, à laquelle vient se superposer la pollution domestique des sites urbanisés.

Les mêmes analyses sont répétées pour le ruisseau de Flavion, avec d'abord l'analyse comprenant les variables floristiques. Il est assez facile de découper le cours en deux parties : la supérieure jusqu'à la section 15 incluse et l'inférieure de 16 à 36. On reconnaît deux groupes de plantes aquatiques et de marges. Les sections 7 à 19, avec une parenthèse en 15 et 16, comprennent un ensemble d'espèces liées à l'eutrophisation et la pollution urbaine.

Vient ensuite l'analyse intégrant le fichier météorologique, avec la présentation des variables dans le plan des axes 2 et 3 (Figure 5).

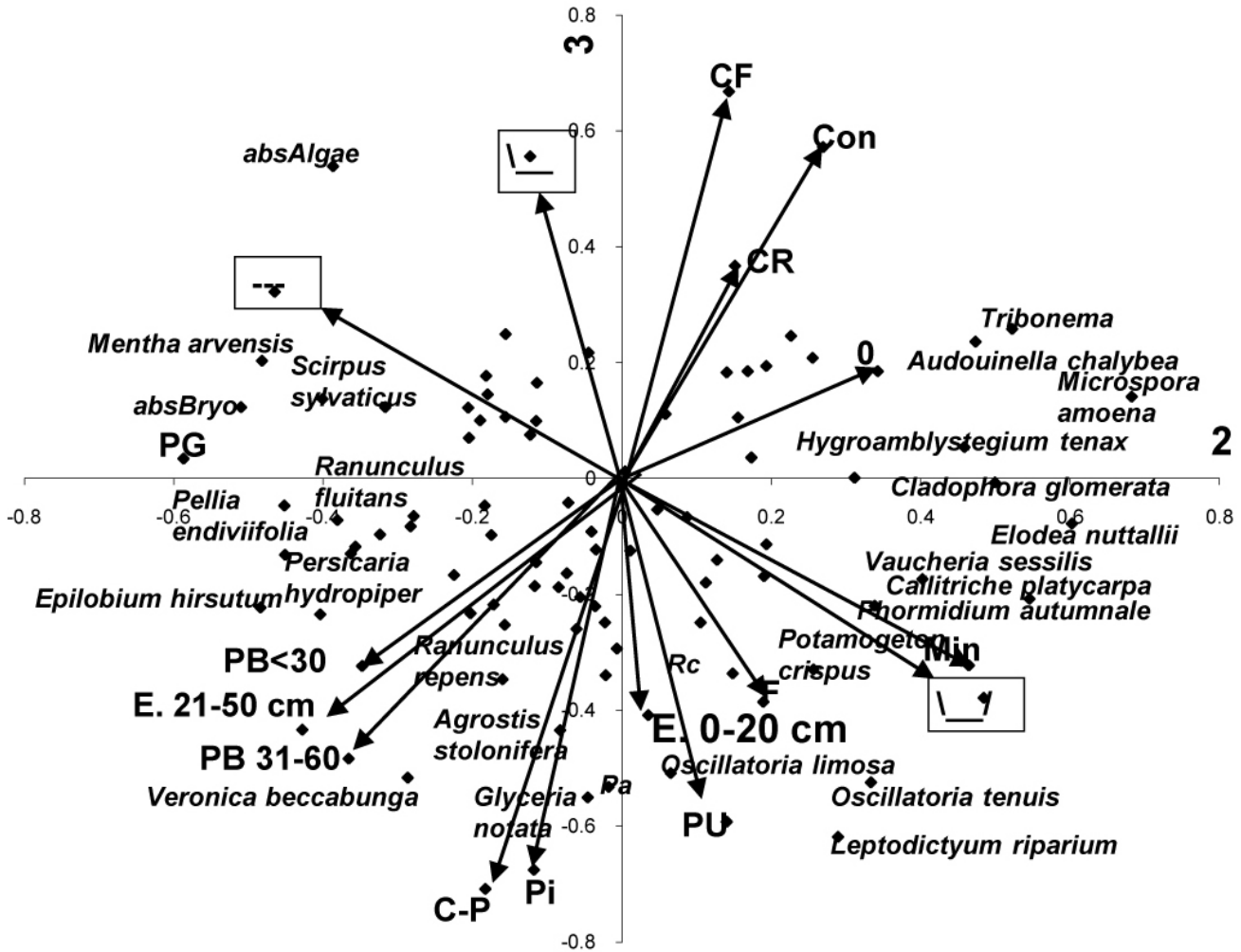


Figure 5. Analyse factorielle multiple, basée sur l'analyse en composantes principales, des quatre tableaux anthophytes-ptéridophytes, bryophytes, algues et variables environnementales du Flavion. Coordonnées des variables sur les axes 2 et 3. *Absbryo* et *absAlgae* = absence des bryophytes ou des algues; *Pa* = *Phalaris arundinacea*; *Rc* = *Rumex conglomeratus*. _/, _ and _ = forme de la vallée; *CF* = caractère forestier des rives; *Con* = rives occupées par des conifères; *C-P* = rives occupées par des champs et pâtures; *CR* = courant rapide; *E. 0-20* ou *21-50 cm* = encaissement de 0 à 20 cm ou de 21 à 50 cm; *F* = fermes; *Min* = minéralité de l'eau; *O* = ordre du ruisseau; *PB < 30°* = pente de berge < 30°; *PG* = pente générale; *Pi* = piétinement par le bétail; *PU* = pollution urbaine.

Multiple factor analysis, based on principal component analysis, of the four tables Anthophytes-Pteridophytes, Bryophytes, Algae and environmental variables of the Flavion. Coordinates of the variables on the axes 2 and 3. Absbryo et absAlgae = absence of bryophytes or algae; Pa = Phalaris arundinacea; Rc = Rumex conglomeratus. _/, _ and _ = valley form; CF = forested character of waterside; Con = waterside occupied by conifers; C-P = waterside occupied by fields and pastures; CR = fast flow; E. 0-20 ou 21-50 cm = embankment 0-20 cm or 21-50 cm; F = farms; Min = water minerality; O = stream order; PB < 30° = bank slope < 30°; PG = general slope; Pi = cattle trampling; PU = urban pollution.

Sur l'axe 2, avec des coordonnées positives, c'est un ensemble d'espèces qui se superposent, parfois partiellement, mais qui semblent bien liées à une forte eutrophisation de l'eau : *Audouinella chalybea*, *Callitriche platycarpa*, *Elodea nuttallii*, *Hygroamblystegium tenax*, *Microspora amoena*, *Platyhypnidium riparioides* et *Tribonema sp.* Le cours moyen du Flavion est donc nettement eutrophisé, avec toutefois une récupération de la rivière, dans les sections 15 et 16, après la

traversée de sections boisées, avec des zones à courant rapide. Avec des coordonnées négatives, on trouve des espèces et variables caractéristiques des sections situées en dehors de cette zone fortement eutrophisée, soit dans les sections supérieures, soit dans les sections inférieures, soit dans les deux.

Sur l'axe 3, ce sont les variables avec coordonnées négatives qui retiennent l'attention : pâtures, piétinement

par le bétail et pollution urbaine sont nettement associés à *Glyceria notata*, *Leptodictyum riparium* et *Oscillatoria tenuis* et, dans une moindre mesure, à *Agrostis stolonifera*, *Oscillatoria limosa*, *Phalaris arundinacea*, *Potamogeton crispus* et *Veronica beccabunga*, espèces proches de la variable « ferme ».

Plusieurs espèces sont clairement liées au piétinement par le bétail et à la pollution domestique. Les villages de Corenne et de Flavion sont donc des ensembles polluants importants de la rivière. Le piétinement par le bétail semble ici un autre paramètre très influent sur la qualité de l'eau de la rivière, plus que la proximité directe des bâtiments des grosses fermes.

D'où viennent les différences essentielles entre les deux rivières qui, pourtant, prennent leurs sources à quelques centaines de mètres l'une de l'autre? Tout d'abord, le ruisseau de Flavion est nettement coupé en deux parties : un cours supérieur ouvert et agricole tourné vers le pâturage et un cours inférieur en grande partie boisé, alors que dans la Mognée, les zones boisées et ouvertes sont beaucoup plus mélangées, avec une forte pression des activités humaines sur tout le cours. Le profil général des rivières est aussi différent : la pente de la Mognée est régulière, ce qui assure une minéralisation assez rapide de la matière organique déversée, tandis que le Flavion présente, en son milieu, sur plus de la moitié de son cours, une zone lente, ce qui le rend particulièrement sensible à la pollution organique venant de l'amont. Dans le Flavion, il y a deux zones rapides : une près de la source et une près de l'embouchure.

3.3 Indice IBMR

L'indice IBMR n'a été calculé que pour les observations de 2005 et 2006, puisque ce sont les seules intégrant les algues et les bryophytes. Il servira surtout à comparer le Flavion et la Mognée. Les indices ont été calculés avec au minimum quatre espèces pour lesquelles on dispose de cotes spécifiques.

Dans le ruisseau de Flavion, la qualité de l'eau n'est jamais très bonne. Dès la source, la qualité est modérée et se dégrade immédiatement; elle est pauvre dans les sections 2 et 3, qui subissent le piétinement du bétail, alors que le débit est faible. La qualité est mauvaise dans les deux sections correspondant à la traversée du village de Corenne. Elle est pauvre également dans sept sections de la moitié supérieure du cours, soit deux sections en pâture, à l'entrée et à la sortie du village de Flavion et à la sortie du hameau d'Ostemerée. La qualité est bonne dans trois sections du cours supérieur, après et dans la traversée de massifs boisés protégeant le ruisseau. Dans le cours inférieur, la qualité est modérée.

Dans la Mognée, la qualité est pauvre dans une moitié des sections et modérée dans l'autre moitié. Elle n'est bonne

part. La présence de fermes dans le cours supérieur et les rejets d'eaux usées domestiques à Biesmerée font chuter rapidement la qualité de l'eau. Celle-ci est mauvaise autour des villages d'Ermeton, de Maredret et de Sosoye. Elle s'améliore ensuite par endroits pour se dégrader à nouveau localement, après contamination par des eaux usées et non épurées, principalement celles venant du village de Haut-le-Wastia.

4. DISCUSSION ET CONCLUSION

Le premier objectif de cette étude, qui consiste à montrer l'évolution de la végétation sur une période de 11 années, a été rencontré par les diverses techniques choisies. La simple comparaison des fréquences de plusieurs espèces de la Mognée et du Flavion, comprenant les anthophytes et les ptéridophytes, à une dizaine d'années d'intervalle, montre une régression de beaucoup d'espèces supra-aquatiques sensibles, au moins à de fortes perturbations.

La comparaison, par l'analyse non symétrique des correspondances, de la végétation des hydrophytes et amphiphytes des deux fichiers (1994 et 2005 pour la Mognée, 1995 et 2006 pour le Flavion) séparés ou réunis montre des changements importants dans la végétation du lit mineur. On peut conclure à une augmentation significative de la trophie dans les deux ruisseaux, avec également une élévation de la saprobie.

L'analyse factorielle multiple est un outil conduisant à une interprétation aisée des relations entre les variables de l'environnement et les plantes de tailles très différentes appartenant à plusieurs embranchements. Algues filamenteuses, bryophytes et anthophytes sont susceptibles de présenter des réponses semblables à des changements dans le milieu aquatique, tout en montrant des sensibilités propres. Ces groupes de plantes se complètent très bien en renforçant le diagnostic. Grâce à l'analyse factorielle multiple, ils peuvent être réunis dans la même analyse. L'incidence directe des exploitations agricoles, du piétinement par le bétail, de la pollution domestique et de l'urbanisation apparaît directement. Toutefois, en plus de ces facteurs perturbants, les facteurs mésologiques naturels jouent également leur rôle, comme la pente générale du lit mineur et ses conséquences sur la vitesse du courant. L'oxygénation de l'eau a une influence certaine sur la manière dont les facteurs perturbants agissent. La minéralisation de la matière organique est plus rapide dans la Mognée, qui présente une pente régulière et assez forte, que dans le Flavion, avec une faible pente sur une partie importante de son cours moyen et supérieur. De même, l'ombrage des forêts ou des lignes d'arbres de la berge, en limitant les espèces dans les trois grands groupes de plantes, est susceptible aussi de ralentir l'autoépuration biologique de la rivière.

Quant à l'indice IBMR, il donne tout d'abord un état général de la qualité de l'eau dans le bassin versant qui, globalement, n'est pas très bonne. Il se révèle très sensible à la présence des villages, car il régresse dès la traversée des diverses agglomérations ou juste après. Il y a donc bien intérêt à inclure, dans l'établissement d'indices biotiques, plusieurs groupes d'organismes. La précision de ces indices doit toutefois encore être améliorée; des cotes spécifiques devraient exister pour toutes les espèces aquatiques, mais pour cela, beaucoup d'études sont encore nécessaires. Un effort tout particulier devrait porter sur les algues filamenteuses; dans certains genres comme *Oedogonium* ou *Spirogyra*, les diverses espèces montrent des réponses parfois fort différentes aux variations de l'environnement, et associer une cote unique au genre entraîne une certaine imprécision. De même, les cotes spécifiques attribuées aux espèces de cyanobactéries paraissent élevées par rapport aux observations dans le bassin versant de la Molignée.

Chacune des techniques utilisées a montré sa propre sensibilité. Toutefois, parmi les techniques présentées, deux retiennent toute notre attention. L'analyse factorielle des correspondances non symétrique paraît une des techniques les plus appropriées dans des études de végétation et se montre beaucoup plus aisée à mettre en œuvre que l'analyse des correspondances classique, beaucoup trop sensible à la superposition d'espèces localisées. L'analyse non symétrique, favorisant d'abord les espèces fréquentes avant les espèces plus localisées, s'inscrit plus facilement et plus rapidement dans une approche multiscalaire. Quant aux analyses factorielles multiples, elles constituent un ensemble de techniques très puissantes, adaptables à diverses situations et faisant entrer des variables mésologiques. Elles sont mieux adaptées que l'analyse des correspondances canonique, ne traitant que des paires de tableaux et entrant directement dans les techniques d'ordination, construites avant tout pour révéler des gradients indirects.

En ce qui concerne la gestion visant à diminuer l'incidence de la pollution agricole et urbaine, des propositions générales ont été présentées dans une étude précédente, dans le cadre du Comité scientifique de la conservation de la nature et de la protection des eaux (BOUXIN *et al.*, 2004). Nous y dénonçons l'impact direct des grosses fermes, l'accès du bétail au ruisseau et les pompages excessifs d'eau en période d'étiage; nous insistons sur la mise en œuvre d'une bonne gestion des berges et partout où c'est possible, l'installation de zones tampons de part et d'autre du ruisseau. Aucune de ces propositions ne semble vouloir être mise en œuvre. Cette dernière étude, qui montre l'appauvrissement général de la végétation du lit mineur sur une période assez courte, montre l'urgence qu'il y a de concrétiser ces propositions de gestion. Dans la Molignée, l'impact des grosses fermes est clairement montré, en plus de la pollution urbaine. Les projets actuels d'épuration des

eaux ne se rapportent qu'aux eaux usées domestiques et sont donc insuffisants. Il faudrait mettre en œuvre les moyens de limiter, autant que possible, les nuisances d'une agriculture qui est une activité industrielle importante dans le bassin versant. Dans le ruisseau de Flavion, en plus de l'épuration nécessaire des eaux du village de Corenne notamment, la lutte contre le piétinement du bétail, principalement dans le cours supérieur, est une nécessité. La création de bandes protectrices de part et d'autre du ruisseau est un moyen d'y parvenir. Enfin, l'incidence possible de plusieurs piscicultures, respectivement à Ermeton-sur-Biert, à Maredret et à Montaigne, doit être envisagée.

5. REMERCIEMENTS

Je suis particulièrement reconnaissant envers M. Philippe De Zuttere (Cercles des Naturalistes de Belgique) qui a apporté une aide précieuse dans l'identification des bryophytes et M. Pierre Compère (Jardin botanique national de Belgique), qui a confirmé l'identification de l'algue *Ulva flexuosa subsp. pilifera* et régulièrement conseillé dans l'identification des algues filamenteuses. Le Dr Julie Peacock (Earth and Biosphere Institute, School of Geography, University of Leeds) a aimablement accepté de relire et corriger les textes anglais. Je remercie également les deux réviseurs pour leurs remarques utiles.

6. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BAILLY G., J.C. VADAM et J.P. VERGON (2004). *Guide pratique d'identification des bryophytes aquatiques*. Ministère de l'Écologie et du Développement durable, DIREN Franche-Comté, France, 158 p.
- BAKKER J.-P., F. OLFF, J.H. WILLEMS et M. ZOBEL (1996). Why do we need permanent plots in the study of long-term vegetation dynamics? *J. Veg. Sci.*, 7, 147-155.
- BOUXIN G. (1999). Description de la végétation aquatique et du bord de l'eau dans le bassin hydrographique de la Molignée (Condroz, Belgique) par l'analyse multiscalaire des motifs. *Ecologie*, 30, 139-163.
- BOUXIN G. (2008). *Analyse statistique des données de végétation*. <http://users.skynet.be/Bouxin.Guy/ASDV/ASDV.htm>, 570 p.

- BOUXIN G., S. DAUTREBANDE, M. VAN HOVE et C. WILLAM (2004). *Bassin hydrographique de la Molignée. Volume 3. Gestion intégrée des groupements végétaux et de la qualité des eaux*. Comité scientifique de la Conservation de la Nature et de la Protection des Eaux, a.s.b.l. <http://users.belgacom.net/bn556650/2partie.htm> ou <http://users.belgacom.net/bn556650/1partie.htm> (consultation le 1^{er} août 2008), 16 p.
- CHEssel D. (1997). *L'analyse factorielle multiple*. <http://pbil.univ-lyon1.fr/ade4/> (consultation le 1^{er} août 2008), 27 p.
- CHEssel D. et C. GIMARET (1997). *Analyse non symétrique des correspondances*. <http://pbil.univ-lyon1.fr/ade4/> (consultation le 1^{er} août 2008), 30 p.
- COLLECTIF A (2001). - *Bassin hydrographique de la Molignée. Volume 1 – Facteurs abiotiques*. Comité scientifique de la Conservation de la Nature et de la Protection des Eaux, asbl. Direction générale des Ressources naturelles et de l'Environnement (DGRNE), Jambes, Belgique, 205 p. + 4 annexes + 9 annexes cartographiques.
- COLLECTIF B (2004). *Bassin hydrographique de la Molignée. Volume 2 – Facteurs biotiques*. Comité scientifique de la Conservation de la Nature et de la Protection des Eaux, asbl. Direction générale des Ressources naturelles et de l'Environnement (DGRNE), Jambes, Belgique. 170 p. + 9 annexes + 1 annexe cartographique + transparent reprenant la cartographie et la codification des carrés IFBL.
- COLLECTIF C (2005-2007). *Bassin hydrographique de la Molignée. Volume 3 - Nouvelles observations et propositions de gestion*. Comité scientifique de la Conservation de la Nature et de la Protection des Eau, asbl. <http://users.belgacom.net/bn556650/1partie.htm>, (consultation le 1^{er} août 2008).
- FOERSTER J., A. GUTOWSKI et J. SCHAUMBURG (2004). Defining types of running waters in Germany using benthic algae: A prerequisite for monitoring according to the Water Framework Directive. *J. Appl. Phycol.*, 16, 407-418.
- GIMARET-CARPENTIER C, D. CHEssel et J. PASCAL (1998). Non-symmetric correspondence analysis: an alternative for species occurrences data. *Plant Ecol.*, 138, 97-112.
- GRIME J.P., J.G. HODGSON et R. HUNT (1988). *Comparative plant ecology. A functional approach to common British species*. UNWIN HYMAN (Éditeur), Londres, Grande-Bretagne, 742 p.
- HASLAM S.M. et P.A. WOLSELEY (1981). *River vegetation. Its identification, assessment and management*. Cambridge University Press, New-York, NY, États-Unis, 154 p.
- HAURY J. et J.L. BAGLINIÈRE (1990). Relations entre la population de truites communes (*Salmo trutta*), les macrophytes et les paramètres du milieu sur un ruisseau. *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, 318, 118-131.
- HAURY J. et S. MULLER (1991). Variations écologiques et chorologiques de la végétation macrophytique des rivières acides du Massif armoricain et des Vosges du Nord (France). *Rev. Sci. Eau*, 4, 463-482.
- HAURY J., M.-C. PELTRE, S. MULLER, M. TRÉMOLIÈRES, J. BARBÉ, A. DUTARTRE et M. GUERLESQUIN (1996). Des indices macrophytiques pour estimer la qualité des cours d'eau français : premières propositions. *Écologie*, 27, 233-244.
- HAURY J., M. JAFFRÉ, A. DUTARTRE, M.-C. PELTRE, J. BARBÉ, J.M. TRÉMOLIÈRES, M. GUERLESQUIN et S. MULLER (1998). Application de la méthode « Milieux et végétaux aquatiques fixés » à 12 rivières françaises : typologie floristique préliminaire. *Ann. Limnol.*, 34, 129-138.
- HAURY J., M.-C. PELTRE, S. MULLER, G. THIÉBAUT, M. TRÉMOLIÈRES, B. DEMARS, J. BARBÉ, A. DUTARTRE, H. DANIEL, I. BERNEZ, M. GUERLESQUIN et E. LAMBERT (2000). *Les macrophytes aquatiques bioindicateurs des systèmes lotiques – Intérêts et limites des indices macrophytiques. Synthèse bibliographique des principales approches européennes pour le diagnostic biologique des cours d'eau*. UMR INRA-ENSA EQHC Rennes et CREUM-Phytoécologie, Univ. Metz., Agence de l'Eau Artois-Picardie, 101 p. + ann.
- HAURY J., M.-C. PELTRE, M. TRÉMOLIÈRES, J. BARBÉ, G. THIÉBAUT, I. BERNEZ, H. DANIEL, P. CHATENET, G. HAAN-ARCHIPOF, S. MULLER, A. DUTARTRE, C. LAPLACE-TREYTURE, A. CAZAUBON et E. LAMBERT-SERVIEN (2006). A new method to assess water trophy and organic pollution – the Macrophyte Biological Index for Rivers (IBMR): its application to different types of river and pollution. *Hydrobiologia.*, 570, 153-158.
- JOHN D.M., B.A. WHITTON et A.J. BROOK (2002). *The freshwater algal flora of the British Isles. An identification guide to freshwater and terrestrial Algae*. Cambridge University Press, Cambridge, Grande-Bretagne, 702 p.

- KOMÁREK J. et K. ANAGNOSTIDIS (2005). *Süßwasserflora von Mitteleuropa. Cyanoprokaryota. 19/2. Teil: Oscillatoriales*. Elsevier Spektrum Akademischer Verlag., 758 p.
- LAMBINON J., L. DELVOSALLE et J. DUVIGNEAUD (avec la collaboration de D. GEERINCK, J. LEBEAU, R. SCHUMACKER et H. VANNEROM) (2004). *Nouvelle flore de la Belgique, du Grand-Duché de Luxembourg, du nord de la France et des régions voisines (Ptéridophytes et Spermatophytes)*. Cinquième édition. Éditions du Patrimoine du Jardin botanique national de Belgique, Meise, 1167 p.
- PORTERS D., D.K. MUELLER, N.E. SPAHR, M.D. MUNN et N.M. DUBROVSKY (2008). Efficacy of algal metrics for assessing nutrient and organic enrichment in flowing waters. *Freshwater Biol.*, 53, 1036-1054.
- POT R. (2003). *Veldgids. Water - en Oeverplanten*. KNNV Uitgeverij, 352 p.
- SCHNEIDER S. et A. MELZER (2003). The trophic index of macrophytes (TIM) – A new tool for indicating the trophic state of running waters. *Int. Rev. Hydrobiol.*, 88, 49-67.
- SOTIAUX A., H. STIEPERAERE et A. VANDERPOORTEN (2007). Bryophytes checklist and European red list of the Brussels-Capital Region, Flanders and Wallonia (Belgium). *Belg. J. Bot.*, 140, 174-196.
- VERAART A.J (2008). Algal response to nutrient enrichment in forested oligotrophic stream. *J. Phycol.*, 44, 564-572.