

Végétation aquatique et amphibie du Néblon

Résumé

L'objectif de cette étude est de fournir un outil intégratif pour évaluer la qualité de l'eau du Néblon grâce à l'observation de sa végétation aquatique. L'étude a été menée pendant 2 ans (printemps-étés 2019 et 2020) dans le cadre du programme de recherche Eco-impact / Néblon financé par la SPGE. Cet inventaire botanique a été réalisé sur 29 stations réparties sur le Néblon et ses principaux affluents, pour comprendre l'état général de la rivière et pour décrire les principales communautés végétales depuis l'amont jusqu'à l'aval, en y intégrant les petits affluents. Sur base de la biodiversité observée et de l'abondance ou de la présence/absence d'espèces indicatrices, combinées à une analyse statistique (multivariée), il est possible d'illustrer l'incidence des activités humaines sur l'écosystème rivière. Par rapport aux études similaires réalisées précédemment sur d'autres cours d'eau wallons, nous y avons également inclus l'inventaire des Diatomées. Sur base des analyses statistiques de la végétation et de la littérature scientifique concernant les relations entre les Diatomées et certains paramètres environnementaux, les sites fortement touchés par la saprobie et par les pesticides sont mis en évidence.

Cadre géographique et hydrogéologique

Le Néblon prend sa source un peu au nord du village de Méan (Havelange, province de Namur) à l'altitude de 280 m, sous le nom de ruisseau de l'Abîme. Ensuite, le cours d'eau devient le ruisseau de Chardeneux en traversant ce village. Après avoir arrosé Bonsin dans la commune de Somme-Leuze (province de Namur), il arrive bientôt à l'endroit où les trois provinces (Namur, Liège et Luxembourg) se rejoignent. Continuant un moment à délimiter les provinces de Liège et de Luxembourg, le Néblon, appelé à cet endroit *l'Ombre* ou *Amble*, passe sous le *Pont d'Ombre* puis poursuit son cours entre les villages d'Ocquier (commune de Clavier, province de Liège) et d'Oneux (commune de Durbuy, province de Luxembourg), reçoit le ruisseau d'Ocquier au hameau d'Amas avant de couler au pied du village de Jenneret. Par les hameaux de Néblon-le-Moulin et Néblon-le-Pierreux (commune d'Ouffet, province de Liège), la rivière arrive à Hamoir (province de Liège) et se jette dans l'Ourthe à l'altitude de 120 m.

Le Néblon (Figure 1), d'une longueur de 18 km, coule globalement vers le nord-est, en grande partie dans le Condroz. Dans cette région, se succèdent des synclinaux calcaires et des anticlinaux schisto-gréseux. Le cours inférieur se trouve en Famenne. Les ressources en eau souterraine de la région se logent essentiellement dans les aquifères calcaires du Carbonifère. Les synclinaux calcaires du Carbonifère (et les anticlinaux gréseux du Famennien) du synclinorium de Dinant, constituant l'une des plus importantes réserves en eau souterraine de la Wallonie. La superficie totale du bassin versant du Néblon est de 75,7 km².

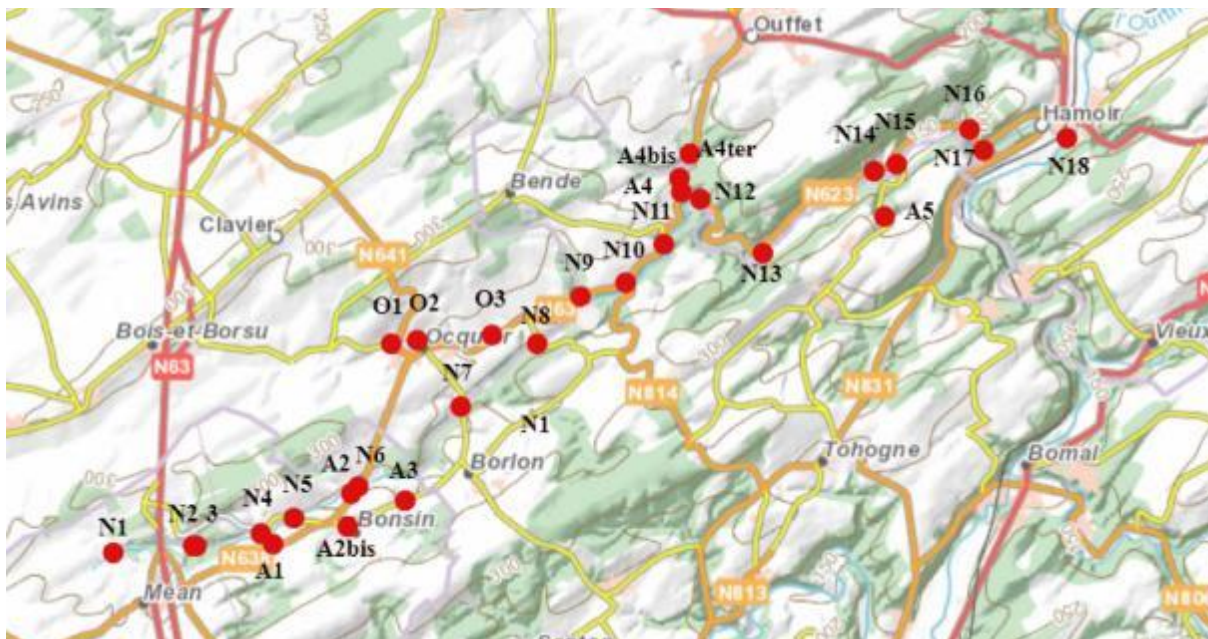


Figure 1. Parcours du Néblon et emplacement des relevés de végétation (points rouges), d'après Walonmap.

Le Néblon draine essentiellement l'aquifère des calcaires du Carbonifère. Des schistes du Houiller occupent le cœur du bassin. Les aquifères gréseux du Famennien affleurent dans les zones sud et est du bassin. La partie aval du bassin est dominée par les formations détritiques du Dévonien supérieur. Les eaux du bassin du Néblon sont captées par la Compagnie Intercommunale Liégeoise des Eaux (C.I.L.E.) afin d'alimenter, entre autres, une partie de l'agglomération liégeoise (RUTHY & DASSARGUES, 2017). Le captage d'eau, réalisé dans la première partie du XX^e siècle est constitué de six galeries creusées non loin du Néblon sous la commune d'Ouffet. Les analyses d'eau des galeries principales de captage d'eau du Néblon montrent un faciès bicarbonaté calcique, de dureté et de conductivité élevées. L'alcalinité est moyenne à élevée. Le pH est basique. La teneur en nitrate est relativement élevée, entre 24 et 30 mg/l. Les concentrations en ammonium et nitrite sont très faibles. Des traces d'atrazine et de ses produits de dégradation (déséthylatrazine), ainsi que de diuron et de 2,6-dichlorobenzamide ont été détectées, mais les quantités restent largement sous la norme de potabilité. La présence de ces « traces » de pesticides (principalement des herbicides) a par ailleurs été confirmée dans le cadre du projet Eco-Impact qui a également réalisé des analyses en 2020 dans les galeries du Néblon.

Plusieurs sites karstiques ont été observés le long du Néblon et de ses affluents, depuis le cours supérieur à hauteur du hameau de Bassines, à hauteur du village de Borlon, le long du ruisseau d'Ocquier, du ruisseau du Bout (venant de Ouffet) et un peu en aval du confluent avec le Néblon. Des rejets liquides « suspects » (égouts, canalisation drainant des zones d'épandage, rejets de stations d'épuration et stockage de fumier...) ont aussi été constatés en divers endroits (MICHEL, communication personnelle). Ils sont susceptibles d'avoir une incidence sur la végétation aquatique et amphibie, ainsi que sur la qualité des eaux de surface et souterraines.

Sur le plan paysager, le ruisseau se trouve d'abord en milieu agricole, principalement au milieu de pâtures, ensuite le cours devient en partie forestier ; dans son cours inférieur, il entre dans une plaine alluviale où il est souvent bordé d'une ripisylve.

Les ruisseaux de nos régions sont victimes du processus d'eutrophisation. Reprenons la définition de PINAY *et al.* (2018) : « L'eutrophisation des écosystèmes aquatiques est une succession de processus biologiques enclenchés en réponse à un apport excessif de nutriments. Elle se traduit par des réponses complexes de l'ensemble des écosystèmes aquatiques. Les effets les plus notables sont des proliférations de producteurs primaires (plantes aquatiques, Algues, Cyanobactéries), des phénomènes de toxicité ou d'anoxie, des pertes de biodiversité ». « Le recouvrement de macroalgues filamenteuses approche parfois 100 % de la surface de l'eau. De plus, les préférences écologiques permettent à ce groupe d'occuper le milieu par vagues successives : par exemple, *Vaucheria* sp. en début de saison végétative, puis *Cladophora glomerata* lorsque la température augmente ». Il faut aussi distinguer l'eutrophisation naturelle de l'eutrophisation anthropique induite par des apports en phosphore et en azote dus aux activités humaines. Certains apports de nutriments sont diffus, comme ceux liés à l'agriculture ; d'autres sont ponctuels comme ceux amenés par les égouts. En Europe, grâce aux analyses chimiques effectuées depuis les années 1960-1970, on constate que la tendance générale est à une augmentation importante des concentrations en azote et en phosphore, à des degrés divers d'une rivière à l'autre.

L'objectif de cette étude est d'apporter un outil pour évaluer la qualité de l'eau du bassin grâce à l'étude de la végétation des ruisseaux. Nous privilégions l'étude à l'échelle du bassin, ce qui nous paraît indispensable pour comprendre l'état de la rivière. Il s'agit principalement de mettre en évidence les effets des activités humaines sur l'écosystème en essayant d'isoler les effets des pesticides.

Méthodes d'étude

La qualité d'un ruisseau ne peut pas s'évaluer à partir de quelques prélèvements rapides en un ou deux sites avec l'établissement d'un indice biotique simple et pratique. Les méthodes d'étude actuelles ont montré la nécessité d'entreprendre la description des ruisseaux à l'échelle du bassin versant, au moyen d'un nombre aussi élevé que possible de relevés de végétation (BOUXIN 2004, 2011a, 2011b, 2013a, 2013b).

L'étude fut donc faite avec un ensemble de 29 relevés répartis dans tout le bassin versant (Fig. 1). Ils sont notés N1 à 18 le long du cours principal, O1 à 3 le long du ruisseau d'Ocquier, A1, A2, A2bis, A3, A4, A4bis, A4ter et A5 le long de petits affluents. Seuls les sites présentant un courant d'eau au début de la période de végétation (mars-avril) ont été observés. Chaque relevé est une section de ruisseau et mesure entre 20 et 40 mètres, ce qui leur assure une bonne homogénéité physiologique.

La description de la végétation aquatique et amphibie porte sur l'ensemble du lit mineur, jusqu'aux têtes de berge. La liste des Anthophytes et Ptéridophytes (hydrophytes, hélophytes et espèces nettement hygrophiles), des Bryophytes hygrophiles et Algues aisément reconnaissables du lit mineur, est établie sur le terrain. Le lit mineur est parcouru. Des Bryophytes aquatiques et amphibies sont récoltées et séchées avant identification ultérieure. Des cailloux sont aussi récoltés. Des algues filamenteuses benthiques visibles à l'œil nu sont prélevées et examinées rapidement au microscope, souvent photographiées et parfois conservées dans du formol pour examen ultérieur. Quelques cailloux sont emportés ; au laboratoire, ils sont grattés en vue de l'observation au microscope des diatomées et algues fixées sur les cailloux. Les diatomées sont d'abord identifiées sur du matériel

frais suivant la méthode de COX (1996). Ensuite, certaines préparations sont grillées et fixées avec une résine (naprax), afin de les rendre permanentes et de préciser ou vérifier ultérieurement certaines identifications. Chaque site a été visité au moins deux fois, en 2019 et en 2020.

Pour décrire l'environnement de chaque relevé, plusieurs paramètres ont été enregistrés : ordre du ruisseau, type de vallée, lithologie, occupation de la vallée, largeur de la plaine alluviale, éclaircissement du ruisseau, encaissement du lit mineur, largeur et profondeur maximales du cours d'eau en été, nature du fond (blocs, cailloux, gravier, sable, argile et limon), vitesse du courant, pente de berge, occupation de la berge, caractère plus ou moins rudéralisé, présence de clôtures, arrivée d'égout, piétinement par le bétail, présence d'une couverture d'algues ou de mousses. Seules des données qualitatives sont enregistrées. Dans plusieurs sites, des analyses chimiques d'eau semi-quantitatives ont aussi été faites à plusieurs reprises à partir de valisettes de terrain (laboratoire compact pour analyses d'eau de la firme Merck et Sera aqua-test box), portant sur le pH, la dureté totale (degrés allemands), la dureté carbonatée, le pH, l'ammonium, le nitrite, le nitrate et le phosphate.

On obtient ainsi plusieurs fichiers de 29 colonnes et autant de lignes qu'il y a d'espèces (voir annexes). Ces fichiers sont ensuite adaptés aux analyses statistiques de la manière suivante. Dans chaque ligne, les absences sont remplacées par 0 les présences ou abondances par 1. Pour chaque ligne avec des abondances 2, 3, 4 ou 5, on crée d'abord une seconde ligne en remplaçant les abondances supérieures à 1 par le score 1 et si nécessaire, une troisième ligne en remplaçant les abondances supérieures à 3 à nouveau par le score 1. On obtient ainsi un tableau disjonctif. Par cette transformation, on évite de donner trop d'importance aux espèces abondantes, tout en les prenant en compte. Trois principaux fichiers ont été ainsi créés : un avec les Anthophytes, ptéridophytes et Bryophytes, un deuxième avec les algues et diatomées et un troisième avec les variables environnementales.

Les analyses statistiques sont celles que nous utilisons habituellement (BOUXIN, 2016 & 2024), soit l'analyse non symétrique des correspondances, avec permutations, basée sur un tableau disjonctif, l'analyse factorielle multiple basée sur la même analyse non symétrique et des techniques habituelles de classification, à savoir une technique hiérarchique descendante avec réallocations et une technique hiérarchique descendante dite de « Ward ». L'analyse non symétrique des correspondances évite l'écueil de l'analyse duale des correspondances qui donne un poids très grand aux espèces rares et peu fréquentes. Le test par permutation est construit sur les valeurs propres : il compare les valeurs propres calculées et celle obtenues par permutations ; il nous donne ainsi le nombre de valeurs propres significatives ainsi que les contributions relatives significatives de chaque ligne du tableau considéré. Dans l'analyse factorielle multiple, la pondération se base sur la proportion de cases occupées par « 1 » dans chaque sous-tableau. Les espèces caractéristiques des groupements végétaux sont définies par un test comparant la fréquence des taxons dans le groupement définis et la fréquence que l'on obtient en permutant les contenus des lignes du tableau. Les tests sont construits à partir de 10.000 permutations. Les scripts des programmes que nous avons rédigés en langage R, se trouvent dans BOUXIN (2024).

Plusieurs fichiers ont été analysés :

- Le fichier des macrophytes appartenant aux Anthophytes et Bryophytes aquatiques (respectivement 86 et 21 espèces), en vue de donner une description générale de la végétation du lit mineur ;

- Le fichier comprenant les hydrophytes herbacées (9 espèces), les mousses aquatiques (18 espèces), les algues benthiques (32 espèces) et les diatomées épiphytes (sur les autres plantes), épilithiques (sur les cailloux) ou vivant sur la vase du lit mineur (48 espèces), en vue de décrire la végétation aquatique, celle qui est en contact permanent avec l'eau du ruisseau et qui peut nous donner des indications sur la qualité de l'eau courante ;
- Le même fichier réuni avec le fichier environnemental en vue d'établir un parallélisme entre variables floristiques et variables environnementales. Après une première analyse multivariée, 34 paramètres environnementaux ont été retenus.

La nomenclature suit LAMBINON, VERLOOVE & collaborateurs (2012) pour les Anthophytes et Ptéridophytes, SOTIAUX, STIEPERAERE & VANDERPOORTEN (2007) pour les Bryophytes, JOHN *et al.* (2011) pour les algues en général, ELORANTA *et al.* (2011) et SALOMAKI *et al.* (2014) pour les *Batrachospermaceae* et *Phaeophyceae*, KOMÁREK & ANAGNOSTIDIS (2005) pour les cyanobactéries et CANTONATI *et al.* (2017) pour les diatomées.

Description générale de la végétation

La description générale de la végétation se base sur la végétation des plantes supérieures et des mousses et hépatiques. La classification des relevés conduit à décrire trois principaux groupements végétaux, que l'on retrouve d'ailleurs dans la plupart des cours d'eau condrusiens de l'importance du Néblon.

Groupement de ruisselets et ruisseaux en milieu éclairé

Ce groupement (en jaune dans la figure 5, relevés A1, A2, A2bis, A3, O1, O2, O3, N1, N2, N4, N5, N6, N7, N11, N14, N17) couvre les ruisselets et petits ruisseaux du cours supérieur et seulement trois relevés du cours inférieur, bien éclairé, en milieu agricole ou urbanisé (Figure 2). Le lit mineur est généralement bien encaissé, entre 0,5 et 1 mètre, voire plus. L'eau coule généralement sur des roches calcaires.

Les espèces caractéristiques sont : la Baldingère (*Phalaris arundinacea*), la Glycérie pliée (*Glyceria notata*), l'Épilobe hérissé (*Epilobium hirsutum*), la Reine-des-prés (*Filipendula ulmaria*), le Jonc épars (*Juncus effusus*), l'Agrostis stolonifère (*Agrostis stolonifera*), le Cresson de fontaine (*Nasturtium officinale*), l'Ache faux cresson (*Apium nodiflorum*) et le Cirse des marais (*Cirsium palustre*). Parmi les principales espèces compagnes, citons par ordre de fréquence décroissante : la Patience agglomérée (*Rumex conglomeratus*), le Myosotis des marais (*Myosotis scorpioides*), l'Angélique sauvage (*Angelica sylvestris*), la Menthe aquatique (*Mentha aquatica*), le Lycopse (*Lycopus europaeus*), l'Aulne glutineux (*Alnus glutinosa*), la mousse *Platyhypnidium riparioides*, la Morelle douce-amère (*Solanum dulcamara*) et la Véronique des ruisseaux (*Veronica beccabunga*).



Figure 2. Cours supérieur du Néblon au milieu d'une pâture.

Groupement de ruisseaux et ruisselets en milieu fortement ombragé



Figure 3. Ruisselet en milieu fortement ombragé

Tous les relevés se trouvent en milieu boisé (Figure 3, en vert dans la figure 5), ce sont les relevés A4, A4ter, A5, N3, N9, N10. Le lit mineur est couvert de blocs et de cailloux sur lesquels les mousses et hépatiques se fixent facilement, il est fortement encaissé et les berges sont pentues. Les roches sont de nature calcaire ou gréseuse.

Six espèces caractérisent ce groupement : la Fougère femelle (*Athyrium filix-femina*), la Cardamine des bois (*Cardamine flexuosa*), la Dorine à feuilles opposées (*Chrysosplenium oppositifolium*), la Véronique des ruisseaux (*Veronica beccabunga*), la mousse *Rhizomnium punctatum* et l'hépatique *Marchantia polymorpha*. Plusieurs autres espèces sont communes : le Frêne commun (*Fraxinus excelsior*), la Morelle douce-amère (*Solanum dulcamara*), l'Épiaire des bois (*Stachys sylvatica*), l'Angélique sauvage (*Angelica sylvestris*), l'Aulne glutineux (*Alnus glutinosa*), et la mousse *Platyhypnidium riparioides*.

Groupement de ruisseau du cours inférieur, bordé d'une ripisylve

Ce groupement (Figure 4, en brun dans la figure 5), est défini à partir des relevés N8, N12, N13, N15, N16, N17) se rencontre le plus souvent le long du ruisseau d'ordre 3, c'est-à-dire principalement dans le cours moyen et inférieur, dont la largeur dépasse 5 mètres et une seule fois dans un ruisseau d'ordre deux, plus étroit. Le

ruisseau coule en milieu ouvert ou plus ou moins fermé mais toujours bordé, en partie du moins, d'une ripisylve dominée par l'Aulne glutineux et le Frêne commun. Le courant est généralement rapide, parfois localement ralenti, notamment quand le cours est entravé par un barrage de castors et le fond souvent couvert de blocs. Le substrat solide est couvert de mousses et d'Algues vertes. Le faciès rocheux est d'abord calcaire et puis devient schisto-gréseux quand le ruisseau passe du Condroz à la Famenne

Le lit mineur est caractérisé par quatre Bryophytes aquatiques : *Fissidens crassipes*, *Pellia endiviifolia*, *Platyhypnidium riparioides* et la Fontinale (*Fontinalis antipyretica*).

Parmi les espèces compagnes, on retrouve l'Aulne glutineux, l'Épiaire de bois, le Frêne commun, la Patience agglomérée (*Rumex conglomeratus*), l'Angélique des bois, l'Agrostis stolonifère et la Reine-des-prés (*Filipendula ulmaria*).



Figure 4. Cours inférieur bordé partiellement d'une ligne d'arbres

Comparaison avec les autres ruisseaux condrusiens

La végétation observée dans les ruisselets et petits ruisseaux éclairés est habituelle pour la région et se retrouve dans les têtes de bassin et les petits ruisseaux condrusiens (BOUXIN, 2011a et b, 2013a et b, 2020), avec diverses variantes liées aux caractéristiques physiographique, géologiques et à l'occupation humaine. Il en va de même pour le groupement des ruisselets et petits ruisseaux en milieu ombragé. Le cours inférieur est fort comparable à celui que l'on observe dans des rivières comme le Samson, le Bocq ou la Molinee; avec une ripisylve bordée d'aulnes glutineux et de frênes communs ; en plusieurs endroits, des frênes morts sont observés comme le long d'autres ruisseaux, suite à une maladie fongique, appelée chalarose. On y trouve les mêmes espèces de mousses rhéophiles. Il y a toutefois une différence marquante avec d'autres rivières condrusiennes, c'est la pauvreté en hydrophytes, il y a peu de Callitriche, pas de Potamot et plus curieusement, pas de renoncule aquatique comme *Ranunculus fluitans* pourtant bien présente dans des rivières condrusiennes comme le Bocq ou la Molinee. Dans l'Atlas Floristique IFFB (DELVOSALLE et des membres de l'IFFB, 2009), cette dernière espèce est signalée dans tout le Condroz comme une espèce des eaux claires et assez rapide, mais en régression assez récente, probablement depuis les années 1980. Serait-ce une conséquence de l'usage d'herbicides ?

Dans les trois groupements, les berges sont envahies par l'ortie dioïque, ce qui est un signe de rudéralisation. On se trouve donc en présence d'un ruisseau eutrophisé, comme c'est le cas de tous nos ruisseaux condrusiens. Seulement quelques têtes de ruisseau en milieu forestier échappent à cette transformation. Les rejets directs d'eaux usées d'origine domestique ou agricole sont aussi nombreux et cela se marque dans la présence d'espèces bioindicatrices comme la mousse aquatique *Leptodictyum riparium* ; cette espèce prolifère en aval des rejets d'égouts notamment. Dans le bassin du Néblon, nous l'avons observée dans les deux relevés situés en aval de la station d'épuration de Borlon (N6 et N7) et dans le ruisselet alimenté par la station d'épuration recevant les eaux usées de Ouffet. Or, les eaux provenant des stations d'épuration sont souvent très riches en phosphate. Des analyses chimiques semi-quantitatives (voir plus loin) montrent que les eaux du Néblon sont clairement enrichies en phosphate et en nitrite par celles venant des deux stations d'épuration.

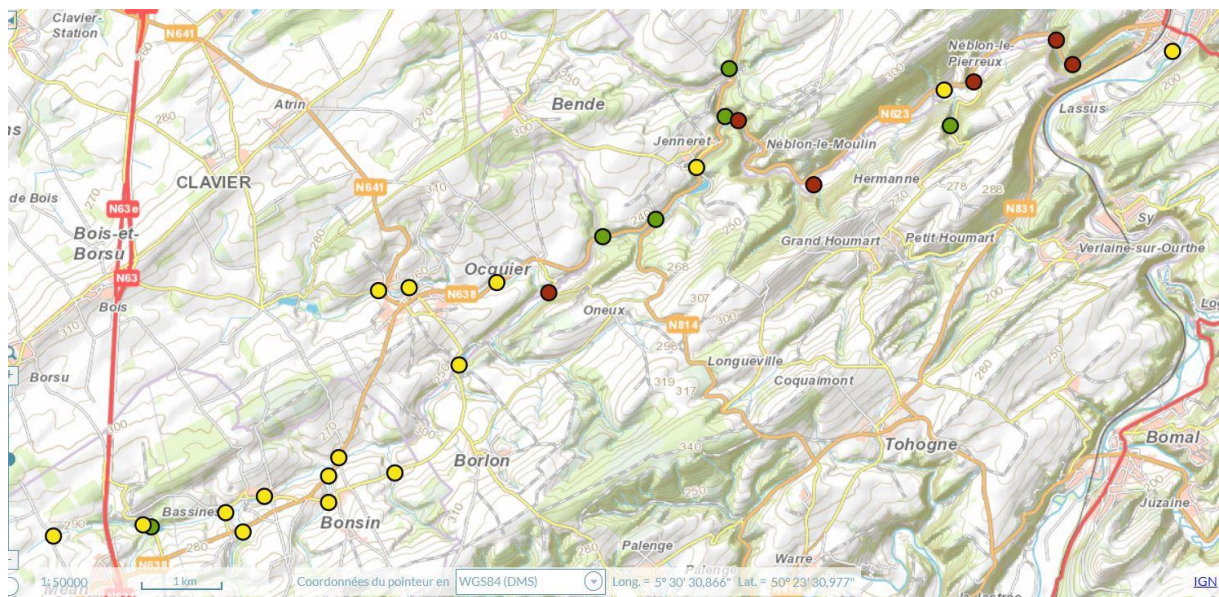


Figure 5. Répartition des trois groupements végétaux de macrophytes. En jaune : groupement des ruisseaux et ruisselets en milieu éclairé ; en vert : groupement des ruisseaux et ruisselets en milieu fortement ombragé ; en brun, groupement de cours inférieur, bordé d'une ripisylve, d'après Walonmap.

Macro- et microhydrophytes

Afin de mieux comprendre l'incidence des activités humaines sur la vie des eaux de surface, nous avons également entrepris l'étude des algues, cyanobactéries et diatomées vivant à la surface des cailloux et blocs du lit mineur ou à la surface des plantes aquatiques. L'apport des matières organiques (saprobie) et l'augmentation de la teneur en nutriments (trophie) sur beaucoup d'espèces sont assez bien connus ; la pollution favorise certaines espèces et fait régresser ou disparaître d'autres. Les herbicides détruisent beaucoup d'espèces et c'est donc la diminution de biodiversité qui se marque principalement. Toutefois, cette diminution peut avoir plusieurs origines, sans que l'on puisse isoler l'incidence des pesticides seuls. On doit aussi se poser la question de l'incidence de l'épandage de sels de déneigement sur les routes qui suivent les fonds de vallées.

L'étude approfondie qui suit se base sur le même ensemble de relevés comprenant les hydrophytes herbacées en contact permanent avec l'eau du ruisseau, les bryophytes aquatiques et les microhydrophytes, soit les espèces d'algues filamenteuses ou planctoniques, les cyanobactéries et les diatomées.

Parmi les anthophytes aquatiques, citons les plus communes, avec leurs fréquences respectives dans les 29 relevés : *Glyceria notata* (13), *Veronica beccabunga* (12), *Myosotis scorpioides* (11), *Mentha aquatica* (10), *Apium nodiflorum* (5), *Callitriche platycarpa* (5), *Nasturtium officinale* (5) et *Veronica anagallis-aquatica* (4).

Les bryophytes les plus communes sont : *Platyhypnidium riparioides* (17), *Fissidens crassipes* (6), *Leptodictyum riparium* (5), *Cratoneuron filicinum* (4), *Fontinalis antipyretica* (4), *Marchantia polymorpha* (4), *Conocephalum conicum* (3), *Hygroamblystegium fluviatile* (3) et *Pellia endiviifolia* (3).

Parmi les algues et les cyanobactéries récoltées sur les cailloux ou blocs, plusieurs espèces sont très fréquentes : *Vaucheria* sp. (23, abondante dans les milieux eutrophisés), *Chantransia* (21, stade de développement de *Sheathia arcuata*, très commun dans les rivières du Condroz), *Phormidium* sp. (19, plusieurs espèces de ce genre se développent dans les eaux fortement eutrophisées), *Cladophora glomerata* (18, espèce nettement héliophile et eutrophe), *Gongrosira incrustans* (14), *Leptolyngbya foveolarum* (14), *Microspora floccosa* (11, espèce résistante à la saprobie), *Sheathia arcuata* (6, nettement moins fréquente que le stade *Chantransia*), *Chamaesiphon incrustans* (5), cyanobactérie peu commune, épilithique ou épiphyte sur *Chantransia* et des algues vertes, cette espèce est caractéristique d'eaux peu profondes, mésotrophes ou faiblement eutrophes ; on la trouve aussi dans des eaux saumâtres. Quelques espèces planctoniques sont aussi présentes sur la vase ou dans l'eau.

La flore des diatomées est assez bien diversifiée avec 49 espèces identifiées. Les plus fréquentes sont : *Navicula lanceolata* (23), *Achnantheidium minutissimum* (21), *Navicula tripunctata* (21), *Ulnaria ulna* (20), *Gomphonema olivaceum* (19), *Rhoicosphenia abbreviata* (19), *Gomphonema olivaceum* (19), *Nitzschia palea* (18), *Navicula veneta* (17), *Amphora pediculus* (16), *Cocconeis placentula* (15), *Melosira varians* (15), *Gyrosigma attenuatum* (14), *Navicula antonii* (13), *Gyrosigma acuminatum* (12), *Nitzschia sigmoidea* (10), *Diatoma vulgare* (9), *Navicula gregaria* (9), *Surirella brebissonii* (9), *Amphora copulata* (8), *Planothidium frequentissimum* (8), *Cocconeis pediculus* (7), *Gomphonema acuminatum* (7), *Nitzschia vermicularis* (7), *Pinnularia* cf. *viridiformis* (7), *Gomphonema saprophilum* (6), *Cymatopleura solea* (5) et *Sellaphora segerresii* (5).

Analyse du fichier des macro- et microhydrophytes

Ce fichier est analysé au moyen de l'analyse factorielle multiple basée sur l'analyse non symétrique des correspondances avec permutations (10000). C'est le fichier disjonctif qui est à nouveau utilisé. Seules des données de type 0-1 sont donc utilisées.

L'analyse du fichier complet produit trois valeurs propres significatives. La représentation des relevés dans le plan des axes 1 et 2 et 2 et 3

de l'analyse montre clairement que le relevé A3 est clairement mis en évidence (Figure 6).

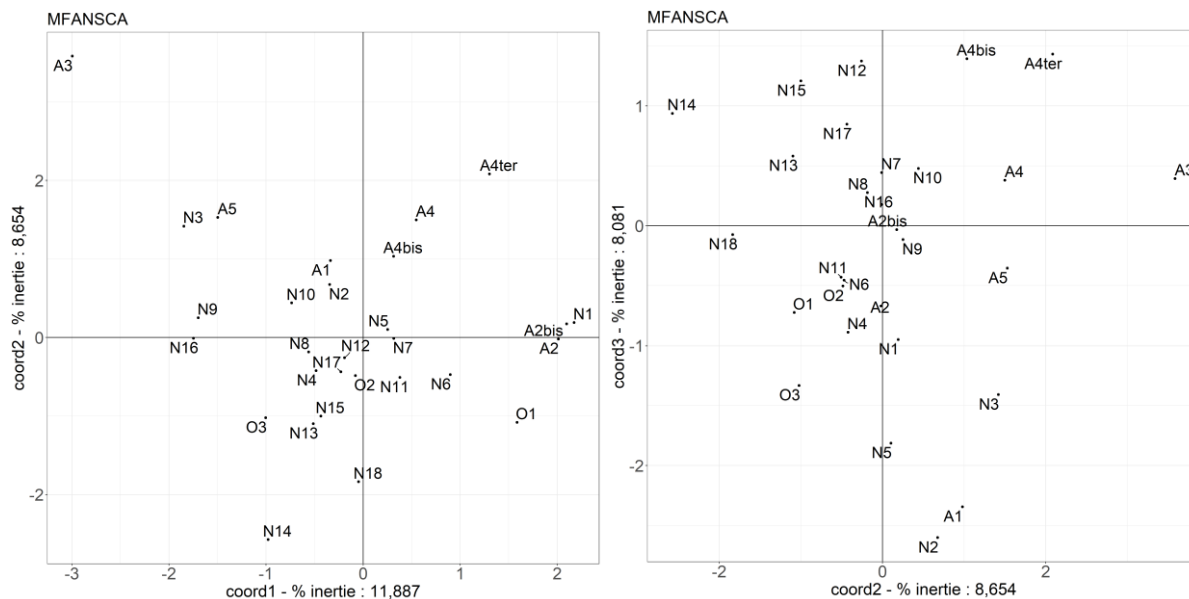


Figure 6. Analyse non symétrique des correspondances du fichier des macro- et micro-hydrophytes. Coordonnées des relevés dans le plan des axes 1 et 2 et 2 et 3.

Cette analyse est fortement influencée par le relevé A3 (coordonnées négatives) qui est isolé dans le plan des deux premiers axes. Il est opposé aux relevés N1, A2, A2bis et O1 (coordonnées positives).

Le relevé A3 (Figure 7) coule, à la sortie d'un petit bois, dans une pâture et est protégé du piétinement par des clôtures. Le lit mineur est principalement constitué de cailloux. Sa flore aquatique benthique est peu diversifiée et nous n'avons relevé qu'une espèce d'Algue, *Gongrosira incrustans*, une espèce de cyanobactérie, *Leptolyngbya foveolarum* et trois espèces de diatomées, *Amphora pediculus*, *Gomphonema olivaceum* et *Ulnaria ulna*.



Figure 7. Relevé A3 entre deux clôtures. Vue printanière.

Les relevés N1, A2, A2bis et O1 coulent aussi en milieu agricole mais avec soit un débit faible, soit un débit plus important mais avec un courant lent et un lit mineur constitué de vase. L'incidence du milieu agricole est toujours forte et parfois très agressive, comme le montre la figure 8.



Figure 8. Ruisseau « Le Sté » (relevé A2bis) longeant la cour d'une ferme, recevant des eaux d'égout et encombré de déchets divers.

Dans ces quatre relevés, la flore est beaucoup plus diversifiée, avec des nombres d'espèces variant entre 16 et 28. Les cinq espèces avec les plus fortes contributions relatives et les coordonnées positives sont : *Gomphonema parvulum*, *Euglena* sp., *Amphora copulata*, *Planothidium frequentissimum* et *Navicula trivialis*.

Les trois premières valeurs propres sont significatives. Leur somme correspond à 28,662 % de la trace de la matrice de covariance.

Sur l'axe 1 (Figure 9), les espèces avec les contributions relatives les plus importantes sont :

- Avec des coordonnées négatives : *Gomphonema parvulum*, *Euglena sp.*, *Amphora copulata*, *Closterium sp.*, *Navicula gregaria* et *Planothidium frequentissimum*; ce sont des espèces liées principalement aux relevés N1 (cours supérieur), N6 (juste après une station d'épuration), A2, A2bis (ruisseau de Sté) et O1 (ruisseau d'Ocquier) ;
- Avec des coordonnées positives : *Platyhypnidium riparioides*, *Leptolyngbya foveolarum*, *Gomphonema olivaceum* Chantransia, *Gongrosira incrustans*, *Gyrosigma acuminatum*, *Amphora pediculus*, *Navicula tripunctata*, *Rhoicosphenia abbreviata* et *Phormidium sp.* ; ce sont des espèces communes dans tout le bassin versant mais un peu plus fréquentes dans le cours inférieur.

Sur l'axe 2, les espèces avec les contributions relatives les plus importantes sont :

- Avec des coordonnées négatives : *Myosotis scorpioides*, *Diatoma vulgaris*, *Gyrosigma attenuatum*, *Platyhypnidium riparioides*, *Nitzschia palea*, *Mentha aquatica* et *Vaucheria sp.* ; ce sont des espèces assez largement répandues ;
- Avec des coordonnées positives : *Gongrosira incrustans*, *Veronica beccabunga*, *Leptolyngbya foveolarum*, *Sheathia arcuata*, *Chameasiphon incrustans*, *Gomphonema incrustans* et *Marchantia polymorpha* ; ces espèces sont principalement réparties dans les petits ruisseaux couverts de cailloux et blocs et tout particulièrement dans le ruisseau du Bout (venant d'Ouffet).

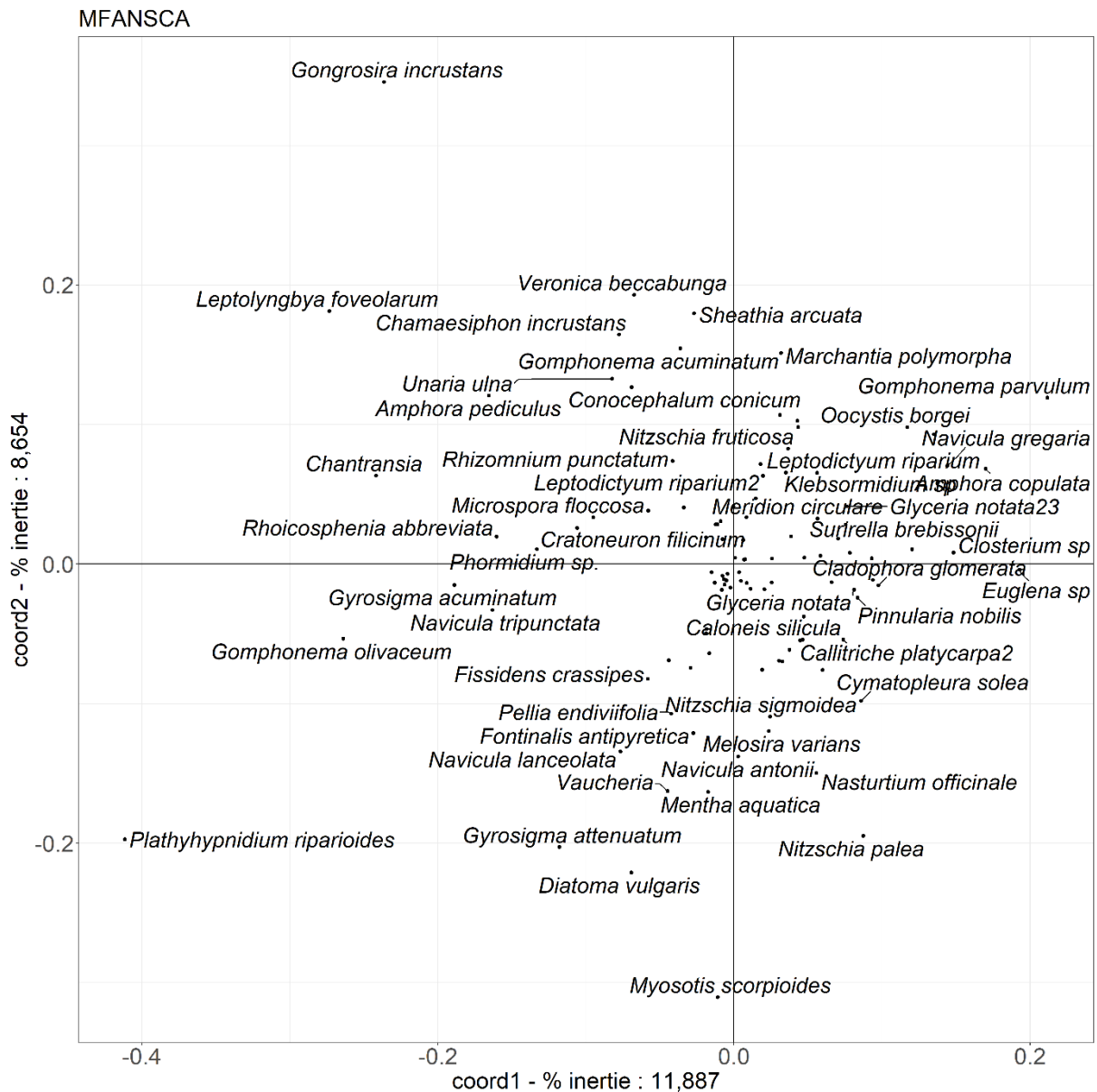


Figure 9. Analyse factorielle multiple du fichier floristique des macro et micro-hydropytes. Axes 1 et 2.

Sur l'axe 3 (Figure 10), les espèces avec les contributions relatives les plus importantes sont :

- Avec les coordonnées positives : *Fissidens crassipes*, *Microspora floccosa*, *Planothidium frequentissimum*, *Amphora pediculus*, *Marchantia polymorpha*, *Navicula radiosa*, *Plathyhypnidium riparioides*, *Melosira varians*, *Surirella brebissonii*, *Fontinalis antipyretica* et *Pellia endiviifolia*, ; ces espèces sont globalement plus fréquentes dans la moitié inférieure du bassin versant ;
- Avec des coordonnées négatives : *Glyceria natata*, *Veronica beccabunga*, *Apium nodiflorum*, *Chamaesiphon incrustans*, *Vaucheria sp.*, *Chantransia*, *Cladophora glomerata*, *Closterium sp.*, *Gomphonema olivaceum* et *Pinnularia* et *Phormidium sp.*, *Vaucheria sp.* ; ces espèces sont globalement plus fréquentes dans la moitié supérieure du bassin versant.

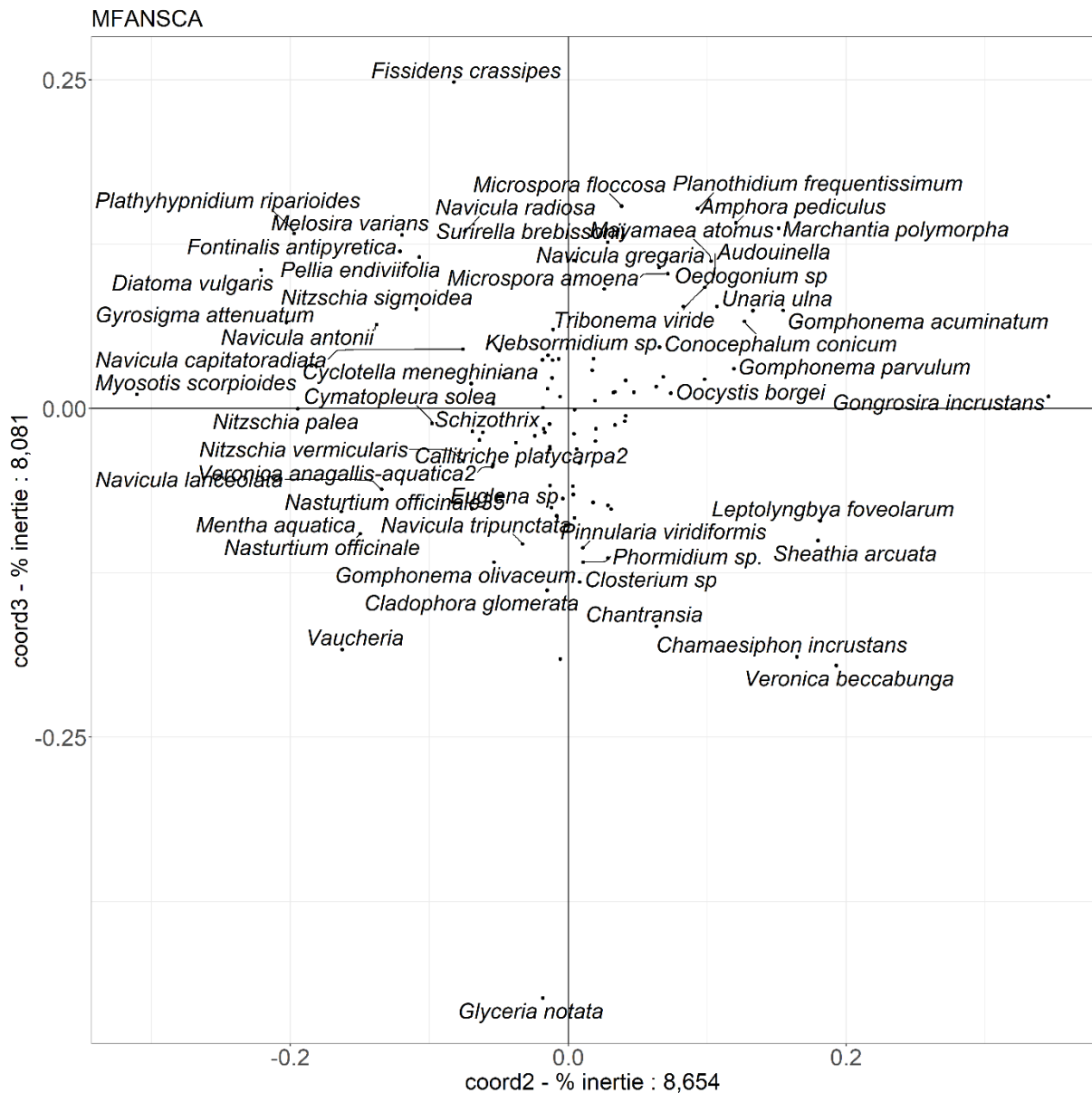


Figure 10. Analyse factorielle multiple du fichier floristique des macro et micro-hydrophytes. Axes 2 et 4.3

Avec les axes suivants, il s'agit de variations locales.

L'analyse continue en supprimant le relevé A3 qui écrase quelque peu les autres données par sa composition particulière, pauvre en espèces.

La représentation des relevés dans le plan des axes 1 et 2 (figure 11) montre le caractère spécifique de deux sous-ensembles de relevés, le premier avec les relevés N1, N6, O1, A2 et A2bis liés à l'axe 1 et le second avec les relevés A4, A4bis et A4ter (ruisseau du Bout) liés à l'axe 2.

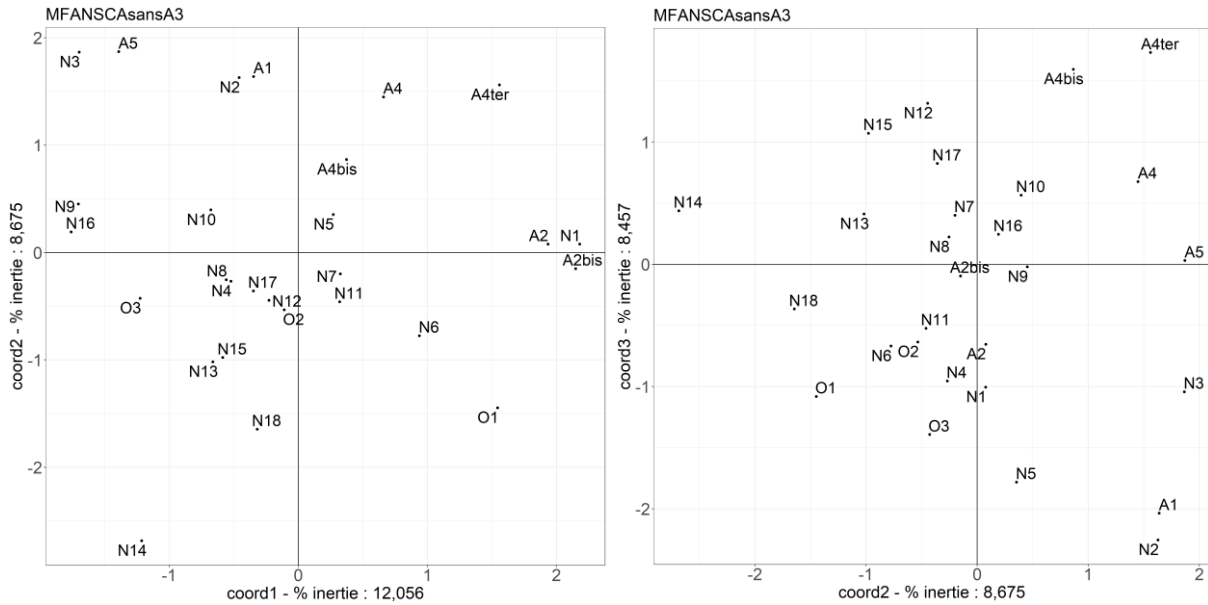


Figure 11. Analyse non symétrique des correspondances du fichier des macro- et microhydrophytes, sans le relevé A3. Coordonnées des relevés dans le plan des axes 1 et 2 et 2 et 3.

La classification automatique des relevés est construite à partir des coordonnées des axes 1 à 3. En se basant sur les programmes Elbow et Silhouette (Figure 12), elle produit quatre clusters (Figure 13).

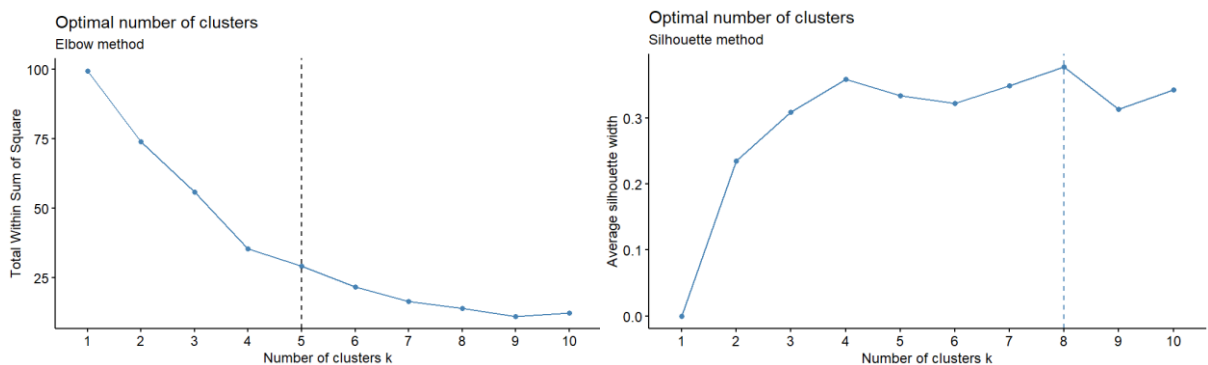


Figure 12. Recherche du nombre optimal de cluster avec les logiciels Elbow et Silhouette.

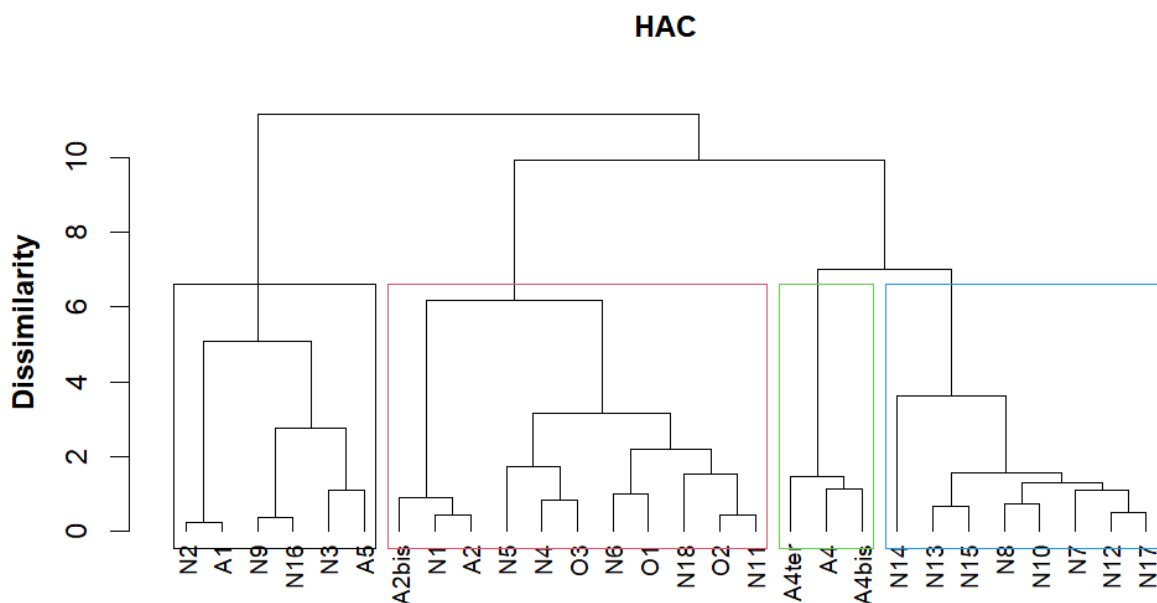


Figure 13. Classification hiérarchique ascendante des 27 relevés.

Chacun des quatre groupes ainsi définis est maintenant décrit sous forme de groupements végétaux avec leurs espèces caractéristiques.

Groupement à *Nitzschia palea* et *Glyceria notata*

Il n'y a cinq variables floristiques caractéristiques, au sens statistique (tableau 1 et figures 14 à 16).

	sum	fr	N1	N4	N5	A2	A2bis	N6	O1	O2	O3	N11	N18	sum1	fr1	pr>=1
<i>Nitzschia palea</i>	18	0,6429	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	10	0,9091	0,0208
<i>Glyceria notata</i>	13	0,4643	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	9	0,8182	0,003
<i>Nasturtium officinale</i>	5	0,1786	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	5	0,4545	0,0041
<i>Euglena sp</i>	4	0,1429	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	4	0,3636	0,0147
<i>Nasturtium officinale35</i>	3	0,1071	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	3	0,2727	0,05

Tableau1. Espèces caractéristiques du groupement à *Nitzschia palea* et *Glyceria notata*. Sum et fr = fréquences absolue et relative dans les 28 relevés, sum1 et fr1 : somme des présences et fréquence relative=1 dans le groupement, pr>=1 : probabilité associée à la fréquence.

Le tableau 2 présente les espèces compagnes, avec une probabilité > 0,05 et une fréquence relative >0,5.

	sum	fr	sum1	fr1
<i>Vaucheria</i>	24	0,857	10	0,91
<i>Cladophora glomerata</i>	18	0,643	9	0,82
<i>Achnanthydium minutissimum</i>	21	0,75	9	0,82
<i>Navicula lanceolata</i>	23	0,821	9	0,82
<i>Gomphonema olivaceum</i>	18	0,643	7	0,64
<i>Phormidium sp.</i>	19	0,679	7	0,64

<i>Navicula tripunctata</i>	21	0,75	7	0,64
<i>Myosotis scorpioides</i>	11	0,393	6	0,55
<i>Navicula antonii</i>	13	0,464	6	0,55
<i>Unaria ulna</i>	19	0,679	6	0,55
<i>Chantransia</i>	21	0,75	6	0,55

Tableau 2. Espèces compagnes du groupement à *Nitzschia palea* et *Glyceria notata*. Sum et fr = fréquences absolue et relative dans les 28 relevés, sum1 et fr1 = fréquences absolue et relative dans le groupement.



Figure 14. Néblon (ruisseau de Chardeneux) à Chardeneux (relevé N4).



Figure 15. Ruisseau de Fté, pratiquement à sec en septembre 2020 (relevé A2bis).



Figure 16. Ruisseau d'Ocquier à la sortie du village, envahi par les hydrophytes, en juillet 2019 (relevé O2).

Un second cluster ne présente aucune espèce caractéristique et ne peut être considéré comme un groupement. La variabilité de ce cluster est très grande, probablement en grande partie influencée par l'occupation humaine (Tableau 3).

	sum	fr	N2	N3	A1	N9	A5	N16	sum2	fr2	pr>=2
<i>Chamaesiphon incrustans</i>	5	0,178571	1	1	0	0	1	0	3	0,5	0,053
<i>Sheathia arcuata</i>	6	0,214286	1	0	1	0	1	0	3	0,5	0,092
<i>Gongrosira incrustans</i>	15	0,535714	0	1	1	1	1	1	5	0,83333	0,118
<i>Chantransia</i>	21	0,75	1	1	1	1	1	1	6	1	0,151
<i>Gyrosigma acuminatum</i>	12	0,428571	0	1	0	1	1	1	4	0,66667	0,189

Tableau 3. Espèces avec les probabilités les plus faibles mais supérieures à 0,05. Sum et fr = fréquences absolue et relative dans les 28 relevés, sum2 et fr2 : somme des présences et fréquence relative=1 dans le groupement, pr>2 : probabilité associée à la fréquence.

Les espèces du tableau 3 sont liées à la présence de cailloux et blocs.

Groupement à *Gyrosigma attenuatum* et *Platyhypnidium riparioides*

	sum	fr	N7	N8	N10	N12	N13	N14	N15	N17	sum3	fr3	pr>=3
<i>Gyrosigma attenuatum</i>	14	0,5	1	1	1	1	1	1	1	1	8	1	5,00E-04
<i>Platyhypnidium riparioides</i>	17	0,6071	1	1	1	1	1	1	1	1	8	1	0,0104
<i>Melosira varians</i>	15	0,5357	1	0	1	1	1	1	1	1	7	0,875	0,0278
<i>Diatoma vulgare</i>	9	0,3214	0	1	0	1	1	1	1	1	6	0,75	0,0053
<i>Fissidens crassipes</i>	6	0,2143	0	1	0	1	1	0	1	1	5	0,625	0,0023
<i>Pellia endiviifolia</i>	3	0,1071	0	0	0	0	1	0	1	1	3	0,375	0,0167

Tableau 4. Espèces caractéristiques du groupement à *Gyrosigma attenuatum* et *Platyhypnidium riparioides*. Sum et fr = fréquences absolue et relative dans les 28 relevés, sum3 et fr3 : somme des présences et fréquences relatives=1 dans le groupement, pr>=3 : probabilité associée à la fréquence.

	sum	fr	sum3
<i>Navicula lanceolata</i>	23	0,821428571	8
<i>Gomphonema olivaceum</i>	18	0,642857143	7
<i>Nitzschia palea</i>	18	0,642857143	7

<i>Unaria ulna</i>	19	0,678571429	7
<i>Chantransia</i>	21	0,75	7
<i>Navicula tripunctata</i>	21	0,75	7
<i>Vaucheria</i>	24	0,857142857	7
<i>Diatoma vulgare</i>	9	0,321428571	6
<i>Navicula antonii</i>	13	0,464285714	6
<i>Amphora pediculus</i>	15	0,535714286	6
<i>Navicula veneta</i>	16	0,571428571	6
<i>Phormidium sp.</i>	19	0,678571429	6
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>	19	0,678571429	6
<i>Achnanthydium minutissimum</i>	21	0,75	6
<i>Fissidens crassipes</i>	6	0,214285714	5
<i>Myosotis scorpioides</i>	11	0,392857143	5
<i>Microspora floccosa</i>	11	0,392857143	5
<i>Leptolyngbya foveolarum</i>	13	0,464285714	5
<i>Cocconeis placentula</i>	15	0,535714286	5
<i>Cladophora glomerata</i>	18	0,642857143	5

Tableau 5. Espèces compagnes du groupement à *Nitzschia palea* et *Glyceria notata*. Sum et fr = fréquences absolue et relative dans les 27 relevés, sum3 = fréquences absolues dans le groupement.

Il s'agit ici du cours principal du Néblon après Borlon jusqu'à Hamoir, avec un courant rapide (Figure 17).



Figure 17. Le Néblon dans son cours inférieur (relevé N15).

Groupement à *Mayamaea atomus* et *Gomphonema parvulum*

	sum	fr	A4	A4bis	A4ter	sum4	fr4	pr>=4
<i>Mayamaea atomus</i>	5	0,1786	1	1	1	3	1	0,0026
<i>Gomphonema parvulum</i>	7	0,25	1	1	1	3	1	0,0104
<i>Planothidium frequentissimum</i>	8	0,2857	1	1	1	3	1	0,0174
<i>Surirella brebissonii</i>	9	0,3214	1	1	1	3	1	0,0243
<i>Nitzschia fruticosa</i>	2	0,0714	0	1	1	2	0,66667	0,0074
<i>Oedogonium sp</i>	2	0,0714	0	1	1	2	0,66667	0,0075
<i>Tribonema viride</i>	2	0,0714	0	1	1	2	0,66667	0,0075

<i>Audouinella</i>	2	0,0714	0	1	1	2	0,66667	0,0079
<i>Dichodontium pellucidum</i>	2	0,0714	1	1	0	2	0,66667	0,0092
<i>Microspora amoena</i>	3	0,1071	1	1	0	2	0,66667	0,0226
<i>Marchantia polymorpha</i>	4	0,1429	1	0	1	2	0,66667	0,0471

Tableau 6. Espèces caractéristiques du groupement à *Mayamaea atomus* et *Gomphonema parvulum*. Sum et fr = fréquences absolue et relative dans les 28 relevés, sum4 et fr4 : somme des présences et fréquence relative=1 dans le groupement, pr>=4 : probabilité associée à la fréquence.

	sum	fr	sum4	fr4
<i>Navicula gregaria</i>	11	0,3929	3	1
<i>Amphora pediculus</i>	15	0,5357	3	1
<i>Gongrosira incrustans</i>	15	0,5357	3	1
<i>Navicula veneta</i>	16	0,5714	3	1
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>	19	0,6786	3	1
<i>Unaria ulna</i>	19	0,6786	3	1
<i>Achnanthidium minutissimum</i>	21	0,75	3	1
<i>Oocystis borgei</i>	5	0,1786	2	0,6667
<i>Leptodictyum riparium</i>	5	0,1786	2	0,6667
<i>Sheathia arcuata</i>	6	0,2143	2	0,6667
<i>Gomphonema acuminatum</i>	7	0,25	2	0,6667
<i>Amphora copulata</i>	8	0,2857	2	0,6667
<i>Microspora floccosa</i>	11	0,3929	2	0,6667
<i>Veronica beccabunga</i>	12	0,4286	2	0,6667
<i>Melosira varians</i>	15	0,5357	2	0,6667
<i>Cocconeis placentula</i>	15	0,5357	2	0,6667
<i>Cladophora glomerata</i>	18	0,6429	2	0,6667
<i>Navicula tripunctata</i>	21	0,75	2	0,6667
<i>Chantransia</i>	21	0,75	2	0,6667
<i>Navicula lanceolata</i>	23	0,8214	2	0,6667
<i>Vaucheria</i> sp	24	0,8571	2	0,6667

Tableau 7. Espèces compagnes du groupement à *Mayamaea atomus* et *Gomphonema parvulum*. Sum et fr = fréquences absolue et relative dans les 28 relevés, sum4 et fr4 = fréquences absolue et relative dans le groupement.

Il s'agit des trois relevés du petit ruisseau venant du village d'Ouffet et alimenté en partie par les rejets de la station d'épuration (tableaux 6 et 7, figure 18).



Figure 18. Ruisseau du Bout dans son cours moyen (entre les relevés A4bis et A4ter).

Ce ruisseau est très particulier. Dans son cours supérieur, il reçoit de l'eau venant directement du dernier bassin de la station d'épuration d'Ouffet, mais il reçoit aussi au même endroit un écoulement à hauteur du lit mineur, qui suinte à travers le talus séparant ce bassin du petit ruisseau. Les berges de ce bassin ne sont donc pas étanches. Ce ruisseau coule sur quelques centaines de mètres vers la route venant d'Ouffet, mais en période d'étiage, l'eau disparaît progressivement et à hauteur du passage sous la route, il n'y a plus aucun courant ; il ne persiste que quelques poches d'eau. Ensuite, l'eau réapparaît progressivement car le ruisseau est alimenté en divers endroits par des apports sous forme de suintements ou petites sources au pied de la colline en rive droite ; l'eau ainsi apportée est très claire et bien différente de celle libérée par la station d'épuration. Pendant les périodes où le débit est important, tout le cours est influencé par l'eau venant du cours supérieur et donc de la station d'épuration. En période d'étiage, à cause des pertes d'eau, le cours supérieur seul est encore influencé par cette eau et l'eau du cours inférieur est donc plus propre. Dans ce petit ruisseau, il y a donc un mélange d'espèces d'eau de mauvaise qualité (comme *Leptodictyum riparium*) et d'espèces d'eau claire dans la partie inférieure (comme *Sheathia arcuata*).

Cela signifie clairement que toute l'eau de très mauvaise qualité du cours supérieur disparaît directement vers les nappes phréatiques en période d'étiage ; en d'autres périodes, seule une partie de cette eau disparaît.

Relations entre le fichier des hydrophytes et le fichier environnemental

Seules les trois premières valeurs propres sont significatives (10000 permutations).

Figure 20. Analyse factorielle multiple des fichiers floristique et environnemental réunis. Coordonnées des variables sur les axes 2 et 3. En vert, les Anthophytes ; en bleu vert, les Bryophytes ; en rouge, les algues ; en violet, les paramètres environnementaux.

L'axe 3 (figure 20) et les suivants n'apportent plus d'informations utiles sur les relations espèces – paramètres environnementaux.

Analyses d'eau

Des analyses d'eau ont été faites en 2019 et 2020, à différents moments de la bonne saison. Elles portent sur le pH, la dureté totale, la dureté carbonatée, l'orthophosphate, l'ammonium, le nitrite et le nitrate. Ces analyses ont été faites pendant deux années avec un climat ensoleillé et relativement sec. Les résultats des analyses n'entrent pas dans les analyses statistiques puisqu'elles ne portent que sur une partie des sites étudiés.

Le pH varie entre 7 et 8,5 en fonction des sites et des périodes.

La dureté totale varie entre 9,8 et 11°d (soit entre 174,5 et 195,8 mg CaCO₃) dans le cours supérieur et 10,2 et 11,8 (soit entre 181,5 et 210 mg CaCO₃) dans le cours inférieur. Dans le ruisseau d'Oquier, la dureté totale est de 12°d (soit 213,6 mg CaCO₃) en amont du village et de 12,1°d (soit 215,4 mg CaCO₃) en aval. C'est dans le ruisseau du Bout (venant d'Ouffet) que la dureté est la plus élevée avec 14,5°d ((soit 258,1 mg CaCO₃)).

L'alcalinité fluctue entre 6 et 11,5 °KH, ce qui correspond à des concentrations en hydrogénocarbonates comprises entre 130,3 et 249,7 mg/l HCO₃⁻. Les valeurs sont un peu plus faibles dans les petits affluents et le cours supérieur que dans le cours inférieur.

Les données les plus utiles dans le cadre de ce travail portent sur les concentrations en orthophosphate, nitrate (eutrophisation), ammonium et nitrite (trophie) et sont présentées dans les tableaux 8 à 11. Les cases vides indiquent qu'aucune mesure n'a été faite aux époques considérées.

	Orthosphosphate				
	printemps 2019	été 2019	printemps 2020	été 2020	été 2020bis
A1			2	0,25	
A2			2	0,5	
A3			2	0,25	
A4	0,5		2	0-0,25	
A5			1	0,25	
O1	0,25		0,5	0	
O2	0,25				
N2	0	0	1	0,25	
N5	0,25	0,25	0,5	0,25	traces
N6			1	0,5	2
N7	0,5	0,5			
N9	0,25	0,25	0,5	0-0,25	
N12	0,25	0,25	1	0,25	
N17	0,25	0,25			
N18	0,25	0,25	1	0	

Tableau 8. Concentrations en orthophosphate, en mg/l de PO₄⁻. Les valeurs les plus élevées sont indiquées en rouge.

Comme on l'observe avec les analyses chimiques forcément ponctuelles, la variabilité des résultats est grande. Les teneurs les plus élevées apparaissent dans les petits affluents, après la station d'épuration de Bonsin et dans le cours inférieur du Néblon, principalement au printemps.

	Nitrate				
	printemps 2019	été 2019	printemps 2020	été 2020	été 2020 bis
A1			10-25	10	
A2			25	10	
A3			10-25	25	
A4	0-10		0	10-25	
A5			traces		
O1	0-10		traces	10	
O2	25				
N2	25	25	traces	10	
N5	10	10	10-25	10-25	10-25
N6				10	10
N7	10	10			
N9	0-10	0-10	0	10-25	
N12	10	10	0	10	
N17	10-25	10-25	0		
N18	0-10	0-10	0	10	

Tableau 9. Concentrations en nitrate, en mg/l de NO₃⁻.

La variabilité est à nouveau importante. En 2019, les résultats concordent mais en 2020, quelques différences notoires apparaissent, certaines étant dues à la sécheresse comme A4, O1, N2, sans que l'on puisse généraliser.

La saprobie est révélée par la concentration en ammonium.

	Ammonium		
	printemps 2020	été 2020	été 2020bis
A1	0-0,5	0,5	
A2	0-0,5	0-0,5	
A3	0-0,5	0-0,5	
A4	0	0	
A5	traces	0	
O1	traces	0-0,5	
O2			
N2	0	0	
N5	0	0-0,5	traces
N6	1	1	5
N7			
N9	0	0	

N12	0	traces	
N17			
N18	0	0-0,5	

Tableau 10. Concentrations en ammonium, en mg/l de NH₄⁺.

Si les petits affluents sont irrégulièrement touchés par l'ammonium, c'est surtout après la station d'épuration de Bonsin que les concentrations en ammonium sont les plus élevées.

	Nitrite				
	printemps 2019	été 2019	printemps 2020	été 2020	été 2020bis
A1			0,5	0,3	
A2			1	0	
A3			0	0,2	
A4	0,05		0	0	
A5			0	0	
O1	0,05		0,5	0,2	
O2	0,075				
N2	0,025	0,025	traces	0,025	
N5	0,1	0,1	0,5	0,3	0,5
N6			0,5	0,5	1-2
N7	0,5	0,5	0,5		
N9	0,05	0,05	0	0,075	
N12	0,05	0,05	traces	0	
N17	0,075	0,075			
N18	0,025	0,025	0	0,025	

Tableau 11. Concentrations en nitrite, en mg/l de NO₂⁻.

Plusieurs petits affluents sont touchés par le nitrite (A1, A2, A3 et O1), ainsi que les sites entre la sortie de Chardeneux et Bonsin ; la sortie de la station d'épuration est tout particulièrement touchée (Tableau 11).

Il apparaît surtout que les petits affluents et le cours supérieurs sont particulièrement touchés par la saprobie. Leur fragilité vient de leurs faibles débits, principalement au printemps et en été.

Diatomées en tant qu'indicatrices de qualité d'eau

Les relations entre les diatomées et leur environnement est fonction de nombreux paramètres. Leur mode de vie joue d'abord un rôle important (MARCEL *et al.*, 2013). En effet, certaines espèces, de petite taille, sont fixées sur leur substrat par toute la surface de leur valve (prostrées), ou attachées par leur apex (adnées) ou attachées (perpendiculairement dressées). Elles sont capables de vivre dans des milieux oligotrophes et résistent aux perturbations physiques. Il s'agit notamment des genres *Achnanthydium*, *Amphora*, *Cocconeis* et *Cymbella*. Ce type est appelé « low profile » en anglais. Les diatomées « high profile » sont capables de vivre dans les milieux pollués (en nutriments et matières organiques) : ce sont des espèces plus longues, filamenteuses, arborescentes, en

chaînes ou formant des tubes et pédonculées. Les genres *Diatoma*, *Gomphonema*, *Ulnaria* appartiennent à ce groupe. Les espèces planctoniques vivent dans la colonne d'eau ; on y trouve des *Cyclotella*, par exemple. Les espèces mobiles prolifèrent dans les milieux riches en nutriments. Les genres *Navicula*, *Nitzschia* et *Surirella* appartiennent à ce groupe.

Nous avons également porté nos recherches sur la trophie, la saprobie, la minéralité de l'eau.

Diatomées et trophie

Beaucoup d'informations concernant la trophie sont disponibles. Dans une échelle de 1 (conditions oligotrophiques) à 6 (conditions hypertrophiques), BESSE-LOTOTSKAYA *et al.* (2011) donnent les informations en fonction des normes du tableau 12 :

Classe	P optimum (µg/l)
Oligotrophe	< 10
Oligo-mésotrophe ou β-mésotrophe	≥ 10, < 20
Mésotrophe	≥ 20, < 30
Méso-eutrophe ou α-mésotrophe	≥ 30, < 50
Eutrophe	≥ 50, < 100
Eu-hyper(poly)trophe	≥ 100

Tableau 12. Classes de trophie en fonction de la concentration en phosphore.

Parmi les espèces citées et présentes dans nos relevés, *Pinnularia nobilis* est la seule espèce considérée ici comme oligotrophe. *Pseudostaurosira parasitica* est mésotrophe à méso-eutrophe. *Nitzschia acicularis* et *Surirella brebissonii* var. *kuetzingii* sont eutrophes. *Caloneis amphisbaena* fo. *amphisbaena*, *Craticula cuspidata*, *Cymatopleura solea*, *Gyrosigma attenuatum*, *Sellaphora saugerresii*, *Melosira varians*, *Navicula gregaria*, *N. veneta*, *N. trivialis*, *Nitzschia fruticosa*, *Nitzschia filiformis*, *Surirella brebissonii* var. *brebissonii* et *Ulnaria ulna* sont eutrophes à hypertrophes. *Craticula accomodata* et *Nitzschia palea* sont hypertrophes.

De nombreuses autres informations sont aussi fournies par CANTONATI (2017) et COX (1996) et LECLERCQ & VANDEVENNE (1987)

Oligotrophe : *Surirella robusta*.

Méso- à eutrophes : *Cocconeis placentula*, *Cymatopleura elliptica*, *Diatoma vulgare*, *Gyrosigma attenuatum*, *Nitzschia sigmoidea*, *Pseudostaurosira parasitica*, *Rhoicosphenia abbreviata*, *Ulnaria ulna*.

Eutrophes : *Cyclotella meneghiana*, *Cymatopleura solea*, *Encyonema ventricosum*, *Gomphonema olivaceum*, *Melosira varians*, *Navicula lanceolata*, *Navicula tripunctata*, *Navicula upsaliensis*, *Nitzschia acicularis*, *Nitzschia vermicularis*.

Eutrophes à polytrophes : *Hippodontia capitata*, *Hippodontia hungarica*, *Navicula antonii*, *Navicula capitatoradiata*, *Navicula trivialis*, *Navicula veneta*, *Surirella brebissonii*.

Polytrophe : *Craticula ambigua*, *Craticula cuspidata*.

Les deux espèces oligotrophes, à savoir *Surirella robusta* et *Pinnularia nobilis* sont peu fréquentes mais se trouvent pourtant ensemble dans un ruisseau chargé en matières organiques (A2bis) ! Il y a une majorité d'espèces méso- à eutrophes, dont plusieurs sont très fréquentes. Parmi les espèces poly(hyper)trophes, deux sont peu fréquentes (*Craticula ambigua* et *C. accomodata*) et une troisième est commune (*Nitzschia palea*). Le Néblon est donc bien un ruisseau eutrophisé.

Diatomées et minéralité de l'eau

Eaux modérément minéralisées : *Amphora copulata*, *Amphora pediculus*, *Gomphonema olivaceum*, *Pinnularia* cf. *viridiformis* et *Surirella robusta*.

Milieus moyennement minéralisés à élevés : *Caloneis amphisbaena*, *Caloneis silicula*, *Cocconeis pediculus* (voire saumâtres), *Cocconeis placentula*, *Craticula ambigua*, *Craticula cuspidata*, *Cymatopleura elliptica*, *Cymatopleura solea*, *Gyrosigma attenuatum*, *Hippodontia hungarica*, *Melosira varians*, *Meridion circulare*, *Navicula upsaliensis*, *Nitzschia sigmoidea*, *Nitzschia vermicularis* et *Rhoicosphenia abbreviata*.

Eaux fortement minéralisées à saumâtres : *Cyclotella meneghiana*, *Gyrosigma acuminatum*, *Hippodontia capitata*, *Navicula gregaria*, *Navicula tripunctata*, *Navicula trivialis*, *Navicula veneta*, *Nitzschia filiformis* et *Surirella brebissonii*.

Dans chacun des trois groupes, il y a des espèces peu fréquentes et d'autres très communes.

Diatomées et agriculture

Le problème a notamment été étudié par GABEL *et al.* (2012).

Sensible à l'agriculture : *Ulnaria ulna*.

Zones très perturbées par l'agriculture : *Cocconeis pediculus*, *Cocconeis placentula*, *Rhoicosphenia abbreviata*.

Ulnaria ulna est commune, mais plus dans le cours inférieur, moins agricole.

Diatomées et saprobie

La saprobie se rapporte à la teneur en matières organiques, biologiquement dégradables dans l'eau. Les échelles de saprobie sont les suivantes :

- Oligosaprobie : espèces vivant dans les eaux non chargées ou très légèrement chargées en matières organiques : *Pinnularia nobilis* (sensible aux perturbations anthropogéniques), *Achnanthydium minutissimum* et *Amphora pediculus*.
- β -mésosaprobie : espèces supportant les eaux modérément chargées en matières organiques, On y trouve : *Amphora pediculus* (également oligosaprobie), *Gomphonema acuminatum*, *Gomphonema olivaceum*, *Navicula radiosa*.
- α -mésosaprobie : espèces supportant les eaux très fortement polluées par la matière organique, on y trouve : *Amphora pediculus* (tolérante), *Craticula ambigua*, *Craticula cuspidata*, *Encyonema ventricosum*, *Gyrosigma acuminatum*, *Gyrosigma attenuatum*, *Hippodontia capitata*, *H. hungarica*, *Navicula gregaria* (aussi dans eaux usées), *Navicula lanceolata*, *Navicula tripunctata*, *Navicula trivialis*,

Nitzschia filiformis, *Nitzschia sigmoidea*, *Pseudostaurosira parasitica*, *Rhoicosphenia abbreviata*, *Surirella brebissonii*.

- polysaprobe : espèces supportant les eaux très fortement polluées, on y trouve : *Sellaphora saugerresii*, *Gomphonema parvulum*, *Navicula veneta* (jusque dans les stations d'épuration), *Nitzschia palea* & *N. fruticosa* (aussi α -mésosaprobe, rencontré dans les stations d'épuration) et *Planothidium frequentissimum* (notamment résistante au métalachlor).

Les trois espèces considérées comme oligosaprobies sont soit très communes dans tout le bassin versant, soit très localisée pour *Pinnularia nobilis* pourtant trouvée dans de la vase chargée en matières organiques ! Les espèces polysaprobies comme *Gomphonema parvulum*, *Sellaphora saugerresii*, *Nitzschia fruticosa* et *Planothidium frequentissimum* sont bien localisées dans les sites riches en matières organiques (sites des ruisseaux de Fté et du Bout). *Nitzschia palea* est un peu plus commune. Parmi les espèces β - ou α -mésosaprobies, on y trouve la plupart des espèces très communes. Le Néblon est donc touché par la saprobie à divers degrés.

Diatomées et pesticides

Comme un des objectifs de cette étude est de mettre en évidence d'éventuelles relations entre végétation et pesticides, nous avons opté pour la recherche des espèces sensibles ou résistantes aux pesticides. Cette recherche n'est pas simple, car, comme le soulignent MARCEL *et al.* (2013), de nombreux outils biologiques basés sur les diatomées ont été développés pour l'évaluation de la qualité des milieux aquatiques mais ne sont pas adaptés pour mettre en évidence de façon spécifique les effets des pesticides. Les mêmes auteurs ont également constaté une diminution significative de l'abondance des espèces « high profile » quand la concentration en atrazine augmentait. Toutefois, diverses études ont aussi montré que l'incidence de trois pesticides (diuron, isoproturon et atrazine) sur les assemblages de diatomées était plus faible que celle prise par les facteurs physiques et chimiques.

De l'examen de la littérature (ROUBEIX *et al.*, 2010 & 2011) nous tirons les conclusions suivantes :

Espèces sensibles aux pesticides : *Achnanthydium frequentissimum*, *Cyclotella meneghiana*, *Ulnaria ulna*.

Espèces résistantes aux pesticides : *Cocconeis placentula*, *Diatoma vulgare*, *Melosira varians*, *Navicula antonii*, *Nitzschia palea*, *Planothidium frequentissimum* (notamment résistante au métalachlor), *Surirella brebissonii* (tolérante au métalachlor).

Diatomées et indices

Les indices biologiques sont souvent utilisés pour définir la qualité d'une eau. Ils regroupent les informations attachées à plusieurs paramètres, sans qu'il soit possible d'en isoler l'un ou l'autre. Par exemple, l'Indice Biologique Diatomées IBD (COSTE *et al.*, 2009) fournit des données sur un grand nombre d'espèces. Cet indice est généralement fortement corrélé avec le phosphore (total et orthophosphate), oxygène dissous, matières

organiques (DCO et DBO₅) et quelques formes d'azote (ammonium, nitrite, azote Kjeldhal). L'IBD est également souvent fortement corrélé avec l'indice IPS (indice de polluabilité).

Parmi les espèces du Néblon, certaines indiquent

- Une mauvaise qualité d'eau : *Craticula cuspidata*, *Craticula accomodata*, *Sellaphora saugerresii* et *Navicula veneta* ;
- Une qualité médiocre : *Cyclotella meneghiniana*, *Hantzschia abundans*, *Nitzschia palea* et *N. filiformis*.
- Une qualité passable : *Amphora pediculus*, *Cocconeis pediculus*, *Gomphonema parvulum*, *Gomphonema truncatum*, *Gyrosigma attenuatum*, *Navicula capitatoradiata* et *Rhoicosphenia abbreviata* ;
- Une bonne qualité : *Achnanthydium minutissimum*, *Navicula radiosa*, *Diatoma vulgare*, *Gomphonema olivaceum* et *Gomphonema acuminatum*.

Il n'y a pas de diatomée de qualité excellente dans nos relevés.

D'autres indices diatomiques ont été et sont toujours utilisés mais notre objectif n'est pas de les passer en revue puisque notre méthode de travail fait appel à un grand nombre de relevés et à des analyses multivariées spécialement adaptées aux tableaux de relevés de végétation. Nous citons simplement BESSE-LOTOTSKAYA (2012), LECLERCQ & MAQUET (1987) et PRYGIEL *et al.* (1996).

Localisation des sites affectés par la saprobie et par les pesticides

Il apparaît clairement que des espèces saprophiles comme *Planorthis frequentissimum*, (tout comme l'espèce voisine *P. lanceolatum*) et *Surirella brebissonii* sont tolérantes à la pollution par des herbicides incluant le métolachlor. Les espèces *Sellaphora saugerresii* et *Nitzschia palea* (figure 21) sont aussi saprophiles mais sensibles aux herbicides. Elles sont donc intéressantes pour séparer les effets toxiques des herbicides et les effets trophiques ou saprobiques seuls (DEBENEST *et al.*, 2011).



Figure 21. *Sellaphora saugerresii* (agrandi 1000x, 7 x 4 µm) et *Nitzschia palea* (agrandi 1000x, 43 x 6 µm).

La figure 22 montre donc l'ensemble des sites occupés par deux espèces polysaprobies (N1, N4, A2, A1, A2bis, A4ter, O2, O3, N8, N10 à N15, N17 et N18). Les points en brun correspondent à *Nitzschia palea* seule et

ceux en jaune et magenta, à *Sellaphora saugerresii* ; en jaune, les deux espèces sont présentes. Il faut également citer deux autres espèces polysabrobes : *Gomphonema parvulum* en N1, N5, N6, A2, A2bis et A4 et *Nitzschia fruticosa* en A4bis et A4ter. Il y a donc une forte proportion de sites marqués par des espèces polysabrobes.

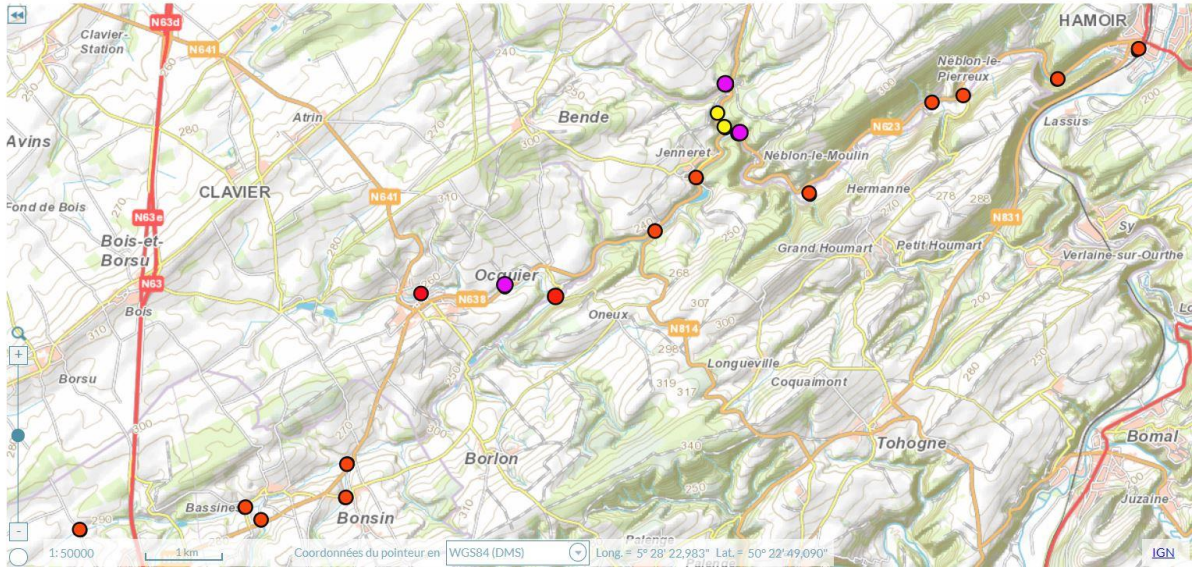


Figure 22. Répartition *Sellaphora saugerresii* seule (points jaunes) et *Nitzschia palea* seule (points bruns) et des sites où les deux espèces sont présentes ensemble (points magenta), d'après Walonmap.

L'incidence des rejets d'une station d'épuration sous-dimensionnée a déjà été mise en évidence par LECLERCQ & VANDEVENNE (1987). Ils ont constaté une prolifération de taxons saprophytes dont *Navicula atomus* var. *permitis* (= *Mayamaea permitis*) et *N. subminuscula* en présence de fortes teneurs en phosphate.

On peut donc considérer que le couple *Planothidium frequentissimum* – *Surirella brebissonii* est un bon indicateur de pression par les herbicides sur l'écosystème ruisseau. Ces deux diatomées offrent ainsi un outil de surveillance de l'action des herbicides, même si la pollution organique est aussi présente.



Figure 23. *Planothidium frequentissimum* (agrandi 1000x, 15 x 6 µm) et *Surirella brebissonii* (agrandi 1000x, 28 x 12 µm).

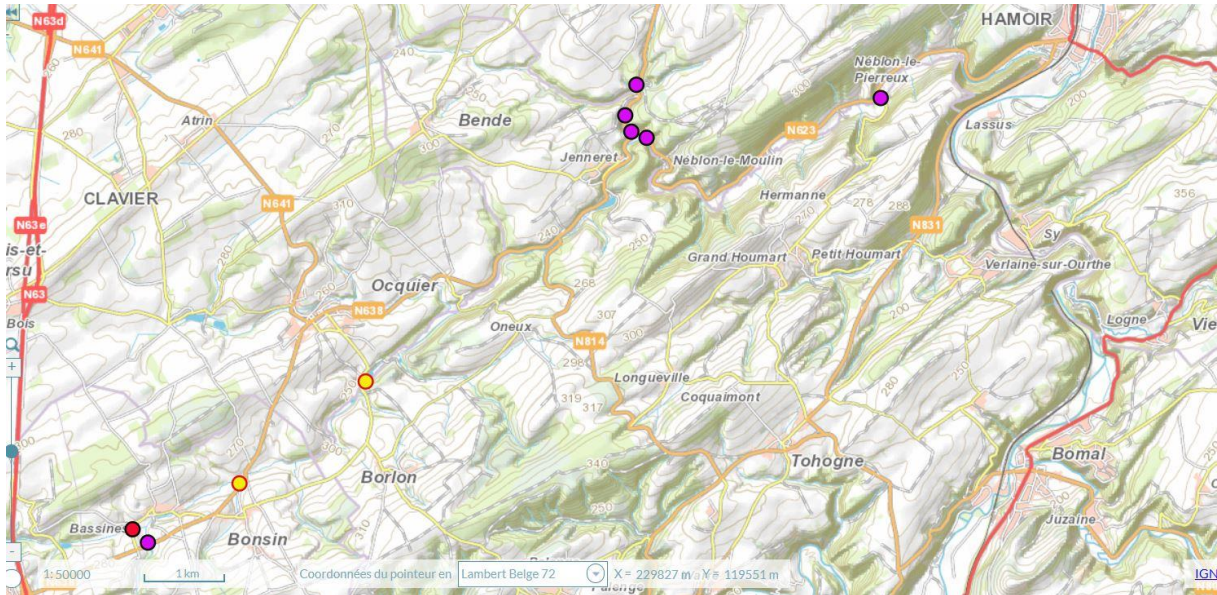


Figure 24. Répartition *Planothidium frequentissimum* seule (points jaunes) et *Surirella brebissonii* seule (point brun) et des sites où les deux espèces sont présentes ensemble (points magenta), d'après Walonmap.

La figure 24 montre donc l'ensemble des sites occupés les deux espèces polysaprobies et résistantes aux pesticides (N4, A2, A2bis, N7, A4, A4bis, N12 et N15). Les points en jaune correspondent à *Planothidium frequentissimum* seule et celui en brun à *Surirella brebissonii* ; en magenta, les deux espèces sont présentes.

Une espèce de bryophyte, *Leptodictyum riparium*, dont le développement est favorisé par la pollution notamment de type domestique, est probablement aussi assez résistante aux pesticides puisqu'on la retrouve avec *Planothidium frequentissimum* et *Surirella brebissonii*.

Beaucoup des sites cités dans ce paragraphe se trouvent en zones karstiques, ce qui aggrave le risque de contamination des nappes phréatiques. Le ruisseau du Bout (sites A4, A4bis, A4ter) et le site N12 se trouvent à proximité des galeries de captage d'eau.

Conclusions générales

Cette étude montre que l'étude phytosociologique à partir des seuls anthophytes et ptéridophytes ne permet pas une bonne compréhension des effets de la trophie et de la saprobie sur la végétation. L'ajout des bryophytes aquatiques, des algues, cyanobactéries et diatomées assure une compréhension bien plus grande des écosystèmes aquatiques.

L'ajout du fichier environnemental au fichier floristique et l'analyse simultanée des deux par l'analyse factorielle multiple du tableau disjonctif montre l'importance de facteur comme l'éclairement, la traversée de zones agricoles, la vitesse du courant, la nature du substrat du lit mineur, l'ordre du ruisseau, la traversée de sites boisés ou de sites ouverts mais avec une ripisylve, le type de vallée ou encore la lithologie du substrat.

Les analyses d'eau, même si elles n'apportent que des données ponctuelles, montrent quels sont les principaux points noirs du bassin versant avec des valeurs élevées en ammonium, nitrite ou orthophosphate. Les

points sont ceux qui montrent des valeurs importantes ou des maxima qui se répètent dans le temps, quelles que soient les précipitations atmosphériques.

Les caractéristiques écologiques des diverses espèces aquatiques conduisent à préciser les relations de plusieurs espèces avec la trophie, la saprobie, la salinité de l'eau ou les pesticides.

D'une manière générale, les ruisseaux du bassin versant du Néblon sont bien eutrophisés.

Le relevé A3 est probablement celui qui présente une eau parfaitement claire ; il offre une assez faible diversité biologique mais il n'est pas à l'abri des apports en orthophosphate, ammonium ou nitrite. Les autres petits affluents sont très fortement touchés par diverses pollutions amplifiées par les faibles débits.

Les relevés affectés par la saprobie et les pesticides sont nombreux. Ils sont bien mis en évidence.

Le relevé N6 juste après la station d'épuration de Bonsin et les deux supérieurs du ruisseau d'Ocquier (O1 et O2), montrent une végétation avec des macro-hydrophytes (*Callitriche platycarpa*, *Myosotis scorpioides*, *Nasturtium officinale*, *Veronica anagallis-aquatica*) ; ces sites sont probablement ceux qui sont le moins affectés par les herbicides.

On dispose donc d'outils pour suivre dans le temps l'évolution de la végétation en des sites bien précis et d'évaluer les effets de l'eutrophisation, de la saprobie et des pesticides dans l'ensemble du bassin versant du Néblon.

Bibliographie

BESSE-LOTOTSKAYA A., VERDONSCHOT P.F.M., COSTE M., VAN DE VIJVER B., 2011. Evaluation of European diatom trophic indices. *Ecological Indicators* 11 : 456-467.

BOUXIN G., 2004. *Bassin hydrographique de la Molinee. Volume 2. Végétation aquatique et des cours d'eau.* Comité scientifique de la Conservation de la Nature et de la Protection des Eaux. 27-44.

BOUXIN G., 2011a. Évolution de la végétation macrophytique et trophie dans deux ruisseaux du bassin hydrographique de la Molinee (Condruz, Belgique). *Revue des Sciences de l'Eau* 24 : 253-268.

BOUXIN G., 2011b. Végétation aquatique du Bocq et qualité d'eau. Dans Michel, G. et Thys, G. 2011. *Atlas du Karst Wallon. Bassins du Bocq et du Samson. Commission Wallonne d'Etude et de Protection des Sites Souterrains, La Hulpe* : 78 - 87.

BOUXIN G., 2013a. Végétation macrophytique, environnement et qualité d'eau dans le bassin versant du Bocq (Belgique, Wallonie). *Revue des Sciences de l'eau* 26 : 1-19.

BOUXIN G., 2013b. Végétation du lit mineur des ruisseaux et zones humides dans le bassin versant de la Molinee. Dans Michel, G. et Thys, G. 2013. *Atlas du Karst Wallon, bassins du Burnot et de la Molinee. Commission Wallonne d'Etude et de Protection des Sites Souterrains, La Hulpe, SPW (Éditions Atlas – Environnement)* : 80-90.

- BOUXIN G., 2016. *Analyse statistique des tableaux de relevés de végétation. Recherche d'adéquation entre les données de végétation et les techniques statistiques au moyen d'exemples*. Éditions Universitaires Européennes. 440 pp.
- BOUXIN G., 2020. Le ruisseau de Falmagne (prov. de Namur, Belgique). Un triste exemple des malheurs de nos cours d'eau. *Natura Mosana*, nouvelle série : 73 : 7-20.
- BOUXIN G., 2024. Analyse statistique des tableaux de relevés de végétation. <http://guy-bouxin.e-monsite.com/> 480 pp. Dernière modification : juillet 2021.
- BOUXIN G. et MICHEL G., 2020. Le ruisseau de Falmagne (Dinant). Qualité des eaux et programme d'épuration. *Eco Karst* 121 : 11-15.
- CANTONATI M., HOFMANN G., KELLI M.G., LANGE-BERTALOT H. & WERUM M., 2017. *Freshwater Benthic Diatoms of Central Europe*. Koeltz Botanical Books. Schmittchen-Oberreifenberg/Germany. 942 pp.
- COSTE M., BOUTRY S., TISON-ROSEBERY J. & DELMAS F., 2009. Improvements of the Biological Diatom Index (BDI): Description and efficiency of the new version (BDI-2006). *Ecological Indicators* 9 : 621–650.
- COX E., 1996. *Identification of Freshwater Diatoms from Live Material*. Chapman & Hall, London. 156 pp.
- DEBENEST T., PINELLI E., COSTE M., SILVESTRE J., MAZZELLA N., MADIGOU C. & DELMAS F., 2009. Sensitivity of freshwater periphytic diatoms to agricultural herbicides. *Aquat Toxicol.* 93 : 11-17.
- DELVOSALLE L. et des membres de l'IFFB, 2009. Atlas Floristique IFFB, France NW.N et NE, Belgique-Luxembourg. Ptéridophytes et Spermatophytes. Bruxelles, version CD-rom.
- GABEL K.W., WEHR J.D. & TRUHN K.M., 2012. Assessment of the effectiveness of best management practices for streams draining agricultural landscapes using diatoms and macroinvertebrates. *Hydrobiologia* 680 :247-264.
- LAMBINON J., VERLOOVE F. & collaborateurs, 2012. Nouvelle Flore de la Belgique, du Grand-Duché de Luxembourg, du Nord de la France et des Régions voisines (Ptéridophytes et Spermatophytes). Sixième édition. Edition du Jardin botanique national de Belgique, Meise. 1195 p.
- ELORANTA P. & KWANDRANS J., 2012. *Illustrated guidebook to common freshwater red algae*. Polish Academy of Sciences, Kaków. 49 p.
- JOHN D.M., WHITTON B.A. & BROOK A., 2011. *The Freshwater Algal Flora of the British Isles. An identification Guide to Freshwater and Terrestrial Algae*. Cambridge, Natural History Museum. 878 p.
- KOMÁREK J. & ANAGNOSTIDIS K., 2005. *Freshwater Flora of Central Europe. Cyanoprokaryota 2. Part 2 : Oscillatoriales*. Spectrum Akademischer Verlag. 19/2. 759 p.
- LECLERCQ L. & MAQUET B., 1987. Deux nouveaux indices chimique et diatomique de qualité d'eau courante. Application au Samson et à ses affluents. Institut royal des Sciences naturelles de Belgique. Document de travail n° 38. 113 pp.
- LECLERCQ L. & VANDEVENNE L., 1987. Impact d'un rejet d'eau chargée en sel et d'une pollution organique sur les peuplements de Diatomées de la Gander (Grand-Duché de Luxembourg). *Cah. Biol. Mar.* 28 : 311-317.
- MARCEL R., BOUCHEZ A. & RIMET F., 2013. Influence of herbicide contamination on diversity and ecological guilds of river diatoms. *Cryptogamie, Algologie* 34 : 169-183.
- PINAY G., GASCUEL C., MÉNESGUEN A., SOUCHON Y., LE MOAL M., LEVAIN A., ETRILLARD C., MOATAR F., PANNARD A., SOUCHU P., 2018. L'eutrophisation. Manifestations, causes, conséquences et prédictibilité. Éditions Quae. 176 pp.
- PRYGIEL, J., LÉVÊQUE L. & ISERENTANT R., 1996. Un nouvel Indice Diatomique Pratique pour l'évaluation de la qualité des eaux en réseau de surveillance. *Revue des Sciences de l'Eau* 9 : 97-113.
- ROUBEIX V., MAZZELLA N., DELMAS F. & COSTE M., 2010. In situ evaluation of herbicides effects on the composition of river periphytic diatom communities in a region of intensive agriculture. *Vie et milieu - Life and environment* 60 : 233-241.

ROUBEIX V., MAZZELLA N., MÉCHIN B., COSTE M. & DELMAS F., 2011. Impact of the herbicide metolachlor on river periphytic diatoms: experimental comparison of descriptors at different biological organization levels. *Annales de Limnologie - International Journal of Limnology, EDP sciences* 47 :239 - 249.

RUTHY I. & DASSARGUES A., 2017. Carte hydrogéologique de Wallonie, échelle 1/25 000, Hamoir-Ferrières 49/5-6, notice explicative. SPW Éditions. 105 pp.

SALOMAKI E.D., KWANDRANS J., ELORANTA P. & VIS M.L., 2014. Molecular and morphological evidence for *Sheathia* gen. nov. (Batrachospermales, *Rhodophyta*) and three new species. *J. Phycol.* 50 : 526-542.

SOTIAUX A., STIEPERAERE H. & VANDERPOORTEN A., 2007. Bryophyte checklist and European red list of the Brussels-Capital Region, Flanders and Wallonia (Belgium). *Bull. Soc. roy. Bot. Belg.* 140 : 174-196.

VILLENEUVE A., 2008. Effets conjoints de facteurs physiques (lumière et vitesse du courant) et chimiques (pesticides) sur la structure et la composition du périphyton : une approche multi-échelles. Université de Savoie, thèse de doctorat.

WOOD R.J., 2017. Benthic diatoms as indicators of herbicide toxicity in rivers. Thesis in fulfilment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy. School of Life Sciences. University of Technology Sydney.

