



Deuxième année du Master Sciences de l'Eau- QuEST
Année 2017- 2018

Etat du peuplement macrobenthique sur la Haute-Loue Printemps 2018

*Approche des effets des transferts de nutriments des sols agricoles et variations du débit sur
le compartiment macrobenthique en périodes humides*



Mémoire de stage du 20 septembre 2018

Présentée par

José Arroyo

Membres du Jury

Pierre-Marie Badot : Directeur du Master 2 Sciences de l'eau – QuEST, responsable de l'option PTD

François Degiorgi : Maître de conférences à l'UFC, responsable de l'option SABV et co-tuteur de stage

Eric Lucot : Professeur à l'UFC et tuteur universitaire

Audrey Bolard : Ingénieure d'études à Chrono-Environnement. Maître de stage

Hervé Décourcière : Ingénieur d'étude à Téléos. Maître de stage.

« Ce rapport est un travail d'étudiant rédigé à l'issue d'un stage de 6 mois réalisé au sein d'une structure professionnelle en vue de l'obtention de la deuxième année du Master QuEST. Le jury du diplôme a évalué la qualité de la démarche suivie par le stagiaire, mais son avis ne préjuge pas de l'exactitude des données, ni de la pertinence des solutions éventuellement proposées. »

Remerciements

Merci à l'agence de l'Eau pour le financement de cette étude ;

Merci à François Degiorgi de m'avoir accueilli au sein du laboratoire de Chronoenvironnement pour effectuer mon stage en améliorant mes compétences au niveau de la détermination des macroinvertébrés malgré mon handicap vis-à-vis du permis de conduire et des problèmes encore avec la langue française autant qu'étudiant étranger. Merci également pour ses conseils et disponibilité.

Merci à Audrey Bolard, maître de stage et ingénieure d'études à Chronoenvironnement, pour m'avoir encadré et accompagné lors de travail sur terrain (visites aux lysimètres) malgré son statut de grossesse. Merci également pour les biscuits au chocolat et du thé lors des pauses à Bonnevaux la Prieure.

Merci à Alexia Ducrot pour participer avec moi et Mme Bolard à faire les prélèvements de macrobenthos sur la Loue.

Merci à Hervé Décourcière pour la vérification de mes listes faunistiques.

Merci à la Fédération de Pêche du Doubs pour m'accueillir lors de la fermeture de laboratoire de l'UFC et de me permettre de disposer de ses installations pour continuer mon travail de détermination et rédiger de rapport. En particulière à Virginie Bigeard, secrétaire de la Fédération qui était très sympa avec moi et qui m'a aidé beaucoup à améliorer ma performance de la langue française.

Merci à la Bourse Victor Hugo financée par l'UFC et la Région Bourgogne - Franche Comté pour me donner l'opportunité de faire un master en France.

Merci à mes amies Sofia Visitación et Marisol Nuñez, ex-étudiantes de ce master pour m'encourager à faire cette formation et candidater à cette bourse.

Merci à ma mère Lourdes Sánchez et ma famille pour le soutien moral vis-à-vis aux difficultés trouvées autant qu'étudiant étranger.

Merci à Tatiana Landin, pour m'aider à réaliser la carte de site d'étude sur QGIS

Table des matières

1	Présentation du bassin versant de la Loue.....	2
1.1	Contexte géomorphologique et géologique	2
1.2	Contexte pédologique	3
1.3	Conditions climatiques et hydrologiques	3
1.4	Régime thermique.....	4
1.5	Aspects socio-économiques et impacts anthropiques.....	4
1.5.1	Secteur agricole	4
1.5.2	Secteur industriel.....	5
2	Matériel et Méthode	5
2.1	Présentation des sites d'étude	5
2.2	Etude expérimental	8
2.2.1	Méthode d'étude du compartiment macrobenthique.....	8
2.2.2	Méthode d'étude des fluxes des nutriments dans les sols agricoles	8
2.2.3	Analyses statistiques	9
3	Résultats	9
3.1	Analyse globale du peuplement macro-benthique de la Loue	9
3.1.1	Structure du peuplement macro-benthique	9
3.1.2	Bio-indication du peuplement macrobenthique	13
	Etat historique du peuplement macrobenthique	15
3.2	Comparaison des peuplement macrobenthiques des années 2017 et 2018.....	17
3.4	Evolution du débit pour le période 2017 et 2018 et Flux de nutriments provenant des Lysimètres	22
3.2.1	Evolution du débit de la Haute Loue entre l'année 2017 et 2018	22
3.2.2	Flux de nutriments provenant des lysimètres et variation des concentrations de nutriments sur la Loue pendant la période 2017-2018	23
4	Discussion	26
4.1	Structure actuelle du peuplement macro-benthique de la Haute-Loue.....	26
4.1.1	Evolution du peuplement macrobenthique en lien avec de références des années 1970.....	29
4.2	Comparaison du peuplement macrobenthique des années 2017-2018.....	34
4.3	Variation du peuplement macrobenthique pendant la période 2017-2018 en lien la variation de débit	37
5	Conclusion et perspectives.....	39
6	Bibliographie.....	40

Table des figures

Figure 1.1 : Situation géographique de la Loue et de son bassin versant (Benoist 2015)	2
Figure 1.2 : Structure géologique du bassin versant hydrographique de la Loue (Bichet et Campy 2008)	3
Figure 1.3 : Ecoulements mensuels moyen de la Loue à Vuillafans, calculés entre 1954-2018 (Banque Hydro s. d.)	3
Figure 2.1 Situation Géographique de l'Haute Loue et les stations d'étude	6
Figure 2.2 Localisation des stations des suivis des macro-invertébrés, des plaques lysimétriques et points des prélèvements d'eau.....	7
Figure 2.3 Profil longitudinal de la Loue de sa source à Cléron avec ses affluents	7
Figure 3.1 Comparaison de la variété générique et de la variété taxonomique totale	9
Figure 3.2 Evolution des sommes de classes d'abondances des taxons de l'Ordre Plécoptères sur les 6 stations de la Haut-Loue	11
Figure 3.3 Evolution des sommes de la classe d'abondance des taxons de l'Ordre Ephéméroptères sur les 6 stations de la Haut-Loue.....	11
Figure 3.4 Evolution des sommes de la classe d'abondance des taxons de l'Ordre Trichoptère sur les 6 stations de la Haut-Loue.....	12
Figure 3.5 Evolution spatiale du peuplement des macro-phytophages présents dans le MAG20	13
Figure 3.6 Variation des notes de l'IBGN le long de 30 km de distance à la source entre les années 2012 et 2018.....	16
Figure 3.7 Variation des sommes des classes d'abondances cumulées des genres de TEP le long de la Loue de 1973 à 2018	17
Figure 3.8 Variation des sommes des classes d'abondances cumulées des genres de TEP présentes en 2017 et 2018.....	19
Figure 3.9 Comparaison de l'évolution de la somme de classes d'abondance des macrophytophages le long de la Haute Loue pendant les années 2017 et 2018	20
Figure 3.10 Evolution spatio-temporelle de la population de macro-phytophages présentes dans les années 2017 et 2018.....	21
Figure 3.11 Comparaison graphique des débits journaliers entre les périodes humides de l'année 2017 et 2018 (Banque Hydro s. d.)	22
Figure 3.12 Evolution temporelle des flux de nitrates obtenues des lysimètres localisés à Chasnans (sous-bassin versant Grand Bief).....	23
Figure 3.13 Evolution temporelle des flux de nitrates sur la Loue dans le secteur Lods	24
Figure 3.14 Evolution temporelle des flux de nitrates obtenues des lysimètres localisés à Trépot et Bonnevaux (sous-bassin versant Plaisir Fontaine)	24
Figure 3.15 Evolution temporelle des concentrations de nitrates sur la Brême.....	25
Figure 4.1 Evolution spatial des peuplements de Plécoptères du MAG20	27
Figure 4.2 Evolution spatial des peuplements d'Ephéméroptères du MAG20	28
Figure 4.3 Evolution spatial des peuplements de Trichoptères du MAG20.....	28
Figure 4.4 Evolution spatial des peuplements de taxons saprobiontes et macro-phytophages du MAG20	29
Figure 4.5 Comparaison entre l'évolution de la somme de classe d'abondance des TEP actuel et des années 1970 au long de 30 km de la Haute Loue	30
Figure 4.6 Comparaisons de évolutions spatiales des sommes de classes d'abondances des EPT observés en 1970 et 2018.....	31
Figure 4.7 Comparaisons de évolutions spatiales des E au niveau des genres observés en 1970 et 2018	31
Figure 4.8 Schéma de l'évolution spatio-temporelle de sommes de classes d'abondance TEP et pourcentage de saprobiontes TEP	33
Figure 4.9 Comparaisons de évolutions spatiales des sommes de classes d'abondances des EPT observés en 2017 et 2018.....	34
Figure 4.10 Comparaisons de évolutions spatiales des sommes de classes d'abondances des taxons groupées en fonction de leur vulnérabilité pour les années 2017 et 2018	35

Figure 4.11 Schéma de l'évolution spatio-temporelle des pourcentages (par rapport à la population totale) de TEP, de taxons saprobiontes et/ou polluo-résistants et des taxons macrophytophages 36

Table des tableaux

Tableau 3-1 : Comparaison des descripteurs macrobenthiques du MAG20 des 6 stations	10
Tableau 3-2 : Evolution des notes et sous-indices macrobenthiques	14
Tableau 3-3 Evolution des descripteurs macrobenthiques pour les campagnes des années 2017 et 2018	17
Tableau 3-4 Evolution des notes et sous-indices macrobenthiques pour les campagnes des années 2017 et 2018	18
Tableau 3-5 Moyen des débits journaliers entre Décembre et Mars lors des périodes humide année 2016-2017 et 2017-2018 (Banque Hydro s. d.).....	22
Tableau 4-1 Genres présents en 1973 et non-retrouvés en 2018	33

Résumé

La Loue est une rivière réputée mondialement pour ses ressources halieutiques cependant depuis d'une trentaine d'année elle est subie à une dégradation de leur fonction biologique. Parmi les nombreux dysfonctionnements qui présentent la rivière, la disparition et déficit d'abondance d'espèces réputées sensibles Plécoptères, Ephéméroptères et Trichoptères (TEP) par rapport à la composition macrobenthique rencontrée dans les années 1970 ont été observées dans ce travail. En prenant compte que cette année était caractérisé par la fréquence de grandes crues lors de la période humide, une évaluation comparative d'abondance de macrobenthos était réalisée avec les années 2012, 2013 et 2014 qui ont eu des conditions hydrologiques similaires. Les résultats ont montré que lors des années 2012 et 2013, une diminution de la somme de classes d'abondance de TEP depuis la source de la Loue jusqu'à Cléron révélait la baisse de la capacité épuratrice de la Loue à l'aval. Alors que cette année cette capacité était encore observée car à 17 km de distance de la source à Montgesoye, de bonnes notes de qualité biologique IBGN et Cb2 ont été constatés. Les flux de nutriments provenant de lysimètres ont montré un comportement diffus entre janvier 2017 et avril 2018, cependant ils avaient une faible croissance lors de période humide. Les analyses chimiques sur la Loue à Lods et la Brême ont montré des pics des nitrates lors d'évènement orageux. Pour évaluer la réponse des macroinvertébrés sur la Haute Loue vis-à-vis aux grands débits modérés par les précipitations. Des comparaisons des peuplement macrobenthique au niveau d'abondance et variété ont été réalisées principalement avec celui rencontré en 2017 en prenant compte que ce dernier période était caractérisé par une très basse fréquence des crues. Une diminution notable des TEP polluosensibles et des macrophytophages ont été observés cette année ainsi qu'une prolifération des taxons saprobiontes et/ou polluorésistants à la fois en amont et en aval dans la Haute Loue. L'effet soit même du fort débit avec l'arrivée des sédiments lors d'évènement orageux semblent les principaux facteurs d'altération des habitats des fond où une grande partie des taxons TEP se développent.

Mots clés : Haute-Loue, Plécoptères, Ephéméroptères, Trichoptères, capacité épuratrice, flux des lysimètres, débit.

Abstract

The Loue is a river known worldwide for its halieutic resources, however since about thirty years it is undergoing a degradation of their biological function. Among the many malfunctions present in the river, the disappearance and deficit of abundance of species considered to be sensitive, Plecoptera, Ephemeroptera and Trichoptera (TEP) were analysed in this work in comparison with the macrobenthic composition encountered in the 1970s. Considering that this year was characterized for the frequency of large floods during the wet period, a comparative assessment of abundance of macrobenthos was carried out with the years 2012, 2013 and 2014 which had similar hydrological conditions. The results showed that during the years 2012 and 2013, a decrease in the sum of TEP abundance classes from the source of the Loue to Cléron revealed the decline in the purification capacity of the Loue downstream at these sites. While this year this capacity was still observed because at Montgesoye (17 km away from the source), good grades of biological quality IBGN and Cb2 were found. Nutrient fluxes from lysimeters showed diffuse behavior between January 2017 and April 2018, however, a slight tendency to increase during the wet period was observed. Chemical analyzes on the Loue in Lods and on the Brême showed peaks of nitrates during storm events. For assessing the response of macroinvertebrates on the Upper Loue from the high flows moderated by precipitation. Comparisons of macrobenthic populations at the level of abundance and variety were made mainly with the one encountered in 2017, considering that this year was characterized by a long dry period without floods. Significant decreases in polluted-sensitive TEP and macrophytophages were observed this year, as well as a proliferation of saprobic and / or polluted resistant taxa were observed both upstream and downstream. The effect of even high flow with the arrival of sediments during storm events seems to be the main factors of alteration of bottom habitats where a large proportion of TEP taxa grown.

Keywords: Loue river, Plecoptera, Ephemeroptera, Trichoptera, purifying capacity, flow of lysimeters, high flow

Introduction

Le carbone (C), l'azote (N) et phosphore (P), par ordre décroissant, sont des éléments majeurs essentiels pour la croissance des végétaux et les animaux (Atteia 2015) donc pour la production de cultures et l'élevage destiné à la production de nourriture et de fibres. (Scott et al. 2015). Le phosphore et l'azote jouent un rôle clé dans la production agricole car ils sont relativement indisponibles aux besoins de la végétation terrestre et aquatique. En effet, ils sont fortement capturés par la biomasse végétale. Les nombreuses bactéries présentes dans les sols ont aussi un besoin élevé en azote et phosphore pour leur métabolisme. (Atteia 2015) Mais les apports excessifs de ces nutriments dans les sols peuvent avoir des effets négatifs sur la qualité des eaux de surface et souterraines. (Vitousek et al. 1997). Puisqu'ils peuvent conduire à la surproduction végétale et une prolifération d'algues toxiques, en particulière dans les zones karstiques où l'entrée de ces nutriments vers des masses d'eaux semble être importante du fait de sa particularité hydrogéologique (Guo et Jiang 2009)

La loue, rivière calcaire franc-comtoise connue mondialement pour ses ressources halieutiques et son patrimoine paysager est malheureusement affecté par différentes pressions anthropiques tels que des travaux de recalibration de lit mineur, la présence de nombreux barrages (Verneaux 1973), en provoquant une altération apparemment considérable de son potentiel écologique. (Teleos 2002). La variété et l'abondance des espèces réputées les plus polluosensibles ont souffert une réduction de richesse spécifique était déjà significative dans les années 1970. (Badot et al. 2015)

Dans le but de revenir la qualité des eaux de cette rivière, l'Agence de Bassin Rhône Méditerranée Corse l'a-t-elle classée autant que milieu prioritaire. (Agence de l'eau 1995). De plus dans un contexte où les rivières karstiques de Jura se trouvent en état de dégradation, un programme scientifique de recherche a été mis en place pour déterminer les principaux facteurs qui peuvent expliquer ces dégradations.

L'objectif de cette étude est donc de répondre principalement à une question :

Quelle sont les facteurs qui peut expliquer la différence d'abondance des TEP, macrophytophages et de saprobiontes observés cette année par rapport celles rencontrés en 2012, 2013, 2014, 2017 et dans les années 1970 ?

La première partie a pour objectif de réaliser une description précise de l'état actuel du peuplement macrobenthique de la Haute Loue dans six stations depuis sa source jusqu'à Cléron . Il comprit le calculs des indices de qualité biologiques, comparaison de abondances des groupes de taxons EPT, macrophytophages et saprobiontes entre les six stations. Après, une analyse comparative avec les données des années 1970 a été fait pour identifier le déficit d'abondance et perdre de taxons. La seconde étape consiste en comparer les données actuelles avec les données de 2012, 2013, 2014 et 2017 afin d'observer l'évolution des abondances des taxons en prenant comte leurs conditions hydrologiques. Pour la troisième partie une comparaison seulement avec les données 2017 ont été fait pour contraster les abondances des groupes EPT, macrophytophages et saprobiontes. Finalement une approche sur l'effet du débit et de flux de nutriments d'origine agricoles se fait pour expliquer les différences d'abondance présent le printemps 2018 avec les années précédentes.

1 Présentation du bassin versant de la Loue

1.1 Contexte géomorphologique et géologique

La Loue est une rivière franc-comtoise qui prend sa source sur la commune d'Ouhans dans le département du Doubs à 595 m d'altitude. Elle a une longueur de 125km jusqu'à confluer en aval avec la rivière Doubs à Parcey dans le département de Jura. La source est constituée d'une importante exurgence dans l'Astartien qui est alimenté par les pertes du Doubs supérieur près de Pontarlier à 11,5 km de distance du cours supérieur du Doubs avec une différence de hauteur d'environ 250 m. (Vernaux 1973).

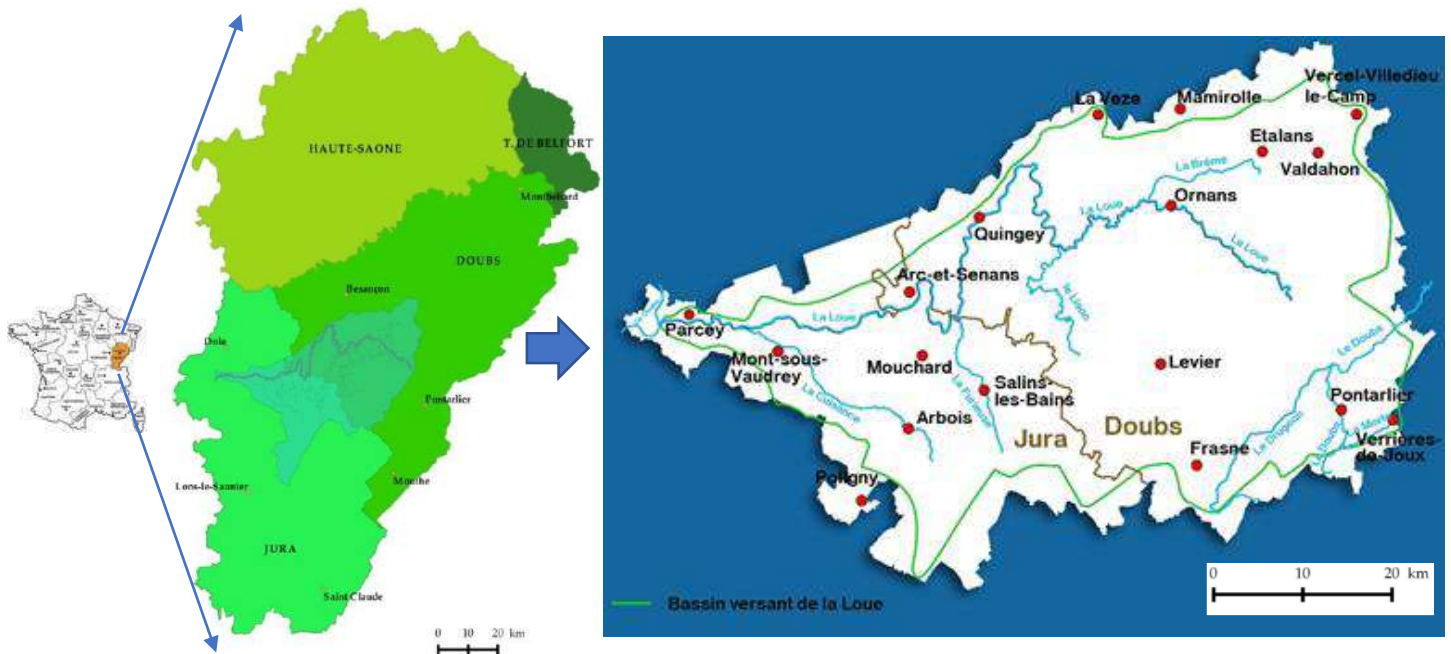


Figure 1.1 : Situation géographique de la Loue et de son bassin versant (Benoist 2015)

Le long de ce parcours montagneux de plus de 40 kilomètres, la Loue traverse de nombreuses structures géologiques différentes constituée de zones tabulaires (plateaux) séparées par des zones plissées (faisceaux). De l'amont à l'aval, la Loue recoupe le plateau de Levier sur 3 à 4 kilomètres au sein de calcaires kimméridgien et Tithonien, puis le faisceau salinois sur 4 kilomètres à 5 kilomètres. Ensuite la Loue traverse le plateau d'Ornans, dans laquelle la Loue prend sa forme de reculée typique, sur 22 à 24 kilomètres. Cela étant, elle incise le plateau de Montrond dans le calcaire du Bathonien sur 10 à 12 kilomètres et finalement le faisceau de Quingey à Port-Lesney. (Bichet et Campy 2008)

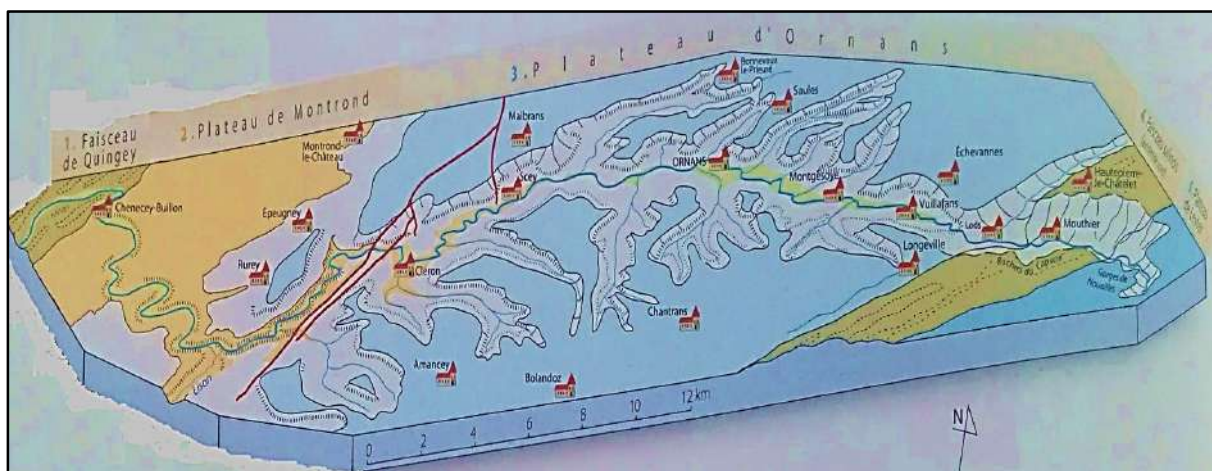


Figure 1.2 : Structure géologique du bassin versant hydrographique de la Loue (Bichet et Campy 2008)

1.2 Contexte pédologique

La genèse de sols dans les zones karstiques a comme origine la désagrégation de la roche mère calcaire sous l'influence de la forte pluviosité (Verneaux 1973). En fonction des processus pédologiques qui transforment les matériaux parentaux, notamment la brunification, et degré de décarbonation, des différents types de sols sont retrouvés dans le bassin versant. Ils s'agissent des rendzines brunifiées, des sols brun calcique, des sols bruns à pellicules calcaires et des sols bruns eutrophes dans des zones qui sont présentes dans des plateaux, versants et fonds de vallons. Ces sols sont caractérisés pour avoir une faible capacité d'échange cationique pour le manque de matière organique, ce qui provoque une diminution de la porosité augmentant du risque de lessivage et des transferts des polluants. (Allogho Ondo et Thibaut 2014).

1.3 Conditions climatiques et hydrologiques

L'hydrologie de la Loue présente un régime mixte, pluvio-nival. L'influence nivale est manifestée par un maximum au printemps (mars-avril) et un étiage hivernal (rétention nivale entre janvier et février). Alors que l'influence pluviale se traduit par un maximum en automne (novembre-décembre) et un minimum en juillet (caractère des climats continentaux) (Verneaux 1973). Cependant, cette évolution du régime hydrologique semble changer vers un régime à dominance pluviale avec un minimum en août et un maximum en décembre. (Hervé Decourcière et Martin 1998) Figure 1.3.

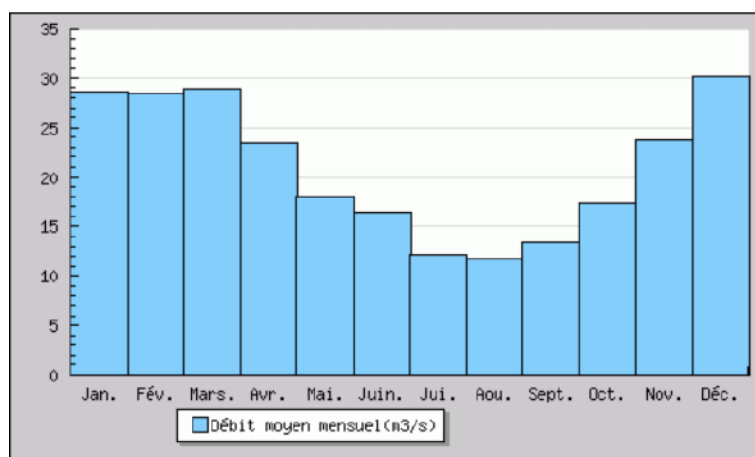


Figure 1.3 : Ecoulements mensuels moyen de la Loue à Vuillafans, calculés entre 1954-2018 (Banque Hydro s. d.)

En prenant compte les pertes importantes provenant du Doubs, le débit de la Loue à sa résurgence est important aussi. Le module à Vuillafans est de 21,3 m³/s à presque 10 km de la source de la Loue. A 55 km de la source, après la confluence avec le Lison, le module de la Loue est de 46,9 m³/s à Chenecey-Buillon. Avant la confluence avec le Doubs le débit peut passer à 59 m³/s.

Dans autre lieu, la mesure du VCN3 (débit minimal annuel moyen sur 3 jours) permet de visualiser une situation d'étiage sévère sur une courte période. Ces valeurs en lien avec l'aménagement du lit mineur entre 1979 et 2000 mettre en évidence une hausse général des ruissellements et une diminution des infiltrations. En conséquence, les crues sont plus importantes et les étiages sont plus sévères. (Allogho Ondo et Thibaut 2014)

1.4 Régime thermique

Chaque cours d'eau présent un régime thermique stationnel particulière dépendant des combinaisons des paramètres comme les variations du débit, l'altitude, la distance aux sources, le type des émergences et l'ensoleillement (Vernaux 1973)

La Loue présente une température minimum en janvier-février qui augmente progressivement au printemps. Durant l'été la température atteint un maximum en juillet-août après elle diminue drastiquement à l'automne. Une relation liée à la climatologie générale du bassin est la variation inverse de la température et du débit qui atteint des valeurs extrêmes en juillet-août. (Hervé Decourcière et Martin 1998)

En général la température maximal augment à la mesure que la distance à la source augment. Ainsi, des données correspondant aux années 2013 et 2015 ont eu une température maximale à la source de 12,4 °C et 12,03 °C respectivement. A 23.7 km de la source les températures atteintes les valeurs de 15.5°C et 19.01°C, alors que plus à l'aval à 59 km ces valeurs atteint 21.2°C et 26.28°C. Concernant à la température minimale, elle a un comportement inverse, c'est-à-dire, elle tend à diminuer de plus en plus à la mesure que s'éloigne de la source. Pour les mêmes périodes et distances à la source précédentes, un gradient de température minimal de 8.6°C (à la source), 6.5°C (23.7 Km) et 5.1°C (59 km) a été observés pour l'année 2013 alors que pour 2015, le gradient était de 7.65°C (à la source), 6.54°C (23.7 Km) et 5.69°C (59 km).

1.5 Aspects socio-économiques et impacts anthropiques

1.5.1 Secteur agricole

Le bassin versant (BV) de la Haute et Moyenne Loue est caractérisée par une importante activité agricole et rurale avec la présence notamment de l'élevage de vaches laitières qui explique l'existence de nombreuses laiteries-fromageries sur le plateau. (Malverti 2011)

Le BV de la Loue présente une surface agricole utile de 46 116 ha dont 80% représente la superficie pâturée étant 66% de ce total couvert par des prairies permanentes et 33% de prairies temporaires. (Chanez et al. 2014). Les surfaces destinées aux cultures (céréales, oléagineux) sont minoritaires. Alors que sur les prairies, les exploitations de type bovins lait sont majoritaires.

La politique générale d'intensification de l'agriculture qui se traduit par la diminution de l'occupation forestière du territoire au profit du développement urbain et agricole ont entraînés des modifications du profil transversal de la rivière. En effet, cette intensification de pratiques agricoles a pu conduire à une accentuation

de l'érosion des sols qui induit une augmentation de fines dans la rivière en montrant un changement de couleur lors des fortes crues.

Flux de nutriments

La problématique de l'apport de nutriments d'origine agricole est un sujet qui concerne l'intérêt de ce travail car l'activité agricole est considérée un des principales sources de nutriments présentes dans la rivière avec les pollution domestiques et industrielle (STEP). En effet, d'après le rapport de l'agence de l'eau (étude 1995 à 1998), 83% des apports en azote et 79% en phosphates sont liés à l'activité agricole. Les principales sources agricoles d'azote sont les épandages de fumiers et de lisiers provenant des élevages et les engrais minéraux, étant l'élevage l'activité qui présente une production de 3750 tonnes d'azote par an. (Allogho Ondo et Thibaut 2014)

1.5.2 Secteur industriel

Le secteur industriel est caractérisé pour la production automobile, la métallurgie, le travail de bois, les industries du plastique et du caoutchouc, l'agro-alimentaire et l'industrie chimique (Caqueux 2014) étant la ville d'Ornans le pôle d'un bassin d'emplois dès Mouthier-Haute-Pierre à Scey-Maisières. (Allogho Ondo et Thibaut 2014). En concernant, l'industrie du bois, deuxième activité importante du bassin, les produits utilisés dans le traitement du bois sont nocifs au développement biologique même en faible quantité. (Adam 2008)

2 Matériel et Méthode

2.1 Présentation des sites d'étude

Etude de macroinvertébrés

L'étude du compartiment macrobenthique s'étend sur six stations de la source de la Loue à Cléron (Figure 2.1 et 2.2) dans le cadre du Programme de recherche sur la Loue effectué par le laboratoire Chronoenvironnement (UMR 6249,CNRS/UFC/UBFC) depuis juillet 2012.

Les six stations ciblent divers mécanismes naturels ou perturbation :

La première station cible l'état de pollution à la source. Les stations de Mouthier-Haute Pierre situé à 5,4 Km de la source et Vuillafans situé à 11.6 Km permettent de cibler l'efficacité des mécanismes d'autoépuration de la partie apicale de la Loue ainsi que d'encadrer l'exurgence du secteur de Lods. Les stations de Montgesoye situé à 17 Km et Homelon situé à 23.7 Km de la source encadrent les rejets et exurgences de l'agglomération d'Ornans ainsi que la confluence de la Loue avec la Brême. Finalement la station de Cléron (partie amont) situé à 28,8 km cible les rejets et les exurgences du secteur de Cléron.

Il faut noter que 4 stations parmi les 6 ont été étudiés par Verneaux dans les années 1970 : La source de la Loue, Mouthier, Homelon et Cléron (Partie amont).

Par rapport le niveau typologique théorique proposé par Verneaux les premières 4 stations localisés entre la source de la Loue et Montgesoye correspondent au niveau typologique B3, alors que les stations situées à Homelon et Cléron ont un niveau typologique B4 et B5 respectivement.

Suivi de flux de nutriments dans les sols agricoles vers la Loue

Afin d'estimer l'effet de transfert des nutriments d'origine agricole vers la Loue, un suivi de la qualité des eaux des sols est effectué par le laboratoire Chronoenvironnement depuis 2015 à travers de l'installation de

lysimètres sur deux sous-bassins versant de la Haute Loue : Source du Grand Bief à Lods et Plaisir Fontaine entre Trépot et Bonnevaux (Figure 2.2). Pour cela 12 plaques lysimétriques ont été installé pour chaque sous bassin versant, avec 4 modalités : CP (Culture sur sol profond), CS (culture sur sol superficiel), PP (Prairie sur sol profond), PS (prairie sur sol superficiel). (Badot et al. 2018)

Il faut noter que la raison pour lequel ces deux sites ont été choisi pour faire ce suivi est dû à la présence de plusieurs chemins hydrologiques sur ces secteurs (traçages hydrologiques).

De ce fait, des points de prélèvement d'eau ont été établi en amont et en aval de l'exurgence du secteur Lods (Bassin versant Grand Bief) sur la Loue et en amont et aval de la confluence du ruisseau Plaisir Fontaine avec le ruisseau La Brème (Bassin versant Plaisir Fontaine) pour analyser leur qualité chimique. (Figure 2.2)

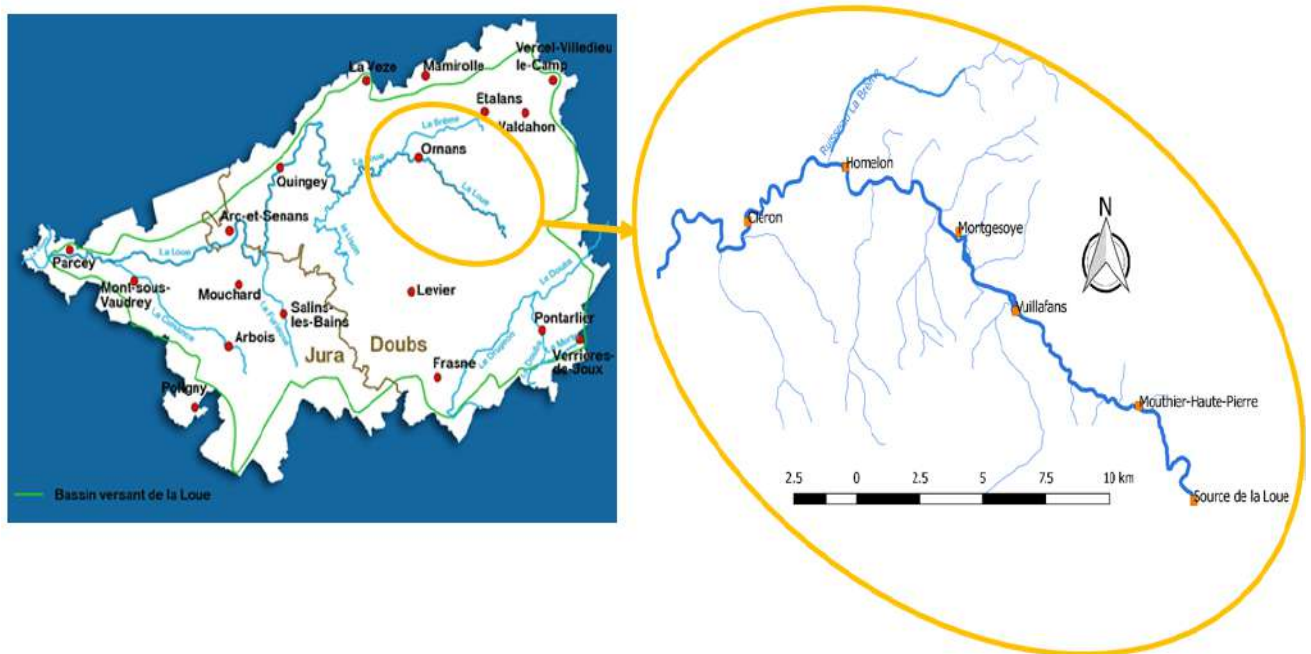


Figure 2.1 Situation Géographique de l'Haute Loue et les stations d'étude

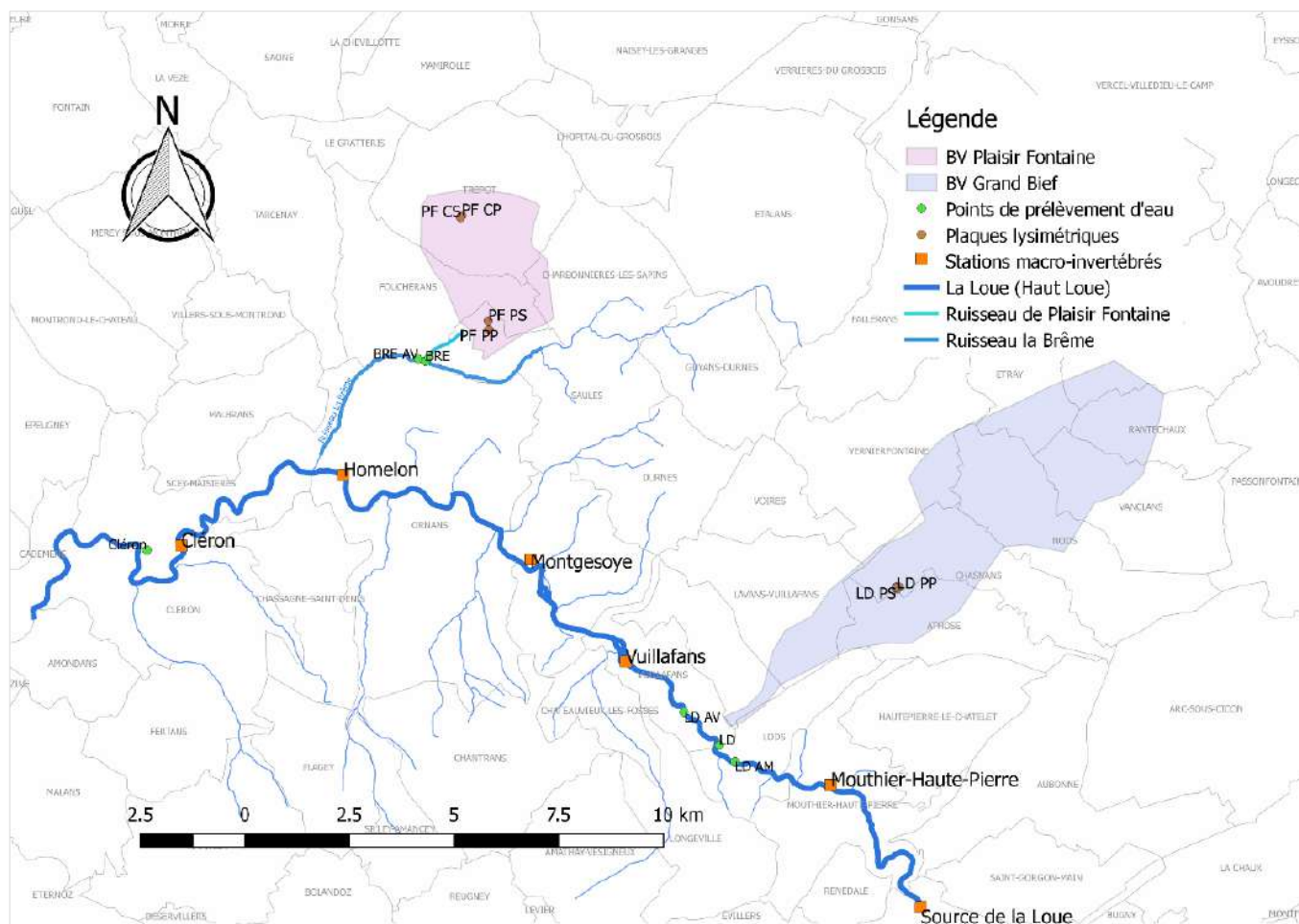


Figure 2.2 Localisation des stations des suivis des macro-invertébrés, des plaques lysimétriques et points des prélèvements d'eau.

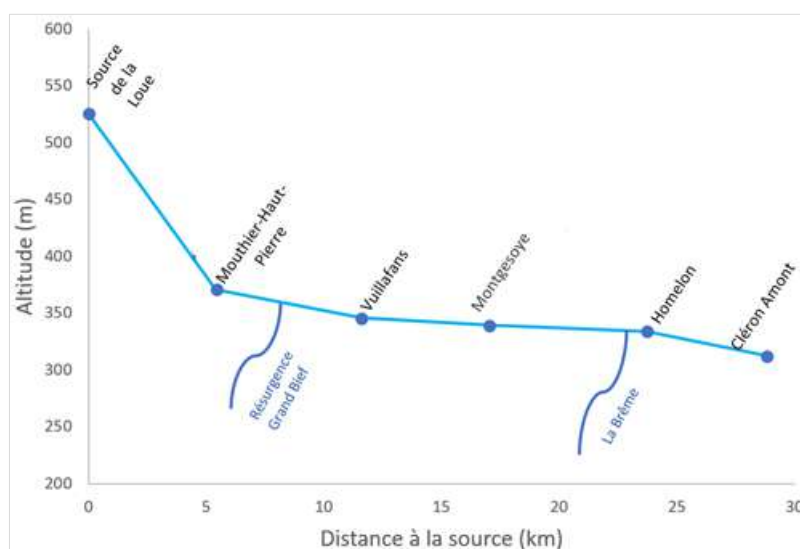


Figure 2.3 Profil longitudinal de la Loue le long de 30 km

2.2 Etude expérimental

2.2.1 Méthode d'étude du compartiment macrobenthique

Echantillonnage

L'échantillonnage du macrobenthos a été effectué les 24 avril pour les stations Mouthier et la source de la Loue , Vuillafans, Montgesoye, et 25 avril sur les stations Homelon et Cléron. La condition hydrologique pour Vuillafans avait une valeur de $8,628 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, proche du tiers de son module calculées sur 65 ans ($23,40 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$). (Banque Hydro s. d.)

Les prélèvements ont été fait à l'aide d'un filet surber avec une maille de $500 \mu\text{m}$ et une aire de $0,05 \text{ m}^2$, en suivant le protocole MAG20. Cette méthode consiste à réaliser l'échantillonnage sur couples substrat-vitesse au minimum une fois dans la classe de d'hauteur d'eau où le substrat est le plus représenté. (H Decourcière et Degiorgi 2000). Afin de réaliser des comparaisons avec des données antérieures, les 8 premiers prélèvements sont effectués en suivant le protocole IBGN.

Analyse des échantillons

Les échantillons prélevés sont conservés avec de l'éthanol. Après le tri des individus, une identification des différents taxons est réalisée jusqu'au niveau de genre pour les Plécoptères, les Ephéméroptères, les Trichoptères, les Coléoptères, les Hétéroptères, les Odonates, les Mollusques, les Achètes et Turbellariés.

Dans le but de comparer le peuplement parmi les stations ou avec des données qui correspondent aux années précédentes, il est nécessaire de mettre les taxons à la même échelle. De cette manière les taxons qui se trouvent naturellement en faible quantité par rapport à d'autres taxons, pourront être comparés. En effet, les effectifs du Mag20 des différents taxons ont été classés au **niveau de genre** de 1 à 5 à l'aide du tableau référentiel des limites des **classes d'abondance** des taxons d'après Verneaux (1973). Les listes faunistiques du MAG20 se trouvent en Annexe 4 ainsi que Le tableau avec les données du Mag20 transformés se trouve en Annexe 5.

2.2.2 Méthode d'étude des fluxes des nutriments dans les sols agricoles

Méthode Lysimétrique

Il s'agit d'une méthode de simulation qui utilise des cuves étanches (Lysimètres) installés dans les sols pour qu'ils soient mis à l'étude. Le but est d'établir un bilan complet de entrées et des sorties des composés minéraux ou organiques présents sur une colonne verticale de sol qui servira pour évaluer les conséquences d'effets cumulatif au cours de temps qui peuvent entraîner de risques de pollution à niveau souterrain. (Muller 1996)

Analyses chimiques des nutriments

Les eaux collectées par les lysimètres et ceux prélevés sur la Loue et la Brême et ont été analysées à l'Université de Franche-Comté, étant les paramètres suivant déterminés pour chaque échantillon recueilli : azote total (Nb total), ammonium (NH_4), nitrates (NO_3), carbone organique total (COT) et dissous (COD), Phosphore Total (P total), bicarbonates, et des paramètres physique chimiques pH et conductivité ($\mu\text{S cm}^{-2}$).

Afin de montrer le possible effet de transfert dans les sols agricoles dû aux précipitations, les analyses de résultats chimiques ont été limitées aux années 2017 et 2018, car 2017 est considéré une année en étiage (sans crues) tandis que le deuxième, lors de période humide, des crues ont été présentés régulièrement.

2.2.3 Analyses statistiques

Le logiciel IBM® SPSS Statistics® version 25 a été utilisé pour effectuer l'ensemble des analyses statistiques de ce travail. Pour chaque groupe de données, un modèle linéaire a été réalisé, suivi du test de kolmogorov-smirnov pour analyser la distribution des résidus. Si ces résidus suivent une loi normale, une analyse de variance a été effectuée, au cas contraire, des test non paramétriques ont été utilisés.

3 Résultats

3.1 Analyse globale du peuplement macro-benthique de la Loue

3.1.1 Structure du peuplement macro-benthique

Les variétés taxonomiques et abondances évoluent au long des 6 stations en fonction de leurs composantes habitationnelles et qualité physico-chimique. Généralement les variétés taxonomiques et abondances stationnelles augmentent dès l'amont en aval. Par rapport les variétés taxonomiques, ils augmentent dès 20 familles avec 26 genres à la source jusqu'à 45 familles avec 55 genres à Cléron (Figure 3.1). En ce qui concerne à l'abondance stationnelle, les valeurs maximales se trouvent sur la station 4 à Montgesoye (8680 au m²) et 3 à Vuillafans (8238 au m²) et pas sur la station 6 à Cléron (6003 au m²) ou 5 à Homelon (6832 au m²) comme on pourrait prévoir, cependant elles sont supérieures que celles de la source de Loue (5477 au m²) et Mouthier (5198 au m²).

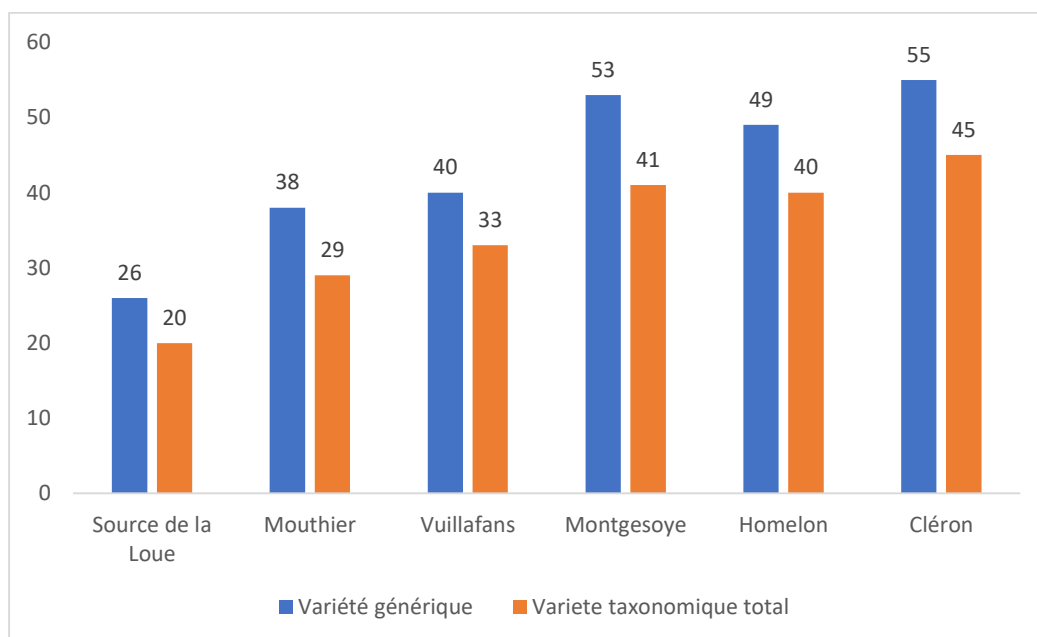


Figure 3.1 Comparaison de la variété générique et de la variété taxonomique totale

La variété des taxons des ordres Trichoptères, Ephémères et Plécoptères (TEP) qui sont les plus sensibles augmente de la source de la Loue à Cléron dès 9 à 21 familles, respectivement. Par rapport à l'abondance des TEP en termes de pourcentage sur l'abondance total des macro-invertébrés, elle augmente entre la source et Montgesoye de 17% à 27% puis elle diminue à Homelon (20%) et à Cléron (21%).

Pour la variété des taxons ubiquistes saprobiontes et/ou polluo-résistants on a considéré les taxons *Baetis*, *Caenis*, *Serratella*, *Hydropsyche*, *Gammaridae*, *Chironomidae*, *Simuliidae*, Achètes, Oligochètes et Triclades d'après Protocole Mag20 (Décourcière H. & Degiorgi F., 2004). La majeure variété de ces taxons se trouvent surtout en aval dans les stations Montgesoye, Homelon et Cléron avec 15, 14 et 15 familles respectivement. Alors que dans la partie amont on trouve 8 familles dans la source et Mouthier chacun. En revanche, en termes de pourcentage d'abondance total de chaque station, les valeurs en amont sont proches de ceux des stations en aval. En amont, entre la source de la Loue et Mouthier, on trouvait respectivement 76% et 68%, suite il diminue à Vuillafans (55%), et augmente à Montgesoye (70%) et à Homelon (80%) et finalement diminue de nouveau à Cléron (78%).

Quant à la variété des taxons macro-phytophages les taxons pris en compte étaient *Ecdyonurus*, *Epeorus* et *Rhitrogena* chez les Éphéméroptères ; *Hydroptila* chez les Trichoptères ; *Gammarus* chez les Amphipodes ; *Ancylus fluviatilis*, *Gyraulus*, *Potamogyrgus* et *Radix* chez les Gastéropodes. La variété de ces taxons est de 4 à la source, 5 sur Mouthier, 8 sur Vuillafans et Montgesoye et 7 sur Homelon et Cléron. L'abondance de ces taxons en pourcentage par rapport à l'abondance total de chaque station était de 19% à la source, 8 % à Mouthier, 5% à Vuillafans, 16% à Montgesoye, 7% à Homelon et 5% à Cléron. (Tableau 3-1)

Tableau 3-1 : Comparaison des descripteurs macrobenthiques du MAG20 des 6 stations

Descripteurs	Source de la Loue	Mouthier	Vuillafans	Montgesoye	Homelon	Cléron
Var MAG 20	20	29	33	41	40	45
Ab. Total (nb.m ²)	5477	5198	8238	8680	6832	6003
Var. TEP (nb.m ²)	9	13	16	19	20	21
Ab. TEP (nb.m ²)	913 17%	961 18%	1658 20%	2361 27%	1393 20%	1276 21%
Var. saprobionte (nb.m ²)	8	8	11	15	14	15
Ab. saprobionte (nb.m ²)	4151 76%	3514 68%	4510 55%	6075 70%	5435 80%	4663 78%
Var. macro-phytophage (nb.m ²)	4	6	8	8	7	7
Ab. macro-phytophage (nb.m ²)	1061 19%	426 8%	411 5%	1348 16%	489 7%	323 5%

En termes d'abondance, chez les Plécoptères, une augmentation est observée depuis la source (135 individus au m²) jusqu'à Vuillafans (379 individus au m²). Puis, elle diminue entre Montgesoye (197 individus au m²) et Cléron (41 individus au m²). Au niveau de classes d'abondances, une augmentation est observée jusqu'à Montgesoye sur les *Leuctridae* et *Perlidae* avec des valeurs entre 3 et 4. Bien qu'une diminution des abondances et des classes s'observe ensuite pour Homelon (91 individus au m², cote moyenne de 2) et Cléron (41 individus au m², classes comprises entre 1 et 2). Les *Perlodidae* apparaissent à partir de Montgesoye avec une cote de 1 et reste avec cette valeur jusqu'à Homelon. Suite une augmentation de ce taxon est observé en aval à Cléron avec une cote de 2. Par rapport les *Nemouridae*, la somme de classes d'abondance diminue d'amont en aval (cote 6 à la source et 3 à Cléron). (Figure 3-2)

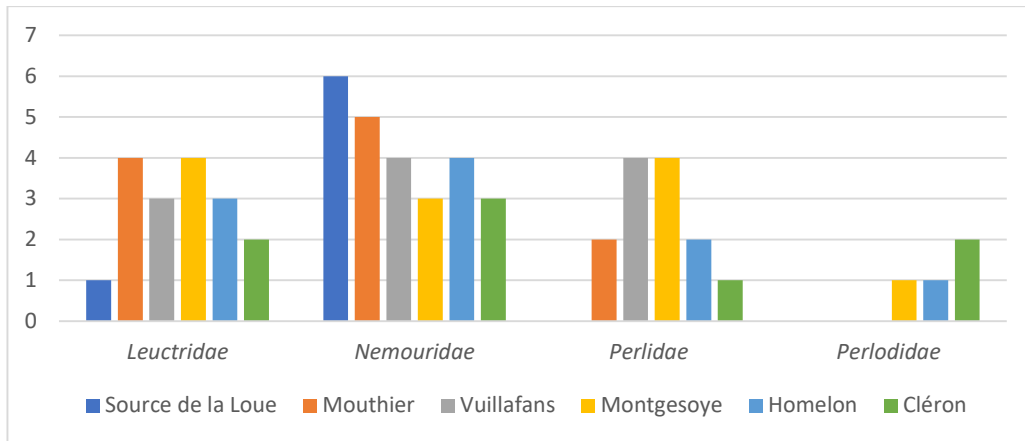


Figure 3.2 Evolution des sommes de classes d'abondances des taxons de l'Ordre Plécoptères sur les 6 stations de la Haut-Loue

Chez les Ephéméroptères, l'abondance augmente d'amont à la source (278 individus au m²) jusqu'à Montgesoye (1602 individus au m²), suite elle diminue en aval entre Homelon (857 individus au m²) et Cléron (513 individus au m²). Au niveau de la somme de classes d'abondances, une augmentation des taxons tels que les *Ephemerellidae* et les *Heptageniidae* est observée (cote 1 à la source et 4 à Montgesoye). Suite, les classes d'abondance de ces taxons avec ceux des *Caenidae* et *Leptophlebiidae* (qui apparaissent à partir de Vuillafans) commence à diminuer en aval à Cléron. Seulement le taxon *Ephemeridae* qui apparaît à Montgesoye (cote 1) augmente en aval (cote 2 à Cléron). (Figure 3-3)

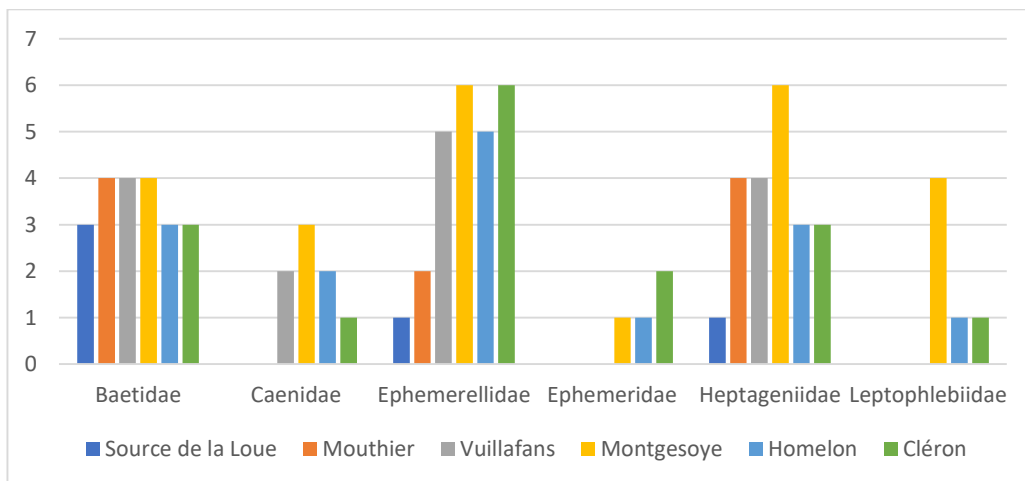


Figure 3.3 Evolution des sommes de la classe d'abondance des taxons de l'Ordre Ephéméroptères sur les 6 stations de la Haut-Loue

Pour les Trichoptères, l'abondance est remarquable à la source (500 individus au m²) par rapport à la station suivant à Mouthier (85 individus au m²). Suite, elle tend à augmenter vers l'aval (383 individus au m² à Vuillafans et 722 individus au m² à Cléron). Au niveau des classe d'abondance une diminution est observée entre la Source et Mouthier pour les taxons *Glossosomatidae* (de 4 à 1), *Limnephilidae* (de 12 à 2) et *Psychomyidae* (de 2 à 1). Après, les classes observées pour les taxons *Psychomyidae*, *Rhyacophilidae* et *Limnephilidae* tendent à augmenter entre Mouthier et Montgesoye. A Homelon, leurs classes diminuent mais ils tendent à remonter à Cléron sauf pour les *Rhyacophilidae* dont la classe continue à descendre. Quant aux taxons *Hydropsychidae*, *Sericostomatidae*, leurs classes tendent à augmenter depuis Mouthier (classe de 1) jusqu'à Cléron (classe 3 et 4, respectivement). Par rapport le classe correspondant aux taxons *Goeridae* et *Odontoceridae*, ils restent constants avec une valeur de cote de 1 entre Mouthier et Cléron. En ce qui concerne les *Hydroptilidae* ils sont bien présentes entre Vuillafans et Cléron avec des classes qui varie entre 4 et 5. Alors que les *Polycentropodidae* ne sont que présents à Montgesoye avec une cote faible (cote 1). Les

Lepidostomatidae apparaissent à cette station (cote 2) et leur cote tendent à augmenter vers l'aval à Cléron (cote 4). Finalement les classes pour les *Leptoceridae* ne sont que observées entre Homelon et Cléron avec des valeurs 1 et 3, respectivement. (Figure 3.1).

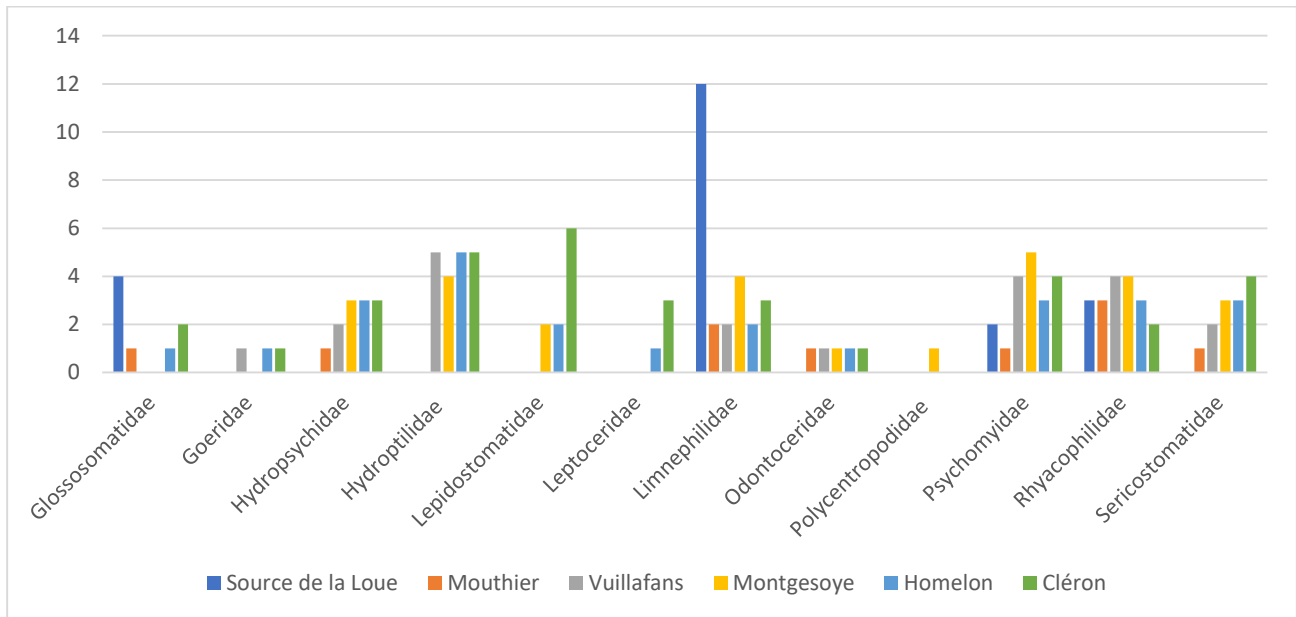


Figure 3.4 Evolution des sommes de la classe d'abondance des taxons de l'Ordre Trichoptère sur les 6 stations de la Haut-Loue

Pour les Coléoptères, l'abondance tend à augmenter depuis la source (635 individus au m²) jusqu'à Vuillafans (1806 individus au m²) suit elle diminue en aval (1044 individus au m² à Montgesoye et 501 individus au m² à Cléron). En ce qui concerne les classes d'abondances, ils tendent à augmenter pour les *Elmidae* entre la source (6) et Montgesoye (12), suit une diminution est observé vers l'aval (cote 10 à Cléron).

Pour les Diptères, l'abondance est de 2837 individus au m² à la source, ensuite elle tend à augmenter depuis Mouthier (2523 individus au m²) vers l'aval (4031 individus au m² à Homelon et 3873 individus au m² à Cléron). Concernant les classes d'abondances, s'observe une valeur de 5 pour les *Chironomidae* sur les 6 stations. D'amont en aval une augmentation est noté pour les *Limoniidae* (cote de 1 à la source et 4 à Cléron) et pour les *Empididae* à partir de Mouthier avec une cote de 1 jusqu'à avoir une valeur de 4 à Homelon et 3 à Cléron.

Pour les Amphipodes, l'abondance et cote d'abondance tendent à diminuer depuis la source (1053 individus au m², cote 5) jusqu'à Vuillafans (225 individus au m², cote 3) ensuite elle remonte à Montgesoye (1129 individus au m², cote 5). Cependant elle descend de nouveau vers l'aval (81 individus au m² à Homelon, cote 2 et 126 individus au m² à Cléron, cote 3). (Figure 3.5)

Pour les Gastéropodes, l'abondance tend à augmenter depuis la source (5 individus au m²) jusqu'à Homelon (256 individus au m²) mais elle passe à diminuer à Cléron (26 individus au m²). En termes de classe d'abondance, une augmentation d'amont en aval pour les *Lymnaeidae* (cote 1 à Mouthier et cote 2 à Cléron) et les *Hydrobiidae* sont constaté (cote 1 à la source et cote 4 à Homelon) bien que pour ce dernier taxon, il est absent à Mouthier. (Figure 3.6)

Pour les Oligochètes, l'abondance à la source est de 26 individus au m², après elle tend à augmenter depuis Mouthier (2 individus au m²) vers l'aval (109 individus au m² à Homelon et 63 individus au m² à Cléron).

L'évolution spatial du peuplement des **macro-phytophages** dans le MAG20 se montre en Figure 3.5. En général, une augmentation de la densité d'amont en aval est notée pour les genres *Hydroptila* et *Radix* .

Cependant, pour les genres *Ecdyonurus*, *Epeorus*, *Rhithrogena* et *Potamopyrgus*, cette augmentation s'observe jusqu'à Montgesoye ou Homelon, après leur densité diminuent à Cléron. Dans autre lieu, les densités correspondant aux genres *Hydroptila*, *Rhithrogena*, *Potamopyrgus*, et *Gammarus* semblent relativement importantes alors que pour les autres genres macro-phytophages leur densité semble faible.

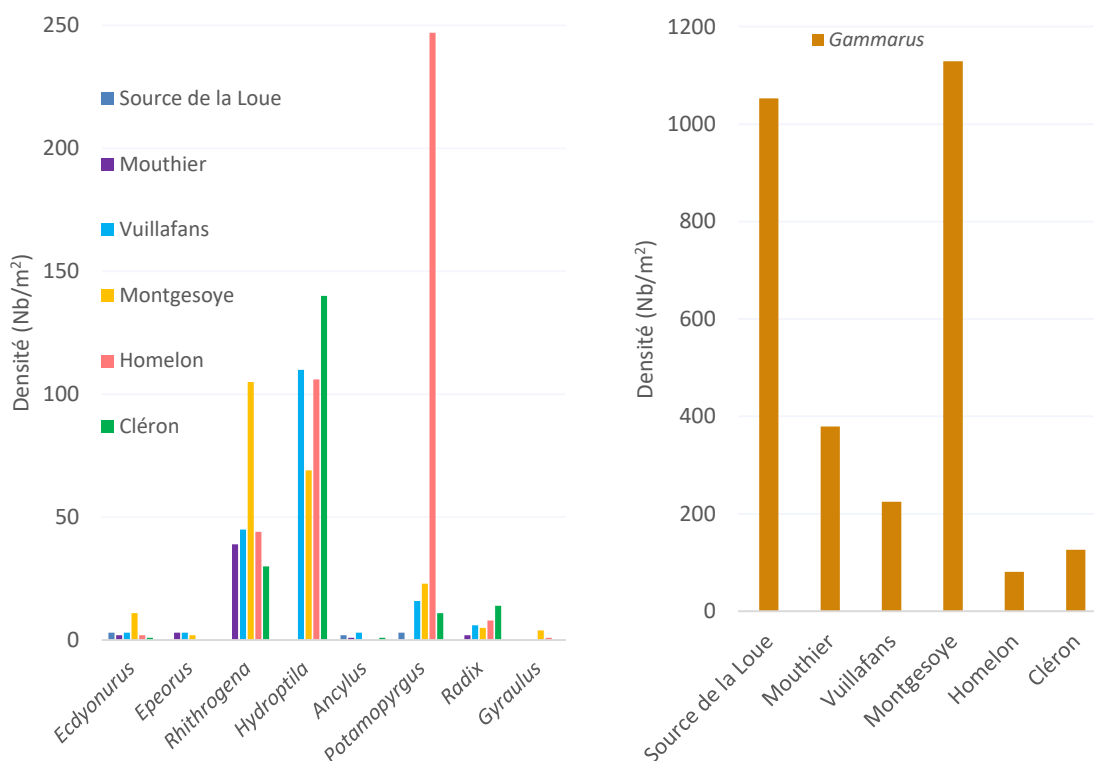


Figure 3.5 Evolution spatiale du peuplement des macro-phytophages présents dans le MAG20

3.1.2 Bio-indication du peuplement macrobenthique

Les différents indices IBGN (Indice Biologique Global Normalisé) et Cb2 (Coefficient d'aptitude biogène) ont été calculés à partir de 8 des 20 placettes du MAG20 grâce à leur compatibilité avec lui. Ces indices sont montrés dans le tableau 3-2

Concernant la note IBGN, elle tend à augmenter depuis la source (12/20) jusqu'à Montgesoye (19/20), suite une diminution est noté ver l'aval (18/20 à Homelon et 16/20 à Cléron). Tableau 3-2. Cette augmentation suggère un phénomène d'autoépuration de l'eau.

D'après la grille d'appréciation de la qualité de l'eau de l'Agence de l'Eau de 1971, les station Vuillafans, Montgesoye et Homelon présents une très bonne qualité de l'eau (notes comprises entre 17 et 20). Les stations à Mouthier et Cléron ont une bonne qualité de l'eau. Cependant à la source de la Loue, une qualité de l'eau de classe moyenne est constatée. (notes comprises et 9 et 12).

Il faut noter que les notes IBGN ne sont que plus fiables à Montgesoye et Cléron Amont car les notes robustesse (classe du deuxième taxon indicateur le plus sensible) ne varient pas par rapport aux autres stations.

Cependant, afin d'approfondir l'interprétation de l'IBGN, l'analyse de l'indice Cb2 a été fait car cette méthode prend en compte en plus les taxons indicateurs en permettant d'affiner la précision de l'interprétation et diminuer le risque de surévaluation. L'indice Cb2 mesure indirectement la qualité chimique de l'eau et de l'habitat à travers l'indice nature (In) et l'indice variété (Iv) respectivement.

Concernant les notes Cb2 qui sont plus discriminantes que celles de l'IBGN, elles tendent également à augmenter d'amont en aval entre la Source de la Loue et Montgesoye, après elles descendent vers l'aval jusqu'à Cléron.

Tableau 3-2 : Evolution des notes et sous-indices macrobenthiques

STATION (Distance à la source)		N (Variété taxonomique)	Groupe Indicateur	Note /20	Robustesse
Source de la Loue (0,1 Km)	IBGN	18	7 (<i>Glossosomatidae</i>)	12	11 6 (<i>Nemouridae</i>)
	Cb2		7 (<i>Glossosomatidae</i>) 6 (<i>Nemouridae</i>) 6 (<i>Psychodidae</i>)	11,5 lv/10 → 4,0 ln/10 → 7,7	-
Mouthier (5,4 Km)	IBGN	23	9 (<i>Perlidae</i>)	15	14 8 (<i>Odontoceridae</i>)
	Cb2		8 (<i>Perlidae</i>) 7 (<i>Heptageniidae</i>) 7 (<i>Odontoceridae</i>) 6 (<i>Athericidae</i>) 6 (<i>Leuctridae</i>)	13,5 lv/10 → 5,1 ln/10 → 8,2	-
Vuillafans (11,6 km)	IBGN	32	9 (<i>Perlidae</i>)	17	16 8 (<i>Odontoceridae</i>)
	Cb2		8 (<i>Perlidae</i>) 7 (<i>Heptageniidae</i>) 7 (<i>Odontoceridae</i>) 7 (<i>Sericostomatidae</i>) 6 (<i>Athericidae</i>) 6 (<i>Hydroptilidae</i>)	15,5 lv/10 → 7,0 ln/10 → 8,3	-
Montgesoye (17 km)	IBGN	40	9 (<i>Perlidae</i>)	19	19 9 (<i>Perlidae</i>)
	Cb2		8 (<i>Perlidae</i>) 7 (<i>Empididae</i>) 7 (<i>Heptageniidae</i>) 7 (<i>Lepidostomatidae</i>) 7 (<i>Odontoceridae</i>) 7 (<i>Sericostomatidae</i>) 6 (<i>Athericidae</i>) 6 (<i>Hydroptilidae</i>)	17 lv/10 → 8,8 ln/10 → 8,3	-
Homelon (23,7 km)	IBGN	33	9 (<i>Perlidae</i>)	18	17 8 (<i>Odontoceridae</i>)
	Cb2		8 (<i>Perlidae</i>) 7 (<i>Empididae</i>) 7 (<i>Heptageniidae</i>) 7 (<i>Lepidostomatidae</i>) 7 (<i>Odontoceridae</i>) 7 (<i>Sericostomatidae</i>) 6 (<i>Hydroptilidae</i>)	16 lv/10 → 7,3 ln/10 → 8,5	-
Cléron Amont (28,8 km)	IBGN	35	7 (<i>Leuctridae</i>)	16	16 7 (<i>Glossosomatidae</i>)
	Cb2		7 (<i>Empididae</i>) 7 (<i>Glossosomatidae</i>) 7 (<i>Heptageniidae</i>) 7 (<i>Lepidostomatidae</i>) 7 (<i>Sericostomatidae</i>) 6 (<i>Athericidae</i>) 6 (<i>Hydroptilidae</i>)	16 lv/10 → 7,7 ln/10 → 8,1	-

Selon les résultats observés dans le tableau 3-2, la qualité de l'eau semble assez bonne à partir de la station de Mouthier jusqu'à Cléron Amont, puisque leurs indices nature sont supérieures à 8.

Alors qu'au niveau de la source de la Loue le valeur de cette indice est inférieure à 8 (7,7) ce qui peut mettre en évidence une altération de sa qualité de l'eau. Cette explication est validée par l'absence de taxons les plus polluosensibles (*Perlidae*) au contraire aux autres stations, ainsi que pour avoir la variété les plus bas.

D'après l'indice Iv qui mesure la biodiversité, une altération au niveau des habitats est possiblement présente notamment pour les stations de la Source et Mouthier. Ceci peut être expliquée par l'influence de deux facteurs : 1) la prédominance d'un ou deux substrats en pourcentage de recouvrement et 2) l'absence d'habitats diversifiés due partiellement au colmatage des fonds. (Hervé Decourcière et Martin 1998). Effectivement, dans les deux stations les substrats Bryophytes et Sédiments minéraux de grande taille (galets, pierres) 2,5 cm à 25 cm ont été les plus prédominantes. C'est possible que lors des événements orageux, très fréquent cette année, une forte mobilisation de sédiments fines présents dans la rivière et aussi de sédiments d'origine allochtone (transporté par lessivage des sols) ont pu colmater les fonds en altérant le structure physique des habitats et la qualité chimique de l'eau du deux stations.

A Vuillafans, le bon note IBGN et Cb2 semble plus influencé par une amélioration de la qualité habitacionelle que de la qualité de l'eau.

Montgesoye a été caractérisé pour avoir la meilleur indice variété (8,8) ce qui se traduit possiblement par une meilleur stabilité physique des habitats malgré la présence de facteurs altérantes comme l'augmentation du débit lors de crues ou l'enlèvement de sédiments qui peut survenir cet hiver.

A Cléron amont, le classe du groupe indicateur avait diminué deux points par rapport à celui de la station Homelon même si sa variété taxonomique avait augmenté. La note Cb2 (16) s'conservent pour les deux stations, mais les indices variété et nature varient entre les deux. Au contraire de la situation à Homelon, à Cléron il avait possiblement une amélioration de la qualité habitacionelle bien qu'avec une diminution de la qualité de l'eau. (possible facteur de l'absence de taxons le plus polluosensibles à ce secteur).

En résumé, selon la tableau 3-2, la baisse de la qualité habitacionelle sur le secteur amont (La Source de la Loue et Mouthier) semble le principal facteur qui peut expliquer les notes le plus faibles qui présents ces stations par rapport aux autres localisées plus à l'aval.

Etat historique du peuplement macrobenthique

Depuis 2012, les notes IBGN tendent à augmenter de la source de la Loue à Montgesoye, et suite tendent à descendre vers Cléron (Figure 3.6). Cependant les notes à la source de la Loue pendant les années 2012, 2014 qui varie entre 10 et 12, suggère un impact de pollution qui peut venir de la rivière Doubs et que des facteurs environnementales (naturelles ou anthropiques) mettent en évidence une altération de la capacité biogène au niveau de cette secteur. Il faut noter qu'un phénomène d'autoépuration peut permettre la récupération de cette capacité jusqu'à Montgesoye. Cependant entre Montgesoye et Cléron Amont les notes de l'IBGN tendent à diminuer. Il semble que certain facteurs altérant de la qualité de l'eau sont à l'origine de cet diminution à ce secteur-là.

Dans autre lieu, en prenant compte la variation des notes sur la station Mouthier, Vuillafans et Cléron, les notes pour l'année 2017 ont été supérieures à ceux observés cette année et dans les années 2012, 2013 et 2014.

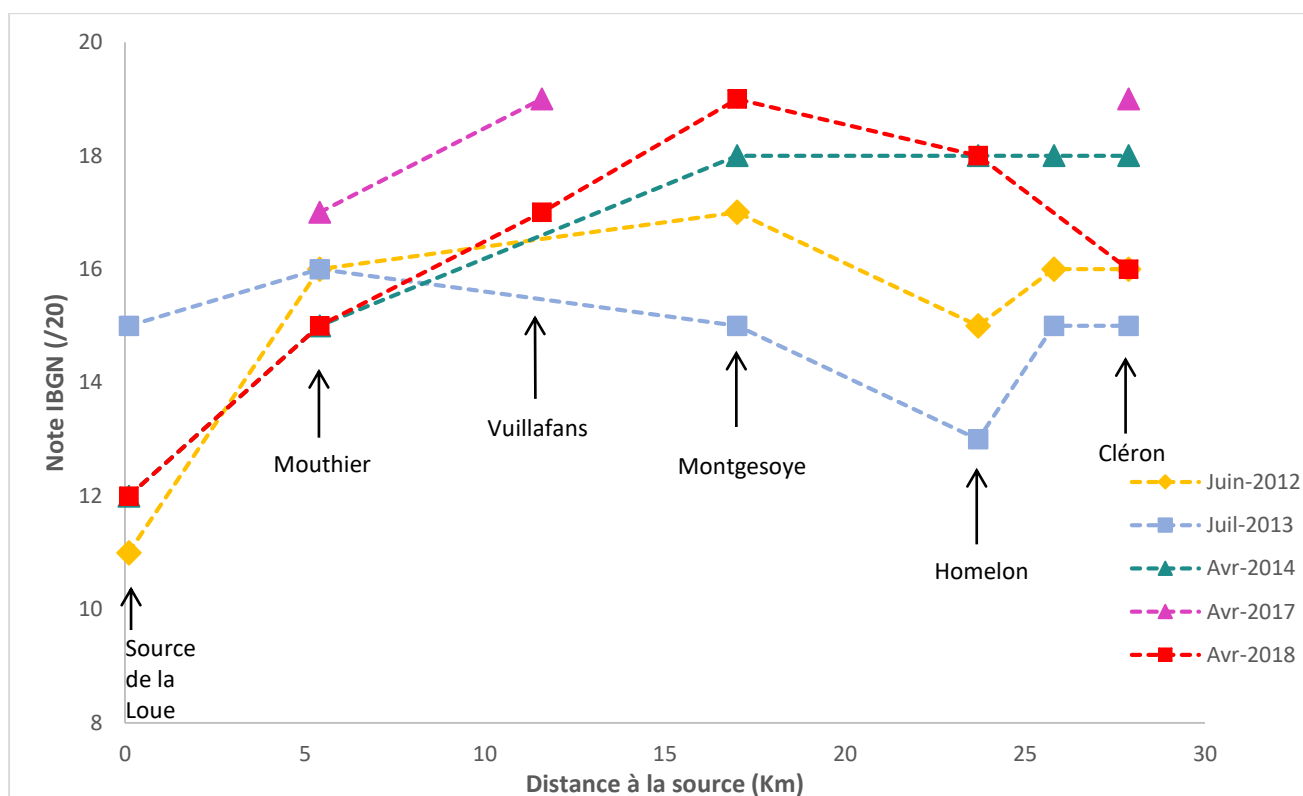


Figure 3.6 Variation des notes de l'IBGN le long de 30 km de distance à la source entre les années 2012 et 2018.

L'évolution des classes d'abondances cumulées de TEP est présentée en Figure 3.7. Une forte diminution de la somme des classes d'abondances est observée depuis des années 1970, surtout dans le secteur amont entre La Source de la Loue et Mouthier et le secteur aval de Homelon et Cléron, ce qui montrerait une baisse de la capacité biogène dans ces secteurs. Par rapport les sommes de classes d'abondances correspondant aux années 2012 et 2013, une faible augmentation est observée d'amont en aval ce qui suggérerait une diminution des capacités auto-épuratrices de la Loue (Ducrot 2017). Bien que en 2014, ces capacités semble se rétablir, car ses scores d'abondances obtenus ont été faiblement supérieures que en 2012 et 2013. (UMR 6249 CNRS-UFC INRA Chrono-environnement 2015). Les scores continuent à s'élever notamment en 2017. Cependant pour cette année, les scores d'abondance des EPT retombent et tendent à avoir le même comportement qui avait eu lieu en 2012 et 2013. Il paraît que certains facteurs de nature environnementale ou anthropiques plus présents pendant les trois années (2012,2013 et 2018) sont impliquées pour la baisse des scores d'abondance des EPT. Il faut remarquer que lors de ces trois années, les conditions hydrologiques ont été similaires. (haute fréquence des crues).

Il semble que les différents conditions hydrologiques jouent un rôle importante sur la dynamique de population de macrobenthos. Pour cela, une comparaison des peuplements macrobenthique au niveau de familles entre l'année 2017 (année caractérisé pour rester en étiage) et 2018 (année très humide) seront analysés en la partie discussion afin d'observer en plus de détail les impacts sur ce compartiment.

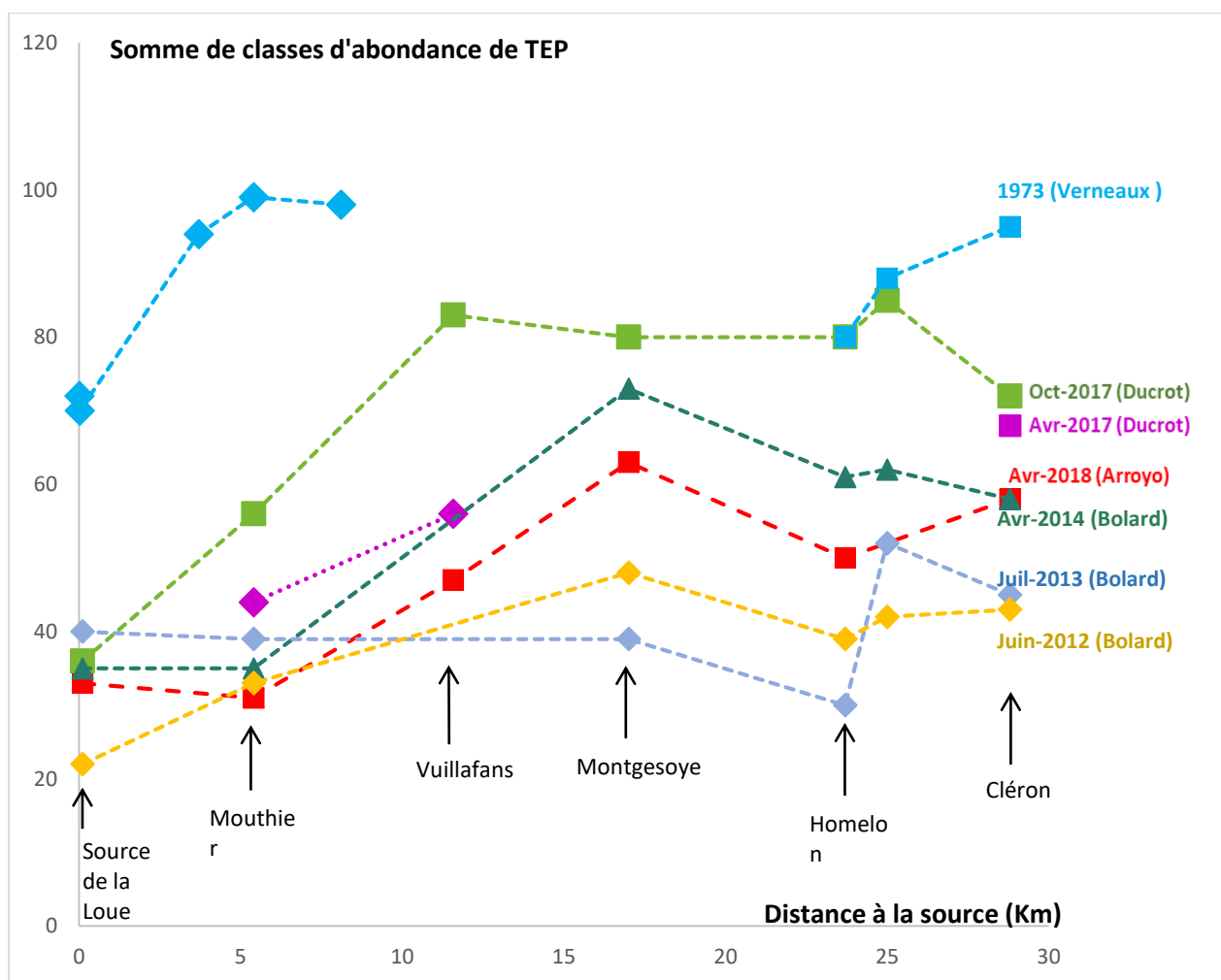


Figure 3.7 Variation des sommes des classes d'abondances cumulées des genres de TEP le long de la Loue de 1973 à 2018

3.2 Comparaison des peuplement macrobenthiques des années 2017 et 2018

Tableau 3-3 Evolution des descripteurs macrobenthiques pour les campagnes des années 2017 et 2018

Descripteurs	Mouthier		Vuillafans		Cléron	
	2017	2018	2017	2018	2017	2018
Var MAG 20	34	29	43	33	40	45
Ab. Total (nb.m ²)	8789	5198	9621	8238	5920	6003
Var. TEP (nb.m ²)	16	13	20	16	20	21
Ab. TEP (nb.m ²)	1685	961	2447	1658	2162	1276
	19%	18%	25%	20%	37%	21%
Var. saprobionte (nb.m ²)	9	8	11	11	9	15
Ab. saprobionte (nb.m ²)	4843	3514	6039	4510	3553	4663
	55%	68%	63%	55%	60%	78%
Var. macro-phytophage (nb.m ²)	5	6	5	8	7	7
Ab. macro-phytophage (nb.m ²)	1741	426	1465	411	1260	323
	20%	8%	15%	5%	21%	5%

Afin de décrire l'état actuel du peuplement macrobenthique par rapport à l'observé en 2017, les descripteurs Abondance-Variété total, Abondance-Variété TEP, Abondance-Variété saprobiontes et Abondance-Variété de groupe macro-phytophages sont utilisés, lesquelles se montrent dans le tableau 3-3.

En termes d'abondance total et variété total, les valeurs en 2017 sont plus élevées que ceux de cette année à Mouthier et Vuillafans. Alors que à Cléron, ces valeurs sont plus élevées cette année. Par rapport les valeurs d'abondance du groupe polluosensible TEP, une diminution est observée sur les trois stations pour cette année.

Concernant l'abondance saprobionte, en termes du pourcentage, une augmentation était observée à Mouthier et à Cléron Amont cette année, alors que à Vuillafans le contraire a été constaté. Cela peut mettre en évidence une élévation de la pollution organique qui avait lieu cette année sur Mouthier et Cléron.

Pour le peuplement des macrophytophages, les abondances constatées cette année sont inférieures que l'année précédente sur les trois stations.

En ce qui concerne les notes et sous-indices macrobenthiques (Tableau 3-4), une diminution de 2 points sur la note IBGN et de 1.5 sur la note Cb2 étaient observées pour cette année à Mouthier même si le taxon indicateur ne varie pas. La variation des notes peut-être expliqué par une perturbation au niveau des habitats car les indices variété diminue plus que l'indice nature qui mesure la pollution de l'eau. Il faut noter que la qualité habitacionnelle à ce secteur paraitre déjà altéré depuis 2017 car les deux valeurs d'indice variété ne sont pas proches à la note optimum 10 et sont les plus bas par rapport les stations Vuillafans et Cléron.

A Vuillafans il avait une diminution de deux points sur l'IBGN et Cb2, il semble que la qualité habitacionnelle a été plus altéré que la qualité de l'eau car la diminution était plus forte sur l'indice variété que sur l'indice nature.

A Cléron la diminution était de 3 points pour la note de l'IBGN et 1.5 pour la note Cb2, ce qui se traduirait par la déclinacion de la classe du groupe indicateur en 2 classes pour cette année (*Perlidae* 9 à *Leuctridae* 7). À la fois les valeurs de l'indice variété et de l'indice nature, ont diminué plus notamment dans les station Mouthier et Vuillafans. En effet, il semble que à Cléron cette diminution ajoutée à la baisse de deux classes de taxons indicateurs se traduisent par une dégradation de la qualité de l'eau plus accentuée que dans les autres stations.

En ce qui concerne les indices de sensibilité, entre 2017 et 2018 il avait une diminution des notes sur les trois stations possiblement plus liés à une altération au niveau habitacionnelle que d'une diminution de la qualité chimique de l'eau.

Tableau 3-4 Evolution des notes et sous-indices macrobenthiques pour les campagnes des années 2017 et 2018

		Mouthier		Vuillafans		Cléron	
Indices		2017	2018	2017	2018	2017	2018
IBGN	Note	17/20	15/20	19/20	17/20	19/20	16/20
	Taxon indicateur	<i>Perlidae</i> (9)	<i>Perlidae</i> (9)	<i>Perlidae</i> (9)	<i>Perlidae</i> (9)	<i>Perlidae</i> (9)	<i>Leuctridae</i> (7)
	Robustesse	16/20	14/20	19/20	16/20	19/20	16/20
	Taxon indicateur	<i>Odontoceridae</i> (8)	<i>Odontoceridae</i> (8)	<i>Perlodidae</i> (9)	<i>Odontoceridae</i> (8)	<i>Perlodidae</i> (9)	<i>Glossosomatidae</i> (7)
Cb2	Note	15/20	13,5/20	17,5/20	15,5/20	17,5/20	16/20
	Indice variété Iv	6,4	5,1	8,6	7,0	8,4	7,7
	Indice nature In	8,5	8,2	8,8	8,3	9,1	8,1

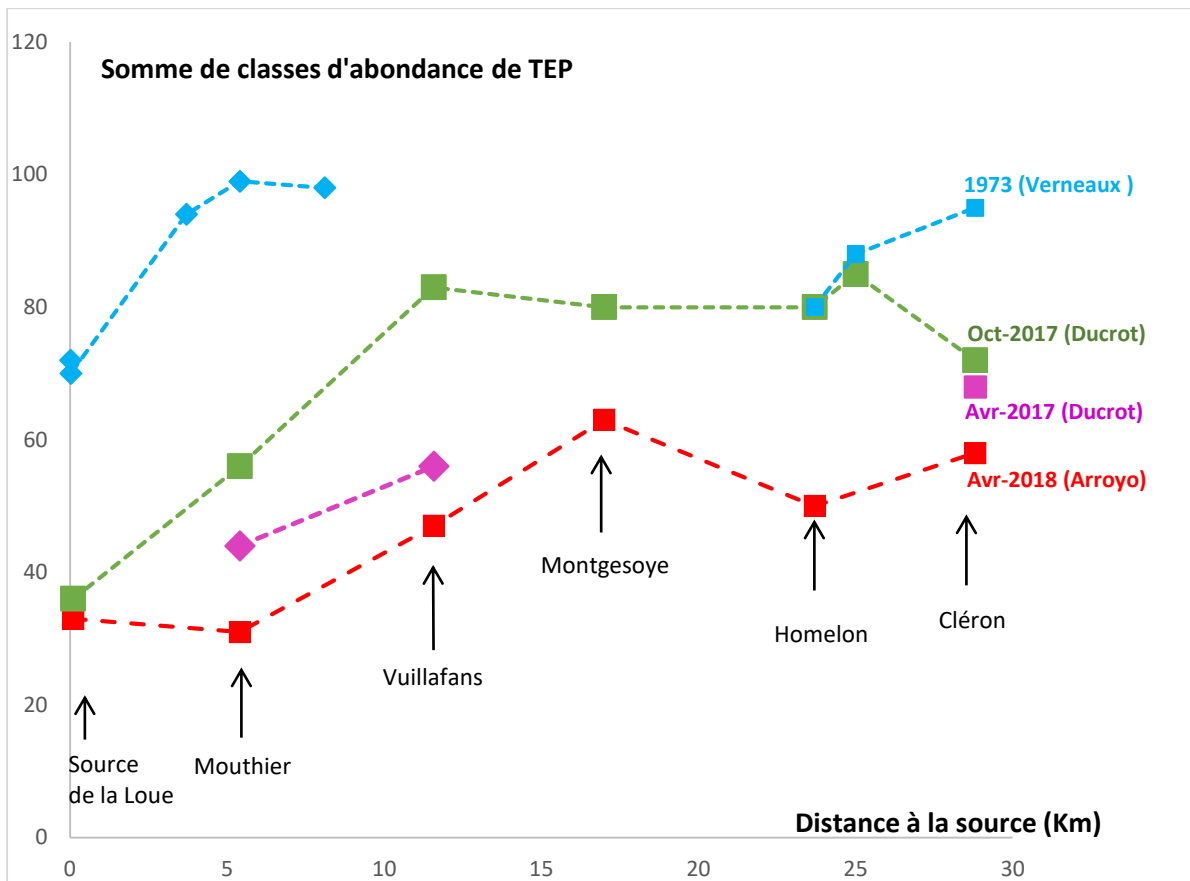


Figure 3.8 Variation des sommes des classes d'abondances cumulées des genres de TEP présentes en 2017 et 2018

Concernant l'abondance du groupe TEP durant l'année 2017, une augmentation notable des scores d'abondance était observée d'avril (dont le débit moyenne était $6,47 \text{ m}^3/\text{s}$) à octobre (dont le débit moyenne était de $5,32 \text{ m}^3/\text{s}$). Cependant, une très forte baisse des scores s'observe après en avril 2018 sur tous les 6 stations. Dans autre lieu, il faut noter que malgré la faible différence de scores d'abondance observés en octobre 2017 par rapport à ceux des années 1970 dans le secteur aval (Homelon). Les scores d'abondance correspondant à l'amont (Source de la Loue et Mouthier) et a l'aval (Cléron) ont été toujours beaucoup inférieures aux scores trouvés par Verneaux (1973).

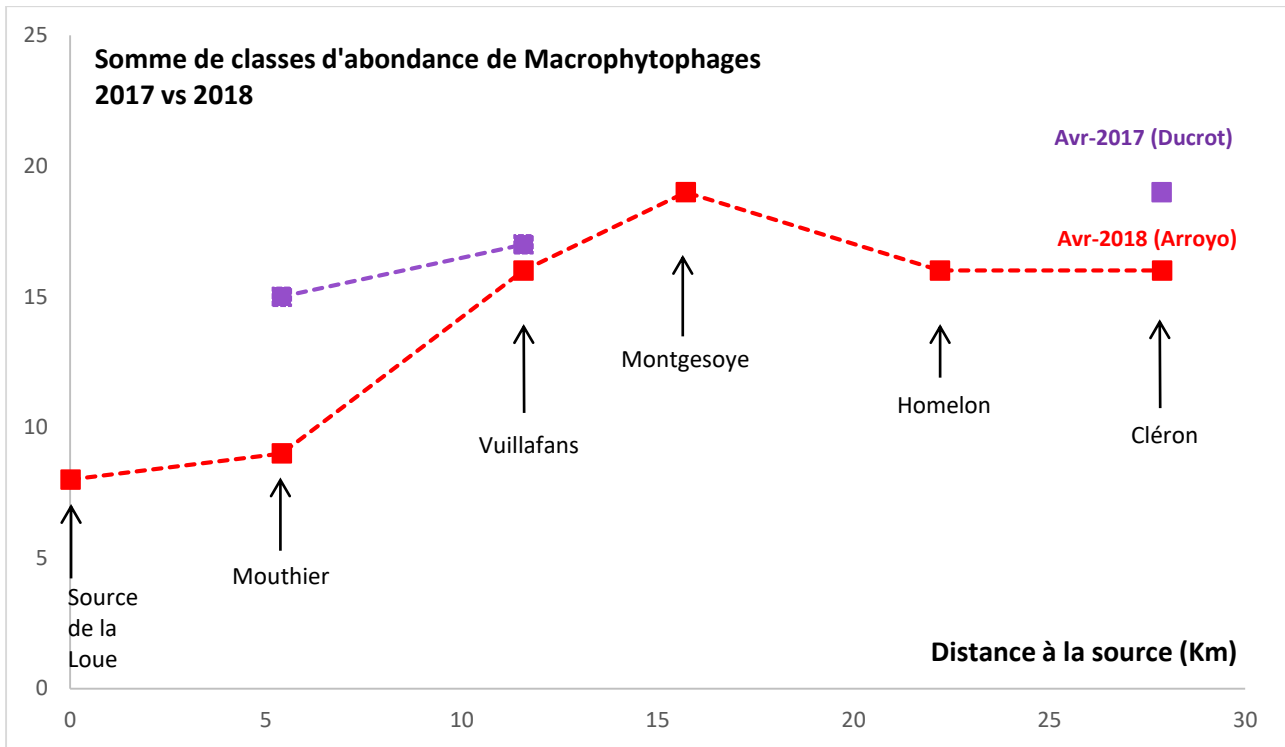


Figure 3.9 Comparaison de l'évolution de la somme de classes d'abondance des macrophytophages le long de la Haute Loue pendant les années 2017 et 2018

En ce qui concerne les scores d'abondance sur le groupe de macrophytophages composé des Heptageniidae (*Rhithrogena*, *Ecdyonurus*, *Epeorus*), Gastéropodes (*Radix*, *Potamopyrgus*, *Ancylus*) et Hydroptilidae, ils se sont retrouvés plus abondantes en 2017 que cette année à Mouthier, Vuillafans et Cléron. Cependant, malgré la forte déclin d'abondance observé cette année à Mouthier, les scores remontent à Vuillafans et atteignent scores proches à ceux trouvés l'année dernière. (Figure 3.9)

Au niveau de genres, une diminution d'abondance de 50% est observé cette année pour *Rhithrogena* dans les trois stations. Alors que pour les *Ecdyonurus*, une diminution d'abondance est constatée à Vuillafans et Cléron, mais plus accentué dans cette dernière station. Contrairement aux chutes présentées chez les Heptageniidae, une forte augmentation des Hydroptilidae est bien noté cette année à Vuillafans et Cléron. Chez les mollusques, les abondances des genres *Ancylus* et *Radix* restent constantes sur les trois stations alors que l'abondance de *Potamopyrgus* augmente deux fois à Vuillafans et Cléron. Figure 3.10

Chez les Gammaridae, les abondances tendent à diminuer d'amont en aval dans les deux années. Cependant, des fortes chutes des abondances s'observent cette année par rapport à l'année 2017 qui de plus en plus sont accentués d'amont en aval. A Mouthier la diminution d'abondance est de 74%, 82% à Vuillafans et 88% à Cléron. (Figure 3.10)

La grande présence des *Hydroptila* (Taxon polluo-résistant) lors de cette année sur les stations Vuillafans et Cléron masque la chute des taxons de la famille Heptageniidae (*Rhithrogena* et *Ecdyonurus*) par rapport à l'année 2017. Cela explique le fort écart des abondances de macrophytophages à Mouthier où les *Hydroptila* sont absents. Figure 3.10

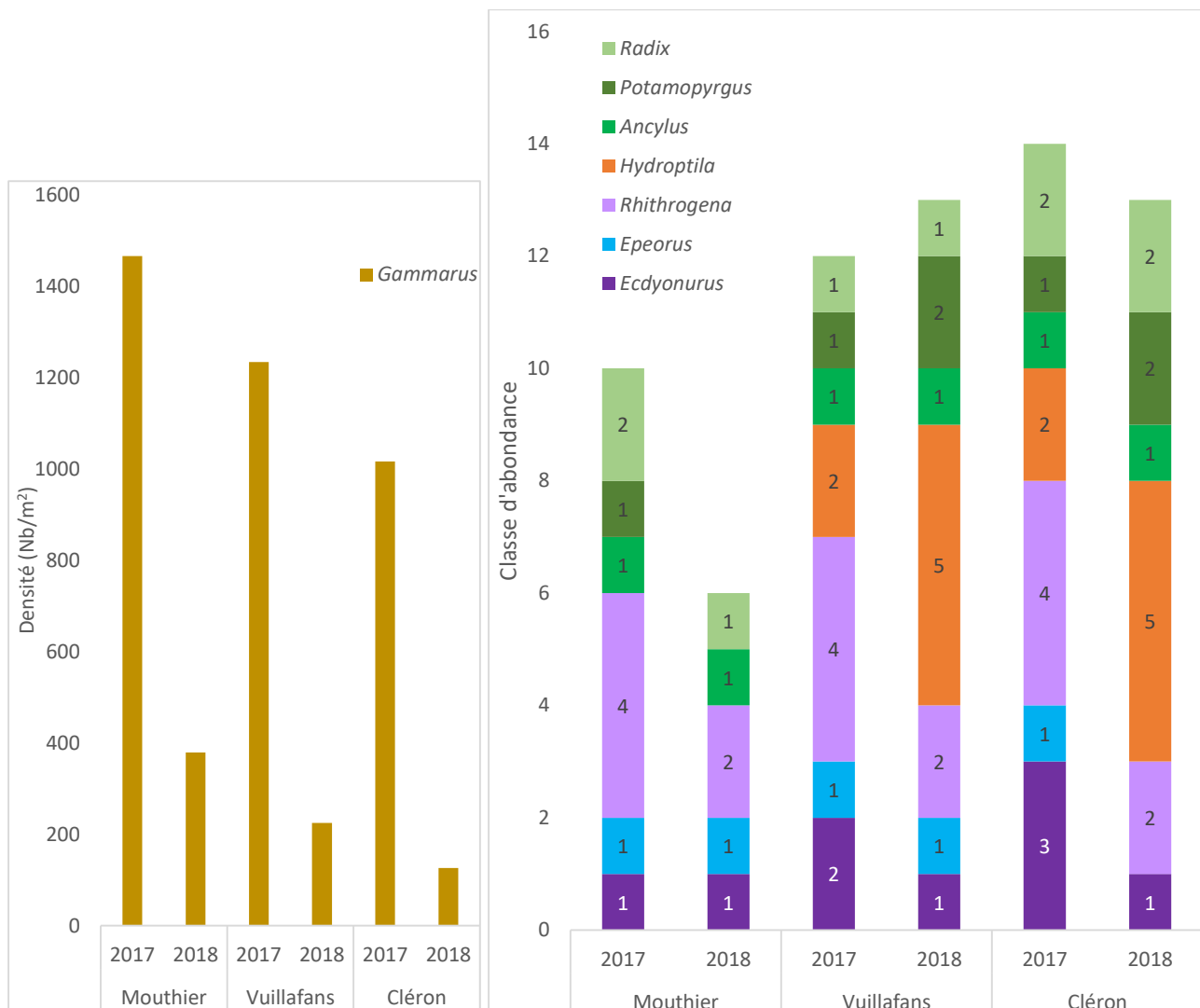


Figure 3.10 Evolution spatio-temporelle de la population de macro-phytophages présentes dans les années 2017 et 2018

Test Statistiques

Un test non paramétrique de rang signé de Wilcoxon d'échantillons associés a été fait pour montrer des différences significatives entre **les groupes EPT**, pendant l'année 2017 et 2018 dans les stations Mouthier, Vuillafans et Cléron. Pour cela, des séries de données de classes d'abondances ont été utilisé pour chaque station.

Ce test a indiqué qu'il y avait des différences significatives des groupes EPT entre 2018 et 2017 à Mouthier. ($p=0,015$) au seuil de 5% d'erreur. Alors qu'il n'avait pas des différences significatives à Vuillafans et Cléron ($p=0,375$, $p=0,306$, respectivement) au seuil de 5% d'erreur.

Afin d'évaluer des différences d'abondance de l'année 2017 et 2018, au niveau de groupes de **macrophytophages**, le Test Wilcoxon d'échantillons associés a été utilisé pour la station Mouthier alors qu'un Test T a été fait pour Vuillafans et Cléron. Ces tests indiquent que dans aucune station il n'y avait pas des différences significatives des abondance de macrophytophages ($p=0,063$ à Mouthier, $p=0,833693$ à Vuillafans, $p=0,563194$ à Cléron) entre les deux années évaluées.

3.4 Evolution du débit pour le période 2017 et 2018 et Flux de nutriments provenant des Lysimètres

3.2.1 Evolution du débit de la Haute Loue entre l'année 2017 et 2018

Dans le cadre de chercher des facteurs qui peut expliquer la diminution de la capacité biogène (diminution de notes IBGN et classes d'abondance) observé cette année ainsi que dans les années 2012, 2013, 2014 par rapport à l'observé 2017. Ce travail s'intéressé de trouver des différences de conditions hydrologiques présentés lors ces années. En observant les données du débits journalières moyen (m^3/s) de la Banque Hydro pour la station à Vuillafans, des périodes de crues prolongés ont été constatés pour les années 2012, 2013 et cette année alors que des niveaux modères de débits ont été observées pour 2014 et 2017. En particulièrement le période entre 2016 et 2017 a été caractérisé pour avoir 13 mois en étiage. Le tableau 3-5 et Figure 3.11 montrent des différences du débits journaliers moyennes lors de périodes humides de cette année et l'année précédente. La différence significative du débit sur le secteur Vuillafans entre les années 2017 et 2018, observé dans la figure 3.11 , montre qu'il avait plus de précipitation cette année par rapport l'année précédente.

Tableau 3-5 Moyen des débits journaliers entre Décembre et Mars lors des périodes humide année 2016-2017 et 2017-2018 (Banque Hydro s. d.)

Période Humide	Débit journalier moyen (m^3/s) à Vuillafans
Décembre 2016-Mars 2017	18,46
Décembre 2017-Mars 2018	36,75

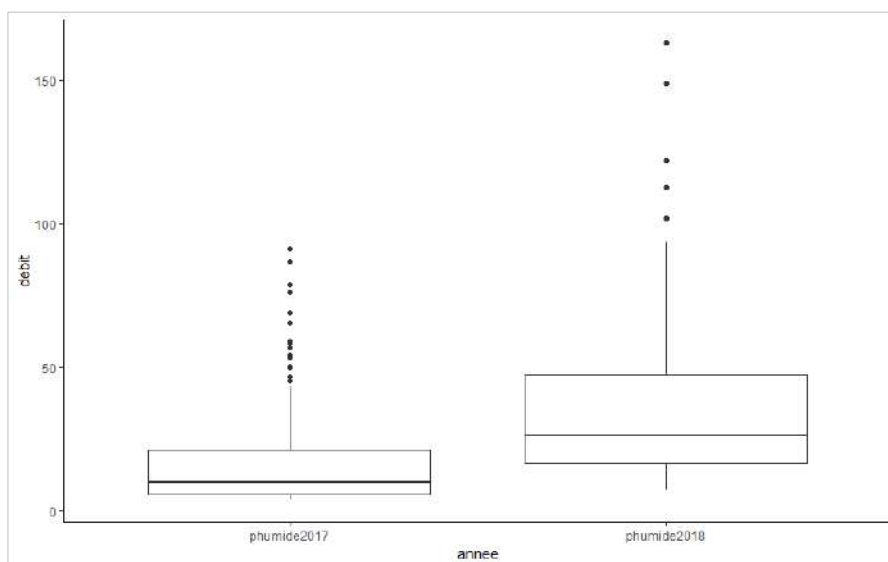


Figure 3.11 Comparaison graphique des débits journaliers entre les périodes humides de l'année 2017 et 2018 (Banque Hydro s. d.)

Pour comparer la similarité des condition hydrologiques de cette année avec les autres années, un test de rang signé de Wilcoxon d'échantillons sur des séries des données du débits moyennes journalières a été fait Par exemple, les résultats ont montré que les conditions hydrologiques lors des périodes humides entre 2013 et cette année ont été significativement similaires. ($p=0.223$).

3.2.2 Flux de nutriments provenant des lysimètres et variation des concentrations de nutriments sur la Loue pendant la période 2017-2018

Afin d'estimer le possible effet de pollution sur la Loue et sur le compartiment macrobenthique (sujet de ce travail) par le lessivage de nutriments d'origine agricole dans les sols des sous-bassins versant Grand Bief et Plaisir Fontaine (détaillé dans la partie méthodologie). Les flux d'azote, phosphore et carbone total (en Kg/ha) ont été calculés à partir des concentrations obtenues des analyses chimiques de l'eau recueilli par les lysimètres en les multipliant avec les volumes totales prélevés. Seulement les données de nitrates seront montrées au-dessous car c'est la forme azotée la plus concernée dans le bassin versant de la Loue. La variation temporelle des fluxes de nitrates sont montrés dans les figures 3.12 et 3.13 pour le premier secteur qui correspondent au sous bassin versant Grand Bief. Les figures 3.14 et 3.15 correspondent au sous bassin versant Plaisir Fontaine. Les résultats pour les autres nutriments sont en Annexe 6 et 7.

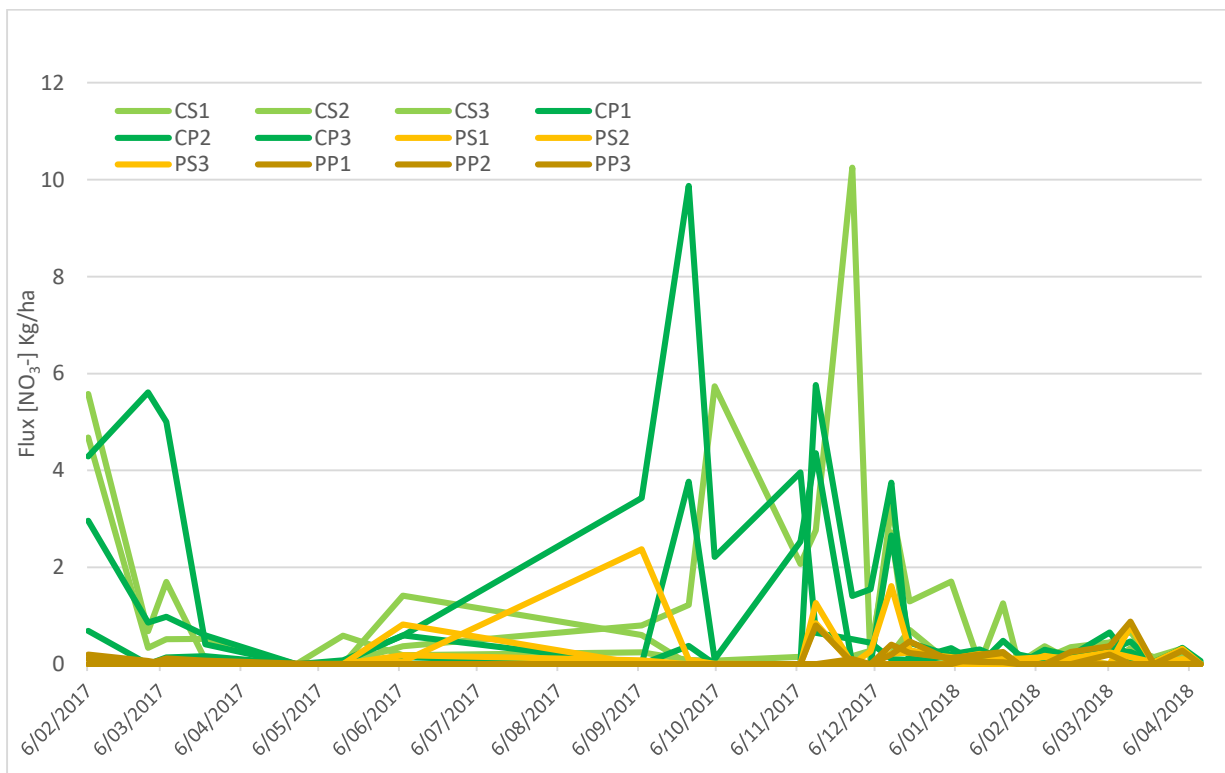


Figure 3.12 Evolution temporelle des flux de nitrates obtenus des lysimètres localisés à Chasnans (sous-bassin versant Grand Bief)

Les résultats observés dans la figure 3.12 sont très variables et diffuses, en général un flux maximal de 10.24 kg/ha avait lieu à la fin de novembre sur sols aux culture superficiel. Ainsi un autre pic de flux (9.87 kg/ha) est observé à la fin de septembre (début d'automne) sur le sols profond (1 m de profondeur).

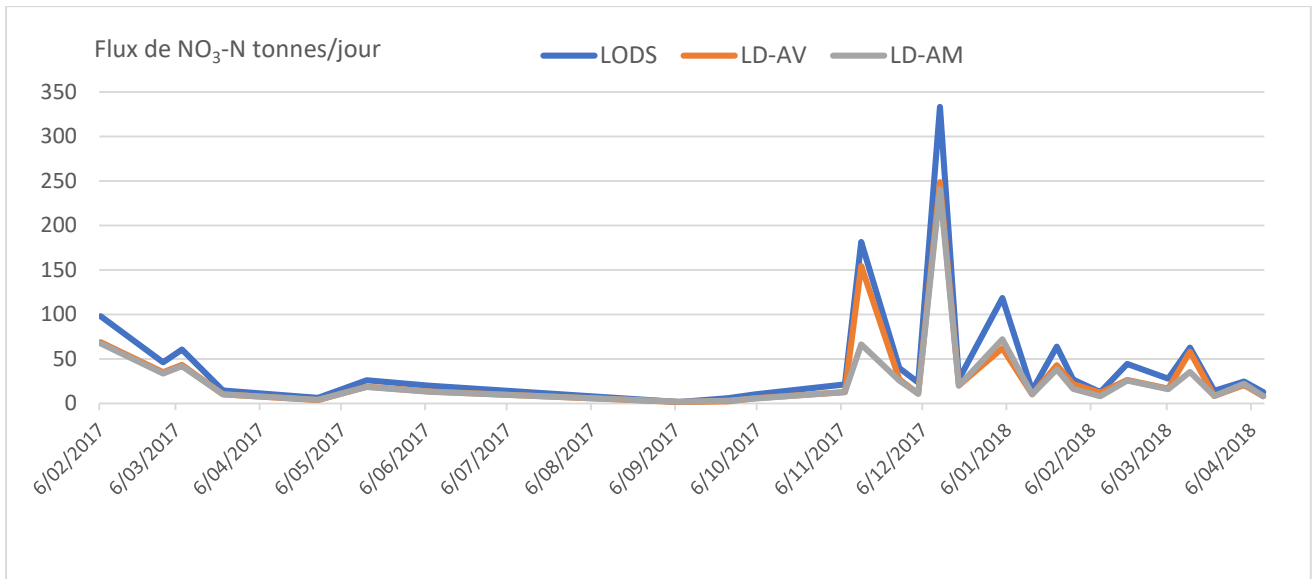


Figure 3.13 Evolution temporelle des flux de nitrates sur la Loue dans le secteur Lods

Un flux de nitrates moyenne de 31 tonnes/jour est constaté à l’amont de l’exurgence à Lods. En aval la concentration moyenne était de 35,8 tonnes/jour. Alors que l’exurgence présenté une valeur moyenne de 49,6 tonnes/jour. Il faut noter qu’en décembre 2017, l’exurgence avait un valeur maximal de 333,23 tonnes/jour. A l’amont le flux maximal était de 240,73 tonnes/jour alors que à l’aval était de 248,63 tonnes/jour. Cependant 7 jours après les niveaux des flux d’azote ont diminué drastiquement (20-27 tonnes/jour) , ce qui montrerait une capacité d’autoépuration qui présent la Loue vis-à-vis aux évènements orageux.

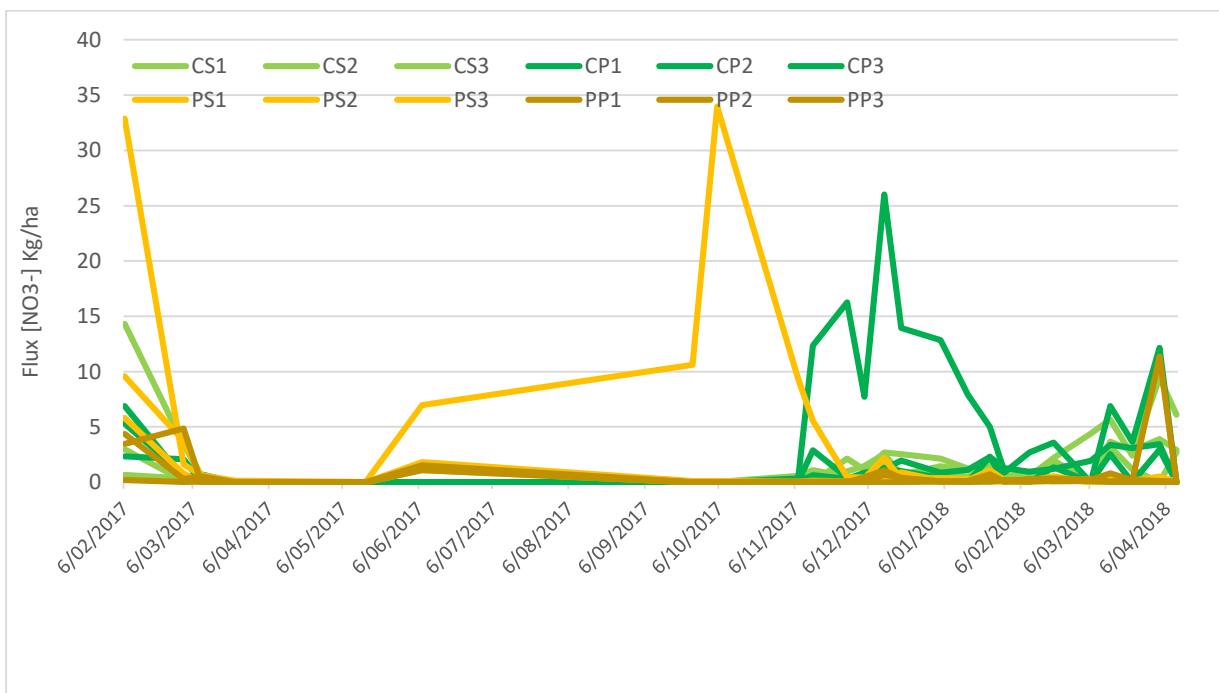


Figure 3.14 Evolution temporelle des flux de nitrates obtenues des lysimètres localisés à Trépot et Bonnevaux (sous-bassin versant Plaisir Fontaine)

A différence du premier secteur, les flux de nitrates ont atteint valeurs maximales supérieures de 34 Kg/ha de nitrates au début d'octobre 2017 sur un sol aux prairies alors que sur un sol de culture profonde une valeur maximal de 26 kg/ha était observé en décembre 2017. Il faut noter que les flux d'azote sous les parcelles du bassin versant de Plaisir Fontaine ont des valeurs notablement supérieurs par rapport les fuites des parcelles localisées à Chasnans (Bassin versant Grand Bief).

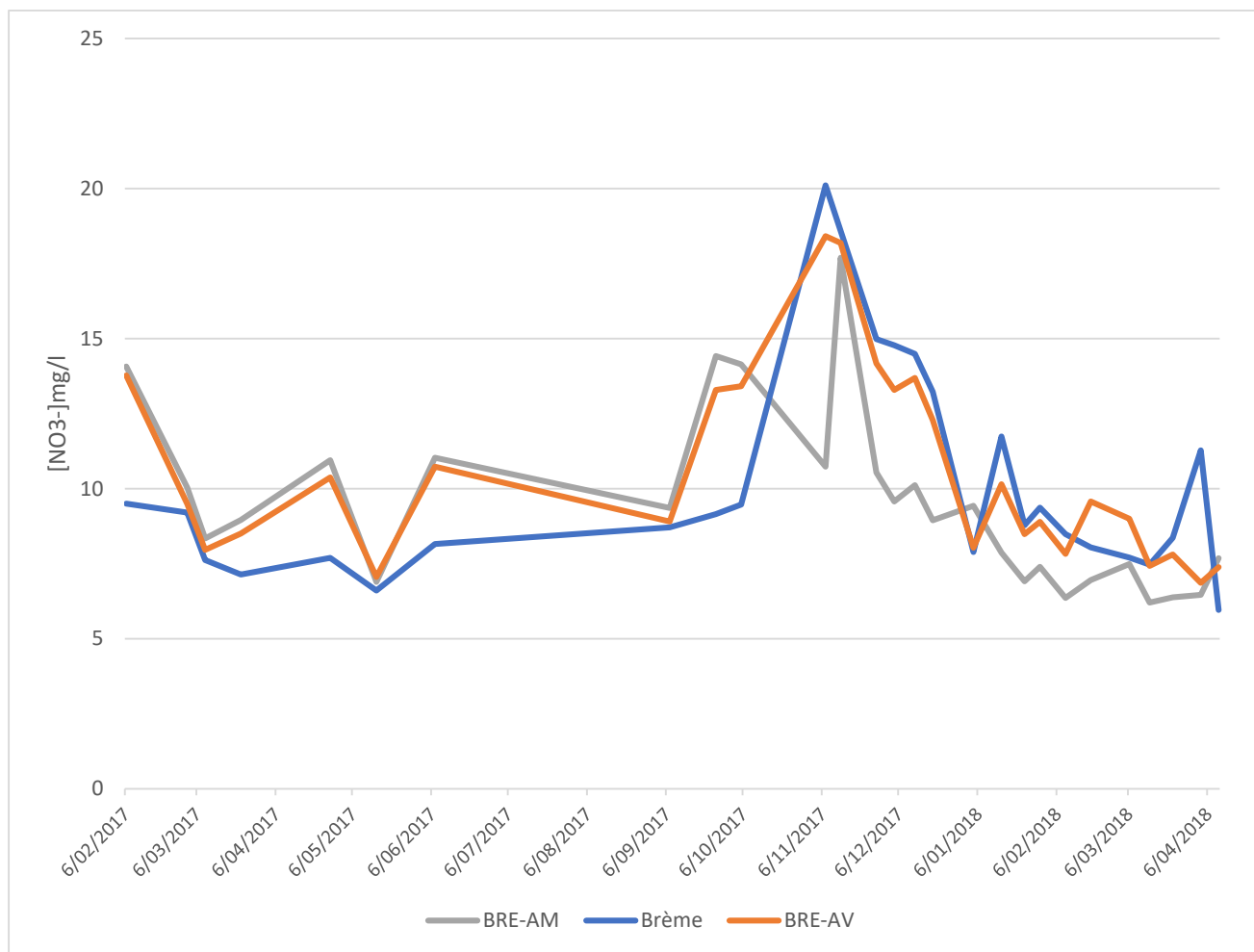


Figure 3.15 Evolution temporelle des concentrations de nitrates sur la Brême

Dans le ruisseau Brême, les concentrations moyennes de nitrates (9,44 mg/L à l'amont et 10,55 à l'aval), ont été supérieures à ceux trouvés dans la Loue à Lods. Selon la grille de classes proposé par Nisbet et Verneaux 1970 pour les nitrates, ces valeurs correspondent à une classe 4.

Test Statistiques

Des différents tests statistiques ont été utilisé afin d'observer des différences significatives entre la production de fluxes en fonction des facteurs type de sols (superficiels et profondes), type de pratique agricole (cultures au prairies), dans différents sous bassin versant (Grand Bief et Plaisir Fontaine). Pour manque de temps, les analyses statistiques ne se fait que pour les nitrates car ils sont les nutriments le plus mobil, facile à être transféré par ruissellement de surface ou par lessivage des sols.

Selon leurs conditions de normalité, les test ANOVA (test paramétrique) ou Test Mann-Whitney d'échantillons indépendants ont été fait. Ces tests ont été aussi utilisé pour comparer les différences des concentrations des

nitrate sur la Breme et l'Haute Loue lors de périodes humides entre les deux années dans les points de prélèvements montrés dans la figure 2.1.

Les résultats sont les suivants :

- Les flux de nitrates produits en sols aux cultures ont été significativement plus élevés que dans les sols aux prairies ($p=0.003$). Ainsi que les flux de nitrates dans le bassin versant Plaisir Fontaine ont été supérieures que dans le bassin versant de Grand Bief ($p<0.005$). Cependant il n'avait pas de différences entre les flux de nitrates produit en 2017 et 2018. ($p=0.397$).
- Sur la Breme les concentrations de nitrates lors de périodes humides ont varié d'une année à l'autre. Ainsi, en 2017 les concentrations sur ce cours d'eau ont été supérieures que ceux trouvés en 2018. ($p=0.006$)
- Sur la Haute Loue dans le secteur Lods, les concentrations de nitrates ont été plus élevées en 2017 que en 2018. ($p<0.005$)

4 Discussion

4.1 Structure actuelle du peuplement macro-benthique de la Haute-Loue

Chez les Plécoptères, le genre *Leuctra*, qui est un genre moyennement sensible (G.I.7) est bien présente à Mouthier (65%), Montgesoye (56,9%), Homelon (42,9%) et Cléron (51,22%). Au contraire, à Vuillafans ne représente que le 24% et il est presque absent à la Source de la Loue avec 1 individu. Au contraire, le genre *Protonemura* est notamment présent à la source (87,4%).

Concernant l'abondance des *Dinocras*, taxon très sensible (G.1), il augmente drastiquement de Mouthier (18 individus) à Vuillafans (244 individus), mais ensuite il y a une chute d'abondance à Montgesoye (62 individus) qui continue à descendre vers l'aval (29 individus à Homelon et absent à Cléron). Sur les 3 stations à l'aval, les abondances de plécoptères diminuent fortement, bien que les genres *Perla*, *Besdolus* et *Isoperla*, qui sont taxons très vulnérables apparaissent en faible quantité.

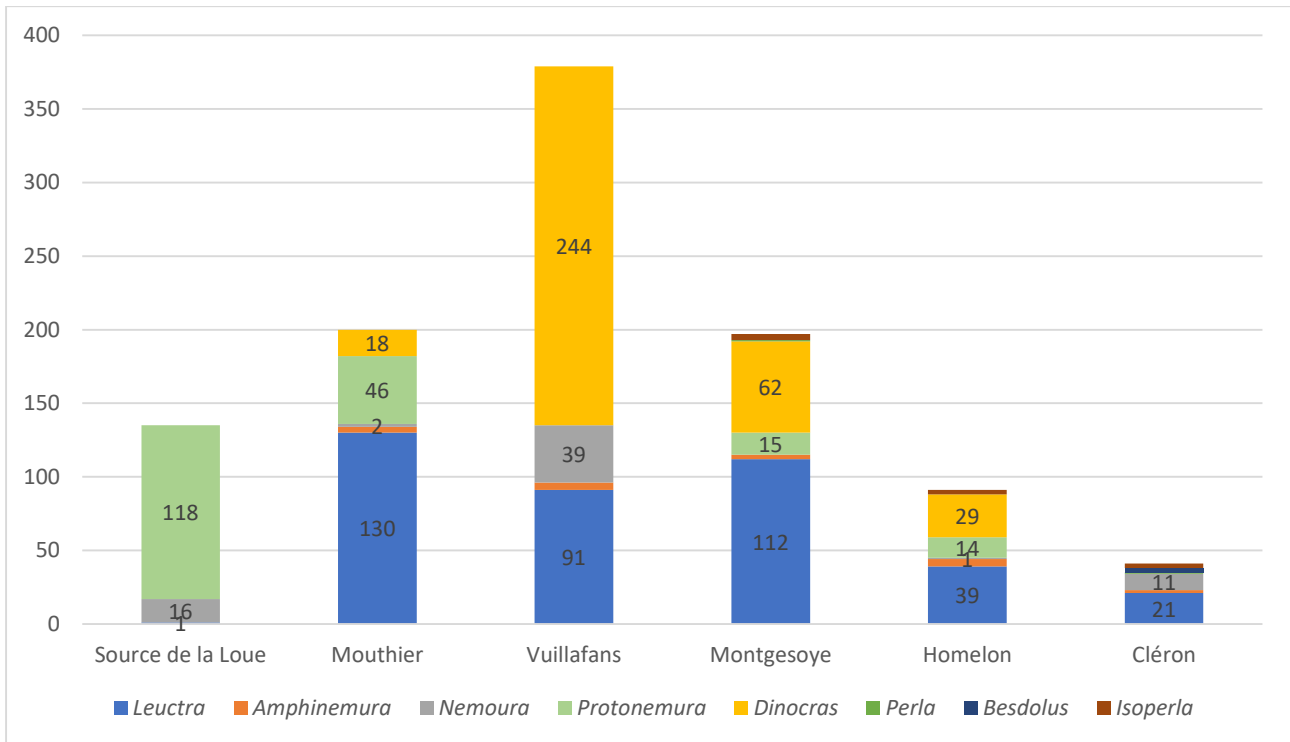


Figure 4.1 Evolution spatiale des peuplements de Plécoptères du MAG20

Le peuplement d'Ephéméroptères est dominé par la présence de *Baetis* (G.I 2, taxon polluo-résistant) à l'amont avec une proportion plus de 90% à la Source de la Loue et à Mouthier. Sa présence reste aussi importante vers l'aval avec une proportion entre 60% à Vuillafans et 30-40% à Homelon et Cléron. A ce taxon s'ajoute *Serratella*, taxon peu polluosensible, avec une présence assez importante qui augmente vers l'aval à partir de Vuillafans (24%) jusqu'à Homelon (48%). Par rapport au genre *Torleya*, aussi polluosensible, il tend à augmenter vers l'aval. A Cléron il est présente avec une proportion de 20%. Concernant au genre *Rhitrogena* (Taxon assez vulnérable), une proportion entre 5% et 7% est observée sur tous les stations sauf à la source de la Loue où il est absent. Des autres taxons tels que *Epeorus* et *Ephemera* (taxons assez vulnérables) et de vulnérabilité modérée (*Habroleptoïdes* et *Paralephthophlebia*) ont été rencontrés en faible quantité en aval.

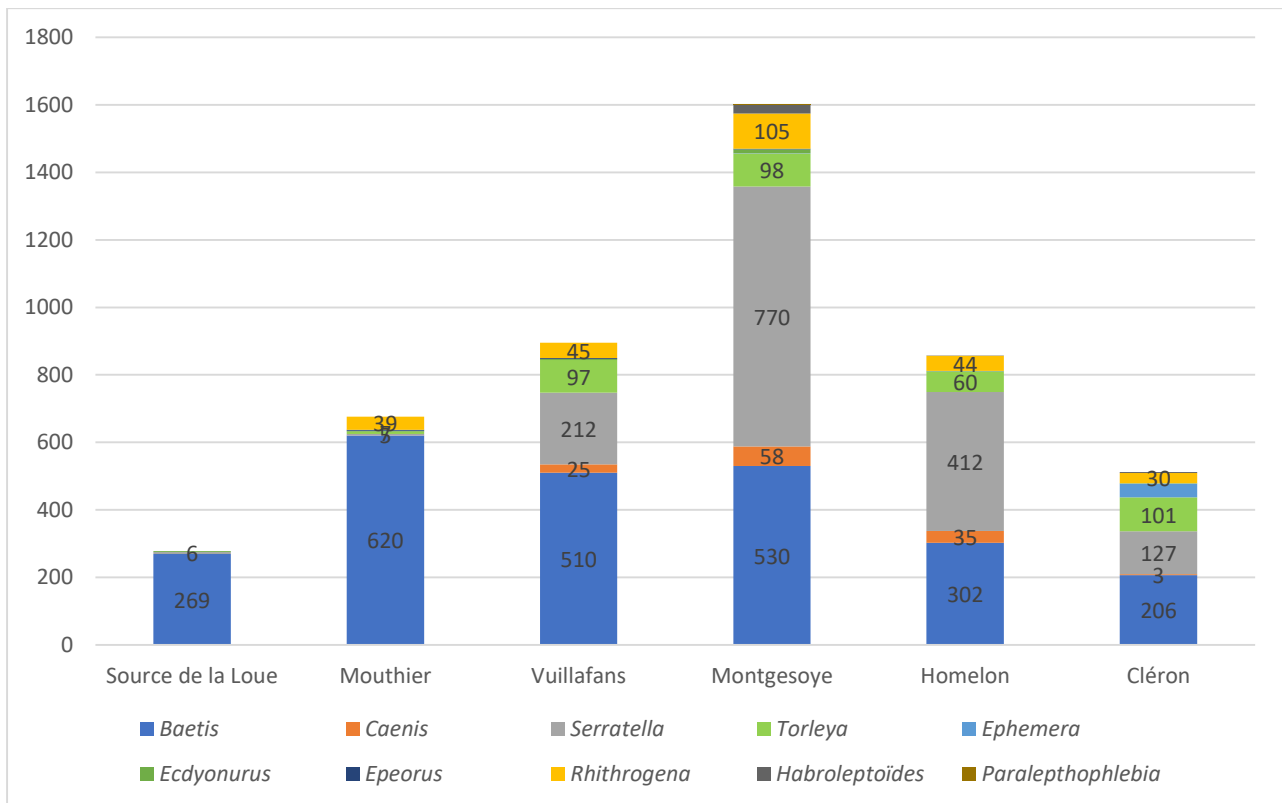


Figure 4.2 Evolution spatiale des peuplements d'Ephéméroptères du MAG20

Le peuplement de Trichoptères se compose principalement de Limnephilidae (75%) à la source de la Loue, ainsi que de la présence du genre *Agapetus* (G.I 7) de la famille Glossosomatidae. A partir de Mouthier, les Odontoceridae (G.I 8) sont rencontrés vers l'aval surtout à Vuillafans et Homelon. En plus, dans cette station, les groupes polluo-résistants comme les Hydropsychidae et Hydroptilidae (G.I 3) apparaissent, et tendent à augmenter vers l'aval, étant Homelon où ils sont plus présents. Par rapport les genres de groupes assez vulnérables (G.I 6) *Sericostoma*, *Lepidostoma* et *Lasiocephala*, ils sont rencontrés principalement à Cléron bien qu'en faible quantités.

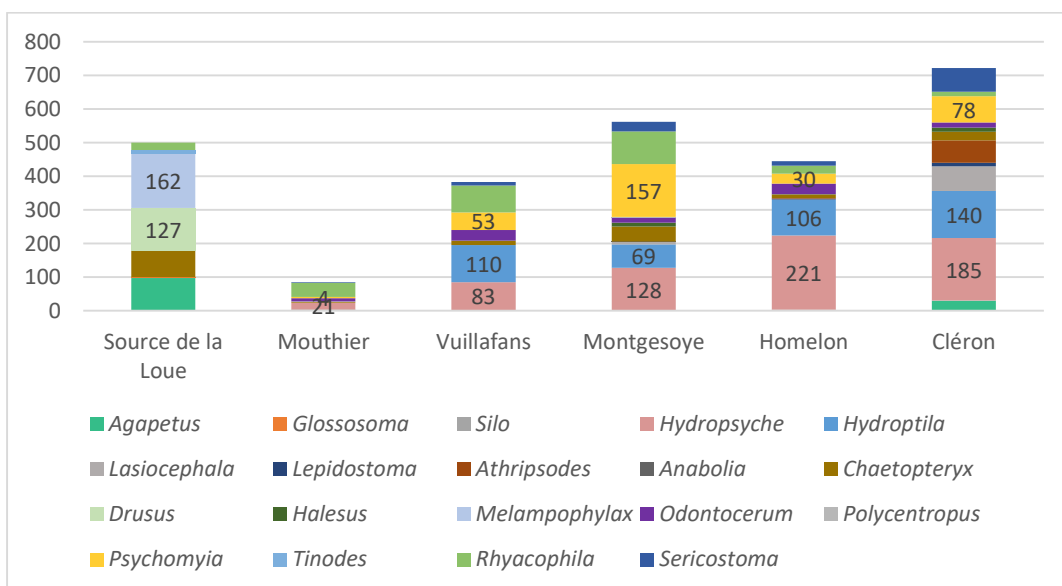


Figure 4.3 Evolution spatiale des peuplements de Trichoptères du MAG20

Au niveau de groupe EPT, aucun taxon de la catégorie très vulnérable a été rencontré à la source de la Loue, ils apparaissent à partir de Mouthier et atteint son point maximum à Vuillafans, ce qui montrerait un phénomène d'autoépuration à ce secteur. Concernant aux taxons qui appartient à la catégorie vulnérable, seulement 4 individus du genre *Silo* a été rencontré. Par rapport des taxons assez vulnérables, une série de chutes et remontes est observé au long des 6 station. Les sites de chutes sont localisés en Mouthier et Homelon alors que les sites de remonte sont constatés à Vuillafans, Montgesoye et Cléron. Pour les taxons à vulnérabilité modéré une forte diminution est observée vers l'aval depuis Montgesoye.

En ce qui concerne le pourcentage des taxons saprobiontes et/ou polluo-résistant (*Baetis*, *Caenis*, *Serratella*, *Hydropsyche*, *Simullidae*, *Gammaridae*, *Oligochètes*, *Planaires*, *Achètes*, *Chironomidae*), il représente entièrement 61% de la communauté macrobenthique. Le pourcentage le plus élevé s'observent à Homelon (80%) du fait d'une quantité très importante de *Chironomidae*.

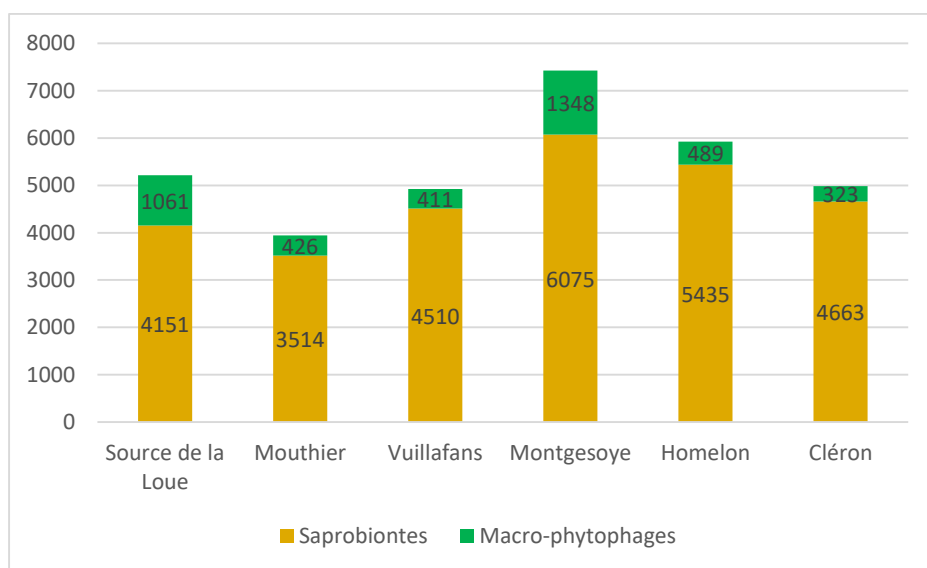


Figure 4.4 Evolution spatiale des peuplements de taxons saprobiontes et macro-phytophages du MAG20

4.1.1 Evolution du peuplement macrobenthique en lien avec de références des années 1970

Afin de montrer une différence de l'état actuel du peuplement macrobenthique avec l'état trouvé dans les années 1970 par Jean Verneaux, un contraste a été fait avec les sommes de classes d'abondance accumulés correspondant aux 8 stations prélevés à cette époque le long de premières 30 kilomètres (secteur d'étude actuel). L'évolution des sommes de classes d'abondance de ces deux années se montrent en Figure 4.5

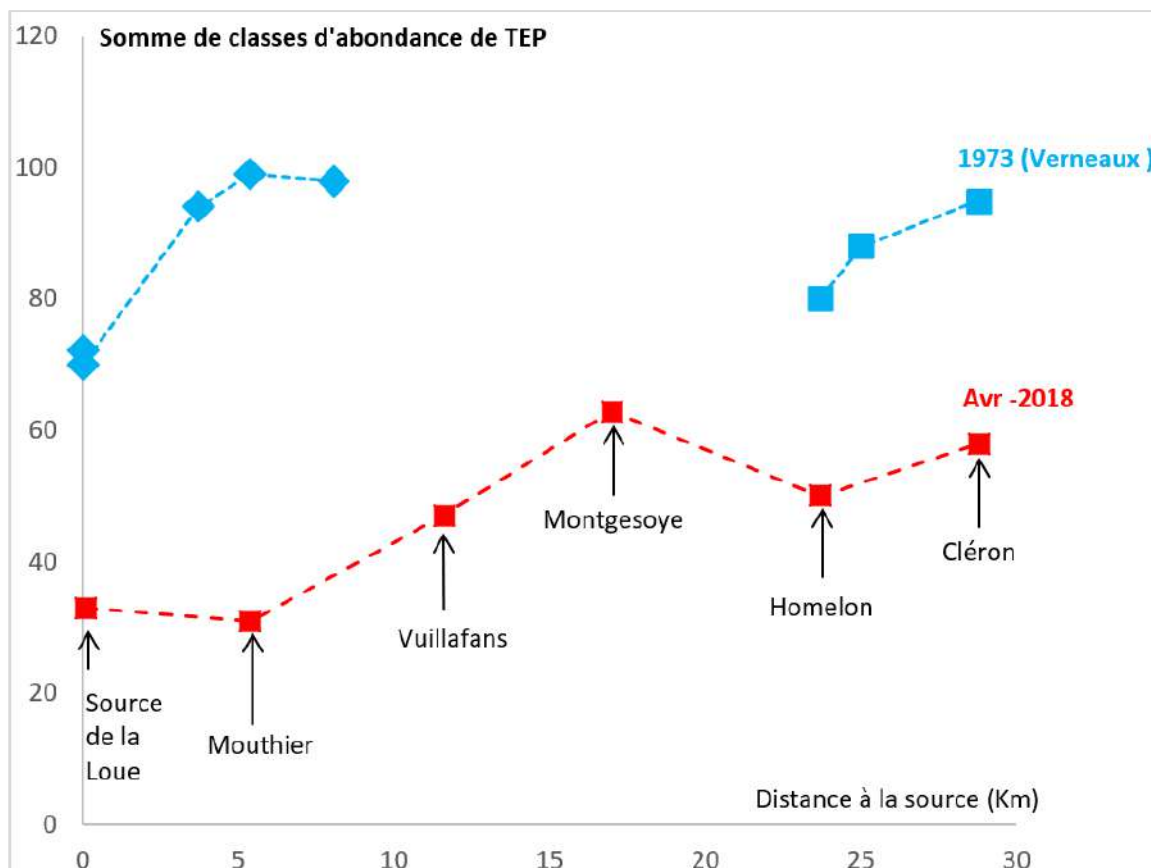


Figure 4.5 Comparaison entre l'évolution de la somme de classe d'abondance des TEP actuel et des années 1970 au long de 30 km de la Haute Loue

Une analyse au niveau de composition de peuplement a été fait afin d'observer en détail les différences d'abondance et diversité chez les Plécoptères, Ephéméroptères et Trichoptères. Pour cela, les comparaisons ont été fait sur les stations localisés à la source de la Loue, Mouthier, Homelon et Cléron. Par rapport les stations à Vuillafans et Montgesoye, ils manquent les données des références.

Une diminution importante des classes d'abondance (Figure 4.6) est de genres (Figure 4.7) ont été observée depuis 1970 surtout dans le secteur amont, à la source de la Loue et Mouthier. En révisant les matrices biologiques fait par Verneaux dans les années 1970, des disparitions de genres et déficits d'abondance de taxons ont été constatés pour les Plécoptères, Ephéméroptères et Trichoptères. Sur l'ensemble des 4 stations, la somme de classes d'abondance des EPT observées en 1970 était **deux fois** la valeur actuelle.

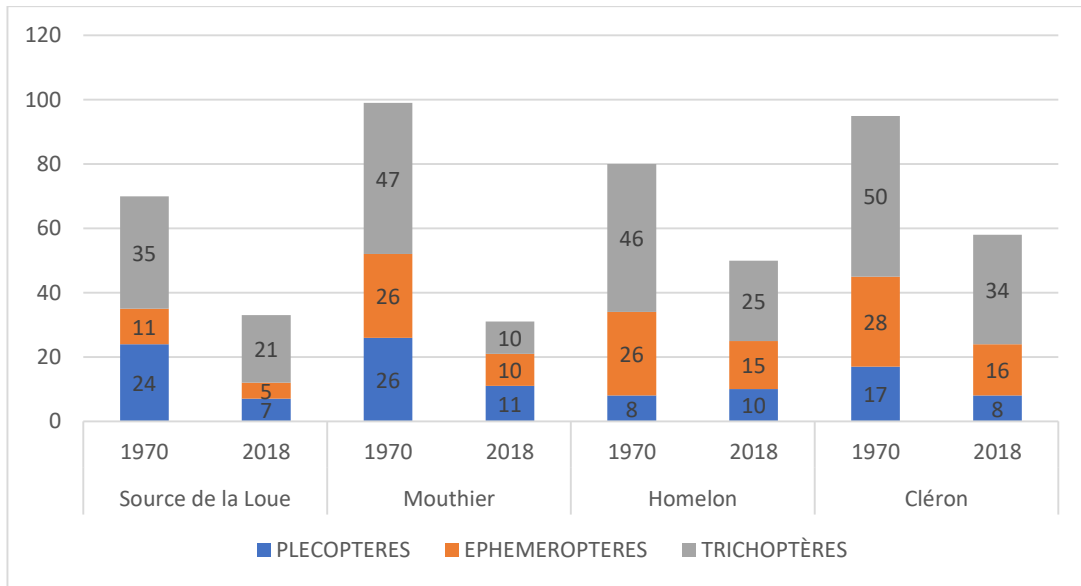


Figure 4.6 Comparaisons de évolutions spatiales des sommes de classes d'abondances des EPT observés en 1970 et 2018

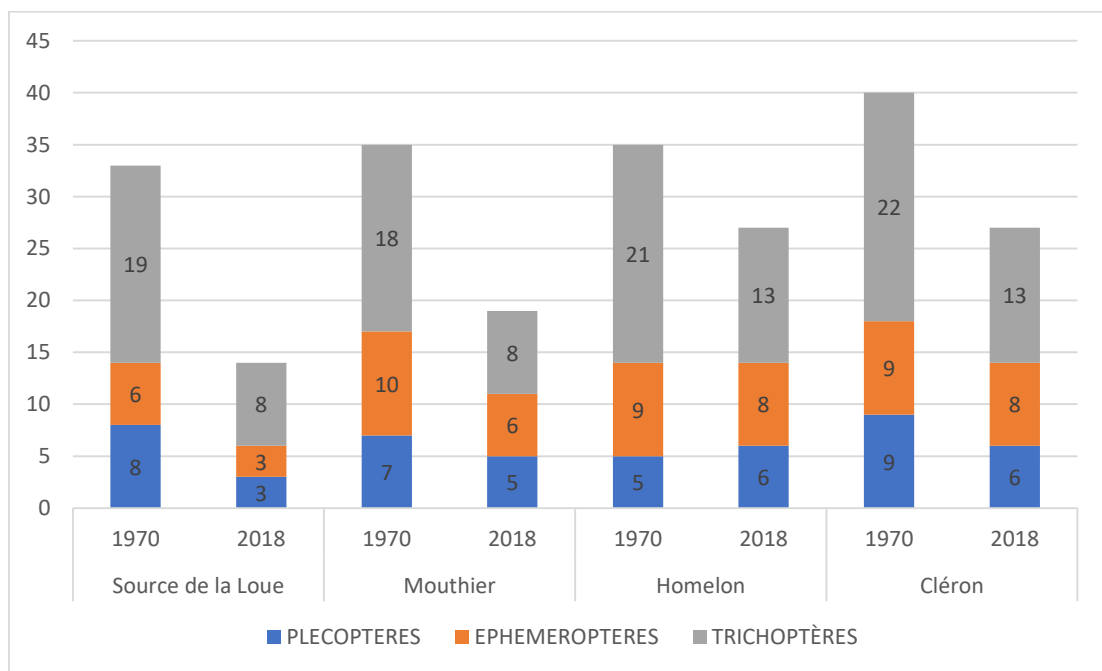


Figure 4.7 Comparaisons de évolutions spatiales des E au niveau des genres observés en 1970 et 2018

Pour les Plécoptères, la diminution d'abondance par rapport à celle trouvée dans les années 1970 atteint une valeur de 52% au total pour les 4 stations. Une forte diminution de 70% d'abondance est notée à la source de la Loue ainsi qu'une absence d'espèces présentes en 1973 était remarquable pour cette station (5 espèces, desquels 3 sont de classe 9) par rapport aux autres stations. Sur les stations à Mouthier et Cléron les chutes d'abondance sont aussi notables de plus du 50%. En termes de la vulnérabilité du peuplement, une diminution d'abondance de 77% des taxons très vulnérables est observée sur l'ensemble des 4 stations. Il faut noter que le genre *Chloroperla*, taxon très vulnérable, est absent sur les stations de la source de la Loue et Mouthier (Tableau II-3) où ils ont été bien présents dans les années 1970. L'absence des autres taxons très vulnérables *Isoperla* et *Dinocras* ont été aussi constatés cette année. Le genre *Isoperla* était absent à la source et à Mouthier. A l'époque de Verneaux (1973), *Isoperla* était bien présente à Mouthier. Concernant les taxons à

vulnérabilité modérée (*Leuctra*, *Nemoura* et *Protonemura*), le déclin d'abondance n'est pas aussi fort par rapport celui des taxons très vulnérables. Cette diminution atteint une valeur de 30%.

Pour les Ephéméroptères, la diminution d'abondance par rapport à celle trouvée dans les années 1970, est de 49%. La major diminution d'abondance a eu lieu à Mouthier avec une chute de 62%. A la source de la Loue la diminution atteint à 55% alors qu'une chute de 42% et 43% sont observés à Homelon et Cléron, respectivement. Au niveau de vulnérabilité du peuplement, une forte diminution d'abondance de 86% des taxons assez vulnérable (*Torleya*, *Ephemera*, *Ecdyonurus*, *Epeorus* et *Rhithrogena*) était observé à la Source de la Loue par rapport les données de Verneaux (1973). Ainsi qu'une absence de 3 genres qui appartient à cette catégorie. A Mouthier la diminution de taxons assez vulnérables est plus de 50%. Pour les stations Homelon et Cléron les chutes atteintes des valeurs de 40% et 20% respectivement. Concernant au groupe de taxons à vulnérabilité modérée (*Habroleptoïdes*, *Paralephophlebia* et *Habrophlebia*) il y avait une chute de 90%, sur l'ensemble des stations, par rapport les abondances trouvés dans les années 1970. Finalement, pour les taxons polluo-résistants (*Baetis*, *Caenis* et *Serratella*), une diminution de 25% d'abondance est observé par rapport l'abondance trouvés par Verneaux (1973) pour les 4 stations. A cette époque, les *Baetis* ont été plus abondantes dans les stations Mouthier et Cléron. Alors que pour les *Serratella*, ont été plus présents à la Source de la Loue et à Mouthier.

Pour les Trichoptères, il avait une chute de 49% d'abondance par rapport à l'abondance trouvée par Verneaux (1973) sur l'ensemble de 4 stations. Le déclin d'abondance était plus accentué à Mouthier avec une diminution de 79%. Les chutes sont assez importantes à la source de la Loue (40%), Homelon (46%) et Cléron (32%). Concernant à l'évolution temporelle de taxons regroupées selon sa vulnérabilité, une forte chute de 94% est observé sur les taxons vulnérables (*Phylopotamus*, *Silo*, *Goera*, *Brachycentrus*, *Micrasema*) dans l'ensemble des 4 stations. Actuellement ils ont été observés à Homelon et Cléron en très faibles quantités. Par rapport les taxons assez vulnérables (*Glossosoma*, *Lasiocephala*, *Lepidostoma*, *Drusus*, *Odontocerum* et *Sericostoma*), il avait une forte diminution d'abondance de 80% à Mouthier, alors que à la source de la Loue et Homelon la diminution avaient une chute de 33% et 22% respectivement. A Cléron, les abondances de taxons de cette catégorie sont presque pareilles. En ce qui concerne les taxons polluo-résistants et/ou saprobiontes (*Hydropsyche* et *Hydroptila*), il y avait une faible augmentation de l'abondance cette année par rapport à celle trouvée dans les années 1970. Au niveau de genre, les *Hydroptila* sont plus abondantes à l'aval (Homelon et Cléron), tandis que le genre *Hydropsyche* présente les mêmes abondances dans ces stations. Figure 4.9

D'un autre côté, en plus des déficits et absences de taxons polluo-sensibles, détaillés au-dessus, certaines espèces en majorité de classe 4 (polluo-résistants) ont apparues. Pour chaque station, les espèces apparues étaient :

Pour la source de la Loue : *Melampophylax* (G.I. 4)

Pour Mouthier : *Torleya* (G.I. 4), *Melampophylax* (G.I. 4), *Psychomyia* (G.I. 6)

Pour Homelon : *Nemoura* (G.I. 6), *Torleya* (G.I. 4), *Lasiocephala* (G.I. 7), *Lepidostoma* (G.I. 7), *Psychomyia* (G.I. 6)

Pour Cléron Amont : *Besdolus* (G.I. 9), *Torleya* (G.I. 4), *Lasiocephala* (G.I. 7), *Psychomyia* (G.I. 6), *Sericostoma* (G.I. 7)

Au niveau de l'amont l'apparition du genre *Melampophylax* (bien présents à la source) peut s'expliquer par sa capacité à résister vis-à-vis aux dépôts rapides de sédiments (Wood, Vann, et Wanless 2001) qui semblent avoir eu lieu à ce secteur-là lors d'évènement orageux.

Au niveau de l'aval à Cléron, la présence de *Lasiocephala* s'explique par la présence de chevelus racinaires (possiblement mobilisés après des crues). Il faut prendre compte que ce genre est caractérisé pour avoir une

préférence pour les substrats organiques tels que le bois, débris, feuilles et racines d'aulne submergées. (Hoffmann 2000)

Tableau 4-1 Genres présents en 1973 et non-retrouvés en 2018

Genres de 1973 non-retrouvés en 2018 dans le Secteur Amont (Source de la Loue et Mouthier)	G.I.	Genres de 1973 non-retrouvés en 2018 dans le Secteur Aval (Homelon et Cléron)	G.I.
<i>Chloroperla</i>	9	<i>Brachycentrus</i>	8
<i>Isoperla</i>	9	<i>Goera</i>	8
<i>Phlypotamus</i>	8	<i>Glossosoma</i>	7
<i>Silo</i>	8	<i>Notidobia</i>	7
<i>Brachycentrus</i>	8	<i>Cheumatopsyche</i>	6
<i>Ephemera</i>	7	<i>Metalype</i>	6
<i>Polycentropus</i>	6	<i>Polycentropus</i>	6
<i>Anabolia</i>	4	<i>Paralephophlebia</i>	6
<i>Halesus</i>	4	<i>Habrophlebia</i>	6
<i>Ecclisopteryx</i>	4	<i>Anabolia</i>	4
<i>Potamophylax</i>	4	<i>Potamophylax</i>	4
<i>Allogamus</i>	4	<i>Allogamus</i>	4

Le tableau 4-1 montre que les disparitions affectent toutes les classes de sensibilités aux pollution bien qu'au niveau de l'amont les disparition compris plus de taxons sensibles de classe 9 et 8 que dans le partie aval.

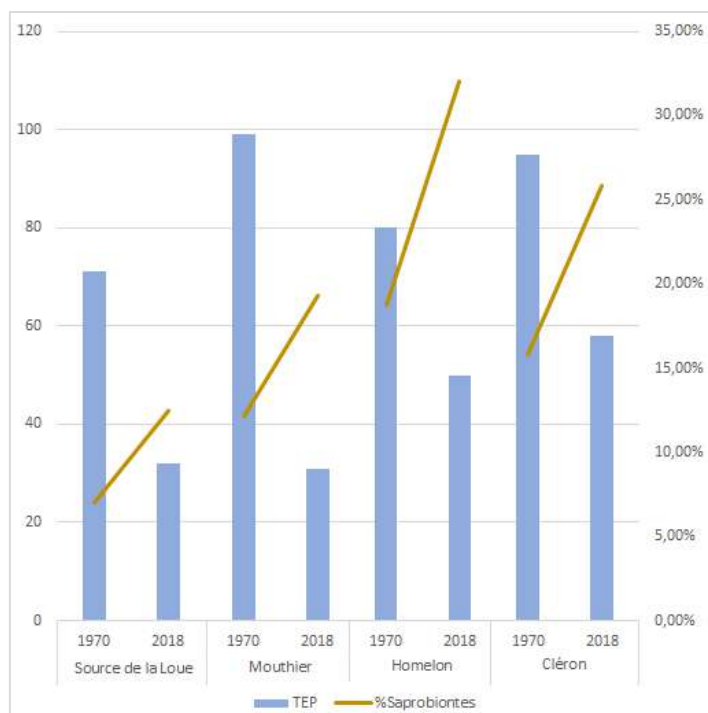


Figure 4.8 Schéma de l'évolution spatio-temporelle de sommes de classes d'abondance TEP et pourcentage de saprobiontes TEP

Dans autre lieu, dans le figure 4.8, s’observe que même si les abondances de TEP ont diminué en amont aussi bien en aval, la proportion de taxons saprobiontes ont augmenté. Cela peut suggérer une pollution d’origine organique plus accentué en aval.

A partir de ces contrastes avec les données obtenus par Jean Verneaux dans les années 1970 , une dégradation de la qualité biologique en termes d’abondance et perte de diversité est constatée en amont aussi bien qu’en aval, mais qui est plus accentué en amont, à la source de la Loue et Mouthier. Cette situation suggère qu’une pollution dès la source liée aux écoulements karstiques qui vient de la rivière Doubs a dégradé la qualité de l’édifice macrobenthique dans le secteur amont mais qui trouve une récupération vers la aval grâce à un phénomène de autoépuration (Ducrot 2017).

4.2 Comparaison du peuplement macrobenthique des années 2017-2018

La même démarche effectuée pour comparer des différents groupes du peuplement macrobenthique entre cette année avec ceux des années 1970, a été fait aussi pour l’année 2017. Pour cela, les données faunistiques des classes d’abondances des stations Mouthier, Vuillafans et Cléron, prélevés dans les deux années, ont été utilisées.

En général, au niveau de sommes de classes d’abondance total, une diminution de 30% a été observé à Mouthier par rapport à l’abondance constatée en 2017. A Vuillafans la diminution était de 16% alors que à Cléron, était de 7%.

En ce qui concerne l’abondance de groupe EPT sur l’ensemble des trois stations, une décline de 18% a été observé pour les abondances de cette année. La diminution était plus accentuée à Mouthier (30%), tandis que à Vuillafans et Cléron la diminution était de 11% et 15% respectivement.

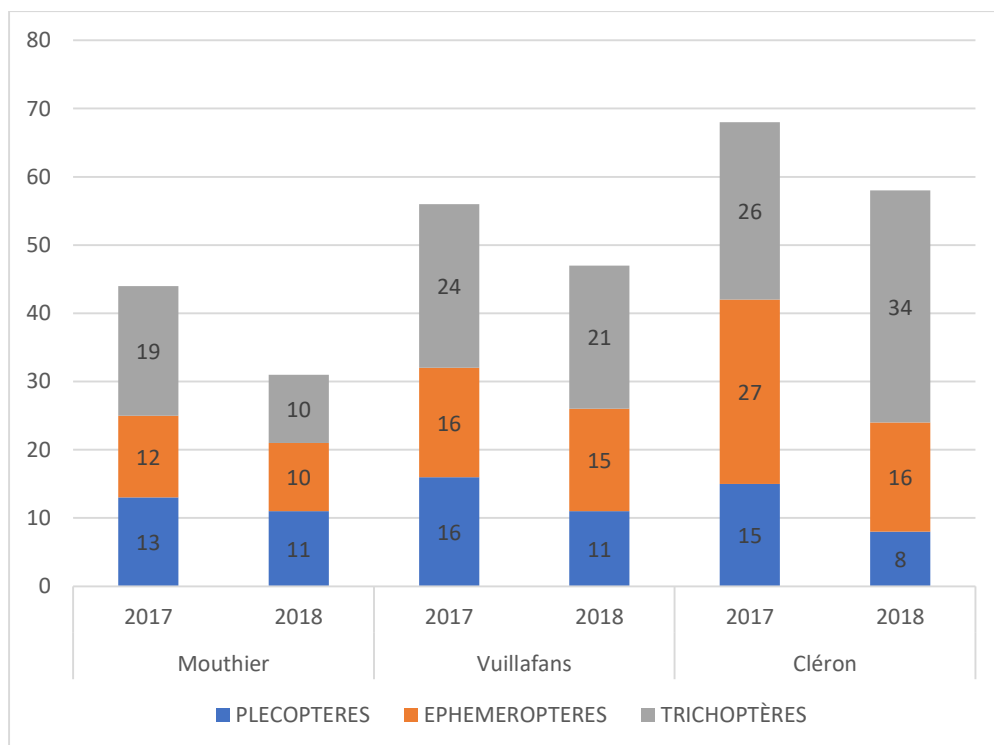


Figure 4.9 Comparaisons de évolutions spatiales des sommes de classes d’abondances des EPT observés en 2017 et 2018

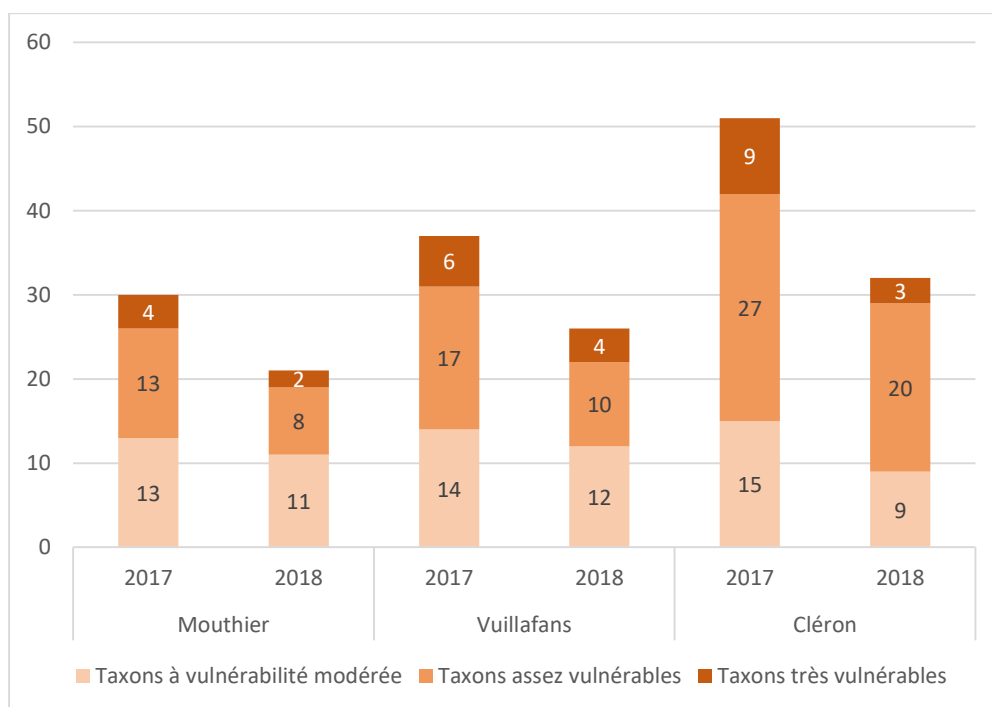


Figure 4.10 Comparaisons de évolutions spatiales des sommes de classes d'abondances des taxons regroupées en fonction de leur vulnérabilité pour les années 2017 et 2018

Chez les Plécoptères, la diminution d'abondance par rapport à celle trouvée en 2017, était de 32% en prenant comme l'ensemble de trois stations. Cependant une diminution assez forte de 46,7% d'abondance est notée à Cléron. Sur les stations à Mouthier et Vuillafans les chutes d'abondance est de 15,4% et 31,3% respectivement. Au niveau de genres polluo-sensibles, une forte chute du genre *Dinocras* sur les trois stations a été constatée, étant la station Cléron où la chute était plus accentuée. Il faut noter que pendant l'année 2017, ce taxon très vulnérable a été bien présent à l'aval (Classe d'abondance 4), alors que cette année, il était absent. Concernant les taxons à vulnérabilité modérée (*Leuctra*, *Nemoura* et *Protonemura*), les sommes de classes d'abondances sont presque homogènes sur les trois stations.

Ce genre a une affinité pour les grandes rivières à écoulement rapide et à fond caillouteux avec des dépôts sablonneux (Reding 2018). En effet, une altération au niveau de fonds (colmatages de fonds par les sédiments fins) et des vitesses d'écoulement (variations fortes du débit) peuvent être les facteurs de perturbation les plus importantes pour expliquer son absence.

En prenant comme le genre *Isoperla* (qui présente une locomotion rampant) a une préférence de habiter les dalles, blocs, pierres ou les galets (Tachet et al. 2010), l'enlèvement des sédiments des fonds lors de grandes crues, peut-être plus accentué à Mouthier, peut générer son absence.

Pour les Epheméroptères, la diminution d'abondance par rapport à celle trouvée en 2017 est de 21%, bien qu'une diminution soit assez notable à l'aval, qui atteint une valeur de 40,7%. A l'amont il avait une diminution de 17%, alors que à Vuillafans s'observe une augmentation de 15% pour cette année par rapport à l'année précédente. Au niveau de vulnérabilité du peuplement, sur les taxons assez vulnérables (*Torleya*, *Ephemera*, *Ecdyonurus*, *Epeorus* et *Rhithrogena*), une diminution moyenne de 40% s'observe sur les 3 stations. Les individus du genre *Rhithrogena* ont une chute de 50% sur tous les stations.

Concernant au groupe de taxons à vulnérabilité modérée (*Habroleptoides* et *Paraleptophlebia*), ils ont été bien présents à Cléron en 2017 alors que cette année sont presque absentes. Olsen et Townsend (2005), lors d'une étude qui évalue la zone hyporhéique autant que zone de refuge des macroinvertébrés vis-à-vis aux inondations (débit 7,3 m³/s et 10,4 m³/s) en Nouvelle Zélande, avaient observés que l'abondance des individus

de la famille *Leptophlebiidae* avait fortement diminué dans la zone hyporhéique après des inondations. Seulement des faibles densités ont été observés sur les substrats sableux et des gravières. Cela peut expliquer la diminution des *Habroleptoïdes*, *Paraleptophlebia* pour 2018, en prenant compte qu'un débit plus forte (25 m³/s) peut avoir accentué cet effet.

Par rapport les taxons polluo-résistants (*Baetis*, *Caenis* et *Serratella*), ils se sont retrouvés deux fois plus abondants cette année que l'année précédente sur l'ensemble des trois stations. L'abondance maximale de ces taxons ont été observés à Vuillafans avec une présence importante du genre *Serratella*.

Pour les Trichoptères, sur l'ensemble des trois stations il avait une faible diminution d'abondance (6%) cette année par rapport à l'observé en 2017. Cependant des différences d'abondance évalués pour chaque station sont plus remarquables. A Mouthier, une diminution de 47% des abondances de Trichoptères a été observé alors que à Vuillafans la diminution était de 12%. Cependant, à l'aval (Cléron) une augmentation d'abondance de 30% s'observe pour cette année. Concernant aux taxons groupés par sa vulnérabilité, des faibles quantités des taxons vulnérables (*Brachycentrus* et *Silo*) sont observés sur les trois stations. Pour les taxons assez vulnérables (*Glossosoma*, *Lasiocephala*, *Lepidostoma*, *Drusus*, *Odontocerum* et *Sericostoma*), des diminutions d'abondance par rapport l'année 2017 sont observées à Mouthier et Vuillafans alors qu'une faible augmentation s'observe à Cléron. En ce qui concerne les taxons polluo-résistants et/ou saprobiontes (*Hydropsyche* et *Hydroptila*), il avait une augmentation de 23% d'abondance cette année par rapport l'année précédente, dont *Hydroptila* était le taxon le plus abondant à Vuillafans et à Cléron.

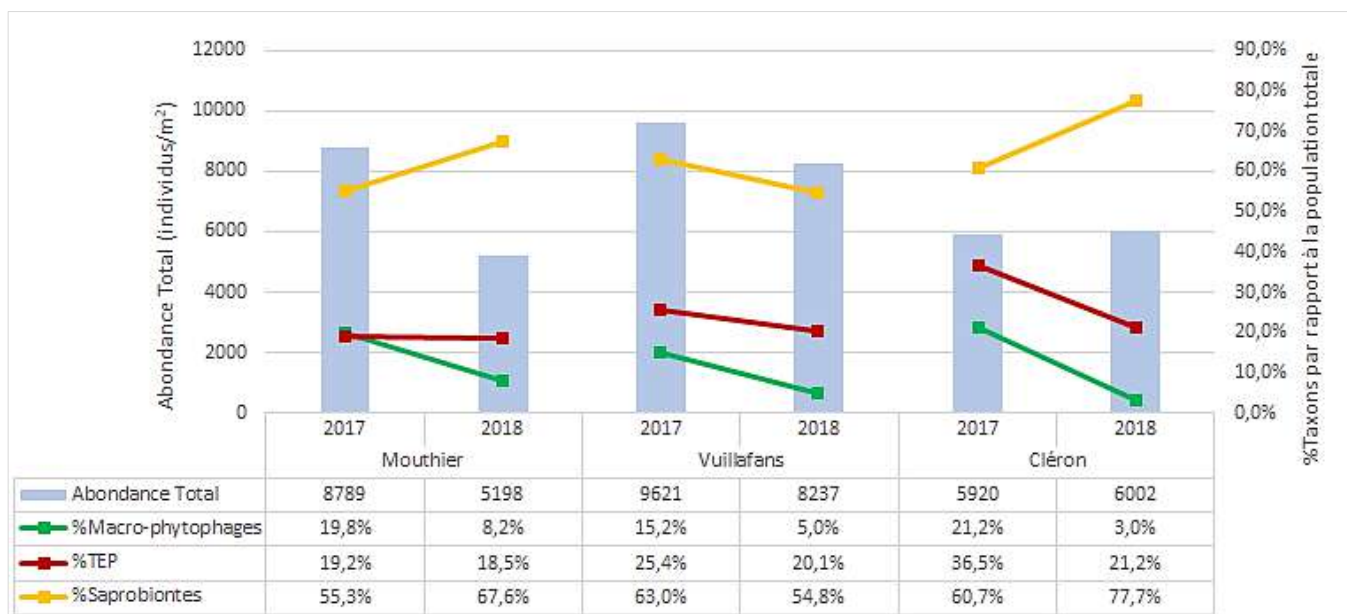


Figure 4.11 Schéma de l'évolution spatio-temporelle des pourcentages (par rapport à la population totale) de TEP, de taxons saprobiontes et/ou polluo-résistants et des taxons macrophytophages

Le figure 4.11 permet d'avoir une vision plus globale sur l'évolution des groupes TEP, macrophytophages et saprobiontes sur les trois stations entre l'année 2017 et 2018.

Concernant le groupe de macrophytophages, des fortes diminutions en pourcentage sont observés pour cette année par rapport 2017 sur les trois stations. A Mouthier la diminution est expliquée principalement par la chute d'abondance de *Rhithrogena* (de 246 individus par m² à 39 individus par m²) et la chute d'abondance des *Gammarus* (de 1466 individus par m² à 379 individus par m²). A Vuillafans et à Cléron, également les chutes en pourcentage sont expliquées par la chute de ces deux genres, principalement de *Gammarus*.

Pour les taxons saprobiontes, leur abondance sont plus élevés à Mouthier et à Cléron. Ce qui peut suggérer un enrichissement de matériaux organique dans l'eau sur les deux stations. (Figure 4.11)

4.3 Variation du peuplement macrobenthique pendant la période 2017-2018 en lien la variation de débit

Le débit est un facteur important qui détermine la distribution, abondance et diversité de la communauté macrobenthique car à travers de la variation de ses forces hydrodynamiques il peut influencer la composition de substrats, la chimie de l'eau et la disponibilité des habitats. (Theodoropoulos et al. 2017)

L'abondance et diversité des macroinvertébrés généralement diminue en réponse à l'altération que ce soit d'une augmentation ou une baisse de l'ampleur du débit (Poff et Zimmerman 2010). Pour le cas de cette étude, en 2017 où la Loue était caractérisé pour rester en conditions d'étiage, l'abondance et diversité de macroinvertébrés ont été plus élevés que cette année et dans les années 2012 et 2013. (Années avec une fréquence des débits élevés).

Theodoropoulos et al. (2017) ont trouvé que l'abondance des macroinvertébrés, la richesse taxonomique, la richesse et la diversité des TEP ont diminué de manière significative de 90%, 60%, 50% et 25% respectivement entre les micro-habitats avant et après l'impact de grandes crues en 4 rivières en Grèce. Leurs résultats montrent aussi que le major abondance de macroinvertébrés, richesse taxonomique, richesse et diversité des TEP ont été observés en vitesse d'écoulement entre 0,3 m/s et 0,75 m/s dans des profondeurs d'eau proches de 0,2 m (toutes les mesures diminuant rapidement en des profondeurs supérieures à 0,4 m) et dans des substrats plus grossiers mais qui présentent une grande variabilité. De ce fait, le majeure abondance et variété au niveau du peuplement total et de TEP observée en 2017 peuvent être expliqués par une période plus longue (par rapport à 2018) avec la présence de ces mêmes conditions.

Lors de fortes crues et après, des grandes quantités de matériaux organique et inorganique sont mobilisés vers l'aval en altérant la chimie de l'eau et en effet la composition du peuplement macrobenthique (Lake 2000). De ce fait, plus de sédiments et matière particulaire en suspension d'origine agricole lessivés par la pluie peuvent avoir arrivés à la rivière en provoquant un impact sur les habitats au fond. Burdon, McIntosh, et Harding 2013 ont trouvé sur rivières des bassins versants agricoles que la diminution de taxons pollue-sensibles avait été fortement liée au dépôt de sédiment fine inorganique (<2 mm) en provoquant la perte d'habitat benthique par le remplissage des espaces interstitiels et l'enterrement de substrat grossier. En plus leurs résultats ont montré que l'effet des sédiments et débit sur la composition EPT étaient plus fortes que l'effet des concentrations d'azote dissous ou phosphore réactif dissous. Les mesures de la concentration de Carbone Organique Total sur les lysimètres peut expliquer de manière indirecte l'arrivée des sédiments et MES en prenant compte que lors des orages leur exportation est significativement importante sur parcelles agricoles (Glendell et Brazier 2014).

Comparaison des *Dinocras* cette année par rapport 2017

Sur l'ensemble des stations Mouthier, Vuillafans et Cléron l'abondance totale de *Dinocras* avait diminué 70,3% cette année par rapport l'année 2017. A Cléron, ce taxon a été absent. Ces chutes peuvent être expliqués par les conditions de milieux en termes de régime thermal et débit qui ont été présentes dans les deux années. L'année 2017 caractérisé pour rester en « étiage » ont eu une majeure abondance de *Dinocras* car ces taxons a une préférence pour habiter les zones latérales des grands cours d'eau bien ensoleillées et peu profonds. (Reding 2018). Une diminution de la température et l'augmentation du débit peuvent être les causes principales de la forte diminution de *Dinocras*.

D'un autre côté les chironomidaes, éphéméroptères (*Baetis*) et oligochètes servent de base à l'alimentation des larves de *Dinocras megacephala* (Verneaux et Mouthon 1979). Cependant, même si cette année il y avait plus de Chironomidaes à Mouthier et à Cléron les *Dinocras* ont été en faibles densités ou absents par rapport à l'année 2017, en effet il peut suggérer la présence de différents polluants qui sont arrivés cette année lors des fortes précipitations auxquelles ces taxons (catégorie très vulnérables) ne sont pas tolérants. Il faut prendre en compte que ce taxon était bien présent à Mouthier et Cléron dans les années 1970.

Comparaison du peuplement du *Gammarus* entre 2017 et 2018

Un effet écotoxicologique progressive des nitrates dans la Haute Loue peut expliquer les faibles quantités de Gammaridaes observés cette année à Mouthier, Vuillafans et Cléron par rapport à leurs abondances constatées en 2017. D'après une étude de toxicité des nitrates faite par Camargo, Alonso, et Salamanca (2005), sur des taxons Gammaridaes du genre *Eulimnogammarus* et *Echinogammarus*, a démontré que concentrations de 19,1 et 8,5 mg NO₃-N/l respectivement peuvent provoquer la mortalité de 10% de ces taxons en conditions de 120 heures. Par conséquent, en prenant compte que dans le secteur de Lods la Loue avait un moyen de 12,86 mg NO₃-N/l entre février 2017 et avril 2018, l'hypothèse d'effet toxicologique des nitrates le genre *Gammarus* peut être validé.

Dans un autre lieu, lors de son étude de l'impact de crues sur la composition macrobenthique, Theodoropoulos et al. 2017 ont trouvé que l'abondance des taxons filtreurs actifs ont diminué après l'impact des crues. En effet la diminution de densité des *Gammarus* sur les trois stations par rapport à l'année précédente ça peut être expliqué par l'impact des fortes crues, en prenant compte que ce taxon est considéré autant que filtreur actif.

Variation du peuplement des *Baetidae*, *Heptageniidae*, *Hydroptilidae* et *Chironomidae* en lien avec l'effet de grandes crues

Les macroinvertébrés ont des adaptations à niveau morphologique, physiologique et du comportement qui leur permet de résister aux perturbations physiques. Ces adaptations incluent des corps de petite taille et des structures spécialisées telles que le mucilage, les crochets et les drageons tandis que de nombreux animaux se déplacent vers des micro habitats (refuges) qui offrent une protection contre les inondations. (Theodoropoulos et al. 2017)

Selon les résultats de cette année, les *Baetis* et *Serratella* n'ont pas diminué leur abondance par rapport à celle de 2017, contrairement à ce qui s'est passé dans la plus part des taxons TEP. Cela pourrait être dû à une stratégie utilisée par les deux taxons pour réduire le risque d'être endommagé par les fortes crues. Cette stratégie s'agit d'une extension du stade embryonnaire suivie d'une accélération de la croissance larvaire et d'une courte période de métamorphose, car l'apparition des jeunes larves et la récupération des larves après les flux de mobilisation des sédiments lors de grandes crues ont été constatés dans différentes études. (K. J. Maier 2001)

En ce qui concerne les *Heptageniidae*, cette année il y avait une diminution d'abondance dans les trois stations. Cependant, la chute d'abondance était plus marquée pour le taxon *Rhithrogena*. D'après Harker (1953), parmi les autres taxons de la même famille, *Heptagenia* et *Ecdyonurus*, *Rhithrogena* est le taxon le plus résistant aux grandes crues. Selon l'étude faite par Maier (2001) pour mesurer l'effet sur les macrobenthos des forts débits lors des inondations, une faible variation de l'abondance de *Rhithrogena* était observée sous un débit entre 10 et 15 m³/s alors que sous un débit de 25 m³/s, son abondance était notamment endommagée. En prenant compte que lors de la période humide de cette année, les débits ont atteint des pics qui dépassaient cette valeur, il semble que la chute d'abondance de *Rhithrogena* était liée à ces conditions hydrologiques, malgré sa capacité de se récupérer en quelques jours (12 jours) comme était constaté par l'étude de Matthaei, Uehlinger, et Frutiger (1997).

Concernant, l'augmentation notable de *Hydroptilidae* observées sur les stations Vuillafans et Cléron, un transport des microalgues vers l'aval peuvent être favorisé lors de grandes crues car les Hydroptilidae sont caractérisés pour consommer exclusivement ces organismes. (Tomanova, Goitia, et Helešić 2006)

Pour les Chironomidaes, la diminution d'abondance n'ont pas été notables à Mouthier et Vuillafans. Il y a même une augmentation du peuplement à Cléron. Il semble que ce taxon n'a pas été affecté par les grandes crues qui avait lieu cette année . Cela peut être dû à que les Chironomidaes sont normalement plus abondante dans les sédiments des couches profondes (K.-J. Maier 1994), qui peuvent leur donner une protection vis-à-vis des forces hydrodynamiques des crues, accompagnée avec le transport des sédiments.

Dans autre lieu les changements des charges des nutriments interannuel sur des rivières peut influencer un décalage sur la composition macrobenthique. En effet, d'après une étude fait par Chambers et al. (2006) sur 4 sous-bassins versant agricoles en Allemagne, le virement d'une communauté composé principalement de Chironomidae-Amphipodes à une autre composé par Oligochètes-Gastéropodes a été lié à la diminution régulière des teneurs de DIN (Azote inorganique dissous) ainsi que de faibles concentrations de sédiments d'origine algale et l'augmentation de sédiments transporté par des précipitations. Cela peut expliquer la diminution de *Gammarus* sur les trois stations en faveur de gastéropodes *Potamopyrgus* entre 2017 et 2018 en prenant compte qu'un fort lessivage de sédiments aurait pu arriver à la Loue du fait d'une grande fréquence des précipitations cette année.

5 Conclusion et perspectives

Par rapport l'état actuel du peuplement macrobenthique

Le secteur amont qui compris la Source et Mouthier ont montré une qualité moyenne de l'eau. Cela se manifeste par le déficit et absence des taxons plécoptères très vulnérables et des taxons éphéméroptères et Trichoptères appartient à la catégorie assez vulnérable et à vulnérabilité modéré. Il faut prendre compte que ces taxons ont été bien présents pendant les années 1970. En effet, il serait intéressant de faire un suivi de qualité chimique au niveau de la source et Mouthier pour découvrir avec précision la source de pollution qui touche ces secteurs.

Dans autre lieu, un phénomène d'autoépuration a été observé vers l'aval, étant la station Montgesoye qui avait des très bons indices de qualité biologiques et le major abondance et variété taxonomique parmi les 6 stations. Cependant, entre Montgesoye et Homelon, cette capacité descend. Par conséquence Il serait intéressant d'évaluer les facteurs liés à cette diminution.

Concernant aux classes d'abondance observées dans les années 2012 et 2013

Prenant compte que les conditions hydrologiques lors de période humide dans les années 2012 et 2013 étaient similaires à ceux du 2018, des faibles scores d'abondance ont été observées surtout à l'amont entre la source de la Loue et Mouthier. La capacité autoépuratrice vers l'aval ont était inférieures en 2012 et 2013 que celle observé cette année. Il serait intéressant de faire une comparaison au niveau de genres pour savoir quel taxon en particulièrement leur densité a été touchés et quels autres ont résistés ou même proliférés sous conditions de grand débit. De cette manière une tendance peut être visualisé pour les prochaines années très humides.

En relation les comparaisons de composition des peuplements observées en 2017 et 2018

Sur les trois stations Mouthier, Vuillafans et Cléron, il avait une diminution généralisée cette année par rapport 2017 au niveau des groupes polluosensibles TEP et macrophytophages mais qui étaient plus accentué à Mouthier. Au niveau de genres, des fortes chutes d'abondance sur les *Gammaridae* dans les trois stations ont été constatés. Par conséquence, une altération de la capacité biogène observé cette année aurait pu être dû

à l'altération physique des habitats benthonique provoqué pour les grandes crues et l'apporte croissant des sédiments fines aux cours d'eau lors des événements orageux. Il serait intéressant de faire une campagne de prélèvement en octobre afin d'observer si le peuplement macrobenthique s'ont récupéré.

Par rapport les résultats de lysimètres, ils ne sont pas suffisants pour donner une conclusion liée aux concentrations présent sur la Loue et la Brême car il est en cours d'expérimentation. Les résultats de flux de nutriments à ce moment n'ont pas des tendances claires, cependant avec le temps il peut montrer une tendance significative .

6 Bibliographie

- Adam, O. 2008. « Impacts des produits de traitement du bois sur les amphipodes *Gammarus pullex* (L.) et *Gammarus Fossarum* (K.) : approche chimique, hydro-écologique et écotoxicologique ». Université de Franche-Comté.
- Agence de l'eau. 1995. « Qualité des eaux superficielles, Bassin de la Loue ».
- Allogho Ondo, Fulgence, et Rota Thibaut. 2014. « CAUSES ET CONSÉQUENCES DU COLMATAGE DES FONDS DE LA RIVIÈRE LOUE (HAUTE ET MOYENNE) PAR LES ALGUES FILAMENTEUSES Impact écotoxicologique des sédiments de la Haute Loue », 125 (avec annexes).
- Atteia, Olivier. 2015. *Chimie et Pollutions des eaux souterraines*. Édité par Brigitte Peyrot. Lavoisier. Paris.
- Badot, Pierre-Marie, Eric Lucot, Etienne Chanez, et François Degiorgi. 2015. « Étude de l'état de santé des rivières karstiques en relation avec les pressions anthropiques sur leurs bassins versants. Volet qualité physique et chimique ». Vol. 2018.
- . 2018. « Étude de l'état de santé des rivières karstiques en relation avec les pressions anthropiques sur leurs bassins versants. Rapport de la tranche 2B. Volet Fonctionnement des sols agricoles du bassin versant ».
- Banque Hydro. s. d. « SYNTHÈSE : données hydrologiques de synthèse (1954 - 2018) Calculées le 08/08/2018 - Intervalle de confiance : 95 % La Loue à Vuillafans ». Consulté le 13 août 2018. <http://www.hydro.eaufrance.fr/presentation/procedure.php>.
- Benoist, Johan. 2015. « Structure et dynamique des communautés macrophytiques aquatiques de la Haute Loue », n° Université de Franche-Comté: 51.
- Bichet, Vincent, et Michel Campy. 2008. *Montagnes du Jura: Géologie et paysages*. Édité par NEO Editions.
- Burdon, Francis J., Angus R. McIntosh, et Jon S. Harding. 2013. « Habitat loss drives threshold response of benthic invertebrate communities to deposited sediment in agricultural streams ». *Ecological Applications* 23 (5): 1036-47. <https://doi.org/10.1890/12-1190.1>.
- Camargo, Julio A., Alvaro Alonso, et Annabella Salamanca. 2005. « Nitrate toxicity to aquatic animals: A review with new data for freshwater invertebrates ». *Chemosphere* 58 (9): 1255-67. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.10.044>.
- Caqueux, M. 2014. « Etude de la gestion de l'eau en entreprise sur le bassin versant de la Loue. » Université de Franche-Comté.
- Chambers, P. A., R. Meissner, F. J. Wrona, H. Rupp, H. Guhr, J. Seeger, J. M. Culp, et R. B. Brua. 2006. « Changes in nutrient loading in an agricultural watershed and its effects on water quality and stream biota ». *Hydrobiologia* 556 (1): 399-415. <https://doi.org/10.1007/s10750-005-1202-5>.
- Chanez, Etienne, François Degiorgi, Eric Lucot, et Pierre-Marie Badot. 2014. « Les flux d'azote et de phosphore dans le bassin versant de la haute et moyenne Loue. Approche à partir des données

institutionnelles disponible », 109.

- Decourcière, H, et F Degiorgi. 2000. « Protocole d'analyse semi-quantitative des communautés benthiques: le MAG20. » *Teleos 2* (Verneaux 1982): 4 p.
- Decourcière, Hervé, et B Martin. 1998. « Situation typologique et qualité écologique actuelle de l'hydrosystème Haute-Loue ». Université de Franche-Comté.
- Ducrot, Alexia. 2017. « Influence de la dynamique de la production des algues filamenteuses sur la macrofaune benthique de la Haute-Loue ». Université de Franche-Comté.
- Glendell, M., et R. E. Brazier. 2014. « Accelerated export of sediment and carbon from a landscape under intensive agriculture ». *Science of the Total Environment* 476-477. Elsevier B.V.: 643-56. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.01.057>.
- Guo, Fang, et Æ Guanghui Jiang. 2009. « Nitrogen budget of a typical subterranean river in peak cluster karst area », 1741-48. <https://doi.org/10.1007/s00254-008-1673-6>.
- Harker, Janet E. 1953. « An investigation of the distribution of the mayfly fauna of a Lancashire stream ». *Journal of Animal Ecology* 22: 1-13.
- Hoffmann, Andreas. 2000. « The association of the stream caddisfly *Lasiocephala basalis* (Kol.) (Trichoptera: Lepidostomatidae) with wood ». *International Review of Hydrobiology* 85 (1): 79-93. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1522-2632\(200003\)85:1<79::AID-IROH79>3.0.CO;2-U](https://doi.org/10.1002/(SICI)1522-2632(200003)85:1<79::AID-IROH79>3.0.CO;2-U).
- Lake, P.S. 2000. « Disturbance, patchiness, and diversity in streams ». *Journal of the North American Benthological Society* 19, no. 4, 573-92.
- Maier, K. -J. 1994. « Effects of spates on the benthic macroinvertebrate Community of a prealpine river (First results). » *Verh. Int. Verein. Limnol* 25: 1605-8.
- Maier, K J. 2001. « The influence of floods on benthic insect populations in a Swiss mountain stream and their strategies of damage prevention ». *Archiv Fur Hydrobiologie* 150 (2): 227-47.
- Malverti, Luce. 2011. « Étude des colmatages minéraux et algaux des fonds de la Loue (25): conséquences sur les compartiments biologiques », n° 25.
- Matthaei, C D, U Uehlinger, et A Frutiger. 1997. « Responses of benthic invertebrates to natural versus experimental disturbances in a Swiss prealpine river ». *Freshwater Biology* 37: 61-77.
- Muller, Jean-Charles. 1996. *30 ans de lysimétrie en France (1960-1990)*. Édité par Inra. 2006^e éd.
- Nisbet, M, et J Verneaux. 1970. « Composantes chimiques des eaux courantes ». *Annales de Limnologie* 6 (2): 161-90. <https://doi.org/10.1051/limn/1970015>.
- Olsen, Dean A., et Colin R. Townsend. 2005. « Flood effects on invertebrates, sediments and particulate organic matter in the hyporheic zone of a gravel-bed stream ». *Freshwater Biology* 50 (5): 839-53. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2005.01365.x>.
- Poff, N. Leroy, et Julie K.H. Zimmerman. 2010. « Ecological responses to altered flow regimes: A literature review to inform the science and management of environmental flows ». *Freshwater Biology* 55 (1): 194-205. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2009.02272.x>.
- Reding, Jean-paul G. 2018. *GUIDE PRATIQUE D' IDENTIFICATION DES PLÉCOPTÈRES DU MASSIF DU JURA LARVES AU GENRE ET À L' ESPÈCE*. Vol. 5.
- Scott, J. T., S. M. Lambie, B. A. Stevenson, L. A. Schipper, R. L. Parfitt, et A. C. McGill. 2015. « Carbon and nitrogen leaching under high and low phosphate fertility pasture with increasing nitrogen inputs ». *Agriculture, Ecosystems and Environment* 202: 139-47. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.12.021>.

- Tachet, Henry, Philippe Richoux, Michel Bournaud, et Philippe Usseglio-Polatera. 2010. *Invertébrés d'eau douce systématique, biologie, écologie*. CNRS EDITI. Paris.
- Teleos. 2002. « Étude des potentiels écologiques aquatiques des sites Natura 2000 de la Loue et du Lison », 90.
- Theodoropoulos, Christos, Aikaterini Vourka, Anastasios Stamou, Peter Rutschmann, et Nikolaos Skoulikidis. 2017. « Response of freshwater macroinvertebrates to rainfall-induced high flows: A hydroecological approach ». *Ecological Indicators* 73. Elsevier Ltd: 432-42.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.10.011>.
- Tomanova, Sylvie, Edgar Goitia, et Jan Helešic. 2006. « Trophic levels and functional feeding groups of macroinvertebrates in neotropical streams ». *Hydrobiologia* 556 (1): 251-64.
<https://doi.org/10.1007/s10750-005-1255-5>.
- UMR 6249 CNRS-UFC INRA Chrono-environnement. 2015. « Étude de l'état de santé des rivières karstiques en relation avec les pressions anthropiques sur leurs bassins versants. Volet Capacités biogènes de la Loue , du Doubs amont et du Lison », 1-68.
- Vernaux, Jean. 1973. *Cours d'eau de Franche-Comté (massif du Jura) – Recherche écologique sur le réseau hydrographique du Doubs – Essai de biotypologie*. Besançon.
- Verneaux, Jean. 1973. *Cours d'eau de Franche-Comté (massif du Jura). Recherches écologiques sur le réseau hydrographique du Doubs. Essai de biotypologie. Thèse d'état, Université de Franche-Comté*.
- Verneaux, Jean, et J Mouthon. 1979. « Le regime alimentaire de *Dinocras megacephala* (Klapalek) (Plecoptera, Perlidae) ». *Annls Limnol* 14 (3): 203-14.
- Vitousek, Peter M, John D Aber, Robert H Howarth, Gene E Likens, Pamela A Matson, David W Schindler, William H Schlesinger, et David G Tilman. 1997. « Human alteration of the global nitrogen cycle: Source and consequences ». *Ecol Appl* 7 (3): 737-50. <https://doi.org/10.1038/nn1891>.
- Wood, P. J., A. R. Vann, et P. J. Wanless. 2001. « The response of *Melampophylax mucoreus* (Hagen) (Trichoptera: Limnephilidae) to rapid sedimentation ». *Hydrobiologia* 455: 183-88.
<https://doi.org/10.1023/A:1011985403744>.

Annexes

Annexe 1 : Liste des substrats supports, des classes de vitesses et de hauteurs d'eau pour des prélèvements macrobenthiques	44
Annexe 2 : Tableau de calcul de la note IBGN.....	45
Annexe 3 : Liste des taxons indicateurs pour le Cb2 et formule de calcul.....	46
Annexe 4 : Liste faunistique des MAG 20.....	47
Annexe 5 : Cotes d'abondances des taxons du MAG20.....	55
Annexe 6 Flux de nutriments prélevés dans les lysimètres installés à Chasnans et concentrations de ces nutriments sur la Loue à Lods	56
Annexe 7 Flux de nutriments prélevés dans les lysimètres installés à Bonnevaux et Trépot et concentrations de ces nutriments sur la Brême.....	61

Annexe 1 : Liste des substrats supports, des classes de vitesses et de hauteurs d'eau pour des prélèvements macrobenthiques

Codification des substrats/supports et hiérarchisation de leur attractivité

Codes	Désignation
S9	Bryophytes
S8	Spermaphytes immergés
S7	Éléments organiques grossiers (Litières, branchages, racines)
S6	Sédiments minéraux de grande taille (Pierres, galets) 2,5 cm à 25 cm
S5	Granulats grossiers 0,25 cm à 2,5 cm
S4	Spermaphytes émergents
S3	Sédiments fins +- organiques "vases" ≤ 0,1 mm
S2	Sables et limons < 0,25 cm
S1	Surfaces naturelles et artificielles (Roche, dalle, sols, parois) >25 cm
S0	Algues ou à défaut marne et argile

Codification non hiérarchisée des vitesses et de hauteurs d'eau

Code	Vitesses
V1	< 5 cm/s
V3	6 à 25 cm/s
V5	26 à 75 cm/s
V4	76 à 150 cm/s
V2	> 151 cm/s

Code	Hauteurs
H1	< 5 cm
H2	6 à 25 cm
H3	26 à 50 cm
H4	51 à 100 cm
H5	> 101 cm

Annexe 2 : Tableau de calcul de la note IBGN

Classe de variété		14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Taxons	Σt	>	49	44	40	36	32	28	24	20	16	12	9	6	3
Indicateurs	GI	50	45	41	37	33	29	25	21	17	13	10	7	4	1
Chloroperlidae Perlidae Perlodidae Taeniopterygidae	9	20	20	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9
Capniidae Brachycentridae Odontoceridae Philopotamidae	8	20	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8
Leuctridae Glossosomatidae Beraeidae Goeridae Leptophlebiidae	7	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7
Nemouridae Lepidostomatidae Sericostrimatidae Ephemeridae	6	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6
Hydroptilidae Heptageniidae Polymitarcidae Potamanthidae	5	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5
Leptoceridae Polycentropodidae Psychomyidae Rhyacophilidae	4	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4
Limnephilidae 1) Hydropsychidae Ephemerellidae 1) Aphelocheiridae	3	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3
Baetidae 1) Caenidae 1) Elmidae 1) Gammaridae 1) Mollusques	2	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2
Chironomidae 1) Asellidae 1) Achètes Oligochètes 1)	1	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
1) Taxons représentés par au moins 10 individus - Les autres par au moins 3 individus															

Annexe 3 : Liste des taxons indicateurs pour le Cb2 et formule de calcul

<p>i = 9 (5)</p> <p>Astacidae (except. A. leptoactylus et P. tenuisculus) Beraeidae Chloroperlidae Perlodidae Thremmatidae</p>	<p>i = 5 (16)</p> <p>Aeschnidae Blephariceridae Bythinellidae Ceratopogonidae Cordulegasteridae Ecnomidae Elmidae Gomphidae Hydraenidae Leptoceridae Libellulidae Limoniidae Planariidae Sialidae Stratomyidae Tipulidae</p>	<p>i = 2 (8)</p> <p>Ancylidae Atyidae Baetidae Bithynidae Cambanidae Glossiphoniidae Planorbidae Valvatidae</p>
<p>i = 8 (8)</p> <p>Brachycentridae Capniidae Goeridae Oligoneuridae Perliidae Philopotamidae Siphonuridae Taeniopterygidae</p>	<p>i = 4 (14)</p> <p>Apheloceridae Calopterygidae Coenagrionidae Dugesidae Dytiscidae Ephemerellidae Gyrinidae Limnebiidae Limnephilidae Platycnemididae Simuliidae Sphaeriidae Tabanidae Unionidae</p>	<p>i = 1 (5)</p> <p>Asellidae Chironomidae Dreissenidae Erpobdellidae Oligochètes</p>
<p>i = 7 (11)</p> <p>Empididae Ephemeridae Glossosomatidae Helophoridae Heptageniidae Lepidostomatidae Molannidae Odontoceridae Polymitarcidae Potamanthidae Sericostomatidae</p>	<p>i = 3 (11)</p> <p>Caenidae Corixidae Dendrocoelidae Gammaridae Hydrobiidae Hydropsychidae Limnaeidae Neritidae Rhyssidae Piscicolidae Viviparidae</p>	
<p>i = 6 (14)</p> <p>Athericidae Dryopidae Halipidae Helodidae/Scirtidae Hydrotilidae Leptophlebiidae Leuctridae Nemouridae Osmiidae Phryganeidae Polycentropodidae Psychodidae Psychomyiidae Rhyacophilidae</p>		

$Cb2 = ln + lv \quad (+/- 0,25)$

Avec $lv = 0.22 \times N$
 $ln = 1.21 \times (\sum i \text{ max. } / K)$
 N = nombre total de taxons présents dans l'échantillon global,
 n = nombre de taxons représentatifs (nombre d'individus ≥ 3),
 K = variable, fonction du rapport $n / 4$, rapprochée à l'entier par excès (si $K = 5,2$ alors 6, si $K=5,5$ alors 6, si $K=5,9$ alors 6),
 $\sum i$ équivaut à la somme des indices (i) les plus élevés, en fonction de la variable K (nombre d'individus ≥ 3).

Source de la Loue

CLASSE	ORDRE	Famille	Genre	Taxons	Ecart-type 1 m ²	% taxon
INSECTES	PLECOPTERES	Leuctridae	<i>Leuctra</i>	1	4,5	0,02
		Nemouridae	<i>Protonemoura</i>	118	218,6	2,15
			<i>Nemoura</i>	16	49,2	0,29
	EPHEMEROPTERES	Baetidae	<i>Baetis</i>	269	357,0	4,91
		Ephemerellidae	<i>Serratella</i>	6	16,0	0,11
		Heptageniidae	<i>Ecdyornurus</i>	3	13,4	0,05
	TRICHOPTERES	Limnephilidae	<i>Drusus</i>	127	166,0	2,32
			<i>Chaetopteryx</i>	79	183,4	1,44
			<i>Melampophylax</i>	162	451,3	2,96
		Psychomyiidae	<i>Tinodes</i>	10	31,5	0,18
		Rhyacophilidae	<i>Rhyacophila</i>	22	25,9	0,40
		Glossosomatidae	<i>Agapetus</i>	97	337,4	1,77
			<i>Glossosoma</i>	3	9,8	0,05
	COLEOPTERES	Elmidae	<i>Elmis</i>	633	978,1	11,56
			<i>Esolus</i>	1	4,5	0,02
			<i>Limnius</i>	1	4,5	0,02
	DIPTERES	Chironomidae		2787	2287,5	50,89
		Limoniidae		1	4,5	0,02
Psychodidae			43	72,3	0,79	
Simuliidae			6	13,1	0,11	
CRUSTACÉS	AMPHIPODES	Gammaridae	<i>Gammarus</i>	1053	1301,7	19,23
MOLLUSQUES	GASTEROPODES	Planorbidae	<i>Ancylus</i>	2	6,2	0,04
		Hydrobiidae	<i>Potamopyrgus</i>	3	7,3	0,05
VERS	OLIGOCHETES			26	94,5	0,47
	TRICLADES	Planariidae	<i>Polycelis</i>	1	4,5	0,02
HYDRACARIENS				7	27,0	0,13
<i>Total</i>				5477		100

Mouthier

CLASSE	ORDRE	Famille	Genre	Taxons	Ecart-type 1 m ²	% taxon
INSECTES	PLECOPTERES	Leuctridae	<i>Leuctra</i>	130	98,5	2,50
		Nemouridae	<i>Amphinemura</i>	4	13,9	0,08
			<i>Nemoura</i>	2	6,2	0,04
			<i>Protonemura</i>	46	66,8	0,88
		Perlidae	<i>Dinocras</i>	18	26,7	0,35
	EPHEMEROPTERES	Baetidae	<i>Baetis</i>	620	659,4	11,93
		Ephemerellidae	<i>Serratella</i>	5	14,3	0,10
			<i>Torleya</i>	7	11,7	0,13
		Heptageniidae	<i>Ecdyonurus</i>	2	8,9	0,04
			<i>Epeorus</i>	3	7,3	0,06
			<i>Rhithrogena</i>	39	67,9	0,75
	TRICHOPTERES	Glossosomatidae	<i>Agapetus</i>	3	9,8	0,06
		Hydropsychidae	<i>Hydropsyche</i>	21	39,7	0,40
		Limnephilidae	<i>Chaetopteryx</i>	3	7,3	0,06
			<i>Melampophylax</i>	1	4,5	0,02
		Odontoceridae	<i>Odontocerum</i>	9	20,0	0,17
		Psychomyiidae	<i>Psychomyia</i>	4	10,5	0,08
		Rhyacophilidae	<i>Rhyacophila</i>	42	51,1	0,81
	Sericostomatidae	<i>Sericostoma</i>	2	6,2	0,04	
	COLEOPTERES	Dytiscidae	<i>SF Hydroporinae</i>	1	4,5	0,02
		Elmidae	<i>Elmis</i>	1222	1828,6	23,51
			<i>Esolus</i>	7	14,9	0,13
			<i>Limnius</i>	90	142,4	1,73
			<i>Riolus</i>	5	12,8	0,10
	Hydraenidae	<i>Hydraena</i>	2	6,2	0,04	
	DIPTERES	Anthomyiidae		6	18,5	0,12
		Athericidae		10	16,5	0,19
		Blephaceraidae		13	29,9	0,25
		Chironomidae		2469	1539,1	47,5
		Empididae		1	4,5	0,02
Limoniidae			6	11,4	0,12	
Psychodidae			2	6,2	0,04	
Simuliidae			16	28,0	0,31	
CRUSTACÉS	AMPHIPODES	Gammaridae	<i>Gammarus</i>	379	593,2	7,29
MOLLUSQUES	GASTEROPODES	Lymnaeidae	<i>Radix</i>	2	8,9	0,04

		Planorbidae	<i>Ancylus</i>	1	4,5	0,02
VERS	OLIGOCHETES			2	6,2	0,04
HYDRACARIENS				3	9,8	0,06
<i>Total</i>				5198		100

Vuillafans

CLASSE	ORDRE	Famille	Genre	Taxons	Ecart-type 1 m ²	%Taxons
INSECTES	PLECOPTERES	Leuctridae	<i>Leuctra</i>	91	86,7	1,10
		Nemouridae	<i>Amphinemura</i>	5	8,9	0,06
			<i>Protonemura</i>	39	60,3	0,47
		Perlidae	<i>Dinocras</i>	244	331,0	2,96
	EPHEMEROPTERES	Baetidae	<i>Baetis</i>	510	598,1	6,19
		Caenidae	<i>Caenis</i>	25	31,7	0,30
		Ephemerellidae	<i>Serratella</i>	212	251,6	2,57
			<i>Torleya</i>	97	130,3	1,18
		Heptageniidae	<i>Ecdyonurus</i>	3	9,8	0,04
			<i>Epeorus</i>	3	7,3	0,04
			<i>Rhithrogena</i>	45	117,0	0,55
	Leptophlebiidae	<i>Indetérminé</i>	1	4,5	0,01	
	TRICHOPTERES	Goeridae	<i>Silo</i>	2	8,9	0,02
		Hydroptilidae	<i>Hydroptila</i>	110	161,1	1,34
		Hydropsychidae	<i>Hydropsyche</i>	83	170,7	1,01
		Limnephilidae	<i>Chaetopteryx</i>	13	21,8	0,16
			<i>Halesus</i>	1	4,5	0,01
		Odontoceridae	<i>Odontocerum</i>	31	90,3	0,38
		Psychomyiidae	<i>Psychomyia</i>	53	67,8	0,64
		Rhyacophilidae	<i>Rhyacophila</i>	80	81,6	0,97
		Sericostomatidae	<i>Sericostoma</i>	10	18,9	0,12
		Dytiscidae	SF	27	61,7	0,33
			<i>Hydroporinae</i>			
		Elmidae	<i>Elmis</i>	1659	2077,8	20,14
			<i>Esolus</i>	59	163,6	0,72
	<i>Limnius</i>		54	109,9	0,66	
	<i>Riolus</i>		7	11,7	0,08	
	HETEROPTÈRES	Gerridae	<i>Gerris</i>	1	4,5	0,01
	DIPTERES	Anthomyiidae		3	9,8	0,04
		Athericidae		32	40,7	0,39
		Ceratopogonidae		1	4,5	0,01
		Chironomidae		3311	2827,0	40,19

		Empididae		5	11,0	0,06
		Limoniidae		20	34,3	0,24
		Psychodidae		87	217,3	1,06
		Simuliidae		2	6,2	0,02
CRUSTACÉS	AMPHIPODES	Gammaridae	<i>Gammarus</i>	225	277,0	2,73
MOLLUSQUES	GASTEROPODES	Ancylidae	<i>Ancylus</i>	3	7,3	0,04
		Hydrobiidae	<i>Potamopyrgus</i>	16	26,4	0,19
		Lymnaeidae	<i>Radix</i>	6	18,5	0,07
VERS	OLIGOCHETES			10	22,9	0,12
HYDRACARIENS				1052	1163,5	12,77
<i>Total</i>				8238		100

Montgesoye

CLASSE	ORDRE	Famille	Genre	Taxons	Ecart-type 1 m ²	%Taxons
INSECTES	PLECOPTERES	Leuctridae	<i>Leuctra</i>	112	96,3	1,29
		Nemouridae	<i>Amphinemura</i>	3	9,8	0,03
			<i>Protonemura</i>	15	29,6	0,17
		Perlidae	<i>Dinocras</i>	62	89,4	0,71
			<i>Perla</i>	1	4,5	0,01
	Perlodidae	<i>Isoperla</i>	4	10,5	0,05	
	EPHEMEROPTERES	Baetidae	<i>Baetis</i>	530	728,9	6,11
		Caenidae	<i>Caenis</i>	58	99,0	0,67
		Ephemerellidae	<i>Serratella</i>	770	1006,6	8,87
			<i>Torleya</i>	98	124,5	1,13
		Ephemeridae	<i>Ephemera</i>	1	4,5	0,01
		Heptageniidae	<i>Ecdyonurus</i>	11	24,7	0,13
			<i>Epeorus</i>	2	6,2	0,02
			<i>Rhithrogena</i>	105	225,0	1,21
		Leptophlebiidae	<i>Habroleptoïdes</i>	26	93,8	0,30
	<i>Paraleptophlebia</i>		1	4,5	0,01	
	TRICHOPTERES	Hydroptilidae	<i>Hydroptila</i>	69	102,9	0,79
		Hydropsychidae	<i>Hydropsyche</i>	128	218,7	1,47
		Lepidostomatidae	<i>Lasiocephala</i>	8	35,8	0,09
		Limnephilidae	<i>Anabolia</i>	1	4,5	0,01
			<i>Chaetopterix</i>	45	145,5	0,52
			<i>Halesus</i>	11	44,7	0,13
		Odontoceridae	<i>Odontocerum</i>	15	35,5	0,17
Polycentropodidae		<i>Polycentropus</i>	2	6,2	0,02	
Psychomyiidae	<i>Psychomyia</i>	157	213,8	1,81		

		Rhyacophilidae	<i>Rhyacophila</i>	98	134,7	1,13	
		Sericostomatidae	<i>Sericostoma</i>	28	66,9	0,32	
	COLEOPTERES	Elmidae		<i>Elmis</i>	744	1427,1	8,57
				<i>Esolus</i>	177	434,1	2,04
				<i>Limnius</i>	61	135,6	0,70
				<i>Oulimnius</i>	1	4,5	0,01
				<i>Riolus</i>	46	61,6	0,53
		Gyrinidae	<i>Orectochilus</i>	2	8,9	0,02	
		Haliplidae	<i>Brychius</i>	11	44,7	0,13	
	Hydraenidae	<i>Hydraena</i>	2	6,2	0,02		
	DIPTERES	Anthomyiidae			31	94,6	0,36
		Athericidae			15	20,4	0,17
		Chironomidae			3261	5837,7	37,57
		Empididae			43	96,1	0,50
Limoniidae				65	110,7	0,75	
Psychodidae				13	53,6	0,15	
Simuliidae				47	100,2	0,54	
Stratiomyidae				1	4,5	0,01	
CRUSTACÉS	AMPHIPODES	Gammaridae	<i>Gammarus</i>	1129	3574,8	13,01	
MOLLUSQUES	GASTEROPODES	Hydrobiidae	<i>Potamopyrgus</i>	23	36,9	0,26	
		Lymnaeidae	<i>Radix</i>	5	12,8	0,06	
		Planorbidae	<i>Gyraulus</i>	4	8,2	0,05	
VERS	ACHETES	Glossiphoniidae	<i>Glossiphonia</i>	1	4,5	0,01	
		Piscicolidae	<i>Piscicola</i>	2	8,9	0,02	
	OLIGOCHETES			45	75,6	0,52	
	TRICLADES	Dendrocoelidae	<i>Dendrocoelum</i>	2	6,2	0,02	
		Dugesidae	<i>Dugesia</i>	5	8,9	0,06	
HYDRACARIENS				583	867,9	6,72	
<i>Total</i>				8680		100	

Homelon

CLASSE	ORDRE	Famille	Genre	Taxons	Ecart-type 1 m ²	%Taxons
INSECTES	PLECOPTERES	Leuctridae	<i>Leuctra</i>	39	49,2	0,57
		Nemouridae	<i>Amphinemura</i>	5	11,0	0,07
			<i>Nemoura</i>	1	4,5	0,01
			<i>Protonemura</i>	14	33,8	0,20
			Perlidae	<i>Dinocras</i>	29	73,0
		Perlodidae	<i>Isoperla</i>	3	9,8	0,04
	EPHEMEROPTERES	Baetidae	<i>Baetis</i>	302	296,4	4,42
		Caenidae	<i>Caenis</i>	35	62,2	0,51
		Ephemeridae	<i>Ephemera</i>	1	4,5	0,01
		Ephemerellidae	<i>Serratella</i>	412	378,9	6,03
			<i>Torleya</i>	60	123,3	0,88
		Heptageniidae	<i>Ecdyonurus</i>	2	6,2	0,03
			<i>Rhithrogena</i>	44	94,8	0,64
		Leptophlebiidae	<i>Habroleptoïdes</i>	1	4,5	0,01
	TRICHOPTERES	Glossosomatidae	<i>Agapetus</i>	2	8,9	0,03
		Goeridae	<i>Silo</i>	1	4,5	0,01
		Hydropsychidae	<i>Hydropsyche</i>	221	497,3	3,23
		Hydroptilidae	<i>Hydroptila</i>	106	193,6	1,55
		Lepidostomatidae	<i>Lasiocephala</i>	1	4,5	0,01
			<i>Lepidostoma</i>	3	13,4	0,04
		Leptoceridae	<i>Athripsodes</i>	1	4,5	0,01
		Limnephilidae	<i>Chaetopterox</i>	11	28,6	0,16
			<i>Halesus</i>	1	4,5	0,01
		Odontoceridae	<i>Odontocerum</i>	31	50,5	0,45
		Psychomyiidae	<i>Psychomyia</i>	30	57,1	0,44
		Rhyacophilidae	<i>Rhyacophila</i>	24	34,1	0,35
	Sericostomatidae	<i>Sericostoma</i>	13	22,7	0,19	
	COLEOPTERES	Elmidae	<i>Elmis</i>	424	768,6	6,21
			<i>Esolus</i>	143	151,7	2,09
			<i>Limnius</i>	49	73,8	0,72
			<i>Riolus</i>	35	57,6	0,51
		Gyrinidae	<i>Indéterminé</i>	1	4,5	0,01
		Hydraenidae	<i>Hydraena</i>	13	49,1	0,19
		Scirtidae	<i>Hydrocyphon</i>	2	6,2	0,03
	DIPTERES	Anthomyiidae		12	49,2	0,18
		Athericidae		2	8,9	0,03
		Chironomidae		3837	3942,1	56,16
		Empididae		54	106,4	0,79
		Limoniidae		54	79,8	0,79
		Psychodidae		5	22,4	0,07
		Simuliidae		67	92,5	0,98
CRUSTACÉS	AMPHIPODES	Gammaridae	<i>Gammarus</i>	81	153,1	1,19

MOLLUSQUES	GASTEROPODES	Hydrobiidae	<i>Potamopyrgus</i>	247	611,3	3,62
		Lymnaeidae	<i>Gyraulus</i>	1	4,5	0,01
			<i>Radix</i>	8	18,8	0,12
VERS	ACHETES	Glossiphoniidae	<i>Glossiphonia</i>	1	4,5	0,01
		Piscicolidae	<i>Piscicola</i>	7	31,3	0,10
	OLIGOCHETES			109	199,1	1,60
	TRICLADES	Dugesidae	<i>Dugesia</i>	2	6,2	0,03
HYDRACARIENS				285	328,2	4,17
<i>Total</i>				6832		100

Cléron Amont

CLASSE	ORDRE	Famille	Genre	Taxons	Ecart-type 1 m ²	%Taxons
INSECTES	PLECOPTERES	Leuctridae	<i>Leuctra</i>	21	33,4	0,35
		Nemouridae	<i>Amphinemura</i>	2	6,2	0,03
		Perlidae	<i>Dinocras</i>	11	36,4	0,18
			<i>Perla</i>	1	4,5	0,02
		Perlodidae	<i>Besdolus</i>	3	9,8	0,05
			<i>Isoperla</i>	3	10,0	0,05
	EPHEMEROPTERES	Baetidae	<i>Baetis</i>	206	208,1	3,43
		Caenidae	<i>Caenis</i>	3	9,8	0,05
		Ephemerellidae	<i>Serratella</i>	127	107,7	2,12
			<i>Torleya</i>	101	154,8	1,68
		Ephemeridae	<i>Ephemera</i>	41	178,7	0,68
		Heptageniidae	<i>Ecdyonurus</i>	1	4,5	0,02
			<i>Rhithrogena</i>	30	66,6	0,50
			Indetérminé	1	4,5	0,02
		Leptophlebiidae	<i>Habroleptoïdes</i>	3	9,8	0,05
	TRICHOPTERES	Glossosomatidae	<i>Agapetus</i>	30	86,2	0,50
		Goeridae	<i>Silo</i>	1	4,5	0,02
		Hydroptilidae	<i>Hydroptila</i>	140	222,9	2,33
		Hydropsychidae	<i>Hydropsyche</i>	185	365,7	3,08
			<i>Lasiocephala</i>	74	330,9	1,23
		Lepidostomatidae	<i>Lepidostoma</i>	10	17,8	0,17
			Leptoceridae	<i>Athripsodes</i>	67	167,7
		Limnephilidae	<i>Chaetopterix</i>	26	116,3	0,43
			<i>Halesus</i>	12	53,7	0,20
		Odontoceridae	<i>Odontocerum</i>	15	58,4	0,25
		Psychomyiidae	<i>Psychomyia</i>	78	183,5	1,30
	Rhyacophilidae	<i>Rhyacophila</i>	14	22,6	0,23	

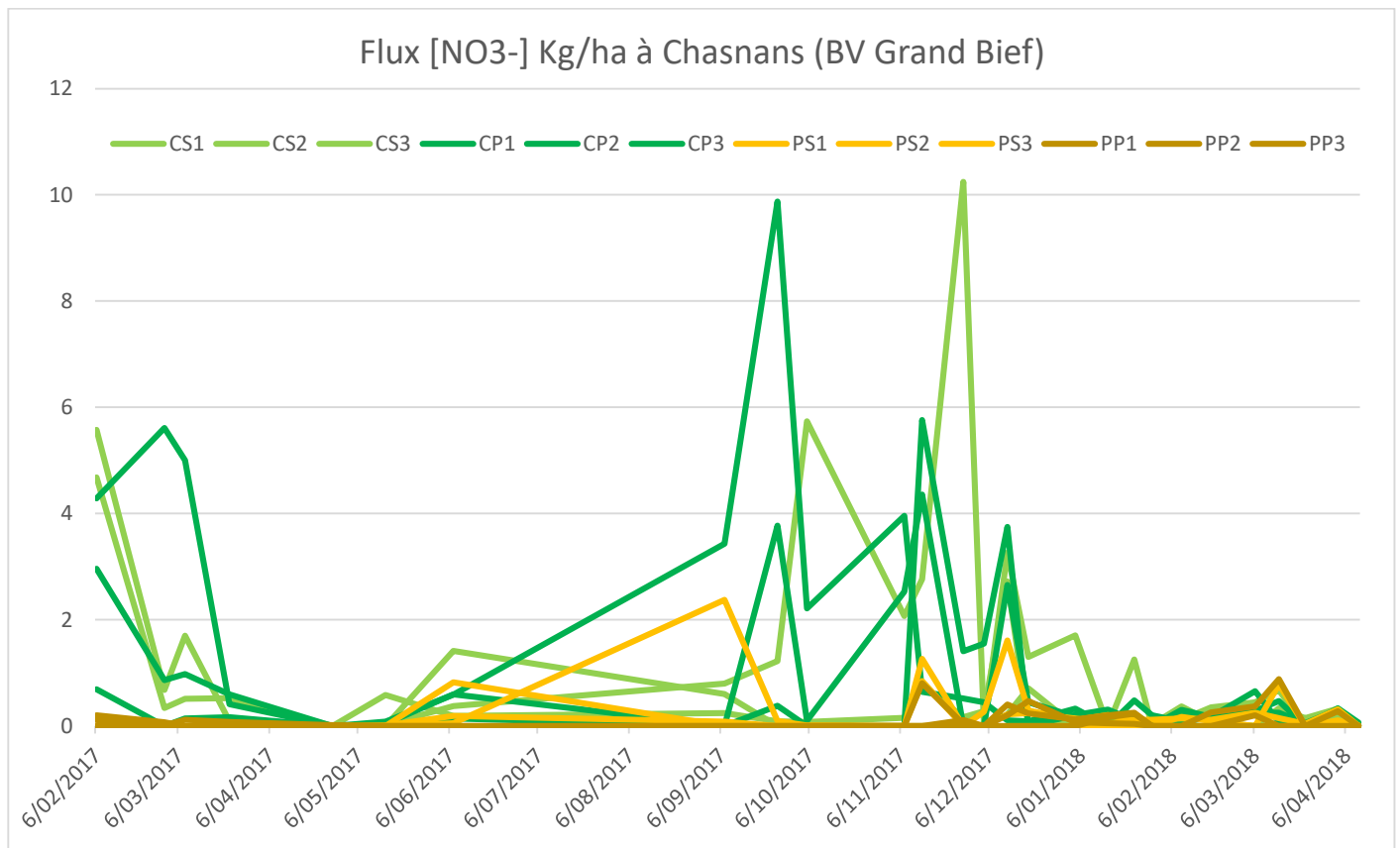
		Sericostomatidae	<i>Sericostoma</i>	70	121,0	1,17	
	COLEOPTERES	Dytiscidae	<i>SF</i> <i>Hydroporinae</i>	2	8,9	0,03	
		Elmidae	<i>Elmis</i>		243	474,9	4,05
			<i>Esolus</i>		145	173,7	2,42
			<i>Limnius</i>		54	65,9	0,90
			<i>Normandia</i>		5	12,8	0,08
			<i>Riolus</i>		44	77,8	0,73
		Hydraenidae	<i>Hydraena</i>	3	7,3	0,05	
		Scirtidae	<i>Hydrocyphon</i>	5	14,3	0,08	
	DIPTERES	Anthomyiidae		2	8,9	0,03	
		Athericidae		10	18,9	0,17	
		Ceratopogonidae		1	4,5	0,02	
		Chironomidae		3737	5678,0	62,25	
		Empididae		26	43,6	0,43	
		Limoniidae		70	148,2	1,17	
		Psychodidae		14	53,5	0,23	
		Simuliidae		12	23,8	0,20	
		Tipulidae		1	4,5	0,02	
	ODONATES	Calopterygidae	<i>Calopteryx</i>	1	4,5	0,02	
	CRUSTACÉS	AMPHIPODES	Gammaridae	<i>Gammarus</i>	126	456,1	2,10
MOLLUSQUES	GASTEROPODES	Ancylidae	<i>Ancylus</i>	1	4,5	0,02	
		Hydrobiidae	<i>Potamopyrgus</i>	11	26,3	0,18	
		Lymnaeidae	<i>Radix</i>	14	19,6	0,23	
VERS	ACHETES	Erpobdellidae	<i>Erpobdella</i>	32	104,1	0,53	
		Glossiphoniidae	<i>Glossiphonia</i>	3	9,8	0,05	
		Piscicolidae	<i>Piscicola</i>	1	4,5	0,02	
	OLIGOCHETES			63	114,7	1,05	
	TRICLADES	Dugesiiidae	<i>Dugesia</i>	3	9,8	0,05	
HYDRACARIENS				98	212,0	1,63	
<i>Total</i>				6003		100	

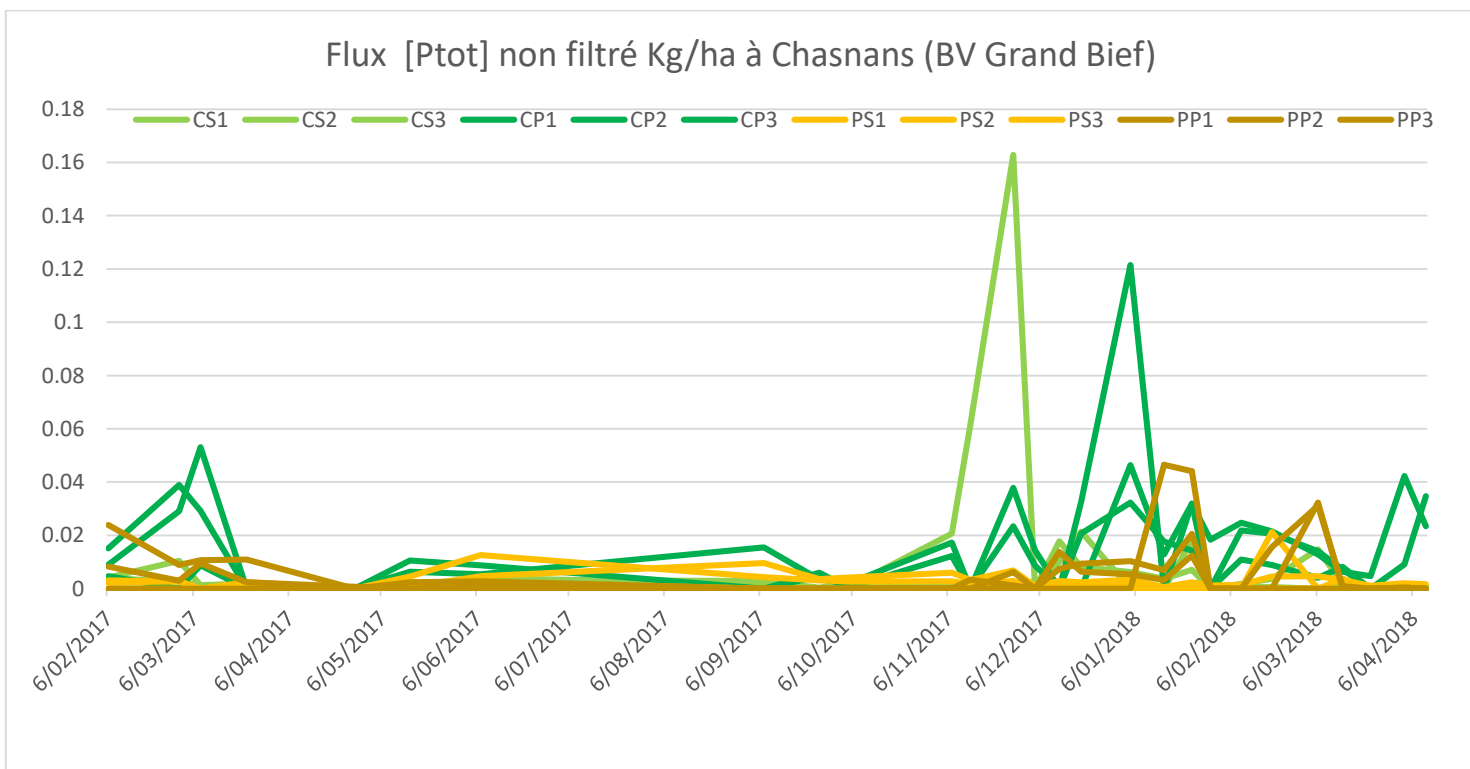
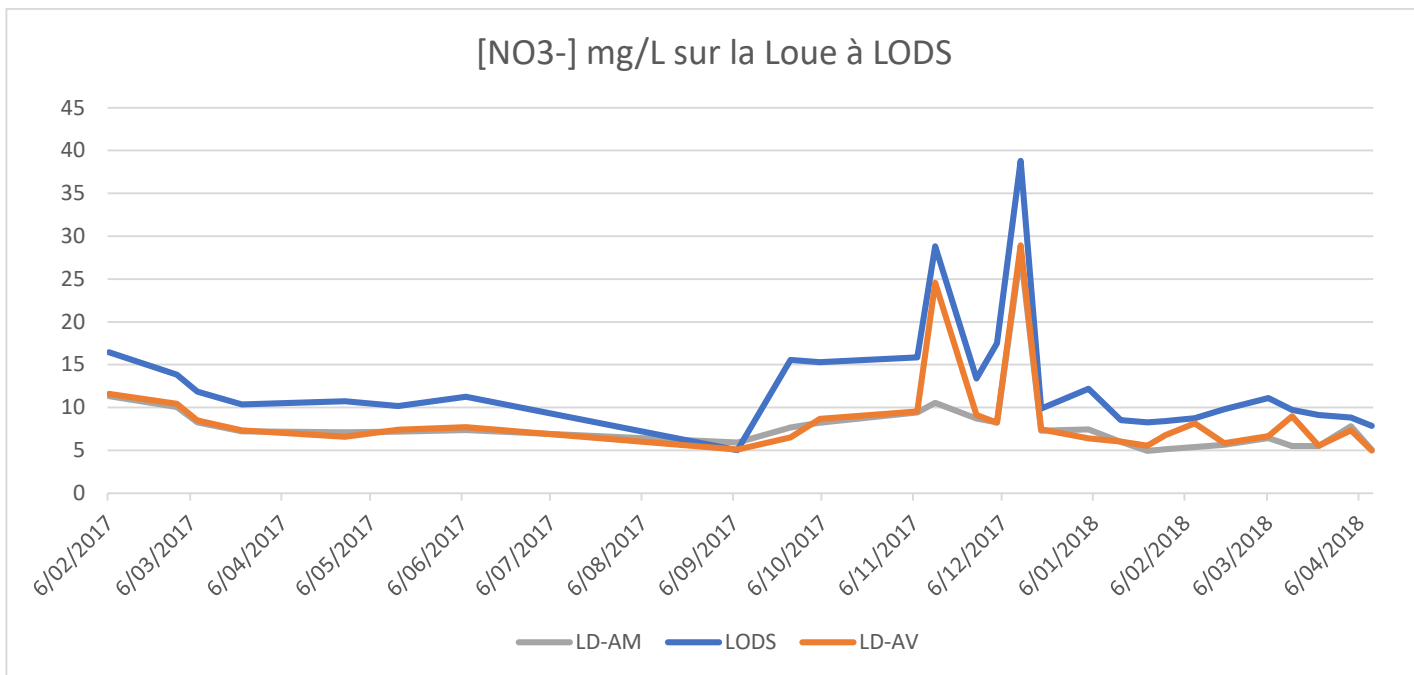
Annexe 5 : Cotes d'abondances des taxons du MAG20

CLASSE	ORDRE	Famille	Genre	Source	Mouthier	Vuillafans	Montgesoye	Homelon	Cléron
				de la Loue					
INSECTES	PLECOPTERES	Leuctridae	<i>Leuctra</i>	1	4	3	4	3	2
		Nemouridae	<i>Amphinemura</i>	0	1	1	1	1	1
		Nemouridae	<i>Nemoura</i>	2	1	3	0	1	2
		Nemouridae	<i>Protonemura</i>	4	3	0	2	2	0
		Perlidae	<i>Dinocras</i>	0	2	4	3	2	0
		Perlidae	<i>Perla</i>	0	0	0	1	0	1
		Perlodidae	<i>Besdolus</i>	0	0	0	0	0	1
		Perlodidae	<i>Isoperla</i>	0	0	0	1	1	1
	EPHEMEROPTERES	Baetidae	<i>Baetis</i>	3	4	4	4	3	3
		Caenidae	<i>Caenis</i>	0	0	2	3	2	1
		Ephemerellidae	<i>Serratella</i>	1	1	3	4	3	3
		Ephemerellidae	<i>Torleya</i>	0	1	2	2	2	3
		Ephemeridae	<i>Ephemera</i>	0	0	0	1	1	2
		Heptageniidae	<i>Ecdyonurus</i>	1	1	1	2	1	1
		Heptageniidae	<i>Epeorus</i>	0	1	1	1	0	0
		Heptageniidae	<i>Rhithrogena</i>	0	2	2	3	2	2
		Leptophlebiidae	<i>Habroleptoïdes</i>	0	0	0	3	1	1
	Leptophlebiidae	<i>Paraleptophlebia</i>	0	0	0	1	0	0	
	TRICHOPTÈRES	Glossosomatidae	<i>Agapetus</i>	3	1	0	0	1	2
		Glossosomatidae	<i>Glossosoma</i>	1	0	0	0	0	0
		Goeridae	<i>Silo</i>	0	0	1	0	1	1
		Hydropsychidae	<i>Hydropsyche</i>	0	1	2	3	3	3
		Hydroptilidae	<i>Hydroptila</i>	0	0	5	4	5	5
		Lepidostomatidae	<i>Lasiocephala</i>	0	0	0	2	1	4
		Lepidostomatidae	<i>Lepidostoma</i>	0	0	0	0	1	2
		Leptoceridae	<i>Athripsodes</i>	0	0	0	0	1	3
		Limnephilidae	<i>Anabolia</i>	0	0	0	1	0	0
		Limnephilidae	<i>Chaetopteryx</i>	3	1	1	2	1	2
		Limnephilidae	<i>Drusus</i>	4	0	0	0	0	0
		Limnephilidae	<i>Halesus</i>	0	0	1	1	1	1
		Limnephilidae	<i>Melampophylax</i>	4	1	0	0	0	0
		Odontoceridae	<i>Odontocerum</i>	0	1	1	1	1	1
		Polycentropodidae	<i>Polycentropus</i>	0	0	0	1	0	0
		Psychomyiidae	<i>Psychomyia</i>	0	1	4	5	3	4
		Psychomyiidae	<i>Tinodes</i>	2	0	0	0	0	0
		Rhyacophilidae	<i>Rhyacophila</i>	3	3	4	4	3	2
		Sericostomatidae	<i>Sericostoma</i>	0	1	2	3	3	4
	COLÉOPTÈRES	Dytiscidae	<i>SF Hydroporinae</i>	0	1	3	0	0	1
		Elmidae	<i>Elmis</i>	4	5	5	5	4	3
		Elmidae	<i>Esolus</i>	1	1	2	3	3	3
		Elmidae	<i>Limnius</i>	1	2	2	2	1	2
		Elmidae	<i>Normandia</i>	0	0	0	0	0	1
		Elmidae	<i>Oulimnius</i>	0	0	0	1	0	0
		Elmidae	<i>Riolus</i>	0	1	1	1	1	1
		Gyrinidae	<i>Orectochilus</i>	0	0	0	1	1	0
		Haliplidae	<i>Brychius</i>	0	0	0	2	0	0
		Hydraenidae	<i>Hydraena</i>	0	1	0	1	2	1
	ODONATES	Calopterygidae	<i>Calopteryx</i>	0	0	0	0	0	1
	HETEROPTÈRES	Gerridae	<i>Gerris</i>	0	0	1	0	0	0
	DIPTERES	Anthomyiidae		0	2	1	3	2	1
Athericidae			0	2	3	2	1	2	
Ceratopogonidae			0	0	1	0	0	1	
Chironomidae			5	5	5	5	5	5	
Empididae			0	1	1	3	4	3	
	Limoniidae		1	2	2	4	4	4	

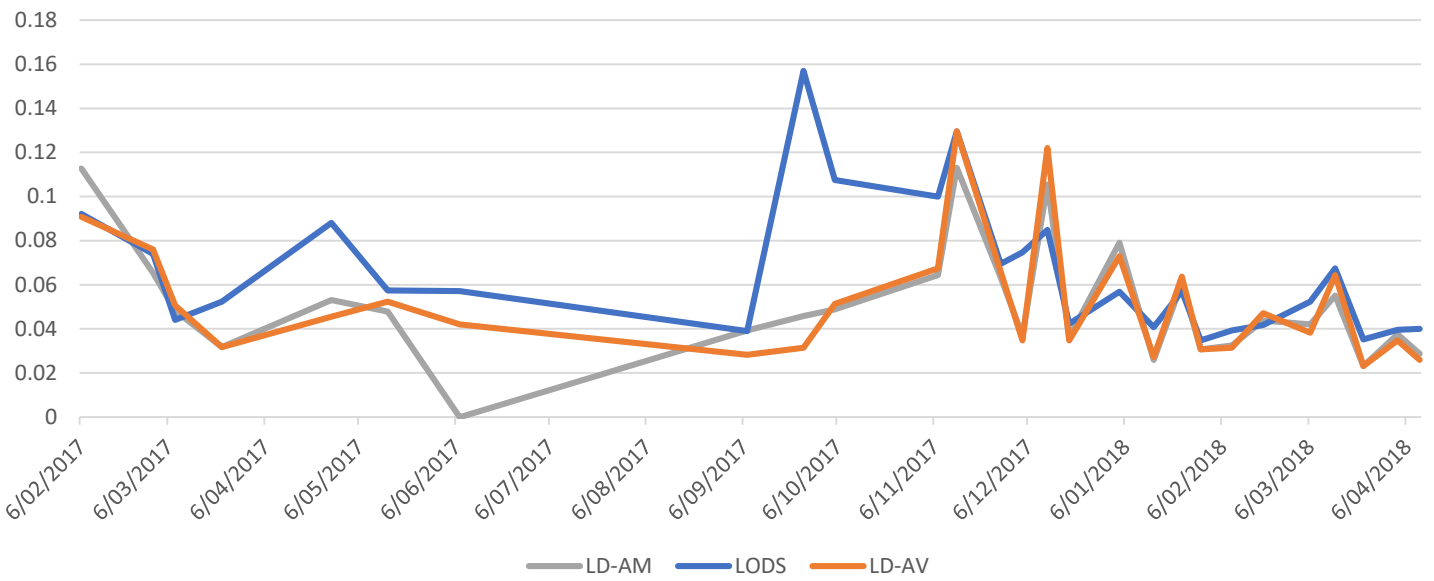
		Psychodidae		2	1	3	2	1	2
		Simuliidae		1	2	1	2	3	2
		Stratiomyidae		0	0	0	1	0	0
		Tipulidae		0	0	0	0	0	1
CRUSTACÉS	AMPHIPODES	Gammaridae	<i>Gammarus</i>	5	3	3	5	2	3
MOLLUSQUES	GASTEROPODES	Ancylidae	<i>Ancylus</i>	1	1	1	0	0	1
		Hydrobiidae	<i>Potamopyrgus</i>	1	0	2	2	4	2
		Lymnaeidae	<i>Radix</i>	0	1	1	1	1	2
		Planorbidae	<i>Gyraulus</i>	0	0	0	1	1	0
VERS	ACHÈTES	Erpobdellidae	<i>Erpobdella</i>	0	0	0	0	0	2
		Glossiphoniidae	<i>Glossiphonia</i>	0	0	0	1	1	1
	OLIGOCHÈTES	OLIGOCHÈTES	1	1	1	1	3	2	
	TRICLADES	Dendrocoelidae	<i>Dendrocoelum</i>	0	0	0	1	0	0
	TRICLADES	Dugesiiidae	<i>Dugesia</i>	0	0	0	1	1	1
TRICLADES	Planariidae	<i>Polycelis</i>	1	0	0	0	0	0	
HYDRACARIENS	HYDRACARIENS	HYDRACARIENS	HYDRACARIENS	1	1	5	5	5	3

Annexe 6 Flux de nutriments prélevés dans les lysimètres installés à Chasnans et concentrations de ces nutriments sur la Loue à Lods

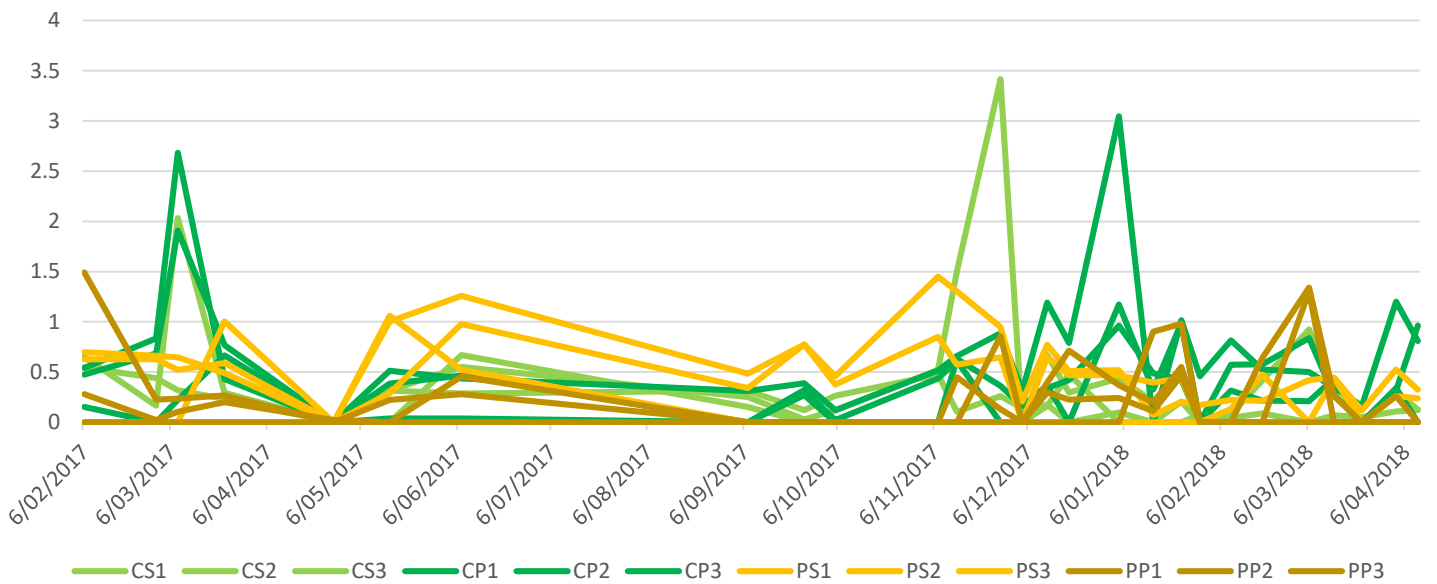




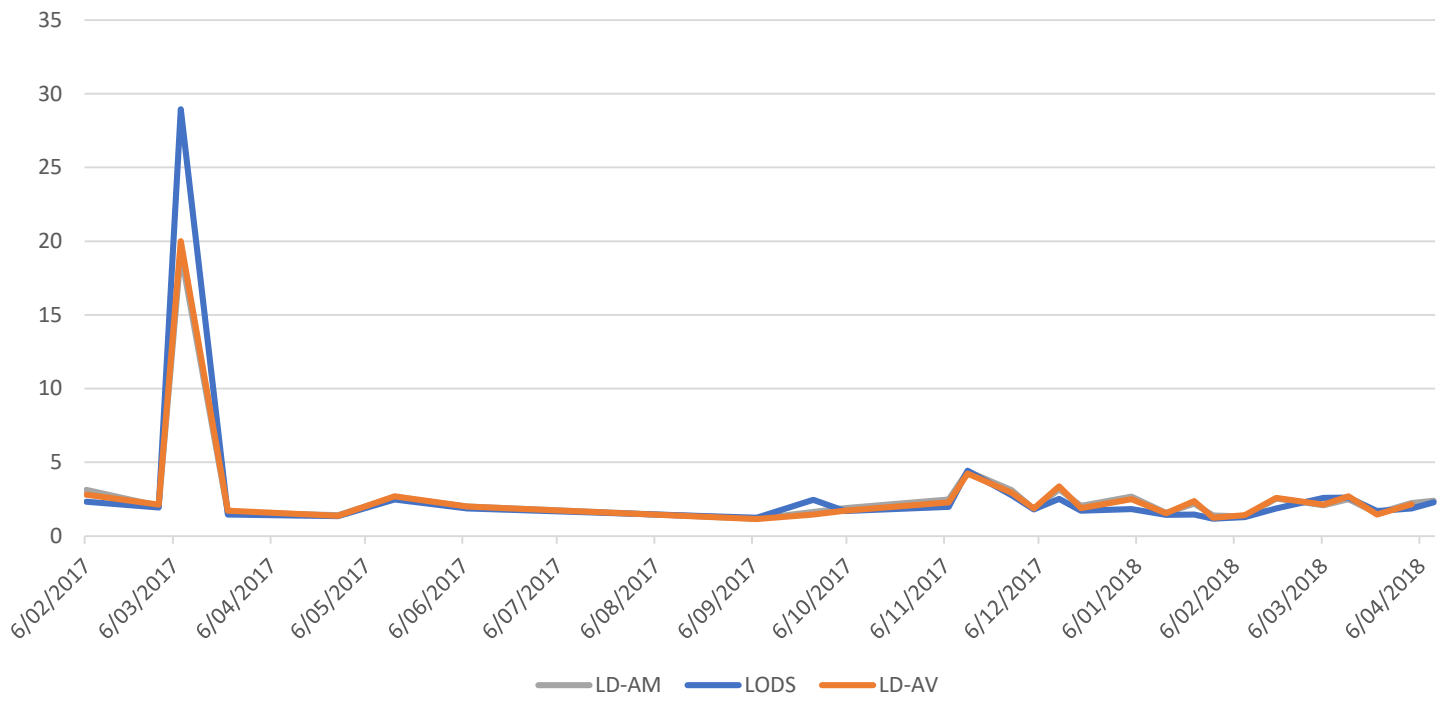
[Ptot] non filtré mg/L sur la Loue à LODS



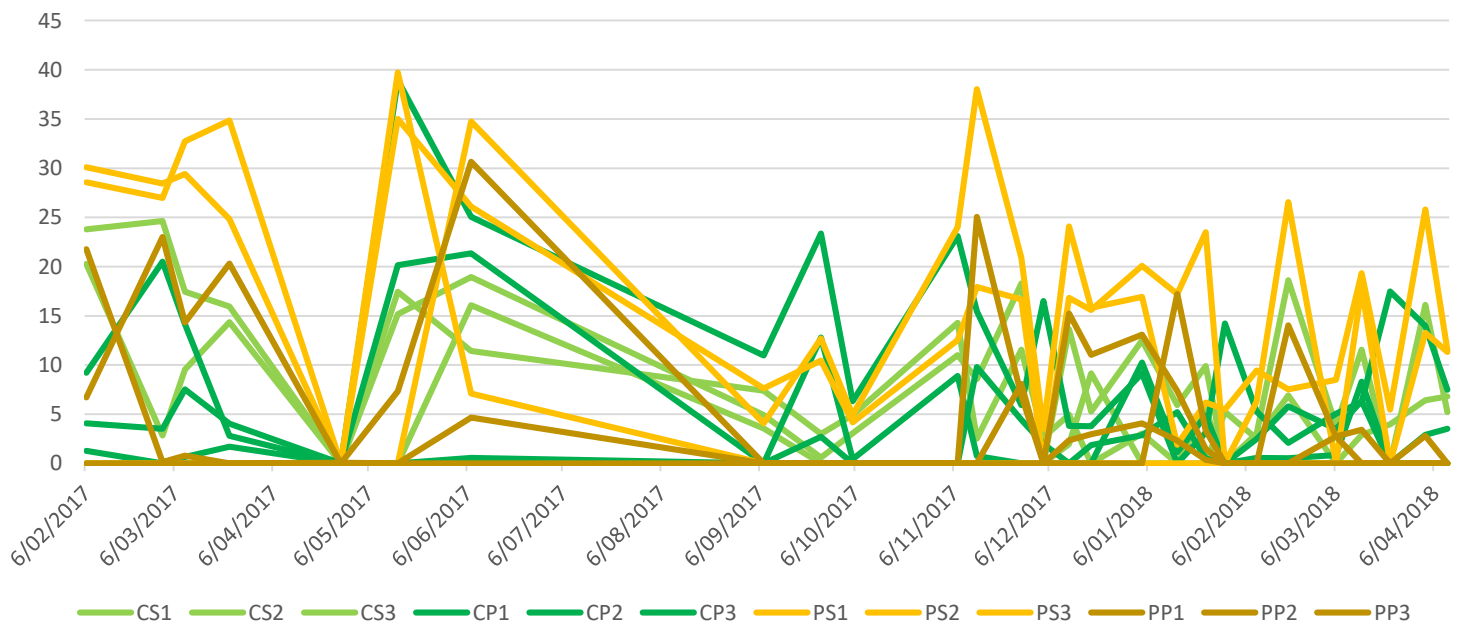
Flux COT Kg/ha à Chasnans (BV Grand Bief)



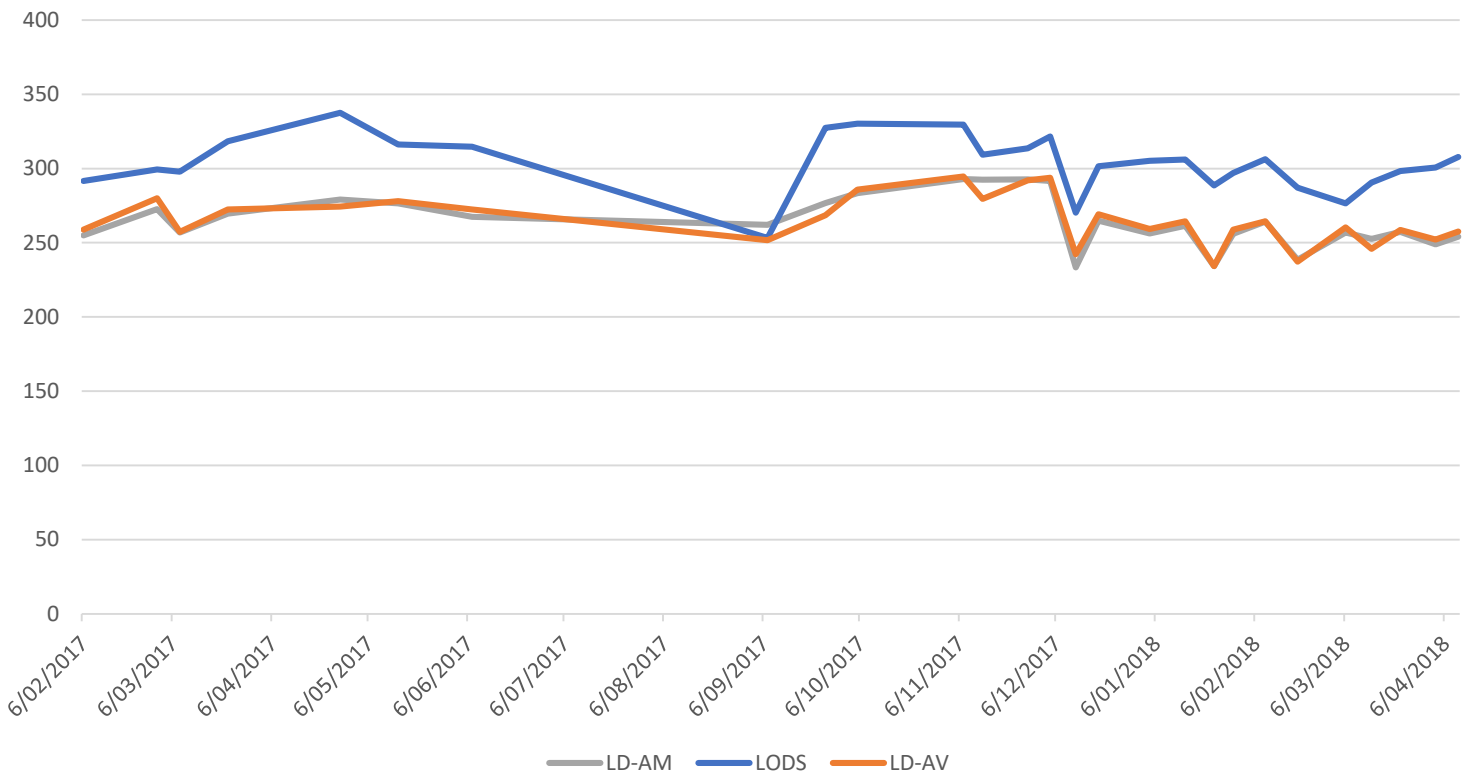
COT mg/L sur la Loue à LODS



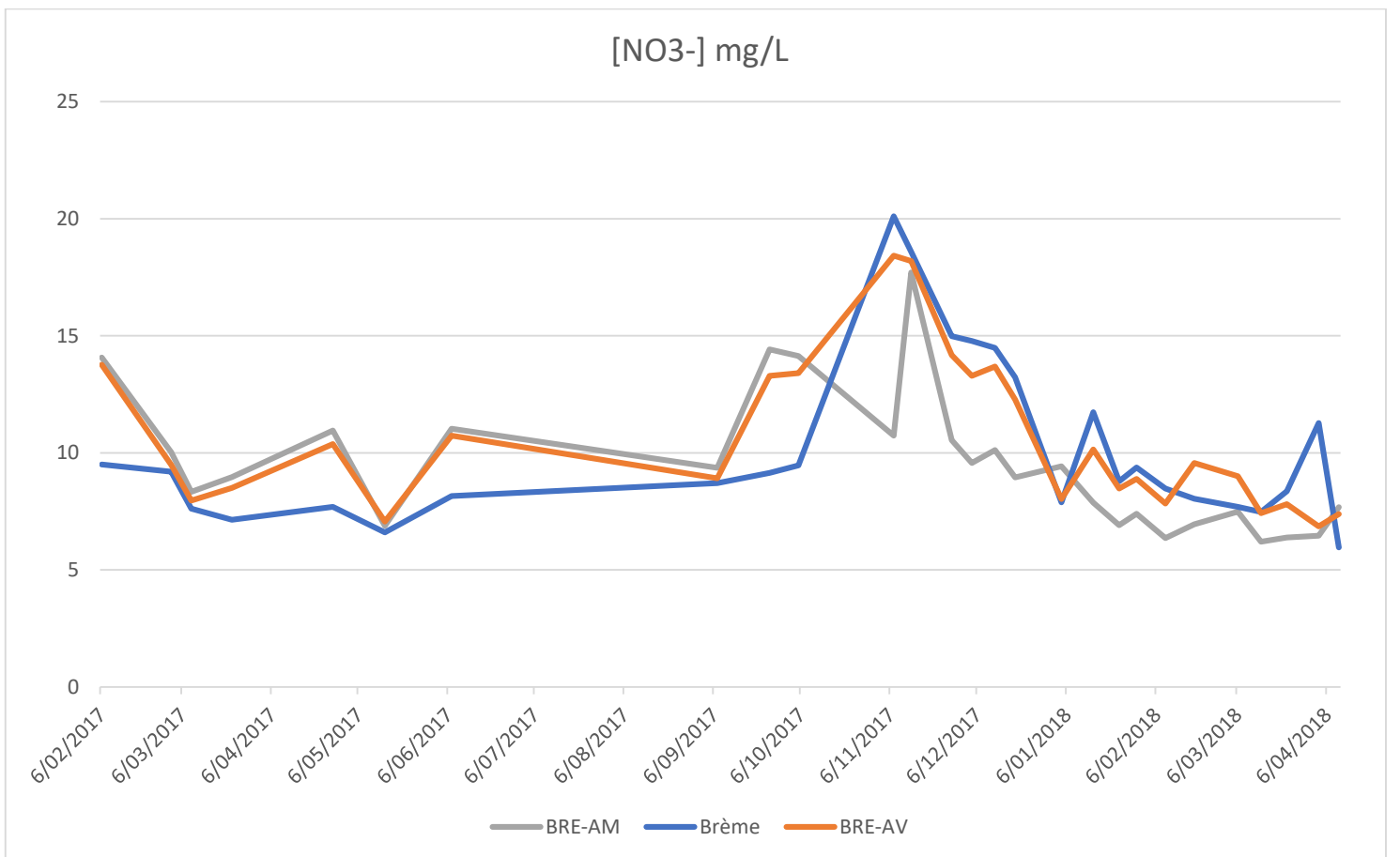
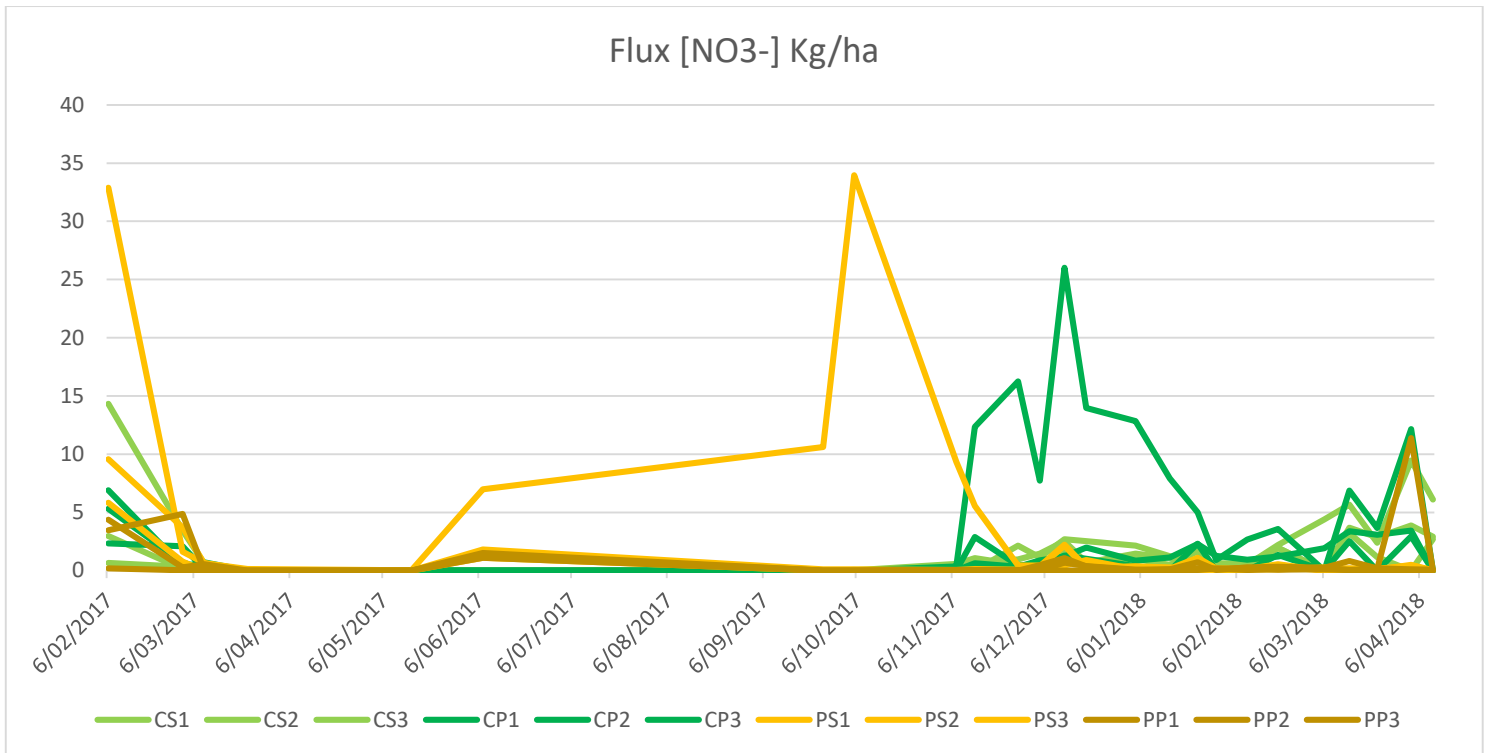
Flux [HCO_3^-] Kg/ha à Chasnans (BV Grand Bief)



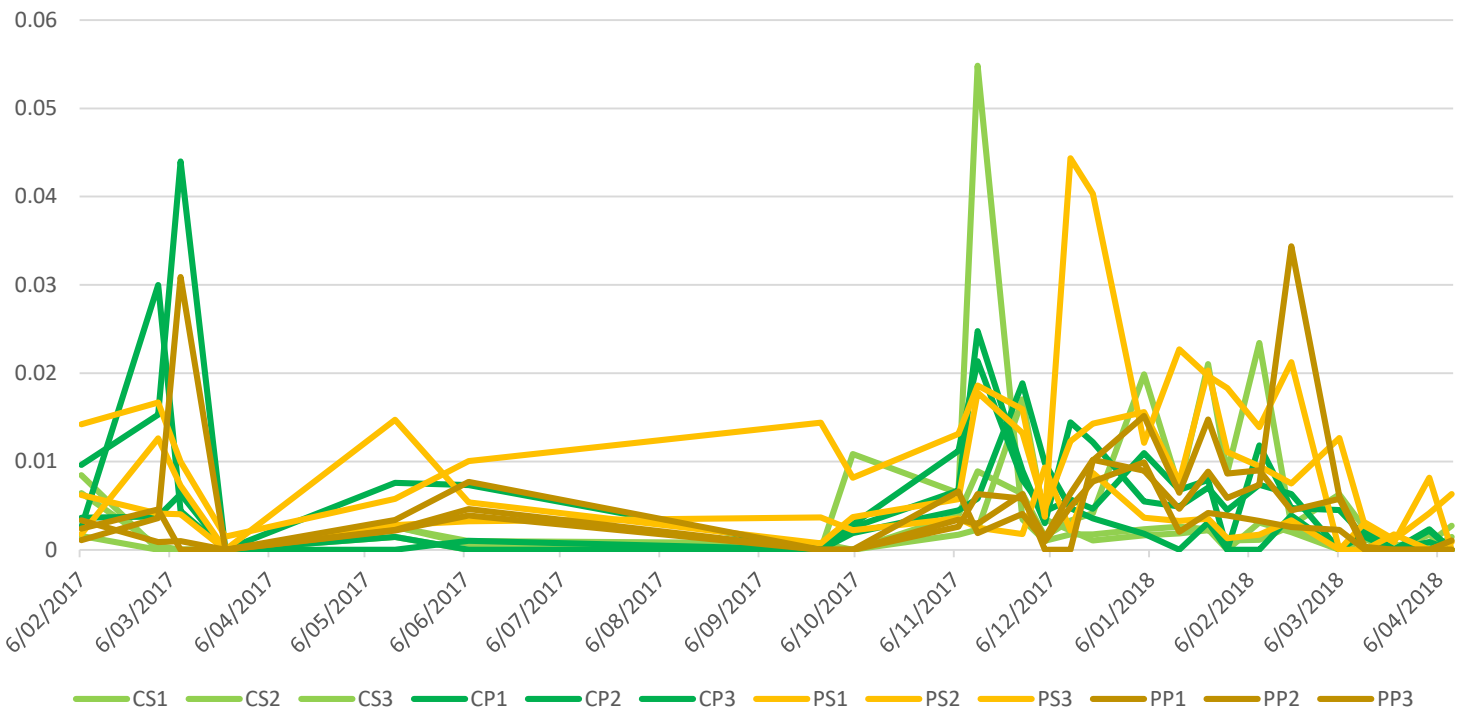
[HCO₃⁻] mg/L sur la Loue à LODS



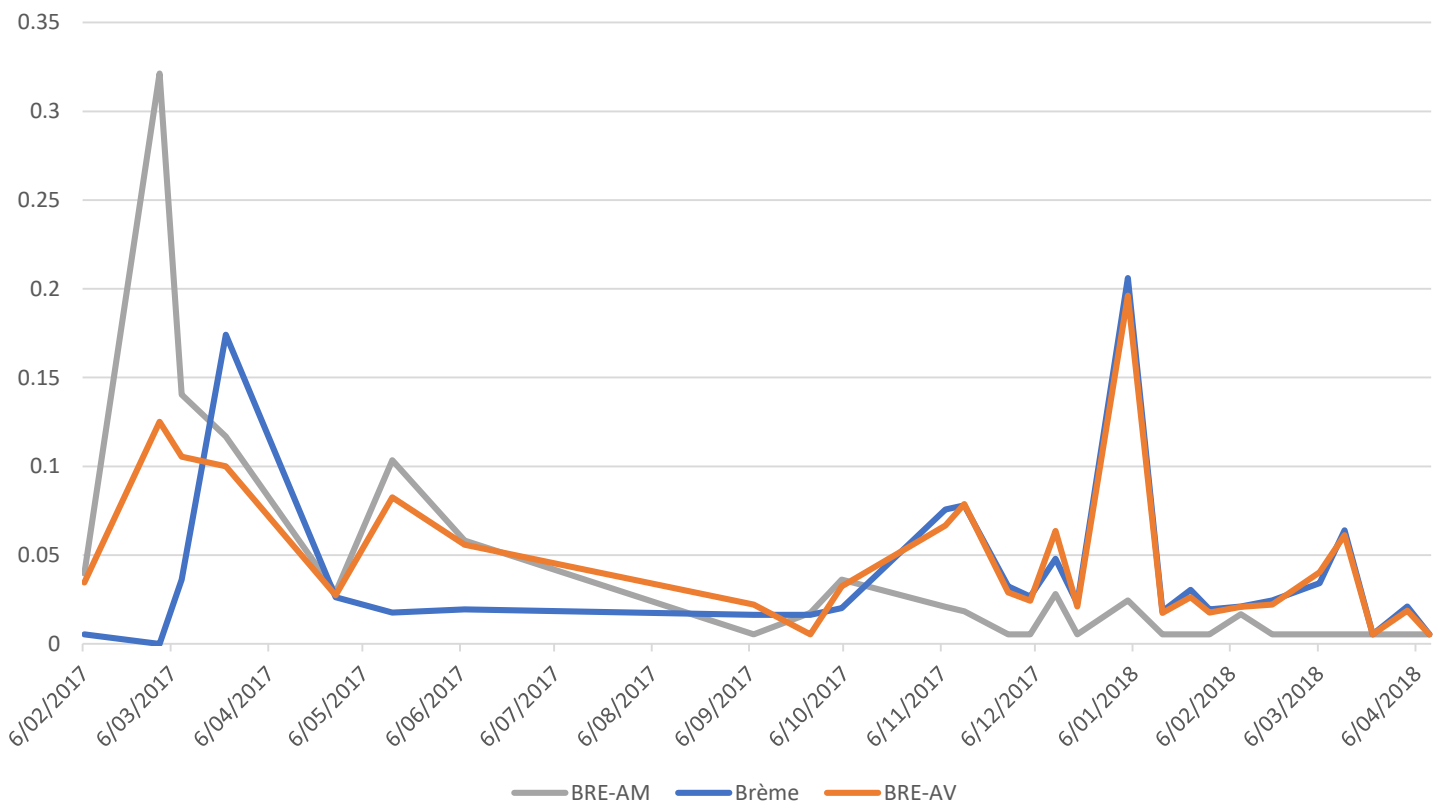
Annexe 7 Flux de nutriments prélevés dans les lysimètres installés à Bonnevaux et Trépot et concentrations de ces nutriments sur la Brême



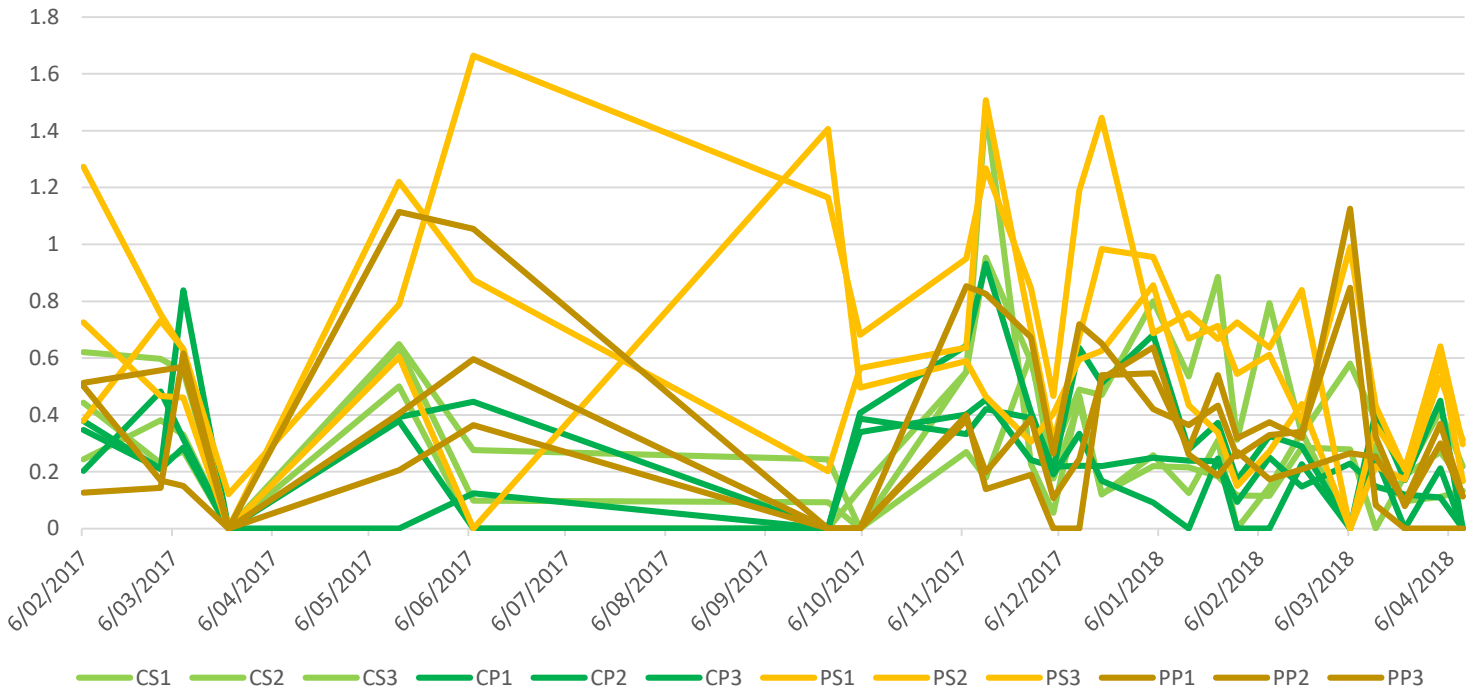
Flux [Ptot] non filtré Kg/ha



[Ptot] non filtré mg/L



Flux mg/l COT Kg/ha



COT mg/L

