

Impacts de la gestion par éclusées des aménagements hydroélectriques sur les invertébrés benthiques.



Pour l'obtention du Master 2 IMACOF :

- Structure d'accueil : **Bureau d'étude RIVE**
- Maître de stage : **Michel BACCHI**
- Durée du stage : **6 mois**

Remerciements

Je tiens à remercier tout particulièrement Monsieur Michel BACCHI, cogérant du bureau d'étude RIVE, pour m'avoir accueilli dans son entreprise durant les six mois de ce stage. Merci à lui pour son encadrement, son aide et le temps qu'il m'a consacré. Merci également pour la confiance et l'autonomie qu'il m'a accordées.

Merci également au personnel de RIVE et plus particulièrement Vincent THOBY, chargé d'études, pour sa sympathie et sa disponibilité. Sans oublier Xavier Engles et Benjamin Knaebel pour leur bonne humeur et leur aide.

Table des matières

Remerciements	1
Table des matières	2
Résumé	4
INTRODUCTION	5
Présentation du stage	7
I.1 Le bureau d'étude RIVE	7
I.2 Mes missions au sein du bureau d'étude	7
I. INVENTAIRE MACROBENTHIQUE	8
I.1 Présentation du site d'étude	8
I.2 Introduction	10
I.3 Méthode	10
I.3.1 Définition du secteur d'étude	10
I.3.2 Périodes d'échantillonnage	10
I.3.3 Protocole d'échantillonnage	11
I.3.4 Tri et détermination	12
I.3.5 Exploitation des résultats	12
I.4 Résultats	15
I.4.1 Interventions réalisées	15
I.4.2 Analyse du peuplement	16
I.4.2.1 Analyse diachronique	16
I.4.2.2 Analyse synchronique	19
I.4.2.3 Conclusion	22
I.4.3 Typologie de la Maronne	23
I.4.3.1 Analyse biotypologique des peuplements macrobenthiques	23
I.4.3.2 Analyse biotypologique du peuplement piscicole	25
I.4.4 Analyse des stations	26
I.4.4.1 Qualité des substrats	26
I.4.4.2 Qualité d'habitat des stations	29
I.4.5 Conclusion	31
I.5 Conclusion	32

II. SUIVI DES ECLUSÉES	33
II.1 Introduction	33
II.2 Méthode	34
II.2.1 Stations étudiées	34
II.2.2 Interventions réalisées	35
II.2.3 Protocole d'échantillonnage	36
II.2.3.1 Echantillonnage des substrats	36
II.2.3.2 Etude des échouages	36
II.2.3.3 Etude des dérives	37
II.2.3.4 Tri et détermination	37
II.3 Résultats	37
II.3.1 Capacité d'accueil du milieu	38
II.3.1.1 Capacité d'accueil des stations en fonction des débits	38
II.3.1.2 Superficies des substrats	39
II.3.1.3 Abondances moyennes des substrats en fonction de leur inondation	40
II.3.2 Estimation des pertes globales à l'échelle stationnelle	41
II.3.2.1 Analyse des abondances	41
II.3.2.2 Analyse des densités	42
II.3.2.3 Evaluation des pertes d'invertébrés	43
II.3.2.4 Conclusion	44
II.3.3 Etude des dérives	45
II.3.3.1 Dérives observées dans le chenal principal	46
II.3.3.2 Dérives observées dans le bras médian	47
II.3.3.3 Dérives observées dans le bras médian	47
II.3.3.4 Conclusion	48
II.4 Conclusion	48
III. SYNTHÈSE ET PERSPECTIVES	50
CONCLUSION GÉNÉRALE	51
Table des figures, des tableaux et des photos	52
Bibliographie	54
Annexes	59

Résumé

La Dordogne et la Maronne sont de rivières dynamiques, c'est pour cela que des ouvrages de retenues, équipés pour la production hydroélectrique, y ont été aménagés. La production d'électricité à partir de ces aménagements est réalisée selon une **gestion par éclusées**. Les éclusées peuvent être comparées à des « lâchers de barrage », utilisant la puissance de l'eau emmagasinée dans le lac pour entraîner des turbines.

Cette gestion par éclusées artificialise totalement l'hydrologie de la Dordogne et de la Maronne en créant des fluctuations de débits brutales et apparemment sans commune mesure avec des variations hydrologiques naturelles. La gestion par éclusée est décriée depuis plusieurs années par les utilisateurs de la rivière et les défenseurs de l'environnement pour les nuisances qu'il engendre sur les milieux aquatiques.

Ce rapport présente les premiers résultats d'une étude commandée par la Fédération Départementale des Associations Agrées de Pêche et de Protection des Milieux Aquatiques de la Corrèze visant à évaluer l'impact de la gestion par éclusées sur le **peuplement macrobenthique** de la Dordogne et de la Maronne corrézienne.

La première partie du rapport présente l'étude du peuplement macrobenthique de la Maronne, réalisé à partir d'échantillonnages stratifiés de type **MAG16** sur deux stations : une située sur le cours réservé de la Maronne (sans variations de débit) et une soumise aux éclusées.

La seconde partie du rapport évalue l'incidence directe des variations hydrologiques et donc des éclusées sur ce peuplement. Pour cela les échantillonnages de type MAG16 ont été complétés par une étude des **dérives** et des **échouages** lors des baisses brutales du niveau des eaux pour évaluer les pertes effectives d'invertébrés.

Mots clés : gestion par éclusées, peuplement macrobenthique, MAG16, dérives, échouages

The Dordogne and the Maronne are dynamic rivers; it is for it that dams, equipped for the hydropower generation, were built in there. The hydropower generation from these impoundments is realized according to a management by sluicing waters. The hydropower peaking can be compared in «water releases», using the power of the water stored in the lake to start the power plant.

This management by hydropeaking waters artificialise totally the hydrology of the Dordogne and the Maronne, creating rough fluctuations in flows and without measures with natural hydrological variations. The hydropower peaking is slandered for several years by users of the river and defenders of the environment for these impacts on the aquatic ecosystem.

This report presents the first results of a study ordered by the Fédération Départementale des Associations Agrées de Pêche et de Protection des Milieux Aquatiques of the Corrèze to estimate the impact of the management by hydropeaking on the **macrobenthic community** of the Dordogne and the Maronne.

The first part of the report presents the study of the macrobenthic community of the Maronne, realized from inventory, based on the standardized protocol **MAG16**, on two stations. One situated on the reserved flow (without water releases) and one situated downstream of the hydropower plant.

The second part of the report estimates the direct incidence of the hydrological variations and the sluicing waters on the macrobenthic community. For it the protocol MAG16 were completed by a study of the **drift** and the **grounding** during the rough of the level of waters to estimate invertebrate's losses.

Key words : macrobenthic community, MAG16, drift, grounding

INTRODUCTION

A l'heure du Grenelle de l'environnement et des énergies renouvelables, l'hydroélectricité apparaît comme une énergie « verte » ou « propre » mais cette qualification ne semble qu'en partie. La faible émission de CO₂ et autres gaz à effets de serre ne doit pas masquer les perturbations notables sur les milieux aquatiques engendrées par cette source d'énergie.

La « houille blanche », comme on la surnomme depuis les années 60, est apparue comme une source d'énergie écologique et économique en remplaçant les énergies fossiles par une énergie entièrement renouvelable et facilement disponible. L'installation de barrages équipés de turbines hydroélectriques s'est ainsi développée sur les cours d'eau les plus dynamiques, présentant des débits ou des pentes suffisantes. La vallée de la Dordogne et de ses affluents n'ont pas échappés à ces aménagements et, durant les années 50-60, une série de barrages visant à produire de l'électricité a été construite.

La présence de ces ouvrages est la cause d'une modification profonde du fonctionnement naturel de l'hydrosystème. Les impacts les plus dommageables identifiés sont la modification du profil thermique, le blocage du transit sédimentaire et l'obstacle à la continuité écologique.

L'utilisation de ces ouvrages à des fins de production hydroélectrique modifie également l'hydrologie du cours d'eau à l'aval. Cette production répondant à des contraintes économiques, sur un marché répondant à l'offre et la demande, les gestionnaires font généralement passer les intérêts économiques avant les exigences biologiques du milieu. Sur la Dordogne et ses affluents, les ouvrages de production électrique appliquent une gestion par éclusée. Le principe de cette gestion est de stocker l'eau dans les lacs de retenue lorsque la demande en électricité est faible et de mettre en route les turbines, en lâchant d'importantes quantités d'eau, lorsque la demande se fait ressentir.

Cette gestion par éclusée est remise en question depuis plusieurs années par les acteurs locaux (pêcheurs en particuliers), pour les nuisances qu'elle engendre sur les milieux aquatiques et les usagers de la rivière. La reproduction des poissons, la survie des alevins, la stabilité des berges et de la ripisylve, les activités nautiques ou la pêche peuvent être fortement perturbées (ECOGEA 2007 ; Compagnie des Experts et Sapiteurs ; 1999). Les éclusées peuvent aussi accroître le problème de la sécurité de certaines pratiques à l'aval des barrages.

La volonté de l'ensemble des acteurs pour protéger les écosystèmes fragiles que sont la Dordogne et la Maronne a permis le lancement de plusieurs études visant à analyser et à quantifier l'incidence de la gestion par éclusée sur certains compartiments de ces hydro systèmes (principalement l'hydro morphologie et la faune piscicole). Les impacts de la gestion par éclusées sur les milieux aquatiques sont peu connus et de surcroît sur les macroinvertébrés, alors que ce peuplement est à la base du réseau trophique des milieux aquatiques.

Le but de la présente étude, dont la maîtrise d'ouvrage est assurée par la Fédération Départementale des Associations Agréées de Pêche et de Protection des Milieux Aquatiques de la Corrèze (FDAAPMA 19), est donc de **mesurer et d'analyser les impacts de la gestion par éclusées sur la faune macrobenthique**, afin de proposer des mesures de gestion visant à limiter ces impacts.

Cette étude, cofinancée par EPIDOR (Etablissement Public Interdépartemental Dordogne), l'association MIGADO (Migrateurs Dordogne), le Conseil Général de la Corrèze, la Région Limousin et l'Agence de l'eau Adour-Garonne, s'inscrit également dans le cadre d'un « Défi territorial éclusées » défini dans le VIIIème programme de l'Agence de l'eau Adour-Garonne.

Trois parties distinctes mais complémentaires vont permettre de répondre du mieux que possible à cette problématique sur l'impact de la gestion par éclusées des rivières Dordogne et Maronne sur les invertébrés benthique :

↳ Partie I : Inventaire exhaustif des invertébrés benthiques ;

Cet inventaire va permettre de décrire ce compartiment hydrobiologique de la Dordogne et de la Maronne qui n'a pas été caractérisé à ce jour et de replacer la faune présente dans son contexte typologique. Cette connaissance précise de la faune macrobenthique apparaît comme un préalable indispensable au suivi des éclusées.

↳ Partie II : Suivi des éclusées ;

La seconde phase a pour but de mesurer les réactions du peuplement macrobenthique lors d'une éclusée.

↳ Partie III : Synthèses et perspectives

L'analyse et la description de l'ensemble de ces phénomènes va permettre d'apporter une réponse quand à la problématique de gestion par éclusées, le but final étant de proposer un plan de gestion visant à en limiter les impacts.

NB : Le printemps pluvieux de cette année ayant retardé les campagnes de prélèvement et mon stage s'insérant au début d'une étude réalisée sur 18 mois, les résultats présentés dans ce rapport sont partiels et ne concernent que la Maronne.

Présentation du stage

I.1 Le bureau d'étude RIVE

RIVE SARL, la société qui m'a accueillie durant ce stage, est un bureau d'étude spécialisé dans la gestion des cours d'eau et zones humides continentales.

Cette société est une SARL, créée en 2002, dont le champ d'action s'étend sur trois secteurs : Centre Val de Loire (Chinon – 37), Normandie Maine (La Ferté-Bernard – 72) et Bretagne Pays de Loire (Camors – 56). Cette implantation a permis d'étendre le périmètre d'action du bureau d'étude.

En termes de personnel, le bureau se compose actuellement de cinq personnes :

- Michel Bacchi (Docteur en hydrobiologie) et Pierre-Alain Moriette (ingénieur), co-gérants,
- Vincent Thoby (ingénieur maître), chargé d'étude,
- Aurélie Thiercé, technicienne SIG
- Christine Velasquez, secrétaire.

RIVE propose ses compétences en étude, conseil et ingénierie auprès des collectivités, administrations et organismes de gestion et d'aménagement des milieux aquatiques.

Les principaux types d'études réalisées sont :

- études préalables à des contrats de restauration et d'entretien : état des lieux, diagnostic, enjeux et objectifs, programmation de travaux,
- expertises hydrobiologiques et études réglementaires,
- étude et maîtrise d'œuvre de projets de restauration et renaturation.

I.2 Mes missions au sein du bureau d'étude

Ce stage a débuté le 03 Mars 2008 pour s'achever le 30 Août 2008. Durant cette période j'ai pu participer activement à la vie et au fonctionnement du bureau d'étude RIVE. Hormis mon thème de stage, j'ai contribué aux réalisations de diverses études, que ce soit aux phases de terrain (prélèvements et recueil de données), de traitement des données (tri et détermination ; cartographie ; analyse) et de rédaction.

Pour citer, les principales études auxquelles j'ai participé activement :

Document d'incidence Natura 2000 : Aménagement du Changeon au moulin boutard ; projet de restauration.

Expertise hydrobiologique : Suivi écologique de la Loire dans sa traversée de l'agglomération orléanaise.

Document d'incidence Natura 2000 : Confortement des fondations du « Vieux pont » de Chinon.

Expertise hydrobiologique : Impact de l'autoroute A28 sur trois cours d'eau.

Document d'incidence Natura 2000 : Doublement de l'ouvrage de franchissement de la Loire par l'A87.

I. INVENTAIRE MACROBENTHIQUE

I.1 Présentation du site d'étude

La Dordogne est un fleuve qui prend naissance au puy de Sancy, point culminant du Massif Central (1886 m), dans la chaîne des Monts Dore et se jette dans la Garonne après avoir traversé les départements du Cantal, de la Corrèze, du Lot, de la Dordogne et une partie de la Gironde.

La Maronne, affluent rive gauche de la Dordogne au niveau d'Argentat (19), prend sa source à plus de 1400 mètres d'altitude dans le Massif central, sur les pentes septentrionales du Roc des Ombres (Monts du Cantal).



Figure 1. Carte de localisation de la Dordogne et de la Maronne.

Ces deux rivières ont été aménagées pour la production d'hydroélectricité, ce qui a profondément modifié leur hydrologie. Cinq barrages ont ainsi été construits sur la Dordogne et trois sur la Maronne entre les années 1930 et 1950 (cf Figure 2) de façon à exploiter au maximum les potentialités de ces cours d'eau. La puissance installée sur ces aménagements est de 1 350 Mégawatts soit l'équivalent d'une tranche nucléaire quasiment immédiatement mobilisable sur le réseau.



Photo 1. Barrage de Hautefage sur la Maronne

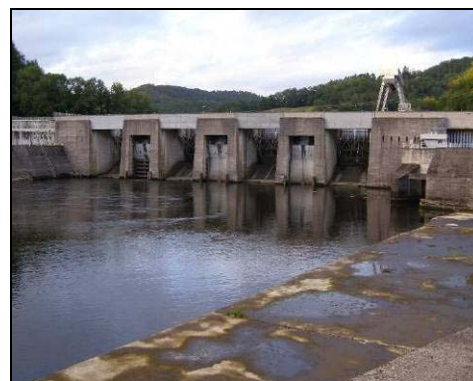


Photo 2. Barrage du Sablier sur la Dordogne

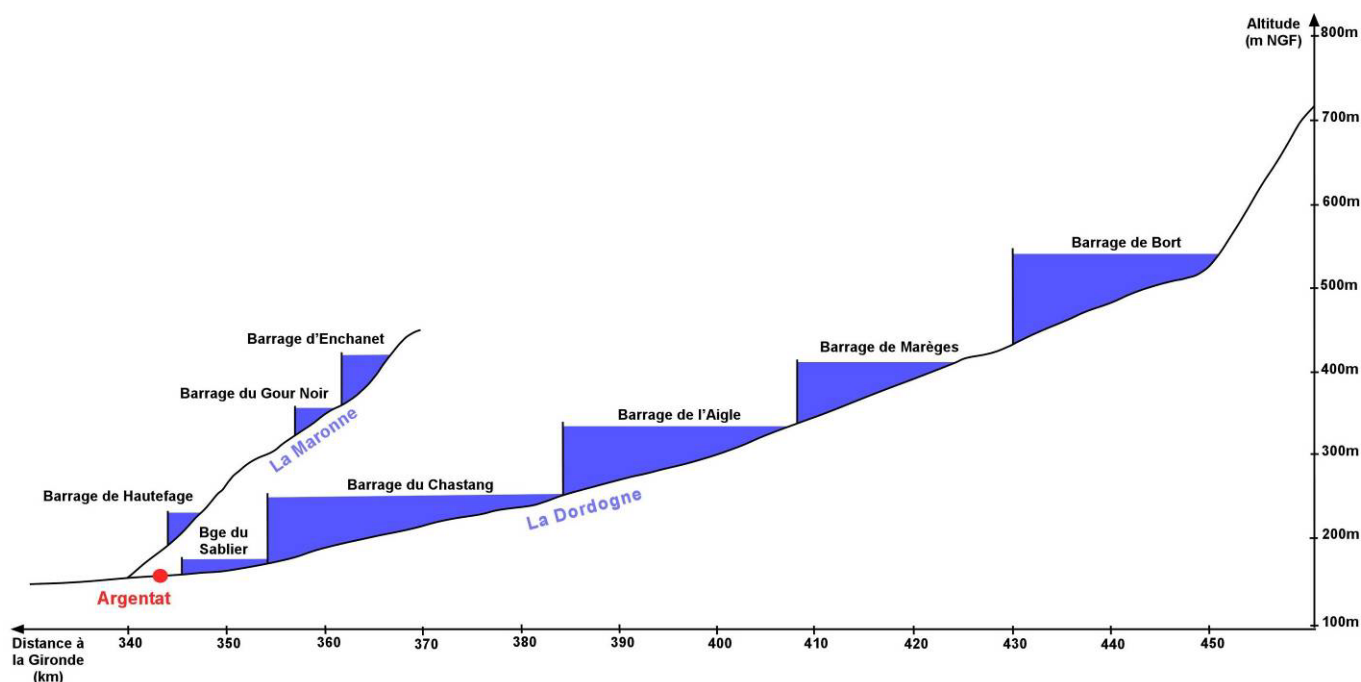
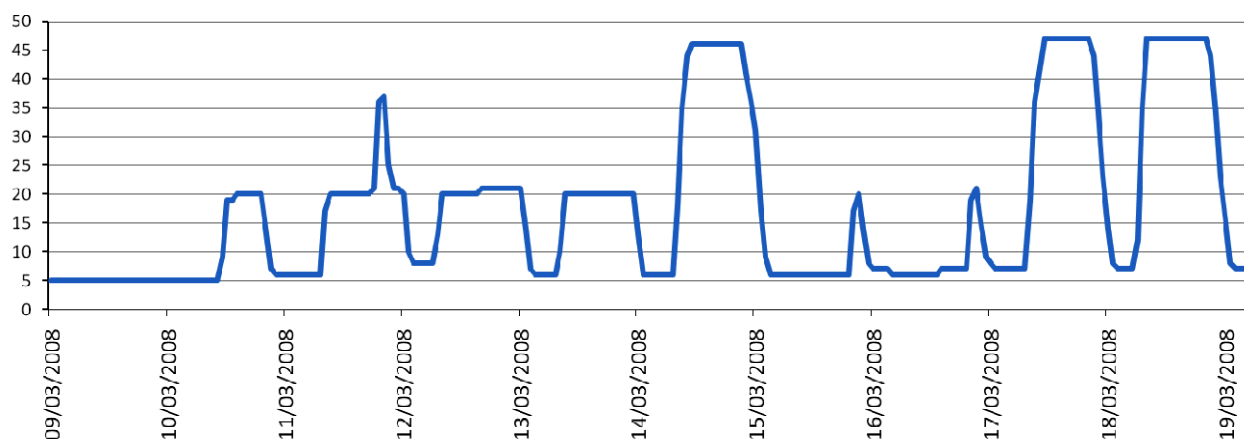


Figure 2. Profils en longs de la Dordogne et de la Maronne.

Ces aménagements fonctionnent par éclusées (lâchers d'eau) en réponse aux variations de la demande énergétique sur le réseau. L'écluse correspond à une variation artificielle du débit du cours d'eau et donc du niveau d'eau. Ce type de gestion a pour conséquence des fluctuations hydrodynamiques généralement plus brutales et plus amples que les fluctuations naturelles (Figure 3). Ces épisodes hydrologiques artificiels ont des conséquences directes sur le milieu et les espèces qui l'habitent.

Figure 3. Evolution des débits (m^3/s) en fonction du temps sur la Maronne ; Succession d'éclusées journalières.

Une écluse se caractérise selon trois phases :

- Une phase de montée des eaux,
- Une phase de stabilité du débit, permettant la production hydroélectrique,
- Une phase d'arrêt des turbines et de diminution du débit.

Ces trois phases ont une durée, une amplitude et un gradient de variation fortement variable qui différencie chaque écluse.

I.2 Introduction

L'inventaire exhaustif du peuplement macrobenthique des cours d'eau a pour but d'étayer les données collectées lors du suivi des éclusées et de mettre en exergue des facteurs influents non pressentis. Pour cela une méthodologie visant à décrire le peuplement macrobenthique sur l'ensemble du cycle biologique (variations saisonnières) et tout au long du secteur d'étude (variations typologiques) a été élaborée. En parallèle, une analyse mésologique permettant d'expliquer la répartition de la macrofaune a été réalisée par le biais d'une cartographie des stations d'échantillonnage et d'une évaluation de leur capacité d'accueil.

I.3 Méthode

I.3.1 Définition du secteur d'étude

Des stations d'échantillonnage ont été définies sur l'ensemble de la zone d'étude ; quatre stations sur la Dordogne (D1 à D4) et deux sur la Maronne (M1 et M2) (cf Figure 4).

Sur la Dordogne, les stations ont été positionnées entre le Barrage du Sablier (limite amont) et le pont de Mols (limite aval), soit 35 kilomètres, de manière à suivre l'évolution longitudinale du peuplement macrobenthique.

Sur la Maronne, une station a été définie en amont de l'usine hydroélectrique (station M1) (cours de la Maronne ne subissant pas de phénomènes d'éclusées et où seul le débit réservé s'écoule, soit 1 m³/s) et une seconde entre l'usine et la confluence avec la Dordogne (station M2).

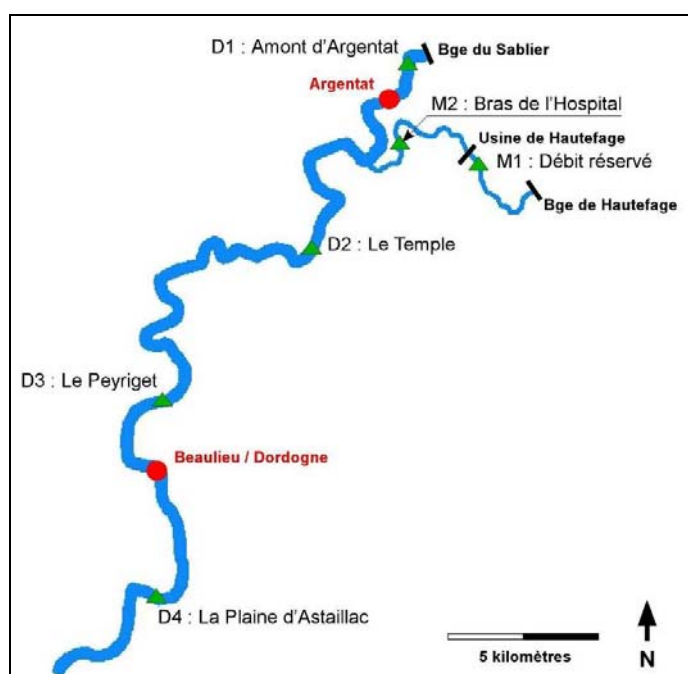


Figure 4. Carte de localisation des stations d'inventaires.

I.3.2 Périodes d'échantillonnage

Trois périodes d'échantillonnage ont été définies (cf Figure 5) :

- ↪ mars - avril (avant les premières éclusées majeures),
- ↪ fin mai - début juin,
- ↪ fin juillet – début août.

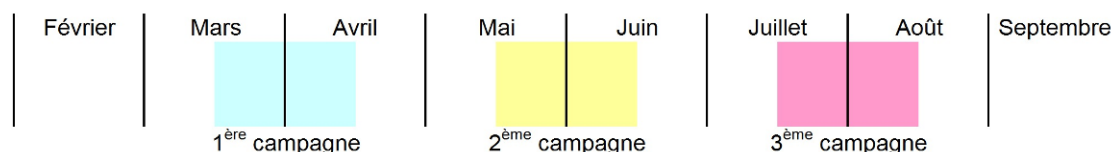


Figure 5. Présentation des périodes d'échantillonnage.

La répartition de ces campagnes d'échantillonnage a pour but de suivre l'évolution temporelle du peuplement macrobenthique de la Dordogne et la Maronne, de manière à obtenir des listes faunistiques les plus exhaustives possibles. Préalable indispensable dans le cadre d'une approche biotypologique.

1.3.3 Protocole d'échantillonnage

La caractérisation des peuplements macrobenthiques de la Dordogne et de la Maronne s'est faite par la réalisation de 3 campagnes.

Ces échantillonnages ont été réalisés suivant un protocole stratifié de type MAG (Macrobenthos Analyse Générique) à 16 prélèvements. Ce protocole de type MAG 16 est une adaptation des travaux de Bacchi (Bacchi, 1994) réalisés sur les cours d'eau de Franche Comté et sur la Loire et la Vienne (Bacchi, 2000) et du bureau d'études Teleos (Teleos, 2000). La grille d'échantillonnage du MAG16 est présentée en Annexe 1.

Il semblait en effet préférable de limiter le nombre de prélèvements par rapport à une méthode telle que le MAG 20 mais d'augmenter les séries de prélèvements à 3 par an de façon à caractériser au mieux l'ensemble du peuplement des stations étudiées.

Ces 16 prélèvements ont été répartis dans le seul chenal principal ou répartis pour moitié entre le chenal principal et les annexes hydrauliques si celles-ci étaient en eau au moment des prélèvements. Les échantillons ont été fixés à l'aide de formol 8% sur le terrain.

Une capture des insectes adultes (volants) présents sur le site lors des inventaires a été réalisée à l'aide de filets à papillons et « aspirateurs à insectes ». Ces individus adultes ont été comparés aux larves aquatiques afin de confirmer les déterminations.

Parallèlement à ce travail de collecte des invertébrés de terrain, une cartographie détaillée des couples substrat / vitesse de courant présents sur chacune des stations échantillonnées a été réalisée. Ces données, reprises sous forme de cartes ARCVIEW, permettent un calcul du pourcentage de recouvrement de chaque couple substrat / vitesse de façon à définir précisément la valeur habitationnelle des différentes stations.

Des thermo-boutons ont été mis en place sur chaque site d'analyse pour un enregistrement en continu des températures. Ces données permettent de calculer la typologie théorique de chaque station.

Sur chaque station, des analyses physico chimiques de terrain ont été réalisées (pH, Oxygène dissous, température de l'air et de l'eau, conductivité et turbidité (mesure au disque de Secchi)).



Photo 3. Prélèvement à l'aide d'un filet surber.



Photo 4. Capture d'insectes adultes à l'aide d'un « aspirateur à insectes ».



Photo 5. Prélèvement à l'aide d'un surber emmanché.



Photo 6. Capture d'insectes adultes à l'aide d'un filet à papillons.

1.3.4 Tri et détermination

Les échantillons ont été triés sur des tamis de maille 500µm de manière à extraire l'ensemble des individus. Les individus sont alors conservés dans l'alcool avant détermination.

Les déterminations sont réalisées au niveau de détermination données par l'ouvrage de Tachet. Une confirmation des espèces présentes est rendue possible par la capture in situ d'adultes prélevés lors des phases de terrain.



Photo 7. Tri des échantillons et collecte des insectes.

1.3.5 Exploitation des résultats

L'exploitation des résultats a pour but d'effectuer des comparaisons intra stationnelles (analyse diachroniques) ou inter stationnelles (analyse synchronique) des peuplements des différentes stations. Ces analyses ont aussi pour objet d'essayer de mettre en évidence un gradient d'impact des éclusées en fonction de la distance à la perturbation (secteur de turbinage).

La diagnose des peuplements macrobenthiques se fait par le calcul et l'interprétation d'indices synthétiques :

↳ Indices descriptifs

- **L'abondance (N)** : correspond au nombre d'individus dénombrés dans le relevé.
- **La richesse spécifique ou variété taxinomique du milieu (S)** : correspond au nombre de taxons comptabilisés dans le relevé.
- **L'indice de diversité (H') de Shanon** : il permet de comparer des peuplements en traduisant l'équi-répartition, ou non, du nombre d'individus par taxon au sein du peuplement. Il s'exprime en « bits » et son maximum dépend de la richesse spécifique S.

$$H' = \sum_{i=1}^n p_i \times \log_2 \times (p_i) \quad \text{avec} \quad p_i = \frac{n_i}{N} \quad H'_{max} = \log_2(S)$$

n_i : nombre d'individus pour un taxon donné

N : effectif total du relevé

- **La dominance (d)** : il traduit la dominance d'un ou de plusieurs taxons sur le peuplement, ce qui peut être associé, très souvent, à une dystrophie des hydrosystèmes. La dominance augmente dans les peuplements déséquilibrés par des apports trophiques importants et est faible dans des peuplements normaux ou contrôlés par des facteurs externes défavorables (milieux pionniers ou milieux contaminés par des toxiques).

$$d = \sum p_i^2$$

- **L'équitabilité (E)** : elle correspond au rapport de la Diversité H' observé sur la diversité maximale que pourrait avoir un peuplement (abondance et richesse spécifique identique) si les taxons présentaient le même nombre d'individus. L'équitabilité est toujours comprise entre 0 et 1 ; une équitabilité inférieure à 0,8 traduit un peuplement déstructuré.

$$E = \frac{H'}{H'_{max}}$$

↳ Indices comparatifs :

- **La Persistance (P)** : Elle permet de mesurer le maintien dans l'espace ou dans le temps de la richesse spécifique. L'intervalle de persistance est compris entre : $0 \leq P \leq 1$; 0 signifiant des échantillons n'ayant pas d'espèces communes, et 1, des échantillons identiques et stables.

$$P = 1 - T$$

$$T (\text{turn over}) = (C + E) / (S_1 + S_2)$$

C : nombre d'espèces nouvelles

E : nombre d'espèces disparues

S_n : nombre d'espèce dans l'échantillon n

Si le nombre de taxons apparus et disparus (les deux additionnés) correspond à 25% de S1+S2 (somme des taxons rencontrés sur la station et 1 et 2), alors $P = 0,75$.

↳ **Le Community Loss Index** : il mesure la perte de taxons entre une station de référence et la station étudiée. Les valeurs de cet indice s'accroissent en fonction de l'importance de la différence entre les deux relevés ; elles vont de 0 à l'infini.

$$\text{Community loss} = \frac{d - a}{e}$$

d : nombre de taxons du relevé amont

e : nombre de taxons du relevé aval

a : nombre de taxons communs aux deux relevés

Lorsque le nombre de taxons disparus entre les deux stations correspond à 50% de la richesse spécifique aval, l'indice est de 0,5. Lorsque le nombre de taxons disparus correspond à 25% de la richesse spécifique aval il passe à 0,25.

- **Le Coefficient de Jaccard** : Il mesure le degré de similarité entre deux listes taxonomiques en terme de présence et absence de taxons. Il prend des valeurs allant de 0 à 1 et qui augmentent avec le degré de similarité des stations.

$$\text{Coefficient de Jaccard} = \frac{a}{a + b + c}$$

a : nombre de taxons communs aux deux relevés

b : nombre de taxons gagnés entre l'amont et l'aval

c : nombre de taxons perdus entre l'amont et l'aval

Si le nombre de taxons apparus et disparus (les deux additionnés) correspond à 25% du nombre de taxons présents dans S1 et S2, l'indice sera de = 0,8. De même, pour 50% de S1 et S2, il sera de 0,67.

En complément à ces indices synthétique, la structure typologique des différentes stations étudiées a été caractérisée. Cette comparaison typologique a été réalisée grâce à la projection en variables supplémentaire (AFC) dans l'espace typologique définis par Verneaux (Verneaux, 1973) des données actuelles (utilisation des données de Verneaux, 1973 et Verneaux, 2003). Cette analyse typologique pourra être confrontée à la typologie de référence qui sera calculée à partir des données de température collectée sur chacune des stations.

Formule de calcul de la typologie théorique :

$$T = 0,45T_1 + 0,30T_2 + 0,25T_3$$

T = Niveau typologique théorique

$T_1 = 0,55 \theta_{Mn} - 4,34$ (facteur thermique)

$T_2 = 1,17 \text{ Log}_e (d_0 \times D \cdot 10^{-2}) + 1,50$ (Facteur thermique)

$T_3 = 1,75 \text{ Log}_e ((S_m/P \times l^2) \times 10^2) + 3,92$ (Facteur morphodynamique)

θ_{Mn} : température maximale moyenne du mois le plus chaud (°C)

d_0 : distance aux sources (Km)

D : dureté totale (mg/l)

S_m : section mouillée à l'étiage

p : pente (%)

l : largeur du lit (m)

I.4 Résultats

Cette partie décrit le peuplement macrobenthique de la Maronne et la relation qu'il peut y avoir avec le milieu. Après avoir présenté les modalités d'intervention les résultats sont présentés en deux grands chapitres. Un premier présentant le peuplement macrobenthique de la Maronne au travers des deux stations d'échantillonnage et une seconde décrivant les habitats des ces stations.

I.4.1 Interventions réalisées

La Figure 6 présente les campagnes d'inventaires réalisées sur la Maronne à ce jour.

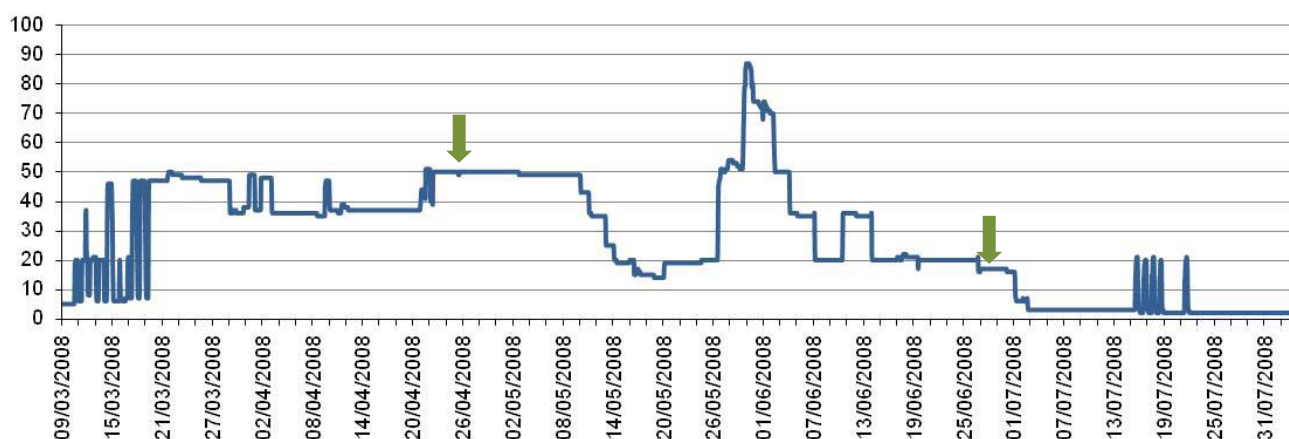


Figure 6. Interventions réalisées sur la Maronne en fonction de l'hydrologie

Sur la Maronne deux campagnes d'inventaires ont été réalisées (↓) :

- Une le 22 Avril, réalisée à un débit de 49 m³/s sur la station M2, ce qui correspond au débit de plein bord. Le débit sur la station M1 était quant à lui de 2 m³/s.
- Une le 30 Juin sur la station M2, à un débit de 17 m³/s, et le 01 Juillet 2008 sur la station M1 à un débit de 1 m³/s.

Les travaux réalisés étant fonction du débit observé sur la Maronne, il est important de mentionner quelques débits caractéristiques de la Maronne :

- Le débit de la station M1 est stable et correspond de façon quasi permanente au débit réservé soit 1 m³/s.
- Le débit de la station M2, située en aval des turbines, est très variable. On peut néanmoins citer 3 débits couramment enregistrés :
 - Environ 1 - 2 m³/s, ce qui correspond au débit réservé augmenté de celui des affluents ; il s'agit du débit d'étiage « artificiel » de la rivière.
 - 18 - 20 m³/s, ce qui correspond à la mise en route d'une turbine + le débit réservé et les affluents ;
 - Environ 40 m³/s avec la mise en route des deux turbines de l'usine hydroélectrique. Ce débit caractéristique correspond également au débit de plein bord.

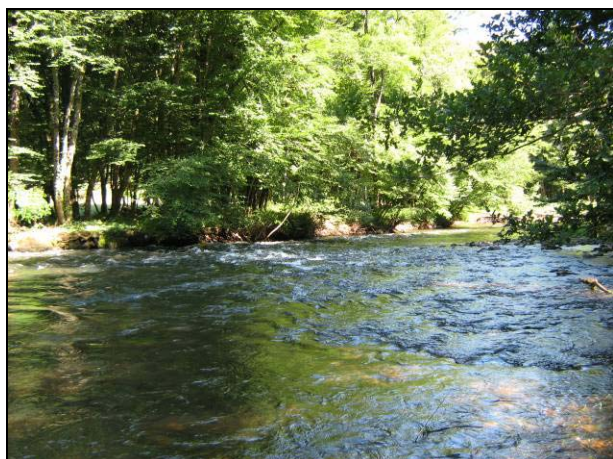


Photo 8. La Maronne ; amont de la station M2 le 29/06/2008 ; 20 m³/s



Photo 9. La Maronne ; aval de la station M2 le 29/06/2008 ; 2 m³/s



Photo 10. La Maronne ; Station M1 le 22/04/2008 ; 2 m³/s

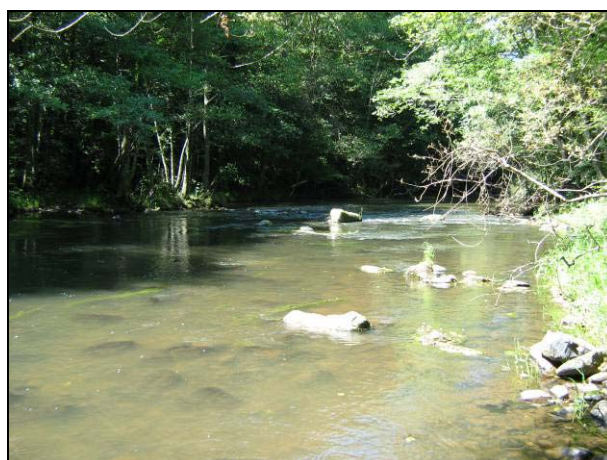


Photo 11. La Maronne ; Station M1 le 01/07/2008 ; 1 m³/s

I.4.2 Analyse du peuplement

I.4.2.1 Analyse diachronique

Cette comparaison des listes taxinomiques printanières et estivales pour les stations M1 et M2 a pour but de mettre en évidence les évolutions temporelles du peuplement.

Pour cette analyse diachronique il a été pris pour hypothèse de départ que les stations M1 et M2 présentaient le même contexte typologique et avaient donc un peuplement macrobenthique comparable. Cette similitude est en effet indispensable pour justifier l'utilisation des indices de comparaison de peuplement.

Les listes faunistiques de l'ensemble des MAG16 réalisés à ce jour sont présentées en Annexes 2 à 7.

I.4.2.1.1 Peuplement de la station M1

Les deux MAG16 réalisés sur cette station ont été effectués le 22 Avril (référence I1M1) et le 30 Juin (référence I2M1) dans le cadre des campagnes d'inventaire.

	I1M1	I2M1
Richesse taxinomique	53	56
Groupe indicateur IBGN	9 - Chloroperlidae	9 - Perlidae
Abondance	3249	4565
E (équité)	0,41	0,45
H' (diversité)	2,2	2,4
Dominance	0,38	0,23
Persistence	0,62	
Jaccard	0,45	
Community loss	0,34	

Tableau 1. Indices de description et de comparaison du peuplement de la station M1

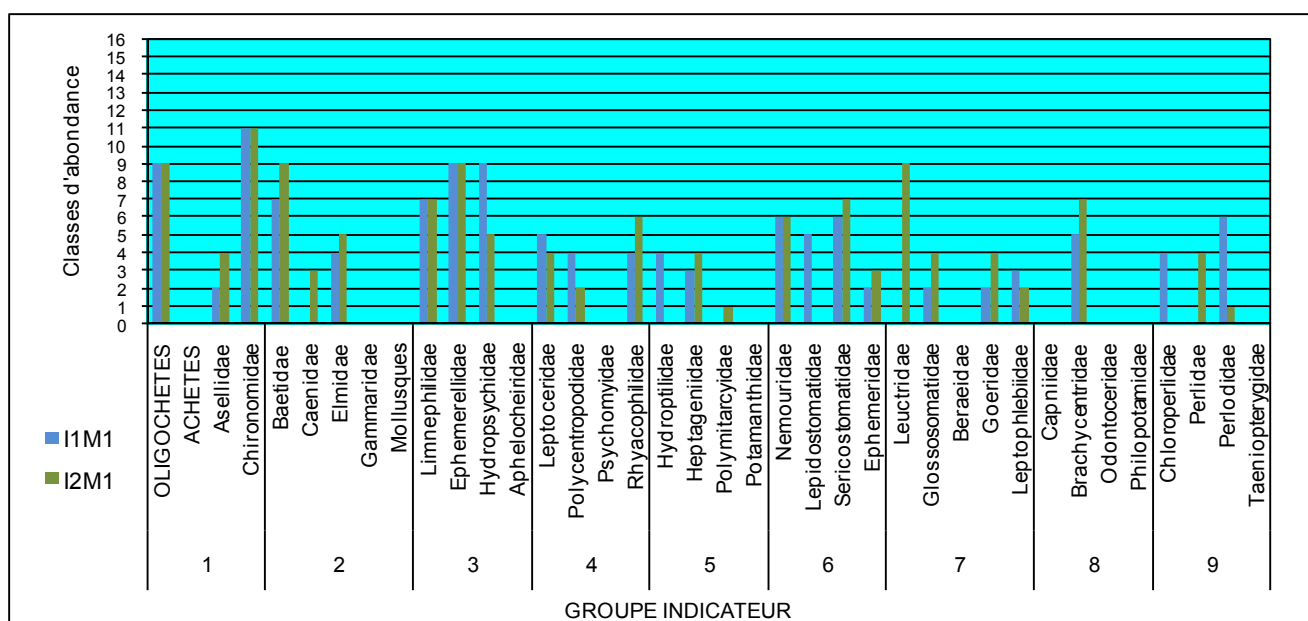


Figure 7. Classes d'abondances des taxons indicateurs pour les inventaires I1M1 et I2M1 sur la station M1

Comme nous le montre le Tableau 1 et la Figure 7, les inventaires réalisés à deux mois d'intervalle présentent un peuplement légèrement différent mais globalement bon. En effet les groupes indicateurs 9 (*Chloroperlidae* et *Perlidae*) couplés à une richesse taxinomique (variété) importante permettraient d'obtenir une note équivalent IBGN de 20/20.

Il est important de noter la présence de plusieurs espèces de Plécoptères, espèces remarquables car sensibles aux perturbations : *Chloroperlidae* *Nemouridae* et *Perlodidae* pour I1M1, auxquelles s'ajoute des *Leuctridae* pour I2M1.

D'autres variations taxinomiques sont également observées avec la disparition de 19 taxons et l'apparition de 22 taxons, ce qui représente environ 25% de la richesse spécifique. Ces variations ne modifient cependant pas la structure du peuplement et ne semblent pas directement liées à une quelconque perturbation mais plus à l'évolution temporelle du peuplement au cours du cycle biologique annuel.

La faible diversité des deux MAG16 (2,2 et 2,4 bits) tout comme leurs équitabilités (0,41 et 0,45), éloignées du seuil de structuration du peuplement, traduisent un déséquilibre certain du peuplement macrobenthique de cette station. Ce déséquilibre pourrait s'expliquer par une perturbation notable de la qualité des eaux.

En effet, les indices de dominance relativement élevés traduisent une eutrophie/dystrophie du milieu. La Figure 7 illustre bien la prédominance des groupes indicateurs les plus faibles, les moins

sensibles à la qualité de l'eau. L'alimentation du bras déconnecté par les eaux de la retenue de HautePAGE pourrait expliquer cette eutrophie/dystrophie.

Au vu de ces résultats, le peuplement de la station M1 présente un déséquilibre notable du à une eutrophie/dystrophie des eaux. La présence de quelques taxons polluo-sensibles avec des abondances faibles à très faibles met également en avant une dégradation notable de la qualité des eaux dont l'origine précise reste à déterminer.

La modification du profil thermique des eaux par le barrage de HautePAGE (lissage des températures autour de 12-15°C), facteur influant du cycle biologique de la faune, pourrait également expliquer les faibles diversités observées et la déstructuration du peuplement. Une analyse des mesures physico-chimiques devrait être réalisée de manière à évaluer cette dégradation de la qualité des eaux.

La variation saisonnière semble naturelle et ne présente pas de discordances pouvant être attribuées à une quelconque perturbation.

1.4.2.1.2 Peuplement de la station M2

Les deux MAG16 réalisés sur cette station ont été effectués le 23 Avril (référence I1M2) et le 27 Juin (EM1av).

	I1M2	EM1av
Richesse taxinomique	58	51
Groupe indicateur IBGN	9 - Chloroperlidae	9 - Perlodidae
Abondance	5203	3354
E (équitabilité)	0,5	0,58
H' (diversité)	2,7	3
Dominance	0,21	0,13
Persistence	0,70	
Jaccard	0,54	
Community loss	0,39	

Tableau 2. Indices de description et de comparaison du peuplement de la station M2

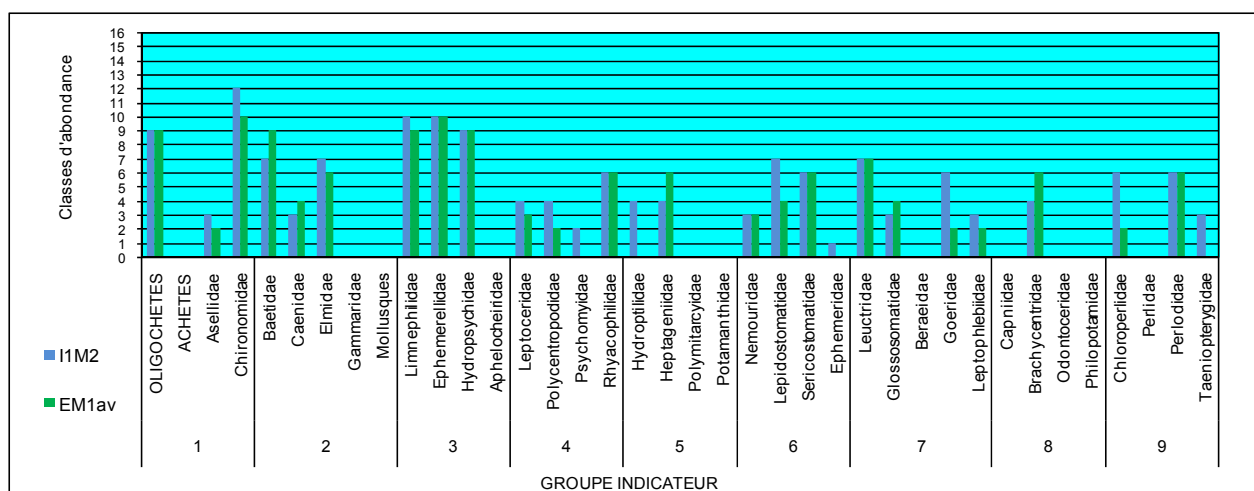


Figure 8. Classes d'abondances des taxons indicateurs pour MAG16 I1M2 et EM1av sur la station M2

Le Tableau 2 et la Figure 8 présentent les principaux résultats obtenus pour ces deux MAG16.

Ces deux échantillonnages présentent des richesses taxinomiques et des abondances semblables et le groupe indicateur est le même (9 – *Chloroperlidae* / *Perlodidae*). Ces caractéristiques permettraient l'obtention d'une note de 20/20 dans le cadre d'un IBGN, ce qui traduit pour cette station une qualité plutôt bonne du milieu. Les taxons appartenant aux ordres des Ephémères, Plécoptères et Trichoptères (EPT) sont majoritaires et confirment qualité acceptable du milieu.

Les indices descriptifs nuancent cependant ces observations et montrent un déséquilibre des peuplements. La diversité reste relativement faible (2,7 et 3 bits), loin des maximums respectifs de 5,43 et 5,17 bits. L'abondance, largement en deçà du seuil de structuration de 0,8, confirme le déséquilibre du peuplement pour les deux saisons.

Les indices de dominance notablement élevés montrent une eutrophie/dystrophie légère du système et un déséquilibre du peuplement macrobenthique. La Figure 8 illustre bien la prédominance de certains taxons. La présence de quelques taxons polluo-sensibles avec des abondances faibles à très faibles met également en avant une dégradation notable de la qualité des eaux dont l'origine précise reste à déterminer.

Les indices de comparaison montrent une modification d'environ 27% de la richesse spécifique entre les deux MAG16, ces différences taxinomiques correspondent à la disparition de 20 taxons et l'apparition de 13 taxons entre le printemps et l'été.

Ces variations taxinomiques ne modifient pas la structure du peuplement et semblent correspondre à l'évolution temporelle naturelle du peuplement. Des baisses importantes du débit ayant été observées durant les jours précédents l'échantillonnage du second MAG16, cela pourrait également expliquer la baisse de l'abondance et de la richesse sur la station M2 en Juin.

Les deux peuplements présentent un déséquilibre identique de leur structure, très certainement causé par un déséquilibre trophique du milieu.

Ces résultats mettent également en évidence une évolution faible du peuplement entre le printemps et l'été. Ces différences faunistiques semblent dues aux variations saisonnières naturelles du peuplement et aux baisses importantes de débit précédent l'échantillonnage estival. L'impact direct de perturbations liées à la gestion par éclusées n'est cependant pas établi à partir des relevés.

La modification du profil thermique des eaux, facteur influant du cycle biologique de la faune, par le barrage de Hauteage (lissage des températures autour de 12-15°C) et la physico-chimie pourraient expliquer en partie les faibles diversités observées et la déstructuration du peuplement.

I.4.2.2 Analyse synchronique

La comparaison synchronique des listes taxinomiques obtenues simultanément sur les stations M1 et M2 a pour but de mettre en évidence d'éventuelles différences de peuplement entre une station soumise aux éclusées (M2) et une station où l'hydraulique est stable (M1).

Pour ce faire, les MAG16 réalisés au printemps et à l'été, sur les deux stations, vont être comparés. Pour le printemps il s'agit des MAG16 I1M1 et 1M2 et pour l'été des MAG16 I2M1 et EM1av.

I.4.2.2.1 Peuplement printanier

Les résultats de l'analyse synchronique des prélèvements printaniers réalisés sur les stations M1 (I1M1) et M2 (I1M2) sont présentés dans le Tableau 3 ci-dessous.

	I1M1	I1M2
Richesse taxinomique	53	58
Groupe indicateur IBGN	9 - Chloroperlidae	9 - Chloroperlidae
Abondance	3249	5203
E (équitabilité)	0,41	0,5
H' (diversité)	2,2	2,7
Dominance	0,38	0,21
Persistence	0,72	
Jaccard	0,56	
Community loss	0,22	

Tableau 3. Indices de description et de comparaison du peuplement printanier sur la Maronne

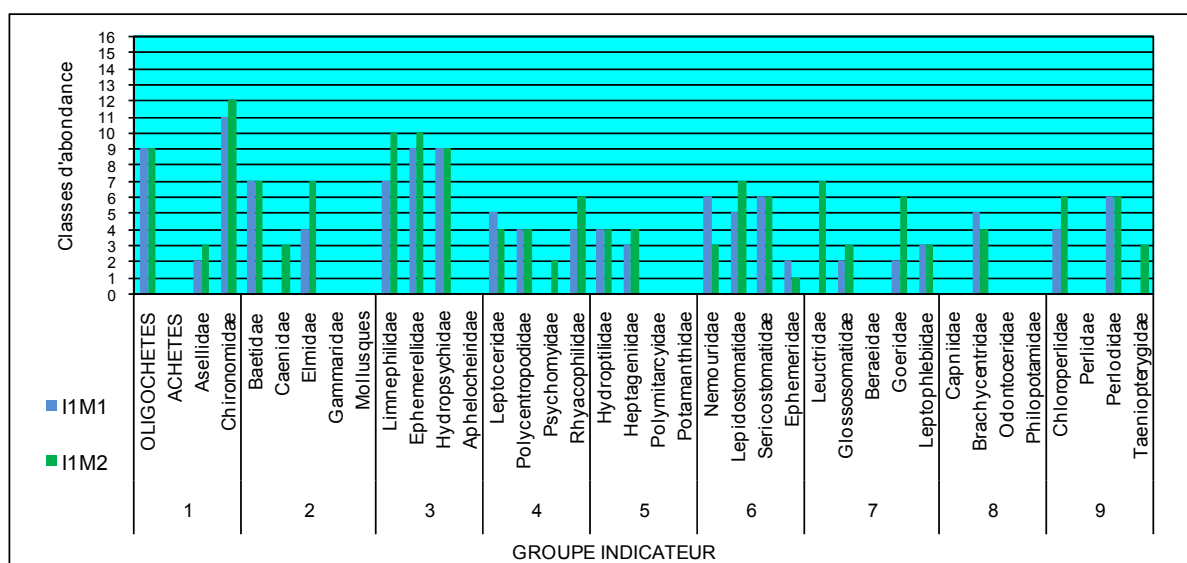


Figure 9. Classes d'abondances des taxons indicateurs pour MAG16 I1M1 et I1M2

Les richesses taxinomiques et le groupe indicateur identique (9 - *Chloroperlidae*) correspondraient à une note équivalente IBGN de 20/20 pour les deux MAG16.

La richesse taxinomique plus élevée de 5 points et une abondance nettement supérieure montrent une meilleure structure du peuplement de la station M2 (I1M2) par rapport à la station M1 (I1M1). Les indices de description confirment une meilleure structuration et un équilibre légèrement en dessus pour le peuplement de la station M2. La Figure 9 confirme ces observations et l'on voit nettement les plus grandes abondances des groupes indicateurs sur la station M2.

Les indices de comparaison mettent en évidence une variation du peuplement d'un peu plus de 25%. Cela s'explique par la perte de 13 taxons, le gain de 18 taxons et le maintien de 40 taxons entre les deux listes faunistiques.

La supériorité de qualité du peuplement de la station M2 pourrait s'expliquer par la qualité du milieu. Lors de ce premier inventaire le débit de la station M2 était en effet d'une cinquantaine de m³/s depuis quelques semaines. Ces débits importants ont permis l'inondation d'une superficie importante de substrats et surtout de présenter l'ensemble des champs de vitesse. Cet habitat nettement plus diversifié que sur la station M1, où le débit de 2 m³/s ne permet pas une telle diversité de milieu serait le facteur explicatif principal des différences observées.

Cette analyse ne met pas en évidence de disparités entre les peuplements échantillonnés à la même date sur les deux stations. Les faibles différences observées semblent dues à une plus grande capacité d'accueil sur la station M2 que sur la station M1.

L'impact de la gestion par éclusées sur le peuplement de la station M2 n'est pas montré par cette analyse.

1.4.2.2 Peuplement estival

Le Tableau 4 présente les résultats obtenus pour comparer le peuplement estival de la station M1 (I2M1) avec celui de la station M2 (EM1av).

	I2M1	EM1av
Richesse taxinomique	56	51
Groupe indicateur IBGN	9 - Perlidae	9 - Perlodidae
Abondance	4565	3354
E (équitabilité)	0,45	0,58
H' (diversité)	2,4	3
Dominance	0,23	0,13
Persistence	0,77	
Jaccard	0,62	
Community loss	0,29	

Tableau 4. Indices de description et de comparaison du peuplement printanier sur la Maronne

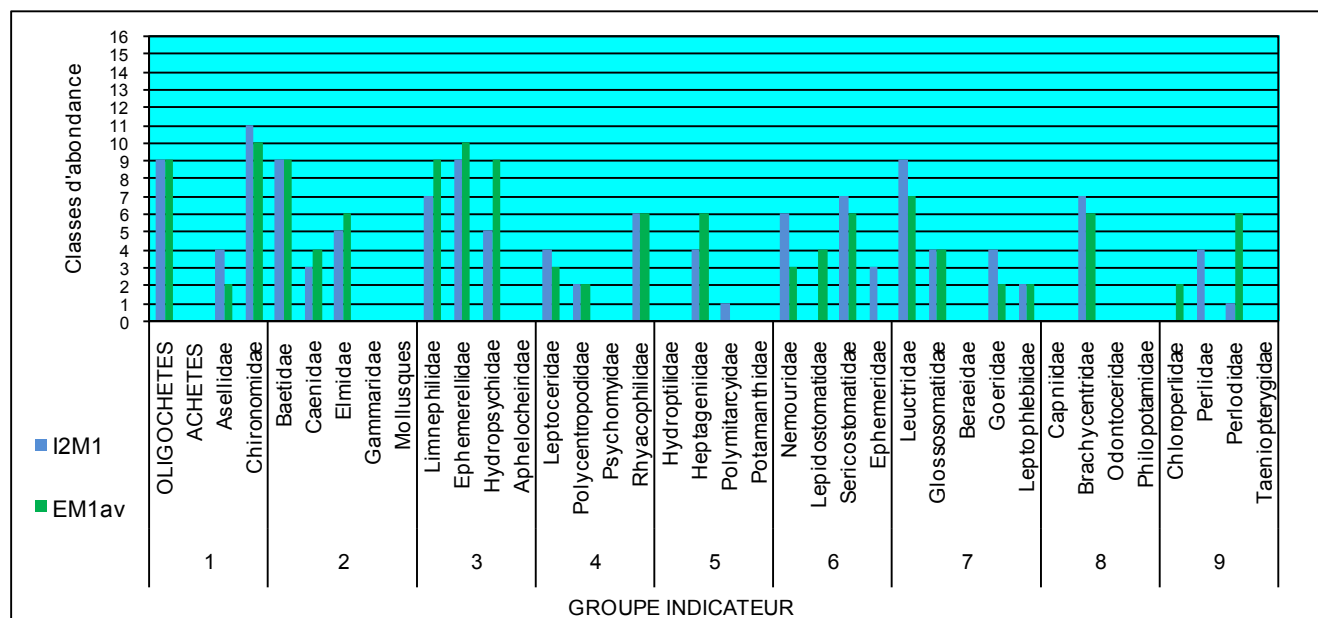


Figure 10. Classes d'abondances des taxons indicateurs pour MAG16 I2M1 et I2M2

Tout d'abord, les MAG16 présentent des groupes indicateurs différents (*Perlidae* et *Perlodidae*) mais de même niveau de sensibilité (9) ; Cela équivaut à une note IBGN de 20/20.

Le MAG16, avec une richesse et une abondance supérieure semble avoir un peuplement de meilleure qualité. Cependant les indices de description montrent nettement l'inverse, avec des valeurs nettement en deçà pour I2M1 (station M1), traduisant un peuplement plus structuré et moins déséquilibré.

Néanmoins les peuplements présentent tous les deux un déséquilibre trophique.

Les variations taxinomiques sont légèrement supérieures à celles observée pour l'analyse printanière et représente environ 30% du peuplement de base des deux listes faunistiques. Cela représente une perte de 15 taxons, le gain de 10 taxons et le maintien de 41 taxons.

Pour cet inventaire, la meilleure qualité de structuration semble directement liée à une qualité d'habitat plus importante (meilleure diversité) sur la station M2 où le débit était de 20 m³/s contre 1 m³/s sur la station M1.

Les variables mésologiques ne permettent pas d'expliquer la richesse spécifique plus élevée de I2M1. La succession de baisses brutales des niveaux d'eau sur la station M2 dans les jours précédents cet inventaire pourrait expliquer pour partie la richesse taxinomique et l'abondance plus faible observées.

Au vu de ces analyses il est possible d'esquisser une relation entre les variations hydrologiques sur la station M2 et les plus faibles abondances et richesses observées. Ces variations correspondent à des baisses brutales du niveau des eaux et pourraient être en partie assimilées à une gestion par éclusée.

Il serait donc intéressant de réaliser d'autres prélèvements synchroniques lors de phases d'éclusées sur la station M2 de façon à confirmer ces observations.

I.4.2.3 Conclusion

Pour conclure sur la comparaison entre les peuplements des stations M1 (débit réservé) et M2 (soumise aux éclusées) trois tendances ont été mises en évidence :

- Les débits supérieurs sur la station M2 semblent plus favorable à la richesse et surtout à la qualité du peuplement grâce à un habitat plus biogène et diversifié.
- Les peuplements sont globalement tous perturbés par une eutrophie/dystrophie marquée du milieu, que ce soit en amont où en aval et pour les deux saisons.
- Les variations brusques du niveau des eaux, et donc la perte d'habitats, sembleraient avoir un impact sur l'abondance et la richesse du peuplement. Le maintien d'une structure du peuplement de meilleure qualité pour EM1av limite cependant la validité de cette observation qui demande confirmation après de nouveaux suivis.

Sans conclusion hâtive, l'absence d'éclusée proprement dite (augmentations puis baisses rapides du niveau des eaux) durant la période printanière et estivale pourrait expliquer l'absence de différences significatives entre les peuplements des deux stations. Les futurs inventaires (fin de l'été) devront donc être postérieures autant que possible à une série d'éclusées pour permettre une meilleure comparaison des peuplements entre les deux stations et évaluer d'éventuelles perturbations en lien avec les éclusées.

I.4.3 Typologie de la Maronne

La distribution longitudinale de la macrofaune est fonction des facteurs définissant la typologie du cours d'eau en un point donné. Une typologie de référence a été calculée à partir de la formule de Verneaux pour les deux stations suivies sur la Maronne. Cette biotypologie théorique est présentée dans le Tableau 5 suivant.

Les données qui ont permis le calcul de cette typologie correspondent à des relevés in-situ pour les critères morphologiques et la température (enregistrement des températures estivales à l'aide de thermo boutons). Les données physico-chimiques proviennent du suivi de l'agence de l'eau Adour Garonne.

Cette typologie théorique calculée inclue les perturbations existantes dues aux barrages (régime thermique particulier) et ne correspond pas à la typologie naturelle du cours d'eau.

	Station M1	Station M2
T° des 30 jours les plus chauds	17,6	17,2
Distance à la source (Km)	84,0	90,0
Dureté totale (mg/l)	6,5	6,5
Section mouillée à l'étiage (m ²)	5,4	5,4
Pente (‰)	3,1	3,1
Largeur du lit à l'étiage (m)	18,0	18,0
T1 =	5,3	5,1
T2 =	3,5	3,6
T3 =	2,8	2,8
Niveau typologique calculé	4,1	4,1

Tableau 5. Typologies de référence calculées pour les stations M1 et M2 de la Maronne.

Les niveaux typologiques calculés pour les deux stations sont identiques. Ces stations se situant sur le même cours d'eau et à quelques kilomètres de distance, les variations du peuplement qui sont observées ne peuvent être attribuées à un gradient biologique naturel et donc à l'impact des éclusées.

Une analyse typologique a donc été menée sur les invertébrés et les poissons. Les résultats sont présentés dans le paragraphe suivant.

I.4.3.1 Analyse biotypologique des peuplements macrobenthiques

La liste taxinomique (détermination au genre) a permis d'évaluer la typologie observée sur le cours d'eau en projetant ces données en variables supplémentaires dans différents espaces typologiques de Verneaux (Verneaux, 1973). La Figure 11 ci-dessous présente ces résultats.

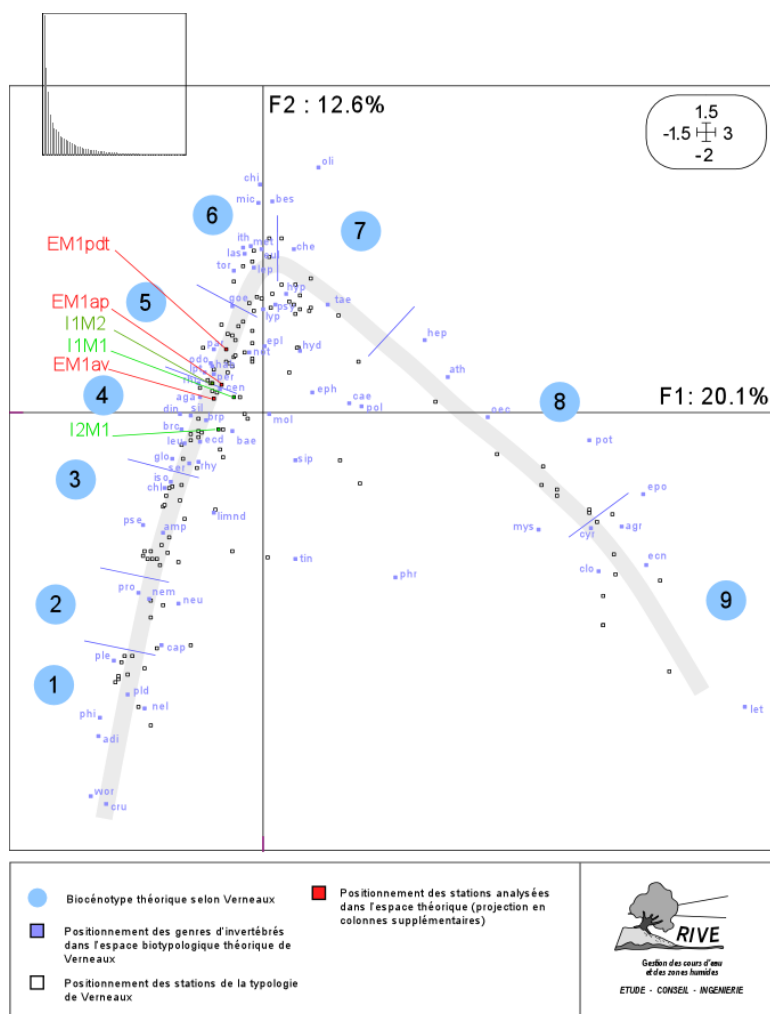


Figure 11.Projection en variable supplémentaire du peuplement macrobenthique des stations M1 et M2 à différentes périodes sur la Maronne dans la structure typologique établie pour le bassin versant du Doubs par Verneaux (Verneaux 1973).

Les typologies observées sur les stations M1 et M2 se situent bien sur la courbe typologique de Verneaux. Les différents MAG16 utilisés présentent des contextes typologiques proches les uns des autres, aux alentours d'une typologie B4 – B5.

Un léger décalage peut néanmoins être observé entre la station M1, qui correspondrait à une typologie de fin de B4, et la station M2, dont la typologie serait en début de B5.

Cette typologie observée est peu éloignée de la typologie de 4,1 calculée pour les deux stations mais le décalage, de l'ordre de 1 point plus élevé traduit une perturbation du milieu.

Cette perturbation semble due à une dégradation de qualité des eaux, très certainement atténuée par une thermie relativement faible des eaux issues du barrage de HautePAGE.

I.4.3.2 Analyse biotypologique du peuplement piscicole

La Figure 12 et la Figure 13 présentent les typologies obtenues à partir du peuplement ichtyologique de la Maronne selon deux référentiels, le premier celui du CSP, pour le bassin versant de la Loire (Suivant les travaux de T Vigneron), et le second le référentiel de Verneaux pour le bassin versant du Doubs (Verneaux 1973).

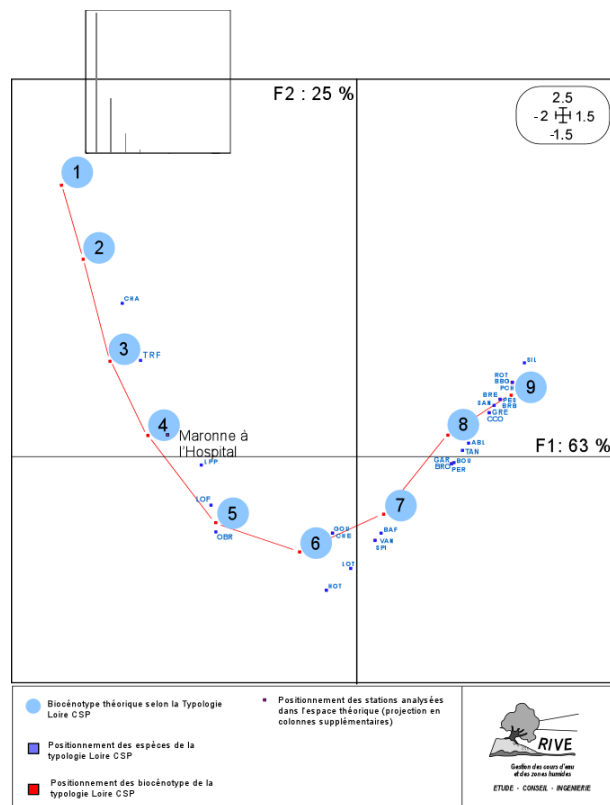


Figure 12. Projection en variable supplémentaire du peuplement ichtyologique de la Maronne à l'Hospital dans la structure typologique établie pour le bassin versant de la Loire par le CSP (Vigneron).

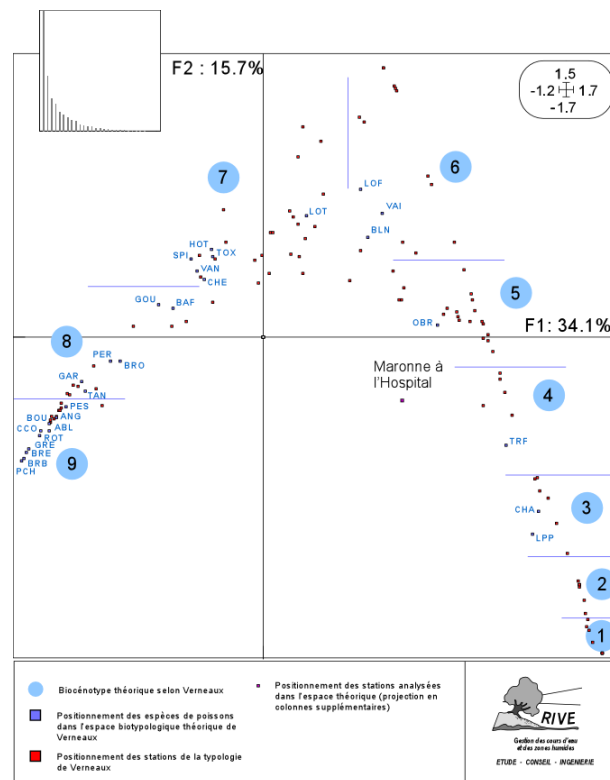


Figure 13. Projection en variable supplémentaire du peuplement ichtyologique de la Maronne à l'Hospital dans la structure typologique établie pour le bassin versant du Doubs par Verneaux (Verneaux 1973).

Les typologies obtenues à partir du peuplement piscicole sont comparables pour les deux référentiels (B4-B5) mais l'on note un léger décalage du peuplement de la Maronne vers le centre des axes pour la typologie Verneaux. Ce décalage s'explique par la présence d'espèces dont le préférendum typologique est plus élevé (Goujon, Vandoise et Anguille). Toutefois ce décalage typologique reste minime.

Il y a tout de même un léger décalage de l'ordre de ½ point entre les projections des deux stations. Cette différence pourrait s'expliquer par la qualité de l'eau ou la nature du référentiel choisi. Néanmoins il n'existe pas de référentiel attribué au bassin versant de la Dordogne.

L'ensemble des typologies calculées et observées à partir des peuplements concordent et permettent de définir la zone d'étude comme présentant un niveau typologique B4-B5. Les typologies des deux stations sont similaires et ne mettent pas en évidence de relation entre la position des stations et la présence des ouvrages.

La gestion par éclusées et la présence des ouvrages n'apparaissent donc pas comme un facteur pouvant modifier les variables expliquant la distribution du peuplement macrobenthique.

I.4.4 Analyse des stations

Cette analyse a pour but de définir le lien qui pourrait exister entre le peuplement macrobenthique et la qualité du milieu. Il s'agira donc dans un premier temps de définir la qualité des substrats échantillonnés lors des MAG16 réalisés. Puis d'évaluer en fonction des résultats obtenus la qualité globale des stations en fonction des variations de débit.

L'évaluation de la capacité d'accueil des stations est en effet importante pour évaluer la valeur biologique moyenne des substrats impactés par les éclusées.

I.4.4.1 Qualité des substrats

Les qualités biologiques de chaque couple substrat / vitesse rencontré ont été déterminées à partir des 90 échantillons prélevés sur la Maronne. Cette opération a été effectuée selon la moyenne de la diversité, de l'abondance, de la richesse et de l'équitabilité des échantillons ; les moyennes étant calculées pour les échantillons de même couple substrat / vitesse.

Le Tableau 6 présente les résultats obtenus pour l'évaluation de la qualité biologique des couples substrat / vitesse. Les couples substrat / vitesse y sont hiérarchisés, **pour chaque indice**, du plus favorable au moins favorable.

L'ensemble des couples substrat / vitesse présents sur les stations n'ayant pas été échantillonnés, certaines valeurs ont été estimées. Cette estimation a été réalisée en prenant, pour un substrat commun, la classe de vitesse la plus proche. Les valeurs estimées sont présentées en italique dans le Tableau 6.

La Figure 14 présente les classes de substrat et de vitesse et la symbologie utilisée dans le Tableau 6.

Tableau 6. Qualité biologique des couples substrat / vitesse selon les indice de description du peuplement.

Substrat	Vitesse	Abondance	Substrat	Vitesse	Richesse	Substrat	Vitesse	Diversité	Substrat	Vitesse	Equitabilité
11	1	637,67	9	2	29,00	2	1	3,53	6	2	0,85
11	3	637,67	9	4	29,00	7	2	2,97	6	4	0,85
10	5	570,40	7	2	20,33	7	4	2,97	6	5	0,85
9	2	559,00	7	4	20,33	9	2	2,91	3	1	0,83
9	4	559,00	2	1	20,00	9	4	2,91	2	1	0,82
9	5	442,80	2	5	18,40	6	2	2,90	10	2	0,70
11	2	400,50	10	2	18,33	6	4	2,90	10	4	0,70
11	4	400,50	10	4	18,33	6	5	2,90	7	2	0,70
2	3	369,67	11	2	18,00	10	2	2,87	7	4	0,70
10	1	350,67	11	4	18,00	10	4	2,87	4	1	0,68
10	3	350,67	2	2	17,75	11	2	2,69	4	3	0,67
11	5	318,75	2	4	17,75	11	4	2,69	4	4	0,67
5	2	303,67	11	1	17,67	7	5	2,65	4	5	0,67
5	4	303,67	11	3	17,67	2	5	2,62	7	5	0,67
5	5	303,67	7	5	16,83	2	2	2,61	7	1	0,66
8	1	302,17	9	5	16,80	2	4	2,61	7	3	0,66
7	2	294,33	5	3	16,00	5	3	2,47	3	3	0,65
7	4	294,33	10	5	15,80	11	5	2,46	11	2	0,64
2	2	280,75	10	1	15,67	7	1	2,45	11	4	0,64
2	4	280,75	10	3	15,67	7	3	2,45	9	1	0,64
10	2	280,33	8	1	15,50	9	5	2,43	9	3	0,64
10	4	280,33	11	5	15,50	3	1	2,42	11	5	0,64
8	3	279,40	8	3	14,40	4	1	2,36	2	2	0,63
8	4	279,40	8	4	14,40	9	1	2,27	2	4	0,63
8	5	279,40	8	5	14,40	9	3	2,27	2	5	0,63
2	5	266,20	7	1	13,75	5	2	2,27	5	1	0,63
6	1	239,00	7	3	13,75	5	4	2,27	9	5	0,62
3	2	227,00	5	2	13,33	5	5	2,27	5	3	0,62
3	4	227,00	5	4	13,33	10	1	2,26	6	3	0,62
3	5	227,00	5	5	13,33	10	3	2,26	5	2	0,61
5	3	216,00	3	2	13,00	6	3	2,25	5	4	0,61
9	1	189,50	3	4	13,00	8	1	2,20	5	5	0,61
9	3	189,50	3	5	13,00	5	1	2,04	10	1	0,61
7	5	178,33	6	3	12,80	10	5	2,00	10	3	0,61
7	1	142,25	9	1	12,50	3	3	2,00	9	2	0,60
7	3	142,25	9	3	12,50	4	3	1,95	9	4	0,60
3	3	122,83	2	3	12,33	4	4	1,95	8	1	0,56
5	1	122,00	4	1	11,00	4	5	1,95	6	1	0,52
4	1	99,50	6	1	11,00	8	3	1,92	8	3	0,51
6	3	98,00	6	2	11,00	8	4	1,92	8	4	0,51
2	1	78,00	6	4	11,00	8	5	1,92	8	5	0,51
4	3	66,00	6	5	11,00	6	1	1,79	10	5	0,51
4	4	66,00	5	1	9,50	11	1	1,77	2	3	0,46
4	5	66,00	3	3	8,33	11	3	1,77	11	1	0,43
6	2	49,33	3	1	7,67	2	3	1,70	11	3	0,43
6	4	49,33	4	3	7,50	3	2	1,48	3	2	0,40
6	5	49,33	4	4	7,50	3	4	1,48	3	4	0,40
3	1	30,67	4	5	7,50	3	5	1,48	3	5	0,40

Classe substrat (S)	Classe vitesse (V)
2 - Blocs	1 - <5 cm/s
3 - Sables	2 - >150 cm/s
4 - Vases	3 - 5/25 cm/s
5 - Spermaphytes émergents	4 - 75/150 cm/s
6 - Granulats grossiers (Graviers)	5 - 25/75 cm/s
7 - Sédiments minéraux de grande taille (Galets)	
8 - Litière	
9 - Racines	
10 - Spermaphytes immergés	
11 - Bryophytes	

Figure 14. Présentation des classes de substrat et de vitesse et de leur représentation

↳ Analyse de l'abondance

Le Tableau 6 nous permet de dire qu'en général les substrats organiques présentent les meilleures abondances pour l'ensemble des classes de vitesse.

Pour ce qui est des substrats minéraux, les blocs et les galets semblent assez favorables pour les vitesses les plus élevées. D'une manière générale, les classes de vitesse moyenne et élevées semblent les plus favorables.

↳ Richesse

Pour ce qui est de la richesse taxinomique, deux couples S/V semblent nettement plus favorables (Figure 16), il s'agit des racines pour des vitesses 75-150 cm/s et >150 cm/s.

Les blocs et les galets présentent également une relativement bonne richesse pour des classes de vitesse similaires. Mais là encore les substrats végétaux, organiques, prédominent dans le haut du tableau. Cette prédominance peut s'expliquer par la capacité d'accueil élevée de ces substrats qui correspondent de surcroît à la base de la chaîne trophique.

↳ Analyse de la diversité

Les indices de diversité présentés ne montrent pas exactement la même hiérarchisation dans les couples S/V. La séparation entre les substrats végétaux et minéraux semble également moins nette. Les blocs dans les vitesses de courant élevées présentent une diversité supérieure, cela peut s'expliquer par la stabilité de ce substrat malgré des vitesses importantes.

Cet indice montre une plus grande diversité biologique dans les classes de courants élevées, principalement situées dans le haut du tableau. Les quelques exceptions à cette observation pouvant s'expliquer par la faible stabilité de certains substrats (3, 5, 4, et 8) pour des vitesses de cet ordre (>75 cm/s). De la même façon, les couples S/V où la diversité est la plus élevée correspondent à des substrats relativement stables.

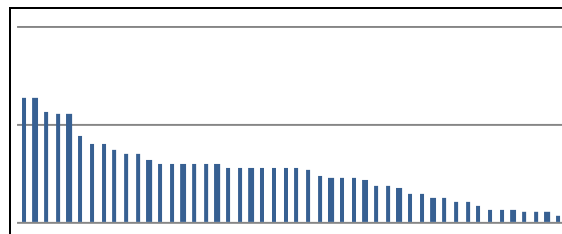


Figure 15. Classement décroissant de l'abondance des différents couples S/V présenté dans le Tableau 6 (en abscisse les couples S/V et en ordonné l'abondance)

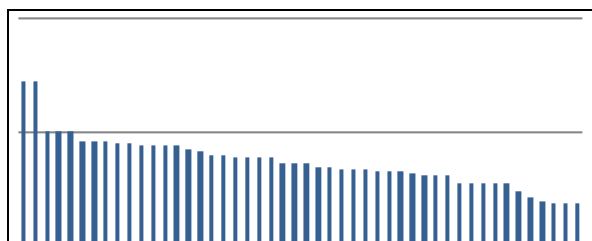


Figure 16. Classement décroissant de la richesse des différents couples S/V présenté dans le Tableau 6 (en abscisse les couples S/V et en ordonné la richesse)

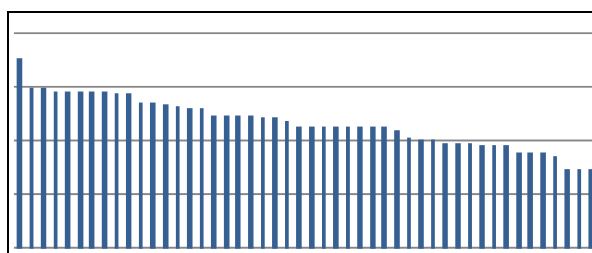


Figure 17. Classement décroissant de la diversité des différents couples S/V présenté dans le Tableau 6 (en abscisse les couples S/V et en ordonné la diversité)

↳ Analyse de l'équitabilité

L'indice d'équitabilité traduit l'atteinte d'un point d'équilibre du peuplement lorsque la note est supérieure ou égale à 0,8 bits. Le Tableau 6 et la Figure 18 mettent en évidence le fait que seulement cinq couples S/V atteignent cet équilibre du peuplement.

La quasi-totalité des couples S/V ont une note supérieure ou égale à 0,5 et un peu plus de la moitié supérieure ou égale à 0,6. Ces observations montrent une bonne structuration du peuplement. La stabilité et l'absence de remobilisation des substrats semblent en être la principale cause.

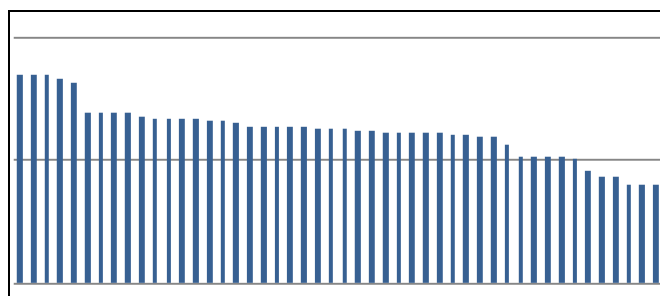


Figure 18. Classement décroissant de l'équitabilité des différents couples S/V présenté dans le Tableau 6 (en abscisse les couples S/V et en ordonné l'équitabilité)

Pour conclure sur la qualité biologique des couples S/V inventoriés sur les stations de la Maronne, trois éléments principaux ont été mis en évidence :

- ↳ Les substrats végétaux apparaissent comme ceux les plus biogènes, sans distinction des classes de vitesse mais avec un préférendum pour celles supérieures à 25 cm/s.
- ↳ Les substrats « blocs » semblent nettement plus favorables à la macrofaune que ne le laisse entendre la classification dans le protocole retenu, dont la hiérarchie des substrats a été calquée sur celle du RCS. Il correspondrait plus à une « classe » proche des niveaux 7 et 8 du RCS que du 2. Là encore, les vitesses supérieures à 25 cm/s semblent les plus favorables pour ce substrat. Cette notion semble également vraie pour les galets, ce qui démontre le lien fort entre la qualité des substrats et leur stabilité, les blocs et galets étant relativement stables.
- ↳ Les substrats les moins stables (sables et vases principalement) apparaissent comme les moins favorables à la macrofaune benthique, ce qui peut s'expliquer par leur forte capacité de remobilisation. Toutefois on peut y retrouver des espèces tout à fait particulières.

Ces conclusions sur la capacité d'accueil des différents couples substrat/vitesse va nous permettre de modifier la stratification du protocole de façon à prélever les couples substrat/vitesse les plus biogènes. Cela va surtout nous permettre de déterminer pour chaque station un coefficient d'habitabilité.

I.4.4.2 Qualité d'habitat des stations

Pour pouvoir réaliser ce travail, les cartographies de terrain ont été reprises sur un logiciel de cartographie SIG (ArcView), permettant de définir les superficies de chaque classe de substrat et de vitesse (les cartographies sont présentées en Annexes 8 et 9). Le croisement de ces couches permet de calculer le recouvrement des couples substrat / vitesse et la délimitation exacte des zones en eau lors de l'échantillonnage.

I.4.4.2.1 Description des stations

Le Tableau 7 présente les superficies observées de l'ensemble des couples substrat / vitesse recensés sur les stations M1 et M2. Ces informations vont nous permettre d'évaluer la qualité habitationnelle de ces stations.

Tableau 7. Pourcentage de recouvrement des couples substrat / vitesse pour l'ensemble des stations

Substrat	Vitesse	Score substrat	Station - Débit (m ³ /s)	
			M1 - 1 m ³ /s	M2 - 40 m ³ /s
			3075 m ²	5335 m ²
			Superficie m ²	Superficie m ²
2	1	81	3,4	0,8
2	2	105		117,8
2	3	101	23,5	1,3
2	4	105	346,3	134,1
2	5	105	304,8	841,0
3	1	31	12,0	30,4
3	2	80		2,3
3	3	48	16,4	61,2
3	4	80	26,8	10,2
3	5	80	228,0	79,2
4	1	54	5,4	13,2
4	3	36	0,4	5,3
4	4	36		7,1
4	5	36	0,3	24,7
5	1	52		41,9
5	2	94		12,4
5	3	89	0,4	13,3
5	4	94	0,0	31,1
5	5	94	3,0	79,1
6	1	75	6,5	10,3
6	2	46		44,6
6	3	60	12,9	19,6
6	4	46	21,3	61,8
6	5	46	213,4	285,5
7	1	70	13,0	7,1
7	2	116		163,9
7	3	70	51,9	8,0
7	4	116	398,6	304,6
7	5	86	728,3	2462,1
8	1	101	32,0	8,7
8	3	93	10,2	10,9
8	4	93	2,0	4,5
8	5	93	3,0	5,9
9	1	73		5,3
9	2	188		3,8
9	3	73		12,9
9	4	188	6,4	13,9
9	5	127	3,8	89,2
10	1	109	0,8	
10	2	107		37,7
10	3	109	13,6	0,3
10	4	107	376,5	26,9
10	5	144	99,8	19,4
11	1	161		0,3
11	2	125		39,7
11	3	161	1,7	1,6
11	4	125	76,1	39,8
11	5	103	7,2	139,9
Nombre de couples S/V			35	47

Tout d'abord le Tableau 7 nous montre une relation directe entre la superficie noyée de la station et le nombre de couples S/V recensés. Sur la station M2 cette variabilité s'explique principalement par l'apparition de la classe de vitesse n°2 (>150 cm/s) pour un débit 40 m³/s et une augmentation des superficies de la classe n°4 (75-150 cm/s). La diversité de la station augmente donc avec le débit en augmentant les vitesses d'écoulement, la superficie noyée et donc les superficies des substrats les plus intéressants.

La station M1 présente une plus grande homogénéité dans recouvrements mais les substrats minéraux sont là encore dominants avec un peu plus de 50% de recouvrement au total. Les couples S/V composés de végétaux semblent plus présents que sur la station M2, ce qui s'explique par l'existence d'un herbier conséquent de renoncules aquatiques (*Ranunculus sp.*). Il est néanmoins important de mentionner la quasi absence de bryophytes sur cette station, très certainement du fait de vitesses d'écoulement trop faibles et d'une forte concurrence des renoncules.

La variabilité saisonnière de l'habitat semble fortement limitée sur cette station. En effet les superficies des végétaux et bryophytes, susceptibles d'évoluer selon les saisons, n'ont pas changées lors des différentes campagnes réalisées lors du printemps et de l'été. De même la stabilité hydrologique ne semble pas nuire à la diversité globale du milieu.

La station M2 est principalement composée de couples S/V minéraux, qui correspondent, au total, à près de 75% de la superficie. Comme on a pu le voir précédemment, ces couples S/V minéraux ont une capacité d'accueil moyenne mais leur stabilité permet le développement d'un peuplement quasi équilibré.

Toujours pour la station M2, les couples S/V composés de végétaux, les plus biogènes, sont peu représentés, ce qui en diminue très certainement la capacité d'accueil. La station M2 présente donc une qualité globale d'habitat moyenne à bonne.

1.4.4.2 Calcul d'un score d'habitat

Pour comparer les stations dans les différents contextes mésologiques nous avons calculé un score d'habitabilité des stations en se basant sur deux variables principales : l'abondance et la diversité taxinomique. Les scores obtenus pour chaque couple substrat / vitesse sont présentés dans le présenté dans le Tableau 7.

Pour calculer le score par station, l'abondance et la richesse relative de chaque couple substrat vitesse ont été sommées puis pondérées en fonction des superficies recensées par type de couple S/V.

Les valeurs obtenues sont représentées de façon relative pour chaque station (indice de la station divisé par l'indice maximum présent sur l'ensemble des stations).

La station M1 présente la meilleure valeur habitationnelle, son score relatif est de 100 et pour la station M2 95,48.

La meilleure capacité habitationnelle de la station M1 est vraisemblablement due à la présence d'un herbier important de renoncule qui peut s'implanter à cause de l'absence de variations hydrauliques importantes sur cette station soumise au débit réservé.

1.4.5 Conclusion

Cette analyse des substrats puis des stations permet d'esquisser une relation entre la stabilité hydrologique et la qualité globale de la station. En effet la station M1 présente une capacité d'accueil plus élevée que la station M2.

Il faudra néanmoins comparer les scores obtenus pour la station M2 pour des débits plus faibles de manière à évaluer l'incidence directe de ces baisses de niveau sur la capacité d'accueil de la station.

I.5 Conclusion

L'analyse du peuplement de la Maronne par le biais de deux stations de suivi (M1 et M2), présentant un contexte hydrologique stable pour la première et soumit aux éclusées pour la seconde, nous permet d'apporter les conclusions provisoires suivantes.

Tout d'abord les peuplements des stations apparaissent comme corrects, avec la présence de groupes indicateurs élevés et des abondances importantes. Ces peuplements semblent néanmoins déséquilibrés par une eutrophie / dystrophie du milieu.

Le contexte typologique des deux stations est semblable et le léger décalage typologique semble dû à la physico-chimie des eaux. L'incidence des éclusées n'est donc pas clairement démontrée et ces variations seraient très certainement causées par la présence du barrage en amont.

Le suivi cartographique des stations, corrélé aux résultats obtenus quant à la capacité d'accueil des couples substrat / vitesse, montre cependant une relation directe entre le débit observé sur la station M2 et sa capacité d'accueil globale. En effet la diminution des débits sur cette station affecte significativement la capacité d'accueil du milieu. A l'inverse, la station M1 présente une capacité d'accueil relativement intéressante et supérieure à celle de la station M2 (pour l'ensemble des débits). Cela peut s'expliquer par la stabilité des substrats et donc des peuplements présents sur ces derniers.

Les variations hydrologiques semblent donc influencer la capacité d'accueil du milieu en exondant une partie des substrats. Cette perte d'habitabilité est à mettre en relation directe avec une perturbation du peuplement macrobenthique.

Les conditions pluviométriques exceptionnelles de cette année 2008 n'ayant pas permis d'observer de réelles éclusées sur la Maronne mais seulement des baisses de niveau des eaux, les futurs inventaires devront suivre un épisode d'éclusées pour valider ces observations.

II. SUIVI DES ECLUSÉES

II.1 Introduction

Une éclusée se caractérise selon une fréquence et une amplitude variable du débit et du niveau des eaux (cf Figure 19). Une éclusée comprend trois phases de variations de débit :

- ↳ Augmentation des débits et élévation des niveaux d'eau.
- ↳ Stabilisation des niveaux d'eau pendant une période plus ou moins longue.
- ↳ Diminution rapide des débits et des niveaux d'eau à l'arrêt du turbinage.

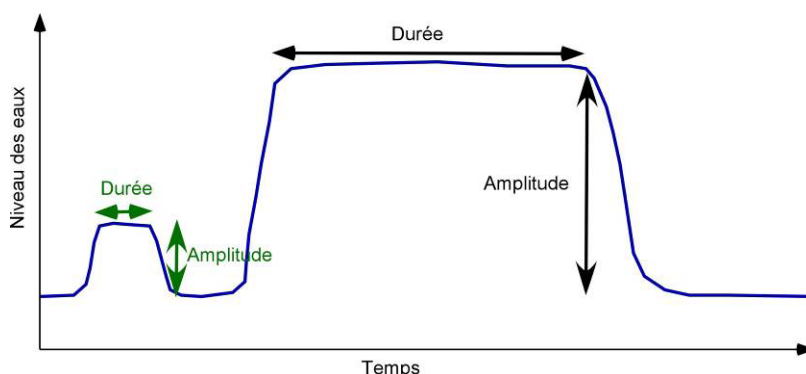


Figure 19. Schéma de principe du fonctionnement d'une éclusée.

Les impacts possibles d'une éclusée dépendent directement de sa durée et de son amplitude. En effet l'amplitude définit les superficies nouvellement inondées et donc l'augmentation de la capacité d'accueil de la station. Ces superficies seront d'autant plus colonisées par les macroinvertébrés que la durée sera longue et donc les pertes potentielles par mise à sec des peuplements sur les bordures et dans les annexes hydrauliques importantes.

Les éclusées peuvent présenter des motifs beaucoup plus complexes que ceux présentés ci-dessus et leurs incidences sont vraisemblablement variables selon leurs caractéristiques : ampleur, gradients d'augmentation et de diminution des débits et des niveaux d'eau, période, succession.... Un enchaînement de plusieurs phases de montée ou de descente entrecoupées de plateaux et retournant ou non au débit de départ peu s'observer. Les éclusées de la Dordogne ont la plupart du temps des motifs complexes.

Les suivis d'éclusées vont permettre de caractériser les incidences de cette gestion et de mesurer différents types de phénomènes :

- ↳ Modifications faunistiques sur les différentes parties de l'hydrosystème.
- ↳ Evaluation de l'impact entre différents types d'éclusées (amplitudes, gradients d'évolution des débits...).
- ↳ Réaction des larves lors des montées du niveau d'eau : vitesse de colonisation des zones soumises à exondation, migrations, dérives passives, dérives actives...

- ↳ Réaction des larves lors de la baisse du niveau d'eau : évaluation du déplacement des larves des zones soumises à marnage ou à piégeage vers le chenal principal.
- ↳ Lien avec l'évolution des habitats (notamment les habitats les plus favorables de type bryophytes, spermaphytes immergés, branchages, racines...).
- ↳ Lien avec la modification du régime thermique.

Les impacts pressentis des éclusées et les choix méthodologiques qui en découlent pour leur évaluation sont issus des éléments bibliographiques consultés et dont les références sont présentées dans la partie bibliographie.

Les résultats présentés par la suite ne correspondent pas au suivi du type d'écluse présentée sur la Figure 19. En effet seules des baisses du niveau des eaux ont été suivies, ce qui correspond à la dernière phase d'une écluse « type ».

Le suivi de ces phases que l'on peut néanmoins assimiler à des éclusées va permettre de décrire et d'analyser les mouvements des invertébrés durant la baisse des eaux et d'estimer les impacts engendrés.

II.2 Méthode

II.2.1 Stations étudiées

Les éclusées à étudier et les stations concernées ont été définies en début d'étude en concertation avec le comité de pilotage (Figure 20).

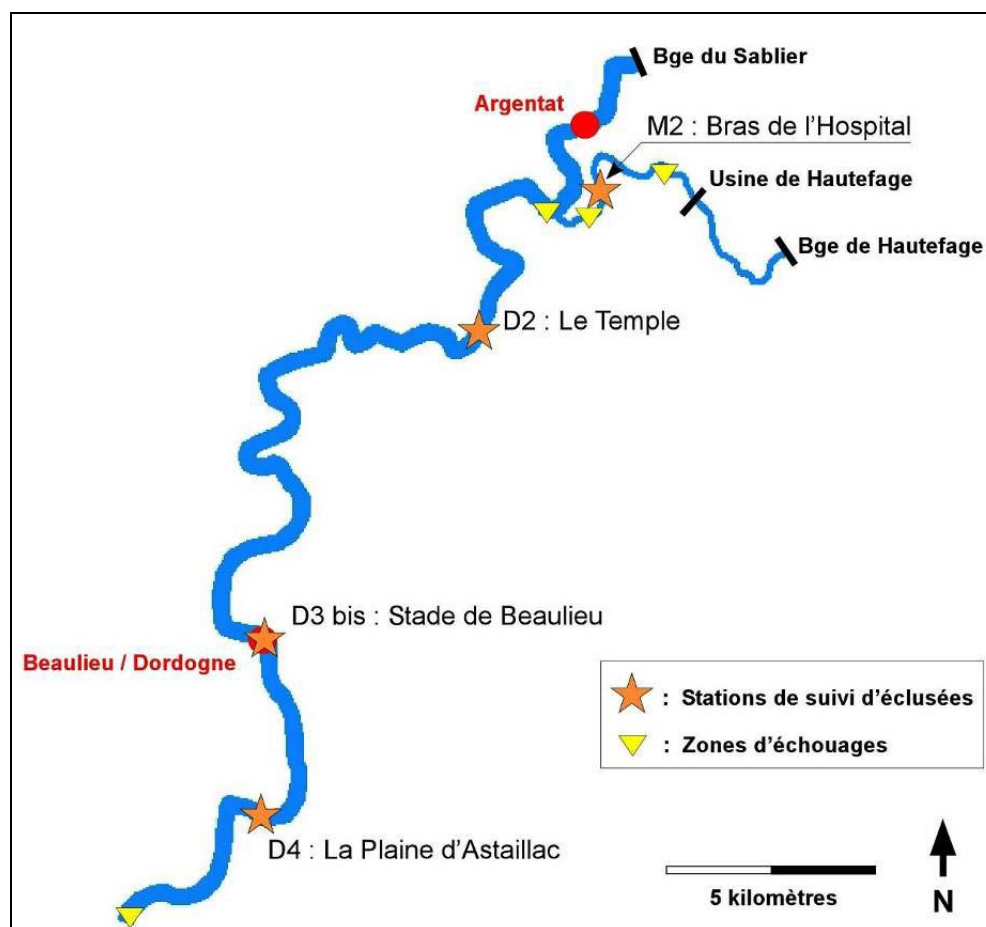


Figure 20. Carte de localisation des stations pour l'étude des éclusées.

II.2.2 Interventions réalisées

La gestion des ouvrages hydroélectriques dépend directement des conditions hydrologiques et conditionne la réalisation d'éclusées. Comme on peut l'observer sur la Figure 21 l'année 2008 a été particulière, avec des débits printaniers soutenus, dues à des pluviométries abondantes. Ces débits soutenus ont eu pour conséquences le lissage des éclusées printanières et estivales, le gestionnaire ayant pu faire fonctionner ces ouvrages de production sans engendrer de variations de débits.

La Figure 21 présente les interventions réalisées sur la rivière Maronne en fonction de l'hydrologie.

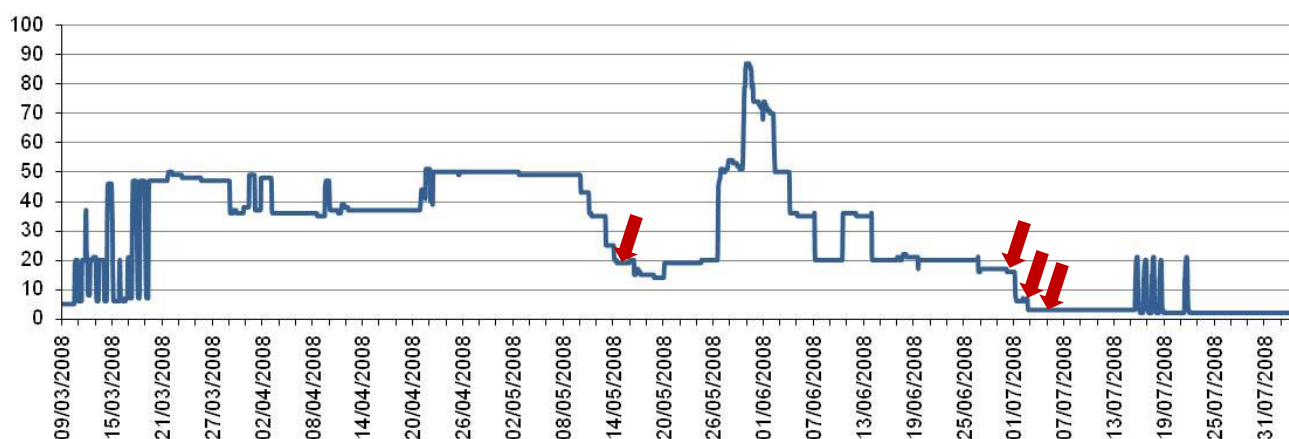


Figure 21. Interventions réalisées sur la Maronne en fonction de l'hydrologie

Sur la Maronne trois baisses des niveaux ont été suivies (↓) :

- ↪ une le 17 Mai (descente à 20 m³/s) ; réalisation d'un MAG16 et d'échouages.
- ↪ une le 30 Juin (descente à 10 m³/s) ; réalisation d'un MAG16.
- ↪ une le 01 Juillet (descente à 2 m³/s). réalisation d'un MAG16, d'échouages et de dérives.

Les éclusées étant suivies uniquement sur la station M2 pour les MAG16 et sur deux autres sites pour les échouages, la station M1 servira de station de référence.



Photo 12. Zone de marnage sur la station M2 entre 40 m³/s et 2 m³/s.



Photo 13. Zone de marnage sur la station M2 entre 40 m³/s et 2 m³/s.

II.2.3 Protocole d'échantillonnage

II.2.3.1 Echantillonnage des substrats

Pour évaluer les différentes incidences des éclusées, le même protocole d'échantillonnage que celui employé dans le cadre des inventaires a été mis en œuvre sur l'ensemble des stations du secteur d'étude (protocole d'échantillonnage stratifié de type MAG à 16 prélèvements).

Les 16 prélèvements ont été répartis dans le seul chenal principal si les annexes hydrauliques étaient absentes ou répartis pour moitié en chenal principal et pour moitié sur les marges du chenal principal et dans les annexes hydrauliques si celles-ci étaient en eau au moment des prélèvements.

Deux séries d'échantillons ont été réalisées sur une même station :

- ↳ La première lors de la phase de stabilisation des eaux et, si possible, juste avant la baisse du niveau des eaux,
- ↳ La deuxième juste après la baisse du niveau des eaux, y compris sur les secteurs juste exondés (de façon à caractériser la faune piégée).

Les échantillons ont été fixés à l'aide de formol 8% sur le terrain puis triés en laboratoire sur des tamis de maille 500µm. Les individus sont alors conservés dans l'alcool avant détermination.

Sur chaque station et pour chaque phase de l'éclusee, des analyses physico chimiques de terrain ont été réalisées régulièrement (pH, Oxygène dissous, température de l'air et de l'eau, conductivité et turbidité (mesure au disque de Secchi))

II.2.3.2 Etude des échouages

Des prélèvements ont été également réalisés sur les substrats fraîchement exondés suite à une baisse du niveau des eaux. En effet les substrats présents dans la zone de marnage sont colonisés lors de leur submersion et il est important de connaître la quantité d'invertébrés exondés lors d'une phase importante de descente des eaux.

Ces prélèvements ont donc pour but d'évaluer la vitesse de colonisation des substrats présents dans la zone de marnage et les pertes engendrées sur les invertébrés benthiques lors de l'abaissement des niveaux (mortalités dues à l'échouage).

Une cartographie détaillée des substrats présents sur ces zones exondées permettra de définir le pourcentage de recouvrement des substrats échantillonnés afin d'évaluer les pertes potentielles d'invertébrés à l'échelle de la station.



Photo 14. Substrats exondés sur la station M2



Photo 15. Zone d'échouage sur la station M2

II.2.3.3 Etude des dérives

Parallèlement à ce travail de collecte de la macrofaune benthique in situ au filet surber, des filets à dérive ont été disposés dans le chenal principal et dans les annexes hydrauliques remises en eau de façon à caractériser les apports par dérive. Ces filets ont été relevés périodiquement (tous les quarts d'heure) de façon à caractériser les périodes de déplacement maximum des invertébrés (d'après la littérature une dérive maximale est observée dans les premières heures qui suivent l'éclusee - dérive passive - et ensuite en début et en fin de nuit - dérives actives).

Le volume d'eau filtré a été estimé par mesure périodique de la vitesse de courant devant chaque filet à dérive. Cette vitesse rapportée à la surface de l'ouverture du filet permettra de caractériser le volume total filtré par unité de temps.

Ces filets à dérive ont été placés :

- ↳ lors de la période de stabilité des eaux pour caractériser la permanence ou non des échanges entre lit principal et annexes.
- ↳ lors de la baisse du niveau d'eau pour caractériser les départs possibles des secteurs en cours d'exondation.

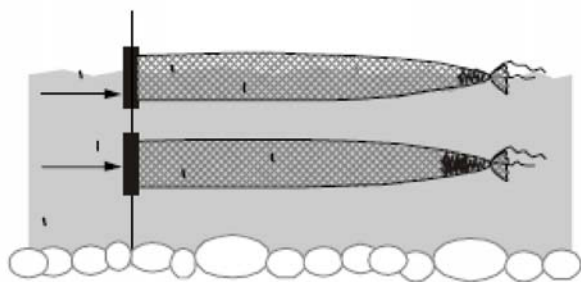


Figure 22. Schéma de principe des filets à dérives



Figure 23. Filets à dérive en action

II.2.3.4 Tri et détermination

Les modalités de tri et de détermination sont présentées dans le paragraphe I.3.4. de la première partie.

II.3 Résultats

Les résultats obtenus dans le cadre du suivi des éclusées vont être présentés et analysés dans cette partie. Le paragraphe II.3.1 présente les capacités d'accueil des stations pour les différents débits à partir des potentialités des substrats définies précédemment, le but étant d'expliquer l'impact de la baisse du niveau des eaux sur la qualité de l'habitat.

Le paragraphe II.3.2 met en relation les potentialités de ces substrats avec les superficies des stations en fonction des niveaux des eaux. Cette relation va permettre de mettre en évidence les pertes potentielles d'invertébrés sur les zones d'échouages et la capacité d'accueil restante.

Ces pertes potentielles seront confrontées aux pertes réelles observées sur les secteurs d'échouages.

II.3.1 Capacité d'accueil du milieu

II.3.1.1 Capacité d'accueil des stations en fonction des débits

Les résultats présentés dans le paragraphe I.4.4.2.1 ont été complétés afin d'évaluer l'évolution de la capacité d'accueil de la station M2 en fonction des débits. Le Tableau 8 présente les superficies des différents couples S/V présents sur les stations en fonction du débit.

L'évaluation de la capacité d'accueil globale de la station est donc réalisée en croisant la capacité d'accueil (abondance moyenne) de chaque couple substrat/vitesse (S/V) et la superficie de ces couples S/V.

Tableau 8. Pourcentage de recouvrement des couples substrat / vitesse pour l'ensemble des stations

Substrat	Vitesse	Score substrat	Station - Débit (m ³ /s)			
			M1 - 1 m ³ /s	M2 - 2 m ³ /s	M2 - 20 m ³ /s	M2 - 40 m ³ /s
			3075 m ²	3811 m ²	4938 m ²	5335 m ²
Superficie m ²	Superficie m ²	Superficie m ²	Superficie m ²	Superficie m ²	Superficie m ²	Superficie m ²
2	1	81	3,4	47,2	8,9	0,8
2	2	105				117,8
2	3	101	23,5	714,3		1,3
2	4	105	346,3	72,7	140,9	134,1
2	5	105	304,8	72,3	925,4	841,0
3	1	31	12,0	1,1	2,4	30,4
3	2	80				2,3
3	3	48	16,4	23,4	6,5	61,2
3	4	80	26,8		0,3	10,2
3	5	80	228,0	28,0	72,9	79,2
4	1	54	5,4	2,1	1,1	13,2
4	3	36	0,4	8,7		5,3
4	4	36			7,3	7,1
4	5	36	0,3	14,6	24,3	24,7
5	1	52		4,1	7,5	41,9
5	2	94				12,4
5	3	89	0,4	6,3	7,2	13,3
5	4	94	0,0		0,6	31,1
5	5	94	3,0	17,9	39,4	79,1
6	1	75	6,5	8,2	4,2	10,3
6	2	46				44,6
6	3	60	12,9	133,6	50,3	19,6
6	4	46	21,3		55,8	61,8
6	5	46	213,4	98,3	272,6	285,5
7	1	70	13,0	73,4	24,2	7,1
7	2	116				163,9
7	3	70	51,9	1590,3	25,0	8,0
7	4	116	398,6	12,1	139,4	304,6
7	5	86	728,3	577,6	2700,7	2462,1
8	1	101	32,0	0,6	2,0	8,7
8	3	93	10,2	2,3	3,3	10,9
8	4	93	2,0		1,9	4,5
8	5	93	3,0	5,0	6,7	5,9
9	1	73		14,1	0,5	5,3
9	2	188				3,8
9	3	73		16,8	6,7	12,9
9	4	188	6,4		2,6	13,9
9	5	127	3,8	22,0	96,1	89,2
10	1	109	0,8	2,3		
10	2	107				37,7
10	3	109	13,6	25,0		0,3
10	4	107	376,5	12,1	33,6	26,9
10	5	144	99,8	34,8	50,7	19,4
11	1	161		10,7	2,3	0,3
11	2	125				39,7
11	3	161	1,7	110,2	3,9	1,6
11	4	125	76,1	24,2	44,7	39,8
11	5	103	7,2	24,1	166,2	139,9
Nombre de couples S/V			35	34	36	47

Tout d'abord le Tableau 8 confirme la relation directe entre la superficie noyée de la station et le nombre de couples S/V recensés.

La Figure 24 confirme ces observations et l'on y voit une relation directe entre la superficie de la station et le nombre de couples S/V présents.

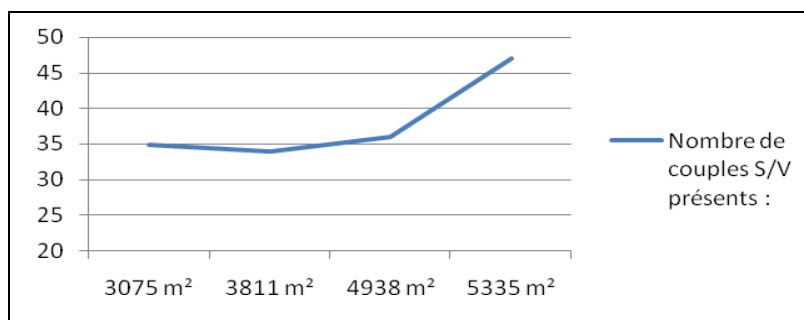


Figure 24. Nombre de couples S/V inventoriés en fonction de la superficie

Cette variabilité s'explique principalement par l'apparition de la classe de vitesse n°2 (>150 cm/s) pour un débit 40 m³/s et une augmentation des superficies de la classe n°4 (75-150 cm/s) pour un débit de 20 m³/s. La diversité de la station augmente donc avec le débit en augmentant les vitesses d'écoulement et la superficie noyée.

Les scores relatifs d'habitat établis sur les stations pour les débits caractéristiques sont présentés dans la Figure 25 ci-dessous.

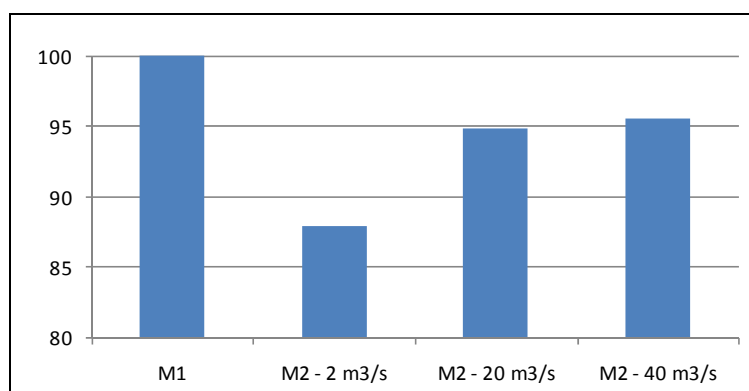


Figure 25. Scores relatifs d'habitabilité obtenus pour les stations

La Figure 25 confirme l'analyse faite précédemment et l'on note une meilleure capacité habitationnelle de la station M1 vis-à-vis de la station M2, très certainement grâce à l'herbier important de renoncule sur la première. La stabilité hydrologique en serait la cause.

Sur la station M2 la relation entre le débit et la capacité d'accueil est confirmée et l'on note que la capacité d'accueil de la station est d'autant plus élevée que le débit est conséquent.

II.3.1.2 Superficies des substrats

Les pertes de capacité d'accueil sont évaluées de la même manière en prenant en compte les abondances moyennes des substrats exondés (prélèvements réalisés dans le cadre des échouages) et la superficie de ces substrats à sec. Ces pertes d'individus « observées in situ » grâce aux échouages sont comparées à des pertes théoriques prenant en compte la capacité des substrats (abondance moyenne des substrats issues des MAG16) avant leur exondation.

Ces données permettront de mettre en évidence et de chiffrer d'éventuelles pertes d'effectifs dans le peuplement macro benthique et de comparer les pertes effectives à celles estimées.

Les cartographies de la station M2 à différents débits ont permis de définir les superficies de chaque couples S/V et donc de chaque substrat.

Les superficies de ces substrats, inondés ou à sec en fonction des débits, sont présentées dans le Tableau 9.

	Débit en m ³ /s	S11	S10	S9	S8	S7	S6	S5	S4	S3	S2	TOTAL
Superficie en eau (m ²)	40	221	85	125	30	2946	422	178	50	183	1095	5335
	20	217	84	106	14	2889	383	55	33	82	1075	4938
	2	169	74	53	8	2253	240	28	25	52	907	3811
Superficie exondée (m ²)	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	20	4	0	19	16	57	39	123	18	101	20	397
	2	52	10	72	22	692	182	149	25	131	188	1524

Tableau 9. Superficies des substrats en eau et exondées sur la station M2 pour différents débits de la Maronne.

Ce tableau nous montre l'évolution des superficies des substrats en eau et exondés en fonction du débit observé. On peut y voir que les substrats les plus sensibles à l'exondation correspondent à ceux présents préférentiellement sur les marges (S9/racines, S5spermaphytes émergents et S3/sables) et les substrats dominants (S7/galets)

Au total on note ainsi une perte des superficies en eau de 7,4% entre 40 m³/s et 20 m³/s et de 28,6% entre 20 m³/s et 2 m³/s.

Cette augmentation des superficies de substrats exondés, directement liée à la baisse du débit, confirme la perte d'habitabilité énoncées dans les chapitres précédents.

II.3.1.3 Abondances moyennes des substrats en fonction de leur inondation

Le Tableau 11 nous présente les abondances moyennes des différents substrats en fonction de leur inondation. Les résultats complets (par taxon) sont présentés en Annexe 10.

Les abondances moyennes des substrats en eau ont été calculées à partir des prélèvements réalisés dans le cadre des MAG16. Il est nécessaire de travailler ici par substrat et non plus couples S/V afin de comparer ces valeurs à celles obtenues pour les substrats exondés et donc exempts de vitesse d'écoulement.

La réalisation des séries de prélèvements sur les zones d'échouages (substrats exondés) à l'aide d'un surber a permis de calculer les abondances moyennes de ces substrats exondés.

N° substrat :	S11	S10	S9	S8	S7	S6	S5	S4	S3	S2
Abondance moyenne des substrats à partir des MAG16	490,61	383,86	425,56	290,63	227,80	120,85	303,70	92,63	183,93	286,71
Abondance moyenne des substrats à partir des échouages	231,50	209,00	70,50	139,17	92,60	113,80	56,20	-	74,80	-
Pourcentage de différence entre les substrats en eau et ceux exondés	47%	54%	17%	48%	41%	94%	19%	-	41%	-

Tableau 10. Abondances moyennes des substrats en eau et exondés

Ce tableau montre une baisse significative des abondances entre les zones inondées et les zones d'échouages. Les abondances d'invertébrés échoués peut ainsi représenter jusqu'à 94% de l'abondance présente initialement dans le substrat S6/Graviers. A l'inverse les substrats S9/Racines et S5/Spermaphytes émergents présentent des pertes limitées très certainement dues à un départ des individus. Ces substrats étant majoritairement présents sur les zones de marnage les faibles pertes peuvent s'expliquer par une adaptation des espèces présentes sur les substrats concernés.

La chute de l'abondance des substrats exondés peut s'expliquer par le départ d'une partie des insectes par lors de la baisse du niveau des eaux. Ces départs peuvent correspondre à des phénomènes de dérive, de prédation ou de migration verticale et latérale des invertébrés.

II.3.2 Estimation des pertes globales à l'échelle stationnelle

Les précédents résultats ont permis le calcul des abondances totales de macroinvertébrés en fonction des superficies respectives des substrats et de leur inondation effective. Ils sont présentés dans le Tableau 11 ci-dessous.

Les abondances estimées l'ont été à partir des abondances moyennes par substrat issues des MAG16 réalisés. Il en est de même pour les pertes estimées, qui correspondent à l'abondance théoriquement présente sur les zones juste avant leur exondation.

Les pertes observées ont été calculées à partir des abondances moyennes des substrats exondés échantillonnés dans le cadre du suivi des échouages.

		Superficies (m ²)	Nombre total d'individus	Densité par m ²	Densité moyenne pour 1/20 m ²
Abondances estimées dans les zones en eau	M1	3 075	14 809 436	4 816	241
	M2 - 2 m ³ /s	3 811	16 681 968	4 377	219
	M2 - 20 m ³ /s	4 938	20 702 074	4 192	210
	M2 - 40 m ³ /s	5 335	22 891 428	4 291	215
Pertes estimées dans les zones en eau	Echouages 40-20 m ³ /s	397	2 189 354	5 515	276
	Echouages 20-2 m ³ /s	1524	6 209 460	4 074	204
Pertes observées sur les zones exondées	Echouages 40-20 m ³ /s	397	638 354	1 608	80
	Echouages 20-2 m ³ /s	1524	2 892 178	1 898	95

Tableau 11. Abondances estimées des superficies inondées et évaluation des pertes par échouages.

Les paragraphes suivants présentent ainsi les abondances observées sur la station et lors des échouages. Puis une analyse des densités sur les substrats, couplées aux superficies d'exondation, quantifie les pertes sur la station M2.

II.3.2.1 Analyse des abondances

La Figure 26 nous présente les abondances globales par station en fonction des superficies des stations. Il est possible de sortir deux grandes tendances de cette figure.

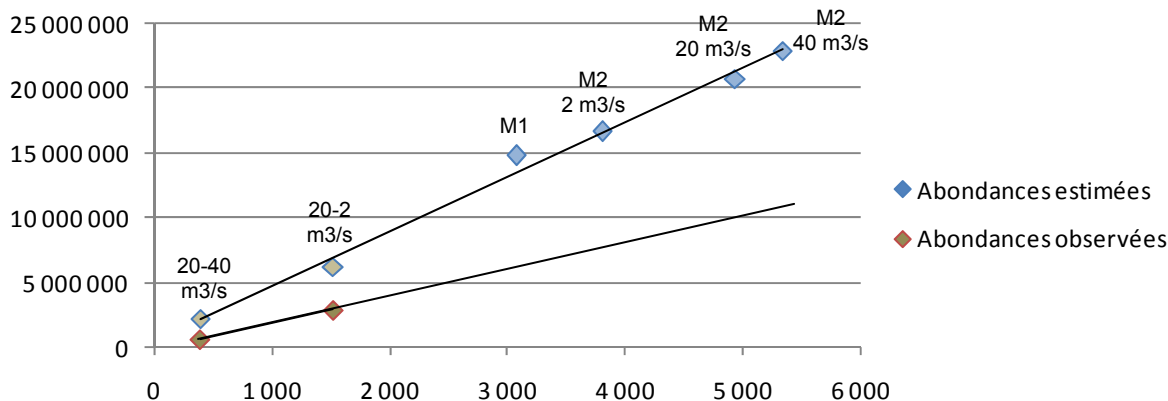


Figure 26. Abondances totales en fonction de la superficie de la zone étudiée correspondante

Les abondances estimées à partir des MAG16 (Abondances estimées et pertes estimées) répondent à une relation linéaire avec la superficie de la station ; plus la station est grande, ou la superficie exondée importante, plus les abondances globales vont être élevées.

Les abondances observées lors des échouages répondent au même type de relation linéaire entre l'abondance perdue lors des échouages et les superficies exondées mais dans une moins grande proportion. Cela confirme le départ d'une partie des macroinvertébrés avant exondation, probablement par dérive.

Le Tableau 12 nous donne les pourcentages de pertes d'abondance lors des échouages vis-à-vis de l'abondance initiale. Ces valeurs sont en accord avec les observations précédentes et l'on note que les pertes observées sont en deçà des pertes estimées et qu'une partie de la faune présente sur les substrats avant exondation n'est pas piégée par la descente des eaux.

		Superficies (m²)	Nombre total d'individus perdus	Pourcentage d'individus perdus
Pertes estimées	Echouages 40-20 m³/s	397	2 189 354	10%
	Echouages 20-2 m³/s	1127	6 209 460	30%
	Echouages 40-2 m³/s	1524	8 398 814	37%
Pertes observées	Echouages 40-20 m³/s	397	638 354	3%
	Echouages 20-2 m³/s	1127	2 892 178	14%
	Echouages 40-2 m³/s	1524	3 530 532	15%

Tableau 12. Nombre d'individus perdus et pourcentage de perte par rapport au peuplement initial

Le Tableau 12 nous montre également que les pertes les plus importantes ont lieu pour une variation entre 20 et 2 m³/s, débit qui correspond à l'exondation d'une partie du chenal actif fortement colonisé.

L'Annexe 10 confirme ces observations car on peut y voir que l'ensemble des taxons présents dans les inventaires ne se retrouvent pas dans les échouages. Sur les 91 taxons inventoriés lors des MAG16 seulement 30% sont présent dans les échouages, ce qui ne représente que 29 taxons.

II.3.2.2 Analyse des densités

La Figure 27 reprend les densités par m², présentée dans le Tableau 11, des différentes opérations.

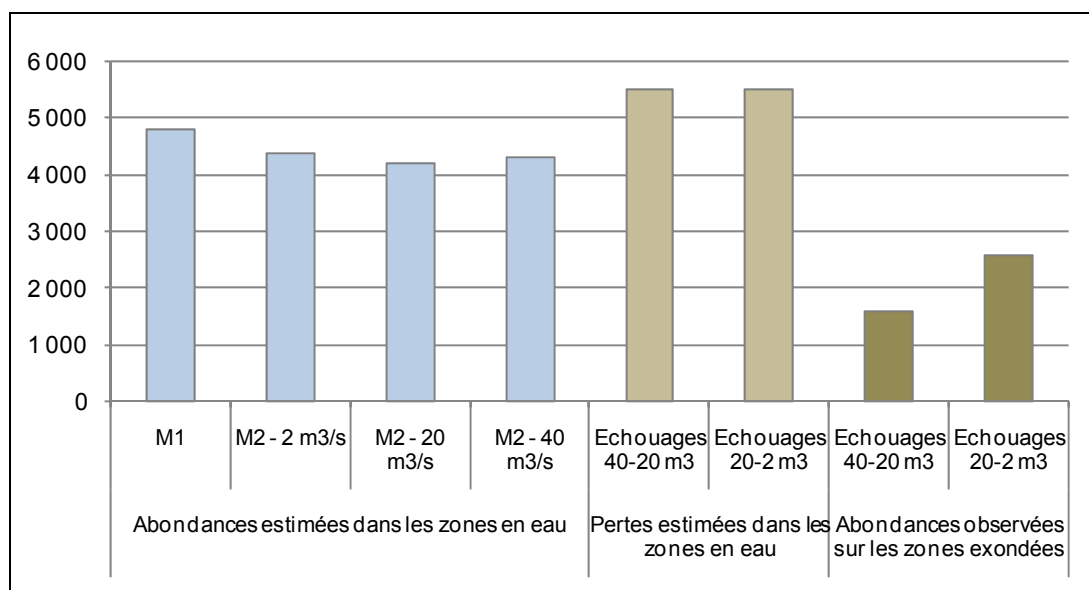


Figure 27. Densités par m² en fonction des différentes stations et des zones exondées ou non

Tout d'abord on note une densité supérieure pour la station M1, très certainement due à la stabilité des conditions mésologiques. Pour la station M2 les variations de densités sont peu significatives et ne montrent pas de variations dans le peuplement.

Pour ce qui est des échouages on note une différence marquée entre les densités estimées et celles observées. Cela traduit donc un départ d'une partie des individus lors de la descente du niveau des eaux.

L'absence de différence entre les estimés peut s'expliquer par une base commune d'évaluation des abondances et donc des densités rapportées aux superficies exondées.

Les densités observées des échouages présentent précisément l'inverse de ceux estimés : les échouages entre 40 et 20 m³/s semblent moins néfastes qu'entre 20 et 2 m³/s. Cette augmentation des densités échouées avec la diminution du débit peu s'expliquer par l'exondation, avec des débits faibles, d'une partie du chenal actif de la Maronne. Cette partie du lit, en eau depuis plusieurs mois avant les échouages, présente en effet la meilleure colonisation et donc les plus grandes densités.

II.3.2.3 Evaluation des pertes d'invertébrés

La Figure 28 nous montre les abondances des substrats échoués par groupes faunistiques. Les taxons qui semblent les plus touchés par les échouages sont ainsi les Ephémères et les Trichoptères. La forte proportion de Trichoptères peut s'expliquer par leur capacité de déplacement limitée et leur prédominance dans le peuplement. Les abondances élevées d'Ephémères dans le peuplement seraient une explication à leur présence en grands nombres dans les échouages.

La Figure 28 montre également une relation entre la qualité habitationnelle du substrat (hiérarchisation selon le protocole RCS) et les abondances observées dans les échouages sur ces substrats.

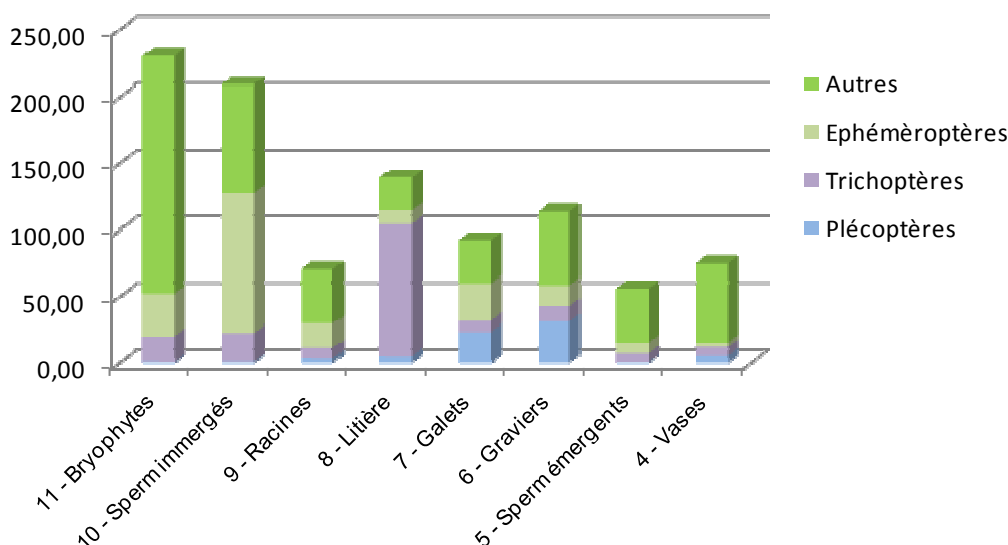


Figure 28. Abondances cumulées par substrat des Ephémères, Plécoptères, Trichoptères et autres taxons

Le nombre d'individus réellement perdus par échouages lors d'une chute du niveau des eaux à de 40 à 20 m³/s correspond donc à 3% du peuplement originel, ce qui représente une perte d'environ 400 000 individus. Pour une baisse du débit de 20 à 2 m³/s le nombre d'individus perdus par échouages correspond à 14% de l'abondance initiale soit près de 3 Millions d'insectes pour la station M2. Cette perte peut atteindre 15%, soit 3,5 Millions d'individus, pour un passage de 40 à 20 m³/s.

Ces résultats suscitent quelques interrogations :

- Quelles peuvent être les pertes de macroinvertébrés lors d'une baisse naturelle du niveau des eaux ?
- Le débit d'étiage restitué par EDF est-il similaire au débit d'étiage naturel de la rivière ou supérieur ? Dans ce cas la capacité biologique minimale de la rivière est surestimée par rapport aux conditions naturelles.

Pour répondre à ces interrogations il serait intéressant de comparer les résultats obtenus sur la Maronne à ceux réalisés sur un cours d'eau similaire (appartenant à la même hydroécocorégion) non aménagé et géré pour la production d'électricité.

II.3.2.4 Conclusion

Cette analyse permet de quantifier les pertes de macroinvertébrés lors d'une baisse brutale du niveau des eaux et l'on peut estimer que l'on perd de 1600 à 1900 individus par m² exondé en fonction du niveau atteint (Tableau 11). Les pertes augmentant de manière directe avec la baisse du niveau des eaux et l'augmentation des surfaces exondées.

Les différences observées entre le peuplement global et les échouages nous permettent de penser que le phénomène de déplacement des invertébrés est complexe au moment de la variation du niveau des eaux et de l'exondation des substrats. Ces déplacements pourraient être dus à des phénomènes de dérives actives induites par les variations des conditions mésologiques et donc hydrologiques. D'autres facteurs pourraient aussi intervenir comme la prédation avant récolte des invertébrés ou la migration verticale des invertébrés dans la masse sédimentaire pour accompagner les variations du niveau de la nappe.

Ces différentes hypothèses mériteront d'être vérifiées par la mise en place de filets à dérive avant, pendant et après une période de variation du niveau d'eau. Cet élément sera analysé dans le paragraphe suivant.



Photo 16. Ephémère (*Heptageniidae*) mise à sec sur un galet



Photo 17. Trichoptères à fourreaux échoués

II.3.3 Etude des dérives

Les dérives dont les résultats sont présentés dans ce chapitre ont été réalisées lors du passage de 20 m³/s à 2 m³/s, dans la nuit du 30 Juin au 01 Juillet 2008. Quatre séries de trois prélèvements ont ainsi été réalisées pour encadrer la chute du débit :

- Une série à 23h30, avant la baisse.
- Deux séries à 00h30 et 01h30, durant la baisse.
- Une série à 02h30 après la baisse

Les trois prélèvements de chaque série correspondent au suivi des trois bras de la station M2 présenté dans la Figure 29 ci-dessous :

- Le bras amont, exondé partiellement où les dérives ont été suivies au point A.
- Le bras médian, exondé en majorité, où les dérives ont été suivies au point B.
- Le bras aval, très peu pas exondé et correspondant au chenal principal de la Maronne, où les dérives ont été suivies au point C.

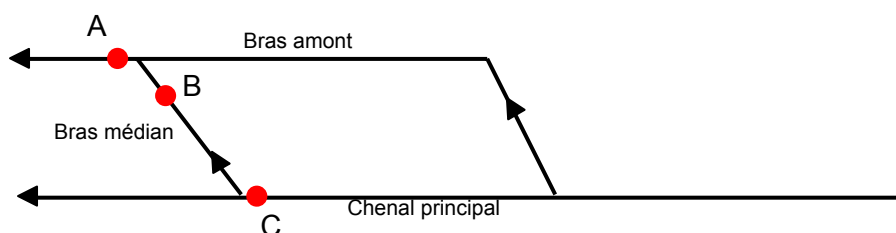


Figure 29. Schéma de localisation des points de suivi des dérives

Tous les prélèvements ont été réalisés durant une période de 15 minutes, dans la masse d'eau, et la comparaison des listes faunistiques de ces dérives vont permettre d'évaluer les départs effectifs de la macrofaune benthique avant exondation des substrats, départs par dérive pressentis dans le chapitre II.3.2.

Les abondances présentées dans les figures suivantes ont été pondérées selon les vitesses de courant captées par le filet à dérive, ce dernier ayant une ouverture de $1/20^{\text{ème}}$ de m^2 . Les valeurs présentées correspondent ainsi à des abondances/ m^3 d'eau filtrée.

Il a été posé trois hypothèses de départ permettant d'analyser les listes faunistiques des séries de dérive :

- Le point de mesure C collecte les dérives du chenal principal.
- Le point de mesure B collecte les dérives du chenal principal et du bras médian.
- Le point de mesure C collecte les dérives des trois bras.

La liste faunistique des dérives avec les abondances de l'ensemble des taxons est présentée en Annexe 11. La Figure 31, Figure 30 et la Figure 32 présentent de façon synthétique les abondances issues de ces listes faunistiques et font ressortir les dérives apportées par chaque bras, le chenal principal, le bras médian puis le bras amont.

II.3.3.1 Dérives observées dans le chenal principal

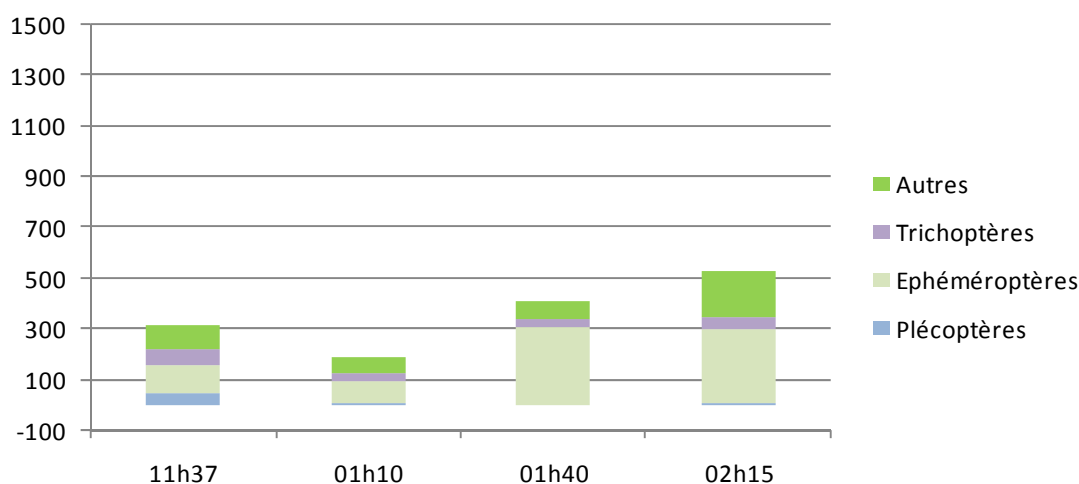


Figure 30. Dérives apportées par le chenal principal

La Figure 30 montre les abondances d'invertébrés dans le chenal principal, collectant l'ensemble des phénomènes de dérives issues de l'amont.

On peut y observer que les dérives semblent s'estomper au début de la baisse du niveau d'eau puis augmenter à nouveau durant et après la baisse du niveau.

II.3.3.2 Dérives observées dans le bras médian

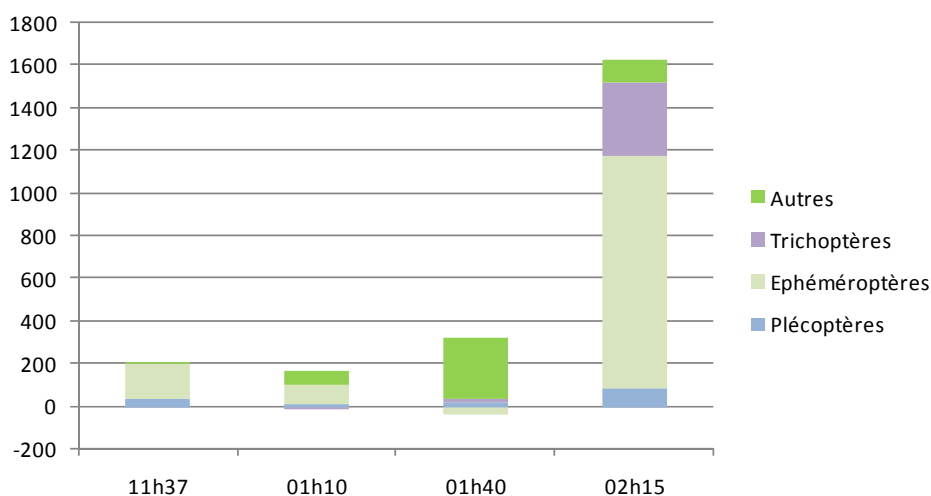


Figure 31. Dérives apportées par le bras médian

La Figure 31 caractérise les apports par dérive du bras médian (point B). Pour cela les abondances obtenues dans le bras principal (point C) ont été soustraites à celles recueillies au point B.

On observe ainsi une dérive forte des invertébrés dans le bras médian à la fin de l'écluse (02h15). Lors de la chute du niveau les dérivés semblent s'estomper puis augmenter à nouveau en fin de baisse (01h40).

L'augmentation des dérivés suite à la baisse de niveau peut s'expliquer par la forte proportion de zones exondées dans le bras médian (50% de la superficie environ), zones où le lessivage des invertébrés est élevé. Ce lessivage peut être amplifié par surconcentration des invertébrés (migration latérale) dans le chenal maintenu en eau.

II.3.3.3 Dérives observées dans le bras médian

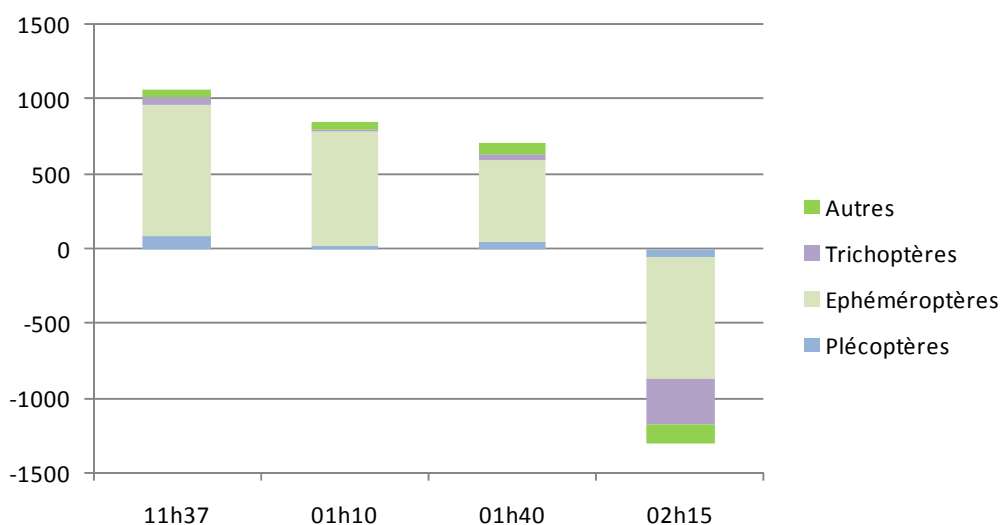


Figure 32. Dérives apportées par le bras amont

La Figure 32 caractérise les apports par dérives du bras amont (point A). Pour cela les abondances obtenues dans le chenal principal (point C) et médian (point B) ont été soustraites à celles recueillies au point A.

On observe que lors de la période qui précède la variation du niveau d'eau les dérives du bras amont sont importantes et supérieures aux dérives apportées par les deux autres bras ce qui implique des départs importants par dérive.

Lors de la baisse du niveau les pertes par dérives diminuent de façon importante, notamment par diminution du départ d'éphéméroptères. A la fin de l'écluse les apports par dérive deviennent très faibles et les apports du bras amont négligeables par rapport à ceux des autres bras.

Dans l'ensemble, les taxons les plus soumis aux dérives sont les éphéméroptères. Cela peut s'expliquer par leur abondance importante dans le peuplement mais aussi par leur plus forte capacité à ce déplacer dans les masses d'eau courantes.

Une étude détaillée des traits biologiques des invertébrés que l'on retrouve dans les dérives permettra d'approfondir ces observations.

II.3.3.4 Conclusion

Au vu de ces résultats les bras fonctionnent différemment, les abondances dans les dérives semblent variables mais les résultats obtenus pour le bras médian permettent de supposer une accentuation du phénomène dans les secteurs où les surfaces exondées sont importantes.

Toutefois pour cerner du mieux que possible ce phénomène apparemment complexe de dérive plusieurs améliorations du protocole de captures peuvent être apportées :

- Positionner le point de mesure B tout à l'aval du bras médian.
- Déplacer le point A en amont de la confluence entre les bras médian et amont.
- Ajouter un point de mesure en amont immédiat de la défluence du bras amont.
- Augmenter le nombre de prélèvements avant et après les variations hydrologiques de manière à suivre l'inertie et l'amplitude complète du phénomène.

II.4 Conclusion

Les résultats qui sont présentés et analysés dans cette partie ne permettent pas mettre en évidence une relation directe entre la gestion par éclusées et une modification du peuplement macrobenthique de la Maronne.

Néanmoins les variations hydrologiques observées pendant la durée de mon stage ne peuvent être assimilées à des éclusées en tant que telle car seules des baisses de débits ont pu être suivies. Ces résultats permettent tout de même d'émettre des hypothèses quand à l'impact des variations hydrologiques sur la Maronne.

Les baisses brutales du niveau des eaux, en plus de diminuer la capacité d'accueil de la rivière, s'avèrent très pénalisantes pour les invertébrés et l'on observe une mortalité importante par échouage. Ces échouages peuvent être évalués à 1600 – 1900 individus par mètres carrés. Une évaluation des biomasses correspondantes devra également être faite en fin d'étude pour estimer les

pertes de biomasses imputables à ces phénomènes d'échouages. Il serait également intéressant d'évaluer les superficies globales exondées sur la portion de la Maronne soumise aux éclusées, de façon à estimer le préjudice sur le peuplement macrobenthique pour l'ensemble de la rivière.

Une partie des invertébrés présents sur les substrats avant leur exondation n'apparaissent cependant pas dans les échouages. Il était pressenti un départ massif de ces individus par dérive avant exondation des substrats mais l'étude de ces phénomènes n'a pas confirmé une amplification du de dérive lors des variations hydrologique.

Le protocole nécessite donc d'être amélioré de façon à déterminer le devenir de ces invertébrés qui n'ont pas été appréhendés dans les échouages et les dérives. L'hypothèse d'une migration verticale des invertébrés dans les sédiments de manière à suivre la nappe du cours d'eau étant la plus probable, il serait intéressant de mettre en place des « caisses substrat ». Ces caisses substrat sont présentées dans la Figure 33 et la Figure 34. Il s'agit de cadre en bois dont le fond est obturé par un grillage de maille 500µm que l'on remplit avec un substrat similaire à celui rencontré sur les zones d'échouages, substrat qui devra être exempt d'invertébrés. Ces caisses seront disposées avant la montée des eaux et récupérer lors de leur exondation. Elles permettront s'estimer le nombre d'individus piégés dans les sédiments et par la même occasion la vitesse de colonisation par les invertébrés des substrats inondés.

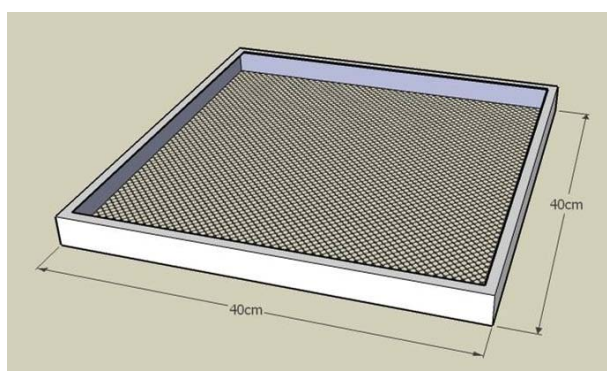


Figure 33. Schéma de principe de caisse substrat vide

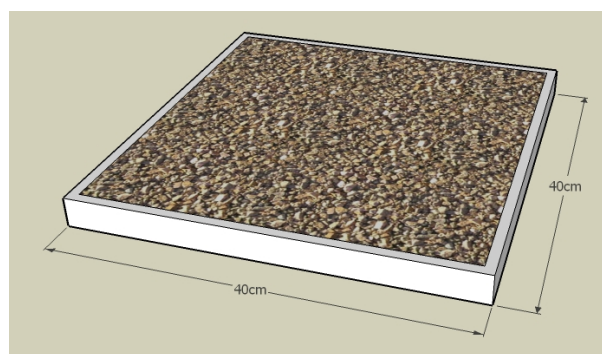


Figure 34. Schéma de principe de caisse substrat pleine

III. SYNTHÈSE ET PERSPECTIVES

L'année hydrologique exceptionnelle n'ayant pas permis de réaliser les prélèvements dans les délais prévus ce rapport présente des résultats partiels, obtenus sur la rivière Maronne. En effet les campagnes d'inventaires ont effectivement été réalisées mais le suivi d'éclusées en tant que tel se trouve limité au suivi de baisses brutales et importantes du niveau des eaux.

Le travail réalisé à ce jour va néanmoins permettre d'affiner le protocole de suivi des éclusées et sa mise en œuvre sur le terrain, de manière à répondre aux questions amenées par ces résultats même partiels.

Les modifications à apporter au protocole de suivi et à sa mise en œuvre in-situ sont les suivantes :

- ↳ Le prélèvement de tous couples substrat / vitesse existant sur la station devra être réalisé de manière à évaluer leur capacité d'accueil.
- ↳ Une meilleure implantation des filets à dérive permettra d'évaluer plus précisément les apports des différents bras et annexes hydrauliques.
- ↳ Un suivi des dérives sur un laps de temps beaucoup plus grand, avant et après le phénomène hydrologique étudié semble nécessaire afin d'évaluer de façon plus précise son influence sur les dérives.
- ↳ La mise en place de caisses substrat afin d'évaluer le devenir des invertébrés dont la présence n'est effective ni dans les échouages ni dans les dérives.
- ↳ La cartographie de l'ensemble des zones d'exondation afin d'évaluer les pertes totales d'invertébrés sur la portion de cours d'eau étudiée.
- ↳ Une estimation des biomasses perdues sur la portion étudiée permettra également d'évaluer les pertes de production du milieu et donc sur l'ensemble de la chaîne trophique.

Les résultats présentés dans ce rapport montrent déjà des éléments quant à l'impact d'une baisse brutale du niveau des eaux, comparable à la dernière phase d'une éclusée. L'étude des échouages montre une perte importante d'invertébrés sur les substrats exondés et une relation linéaire entre la mortalité et les superficies mises à sec. Le gradient de baisse du niveau et le débit planché atteint semble également avoir un impact sur les densités d'invertébrés échoués.

Il serait donc intéressant de proposer au gestionnaire des ouvrages (EDF) une modulation des débits caractéristiques des éclusées en fonction du débit observé dans la rivière. En effet plus le débit est resté élevé longtemps ou plus le débit planché atteint est faible plus la baisse du niveau en fin d'éclusée devra être lente. Il serait même intéressant de mettre en place des systèmes de paliers intermédiaires lorsque l'on se rapproche du débit minimum, à savoir 1-2 m³/s. La définition du nombre de paliers et de leurs caractéristiques (seuil et durée) sera être déterminée en fin d'étude au vu de l'ensemble des résultats.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Cette étude a permis d'étudier un compartiment biologique méconnu de la rivière Dordogne et d'en esquisser le fonctionnement. En effet l'ensemble des données recueillies jusqu'à maintenant ne permet pas de caractériser de façon précise l'évolution du peuplement macrobenthique en fonction du gradient amont/aval et l'impact de la gestion par éclusée sur ce peuplement.

Dans un premier temps l'inventaire macrobenthique à partir du protocole stratifié de type MAG16 a permis la description du peuplement de deux stations de la Maronne ; l'une située entre le barrage et l'usine hydroélectrique (M1) et l'autre en aval de l'usine et donc soumise aux éclusées (M2). Les peuplements de ces deux stations présentent une qualité globalement correcte (pour information les notes IBGN correspondantes seraient de 20/20) mais une légère déstructuration, due très certainement à une eutrophie/dystrophie du milieu.

Les contextes typologiques calculés et observés sur ces deux stations sont également similaires et ne traduisent pas un impact notable des ouvrages et/ou de leur gestion sur les variables typologiques globales.

L'étude mésologique des stations à partir des cartographies des stations et des prélèvements réalisés a apporté une information complémentaire sur la modification des habitats en fonction du contexte hydrologique observé. Il résulte que les habitats présentent une meilleure capacité d'accueil lorsqu'ils sont peu soumis aux variations de niveau et qu'il existe une relation linéaire entre la baisse du niveau des eaux et la diminution de la capacité d'accueil de la station.

Le suivi des éclusées en temps que tel n'a pu être réalisé pendant mon stage et seule des baisses brutales du débit ont été caractérisées. Les campagnes de prélèvement de type MAG16 combinées à un suivi des dérives et des échouages lors de ces chutes brutales de débit ont apportés une grande quantité d'information sur la réaction du peuplement aux variations hydrologiques.

Ces données confirment le fait que les capacités d'accueil des stations sont directement impactées lors de la baisse du niveau des eaux et permettent l'évaluation d'une perte d'invertébrés par échouages. La perte est estimée à 1600 invertébrés par m² pour un passage de 40 à 20 m³/s et de 1900 invertébrés par m² pour un passage de 20 à 2 m³/s. Un calcul de biomasse permettra à la fin de l'étude d'évaluer l'impact global sur la productivité du système.

Une partie des invertébrés présents sur les substrats avant exondation n'est pas retrouvée dans les échouages et l'étude des dérives montre une accentuation du phénomène de migration lors des variations hydrologiques. Les dérives apparaissent également comme un phénomène complexe dont le fonctionnement semble lié directement aux variations hydrologiques et qu'il est nécessaire d'étudier de manière plus approfondie en augmentant les périodes de suivi. La mise en place de pièges à invertébrés appelés « caisses substrat » permettra d'étayer la méthodologie et d'estimer les migrations verticales des invertébrés dans les sédiments (de manière à suivre la nappe d'accompagnement du cours d'eau) afin de déterminer le devenir des invertébrés qui ne se retrouvent pas dans nos observations.

Cette étude montre donc un impact des baisses du niveau des eaux sur le peuplement macrobenthique de la Maronne. Ces analyses seront toutefois à considérer avec précaution puisque qu'il n'a pas été suivi d'éclusées complètes et que de nombreux facteurs autres que les éclusées sont susceptibles d'intervenir (confluences importantes, pollutions diverses...).

Table des figures, des tableaux et des photos

Table des figures

Figure 1.	Carte de localisation de la Dordogne et de la Maronne.....	8
Figure 2.	Profils en longs de la Dordogne et de la Maronne.....	9
Figure 3.	Evolution des débits (m ³ /s) en fonction du temps sur la Maronne ; Succession d'éclusées journalières.	9
Figure 4.	Carte de localisation des stations d'inventaires.	10
Figure 5.	Présentation des périodes d'échantillonnage.	11
Figure 6.	Interventions réalisées sur la Maronne en fonction de l'hydrologie	15
Figure 7.	Classes d'abondances des taxons indicateurs pour les inventaires I1M1 et I2M1 sur la station M1.....	17
Figure 8.	Classes d'abondances des taxons indicateurs pour MAG16 I1M2 et EM1av sur la station M2	18
Figure 9.	Classes d'abondances des taxons indicateurs pour MAG16 I1M1 et I1M2	20
Figure 10.	Classes d'abondances des taxons indicateurs pour MAG16 I1M1 et I1M2	21
Figure 11.	Projection en variable supplémentaire du peuplement macrobenthique des stations M1 et M2 à différentes périodes sur la Maronne dans la structure typologique établie pour le bassin versant du Doubs par Verneaux (Verneaux 1973).	24
Figure 12.	Projection en variable supplémentaire du peuplement ichtyologique de la Maronne à l'Hospital dans la structure typologique établie pour le bassin versant de la Loire par le CSP (Vigneron).....	25
Figure 13.	Projection en variable supplémentaire du peuplement ichtyologique de la Maronne à l'Hospital dans la structure typologique établie pour le bassin versant du Doubs par Verneaux (Verneaux 1973).	25
Figure 14.	Présentation des classes de substrat et de vitesse et de leur représentation.....	27
Figure 15.	Classement décroissant de l'abondance des différents couples S/V présenté dans le Tableau 6 (en abscisse les couples S/V et en ordonné l'abondance)	28
Figure 16.	Classement décroissant de la richesse des différents couples S/V présenté dans le Tableau 6 (en abscisse les couples S/V et en ordonné la richesse)	28
Figure 17.	Classement décroissant de la diversité des différents couples S/V présenté dans le Tableau 6 (en abscisse les couples S/V et en ordonné la diversité).....	28
Figure 18.	Classement décroissant de l'équitabilité des différents couples S/V présenté dans le Tableau 6 (en abscisse les couples S/V et en ordonné l'équitabilité)	29
Figure 19.	Schéma de principe du fonctionnement d'une éclusée.....	33
Figure 20.	Carte de localisation des stations pour l'étude des éclusées.	34
Figure 21.	Interventions réalisées sur la Maronne en fonction de l'hydrologie	35
Figure 22.	Schéma de principe des filets à dérives	37
Figure 23.	Filets à dérive en action.....	37
Figure 24.	Nombre de couples S/V inventoriés en fonction de la superficie	39
Figure 25.	Scores relatifs d'habitabilité obtenus pour les stations	39
Figure 26.	Abondances totales en fonction de la superficie de la zone étudiée correspondante.....	42
Figure 27.	Densités par m ² en fonction des différentes stations et des zones exondées ou non	43
Figure 28.	Abondances cumulées par substrat des Ephémères, Plécoptères, Trichoptères et autres taxons.....	44
Figure 29.	Schéma de localisation des points de suivi des dérives	45
Figure 30.	Dérives apportées par le chenal principal.....	46
Figure 31.	Dérives apportées par le bras médian	47
Figure 32.	Dérives apportées par le bras amont.....	47
Figure 33.	Schéma de principe de caisse substrat vide	49

Figure 34.	Schéma de principe de caisse substrat pleine	49
------------	--	----

Table des tableaux

Tableau 1.	Indices de description et de comparaison du peuplement de la station M1	17
Tableau 2.	Indices de description et de comparaison du peuplement de la station M2	18
Tableau 3.	Indices de description et de comparaison du peuplement printanier sur la Maronne	20
Tableau 4.	Indices de description et de comparaison du peuplement printanier sur la Maronne	21
Tableau 5.	Typologies de référence calculées pour les stations M1 et M2 de la Maronne.	23
Tableau 6.	Qualité biologique des couples substrat / vitesse selon les indices de description du peuplement.	27
Tableau 7.	Pourcentage de recouvrement des couples substrat / vitesse pour l'ensemble des stations	30
Tableau 8.	Pourcentage de recouvrement des couples substrat / vitesse pour l'ensemble des stations	38
Tableau 9.	Superficies des substrats en eau et exondées sur la station M2 pour différents débits de la Maronne	40
Tableau 10.	Abondances moyennes des substrats en eau et exondés	40
Tableau 11.	Abondances estimées des superficies inondées et évaluation des pertes par échouages	41
Tableau 12.	Nombre d'individus perdus et pourcentage de perte par rapport au peuplement initial	42

Table des photos

Photo 1.	Barrage de HautePAGE sur la Maronne	8
Photo 2.	Barrage du Sablier sur la Dordogne	8
Photo 3.	Prélèvement à l'aide d'un filet surber.	12
Photo 4.	Capture d'insectes adultes à l'aide d'un « aspirateur à insectes ».	12
Photo 5.	Prélèvement à l'aide d'un surber emmanché	12
Photo 6.	Capture d'insectes adultes à l'aide d'un filet à papillons.	12
Photo 7.	Tri des échantillons et collecte des insectes	12
Photo 8.	La Maronne ; amont de la station M2 le 29/06/2008 ; 20 m ³ /s	16
Photo 9.	La Maronne ; aval de la station M2 le 29/06/2008 ; 2 m ³ /s	16
Photo 10.	La Maronne ; Station M1 le 22/04/2008 ; 2 m ³ /s	16
Photo 11.	La Maronne ; Station M1 le 01/07/2008 ; 1 m ³ /s	16
Photo 12.	Zone de marnage sur la station M2 entre 40 m ³ /s et 2 m ³ /s	35
Photo 13.	Zone de marnage sur la station M2 entre 40 m ³ /s et 2 m ³ /s	35
Photo 14.	Substrats exondés sur la station M2	36
Photo 15.	Zone d'échouage sur la station M2	36
Photo 16.	Ephémère (Heptageniidae) mise à sec sur un galet	45
Photo 17.	Trichoptères à fourreaux échoués	45

Bibliographie

- Aagaard K, Solem JO, Nøst T, Hanssen O (1997) The macrobenthos of the pristine stream, Skiftesåa, Høylandet, Norway. *Hydrobiologia* 348: 81–94.
- Andrews, E.D., 1986. Downstream effects of Flaming Gorge Reservoir on the Green River, Colorado and Utah. *Geological Society of America Bulletin* 97 (8), 1012– 1023.
- Angradi, T.R., 1999. Fine sediment and macroinvertebrate assemblages in Appalachian streams: a field experiment with biomonitoring applications. *Journal of the North American Benthological Society* 18, 49–66.
- Armitage PD (1978) Downstream changes in the composition, numbers and biomass of bottom fauna in the Tees below Cow Green reservoir and in an unregulated tributary Maize Beck, in the first five years after impoundment. *Hydrobiologia* 58: 145–156.
- Armitage PD, MacHale AM, Crisp DC (1974) A survey of stream invertebrates in the Cow Green basin (Upper Teesdale) before inundation. *Freshwater Biology* 4: 369–398.
- Armitage PD, MacHale AM, Crisp DC (1975) A survey of the invertebrates of four streams in The Moor House National Nature Reserve in northern England. *Freshwater Biology* 5: 479–495.
- ASCE, Sediment and aquatic habitat in river systems. *Journal of Hydraulic Engineering* vol. 118, 5. American Society of Civil Engineers, pp. 669–687.
- BACCHI M., 2000 : « Structure et dynamique des peuplements macrobenthiques en Loire, impact des facteurs hydrologiques et sédimentaires ». 251p.
- Bain, M.B., Finn, J.T., Booke, H.E., 1988. Streamflow regulation and fish community structure. *Ecology* 69, 382–392.
- Benke, A., 1990. Perspective on America's vanishing streams. *Journal of the North American Benthological Society* 9 (1), 77– 88.
- Bonacci O, Kerovec M, Roje-Bonacci T, Mrakovcic M, Plenkovic-Moraj E (1998) Ecologically acceptable flow definition for the Zrnovnica River (Croatia). *Regulated Rivers: Research & Management* 14: 245–256.
- Bournaud M (1994) Theoretical habitat templates, species traits, and species richness: birds in the Upper Rhône River and its floodplain. *Freshwater Biology* 31: 469–485.
- Brandt, S.A., 2000. Classification of geomorphological effects downstream of dams. *Catena* 40, 375– 401.
- Brooker MP, Morris DL (1980) A survey of the macro-invertebrate riffle fauna of the River Wye. *Freshwater Biology* 10: 437–458.
- Brown JH, Lomolino MV (1998) *Biogeography*, 2nd edn. Sinauer Associates Publisher, Sunderland, MA. Cairns J, Pratt JR (1993) A history of biological monitoring using benthic macroinvertebrates. In: Rosenberg DM, Resh VH (eds) *Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates*. Chapman & Hall, London, pp 10–27.
- Bull, L.J., Kirkby, M.J., Shannon, J., Hooke, J.M., 1999. The impact of rainstorms on floods in ephemeral channels in South _ East Spain. *Catena*, in press .

- Camargo JA (1992) Structural and trophic alterations in macrobenthic communities downstream from a fish farm outlet. *Hydrobiologia* 242: 41–49.
- Camargo JA, Garcia de Jalon D (1990) The downstream impacts of the Burgomillodo reservoir, Spain. *Regulated Rivers: Research & Management* 5: 305–317.
- Carling, P.A., 1987. Bedload stability in gravel streams, with reference to stream regulation and ecology. In: Richards, K.Ed. , *River Channels: Environment and Process*. Blackwell, Oxford, pp. 321–347.
- Casado C, Garcia de Jalon D, Del Olmo CM, Barcelo E, Menes F (1989) The effect of an irrigation and hydroelectric reservoir on its downstream communities. *Regulated Rivers: Research & Management* 4: 275–284.
- Charvet S, Statzner B, Usseglio-Polatera P, Dumont B (2000) Traits of benthic macroinvertebrates in semi-natural French streams: an initial application to biomonitoring in Europe. *Freshwater Biology* 43: 277–296.
- Chien, N., 1985. Changes in river regime after the construction of upstream reservoirs. *Earth Surface Processes and Landforms* 10 (2), 143– 159.
- Collier M, Webb RH, Schmidt JC. Dams and rivers. A primer on the downstream effects of dams. Geol Surv Circular 1126. Denver: USGS; 1996.
- Cushman, R.M., 1985. Review of ecological effects of rapidly varying flows downstream from hydroelectric facilities. *North American Journal of Fisheries Management* 5, 330–339.
- Dessaix J, Fruget J-F, Olivier J-M, Beffy J-L (1995) Changes of the macroinvertebrate communities in the dammed and bypassed sections of the French Upper Rhône after regulation. *Regulated Rivers: Research & Management* 10: 265–279.
- Dixon JA, Talbot LM, Lemoigne GJ-M. Dams in the environment. Considerations in world bank projects. World Bank Technical Paper #110. Washington, DC: World Bank; 1989.
- Dolédéc S, Olivier J-M, Statzner B (2000) Accurate description of the abundance of taxa and their biological traits in stream invertebrate communities: effects of taxonomic and spatial resolution. *Archiv für Hydrobiologie* 148: 25–43.
- Dolédéc S, Statzner B, Bournaud M (1999) Species traits for future biomonitoring across ecoregions: patterns along a human-impacted river. *Freshwater Biology* 42: 737–758.
- Doyle, M.W., Stanley, E.H., Harbor, J.M., Grant, G.S., 2003. Dam removal in the US: emerging needs for science and policy. *Eos* 84, 29– 33.
- ECOGEA (2008) JM LASCAUX et L CAZENEUVE Etude de l'impact écologique des éclusées sur la rivière Dordogne ;Analyse des pressions exercée par les phénomènes d'éclusées sur le compartiment piscicole.
- Egglishaw HJ, Mackay DW (1967) A survey of the bottom fauna of streams in the Scottish highlands. Part III: Seasonal changes in the fauna of three streams. *Hydrobiologia* 30: 305–334.
- Elliott, J.G., Parker, R.S., 1997. Altered streamflow and sediment entrainment in the Gunnison Gorge. *Journal of the American Water Resources Association* 33 (5), 1041– 1054.
- Fahy E (1975) Quantitative aspects of the distribution of invertebrates in the benthos of a small stream system in western Ireland. *Freshwater Biology* 5: 167–182.
- Garcia de Jalon D, Sanchez P, Camargo JA (1994) Downstream effects of a new hydropower impoundment on macrophyte, macroinvertebrate and fish communities. *Regulated Rivers: Research & Management* 9: 253–261.
- Geist, D.R., Dauble, D.D., 1998. Redd site selection and spawning habitat use by fall chinook salmon: the importance of geomorphic features in large rivers. *Environmental Management* 22, 655–669.
- Ghilarov AM (2000) Ecosystem functioning and intrinsic value of biodiversity. *Oikos* 90: 408–412.

- Giudicelli J (1968) Recherches sur le peuplement, l'écologie et la biogéographie d'un réseau hydrographique de la Corse centrale. Doc. Sci. nat. thesis, University of Aix- Marseille.
- Graf, W.L., 1980. The effect of dam closure on downstream rapids. *Water Resources Research* 16 (1), 129– 136.
- Graf, W.L., 1999. Dam nation: a geographic census of American dams and their large-scale hydrologic impacts. *Water Resources Research* 35 (4), 1305– 1311.
- Graf, W.L., 2001. Damage control: restoring the physical integrity of America's rivers. *Annals of the Association of American Geographers* 91 (1), 1 –27.
- Guégan J-F, Lek S, Oberdorff T (1998) Energy availability and habitat heterogeneity predict global riverine fish diversity. *Nature* 391: 382–384.
- Hadley, R.F., Emmett, W.W., 1998. Channel changes downstream from a dam. *Journal of the American Water Resources Association* 34 (3), 629–637.
- Hicks, B.J., Hall, J.D., Bisson, P.A., Sedell, J.R., 1991. Responses of salmonids to habitat change. *Special Publication-American Fisheries Society* 19, 483– 517.
- Hynes HBN (1961) The invertebrate fauna of a Welsh mountain stream. *Archiv für Hydrobiologie* 57: 344–388.
- Jerry F. Novotny⁽¹⁹⁸⁵⁾: Effects of a Kentucky flood-control reservoir on macroinvertebrates in the tailwater. [Hydrobiologia](#) Volume 126, Number 2 p. 143 – 153.
- Jungwirth M, Muhar S, Schmutz S (eds) (2000) Assessing the ecological integrity of running waters. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Kingsolving, A.D., Bain, M.B., 1993. Fish assemblage recovery along a riverine disturbance gradient. *Ecological Applications* 3, 531–544.
- Kondolf, G.M., Wilcock, P.R., 1996. The flushing flow problem: defining and evaluation objectives. *Water Resources Research* 32, 2589– 2599.
- Kresan, P.L., 1988. The Tucson, Arizona, flood of October 1983: implications for land management along alluvial river channels. In: Baker, R.C., Kochel, R.C., Patton, P.C. Eds. *Flood Geomorphology*. Wiley, New York, pp. 465–490.
- Learner MA, Densem JW, Iles TC (1983) A comparison of some classification methods used to determine benthic macro-invertebrate species associations in river survey work based on data obtained from the River Ely, South Wales. *Freshwater Biology* 13: 13–36.
- Lecce, S.A., 2000. Spatial variations in the timing of annual floods in the southeastern United States. *Journal of Hydrology* 235 (3/4), 151–169.
- Lee Keefer, O. Eugen Maughan (1985). Effects of headwater impoundment and channelization on invertebrate drift. Academic Publishers B.V. Vol. 127, 2 p. 161 – 169.
- Leung B, Forbes MR, Houle D (2000) Fluctuating asymmetry as a bioindicator of stress: comparing efficacy of analyses involving multiple traits. *The American Naturalist* 155: 101–115.
- Ligon, F.K., Dietrich, W.E., Trush, W.J., 1995. Downstream ecological effects of dams. *BioScience* 45 (3), 183– 192.
- Malmqvist B, Nilsson LM, Svensson BS (1978) Dynamics of detritus in a small stream in southern Sweden and its influence on the distribution of the bottom animal communities. *Oikos* 31: 3–16.
- McGrady-Steed J, Harris PM, Morin PJ (1997) Biodiversity regulates ecosystem predictability. *Nature* 390: 162–165.

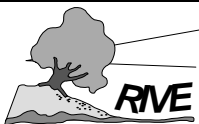
- Molles, M.C., Crawford, C.S., Ellis, L.M., Valett, H.M., Dahm, C.N., 1998. Managed flooding for riparian ecosystem restoration —managed flooding reorganizes riparian forest ecosystems along the Middle Rio Grande in New Mexico. *BioScience* 48 (9), 749–756.
- Montgomery, W.L., McCormick, S.D., Naiman, R.J., Whoriskey,
- Næsje, T., Jonsson, B., Skurdal, J., 1995. Spring flood: a primary cue for hatching of river spawning Coregoninae. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 52, 2190– 2196.
- Nislow, K.H., Magilligan, F.J., Fassnacht, H., Bechtel, D., Ruesink, A., 2002. Effects of hydrologic alteration on flood regime of natural floodplain communities in the upper Connecticut River. *Journal of the American Water Resources Association* 38, 1533– 1548.
- Nyman C (1995) Macrozoobenthos in some rapids in a lowland river in Finland before and after the construction of a hydroelectric power plant. *Regulated Rivers: Research & Management* 10: 199–205.
- Persat H, Olivier J-M, Pont D (1994) Theoretical habitat templates, species traits, and species richness: fish in the Upper Rhône River and its floodplain. *Freshwater Biology* 31: 439–454.
- Peters RH (1983) The ecological implications of body size. Cambridge University Press, Cambridge, MA.
- Petts, G.E., 1984. Sedimentation within a regulated river. *Earth Surface Processes and Landforms* 9 (2), 125– 134.
- Petts, G.E., Pratts, J.D., 1983. Channel changes following reservoir construction on a lowland river. *Catena* 10 (1–2), 77– 85.
- Phillips, J.D., 2001. Sedimentation in bottomland hardwoods downstream of an east Texas dam. *Environmental Geology* 40, 860– 868.
- Poff NL (1997) Landscape filters and species traits: towards mechanistic understanding and prediction in stream ecology. *Journal of the North American Benthological Society* 16: 391–409.
- Poff, N.L., Hart, D.D., 2002. How dams vary and why it matters for the emerging science of dam removal. *BioScience* 52, 659– 668.
- Power, M.E., Dietrich, W.E., Finlay, J.C., 1996. Dams and downstream aquatic biodiversity: potential food web consequences of hydrologic and geomorphic change. *Environmental Management* 20 (6), 887– 895.
- Puckridge, J.T., Sheldon, F., Walker, K.F., Boulton, A.J., 1998. Flow variability and the ecology of large rivers. *Marine and Freshwater Research* 49 (1), 55– 72.
- Richter, B.D., Baumgartner, J.V., Powell, J., Braun, D.P., 1996. A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems. *Conservation Biology* 10 (4), 1163–1174.
- Rui Manuel Vitor Cortes, Maria Teresa Ferreira, Simone Varandas Oliveira and Francisco Godinho (1998) Contrasting impact of small dams on the macroinvertebrates of two Iberian mountain rivers. [Hydrobiologia](#) (389) 1-3 P. 51 – 61.
- Scheidegger, K.J., Bain, M.B., 1995. Larval fish distribution and microhabitat use in free flowing and regulated rivers. *Copeia* (1), 125–135.
- Schmid PE, Tokeshi M, Schmid-Araya JM (2000) Relationship between population density and body size in stream communities. *Science* 289: 1557–1560.
- Shiklomanov IA. World fresh water resources. In: Gleick PH, editor. *Water in crisis*. Oxford: Oxford
- Southwood TRE (1977) Habitat, the template for ecological strategies? *Journal of Animal Ecology* 46: 337–365.
- Spellerberg IF (1991) *Monitoring ecological change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

- Statzner B (1979) Der Obere und Untere Schierenseebach (Schleswig-Holstein): Strukturen und Funktionen in zwei norddeutschen See-Ausfluss-Systemen. PhD thesis, University of Kiel.
- Statzner B (1987) Characteristics of lotic ecosystems and consequences for future research directions. In: Schulze E-D, Zwölfer H (eds) Potentials and limitations of ecosystem analysis. Springer Verlag, Berlin, pp 365–390.
- Statzner B, Hildrew AG, Resh VH (2001) Species traits and environmental constraints: entomological research and the history of ecological theory. *Annual Review of Entomology* 46: 291–316.
- Statzner B, Hoppenhaus K, Arens M-F, Richoux P (1997) Reproductive traits, habitat use and templet theory: a synthesis of world-wide data on aquatic insects. *Freshwater Biology* 38: 109–135.
- Statzner B, Resh VH, Dolédec S (eds) (1994) Ecology of the Upper Rhône River: a Test of Habitat Templet Theories. Special issue *Freshwater Biology* 31 (3): 253–554.
- Tachet H, Richoux P, Bournaud M, Usseglio-Polatera P (2000) Invertébrés d'eau douce. CNRS Editions, Paris.
- Thienemann A (1918) Lebensgemeinschaft und Lebensraum. *Naturwissenschaftliche Wochenschrift (Neue Folge)* 17: 281–290, 297–303.
- Thorne RSJ, Williams WP (1997) The response of benthic macroinvertebrates to pollution in developing countries: a multimetric system of bioassessment. *Freshwater Biology* 37: 671–686.
- Townsend CR, Dolédec S, Scarsbrook MR (1997) Species traits in relation to temporal and spatial heterogeneity in streams: a test of habitat templet theory. *Freshwater Biology* 37: 367–387.
- Townsend CR, Hildrew AG (1994) Species traits in relation to a habitat templet for river systems. *Freshwater Biology* 31: 265–275.
- Ulfstrand S (1967) Microdistribution of benthic species (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera, Diptera: Simuliidae) in Lapland streams. *Oikos* 18: 293–310.
- Usseglio-Polatera P, Bournaud M, Richoux P, Tachet H (2000) Biological and ecological traits of benthic freshwater macroinvertebrates: relationships and definition of groups with similar traits. *Freshwater Biology* 43: 175–205.
- Verneaux J (1974) ; cours d'eau de Franche Comté ; Recherche écologiques sur le bassin-versant du Doubs ; Essai de biotypologie ;Thèse d'Etat Univ Fr-Comté, Besançon 257p
- Vinson MR, Hawkins CP (1998) Biodiversity of stream insects: variation at local, basin, and regional scales. *Annual Review of Entomology* 43: 271–293.
- Wootton, J.T., Parker, M.S., Power, M.E., 1996. Effects of disturbance on river food webs. *Science* 273 (5281), 1558–1561.
- Wright JF, Sutcliffe DW, Furse MT (eds) (2000) Assessing the biological quality of fresh waters: RIVPACS and other techniques. Freshwater Biological Association, Ambleside.

Annexes

<i>Annexe 1.</i>	<i>Fiche d'échantillonnage MAG16.....</i>	<i>60</i>
<i>Annexe 2.</i>	<i>Liste taxinomique du MAG16 I2M1.....</i>	<i>61</i>
<i>Annexe 3.</i>	<i>Liste taxinomique du MAG16 I1M2.....</i>	<i>62</i>
<i>Annexe 4.</i>	<i>Liste taxinomique du MAG16 EM1pdt.....</i>	<i>63</i>
<i>Annexe 5.</i>	<i>Liste taxinomique du MAG16 EM1av.....</i>	<i>64</i>
<i>Annexe 6.</i>	<i>Liste taxinomique du MAG16 I1M1.....</i>	<i>65</i>
<i>Annexe 7.</i>	<i>Liste taxinomique du MAG16 EM1ap.....</i>	<i>66</i>
<i>Annexe 8.</i>	<i>Cartographie de la station M1.....</i>	<i>67</i>
<i>Annexe 9.</i>	<i>Cartographie de la station M2 à 40 m³/s.....</i>	<i>68</i>
<i>Annexe 10.</i>	<i>Abondances des taxons en fonction substrats et de leur inondation.....</i>	<i>69</i>
<i>Annexe 11.</i>	<i>Liste faunistique des dérives.....</i>	<i>70</i>

Annexe 1. Fiche d'échantillonnage MAG16

	FICHE D'ECHANTILLONNAGE « MAG 16 » <i>Protocole MAG 16</i>	
	<i>Gestion des cours d'eau et des zones humides ETUDE - CONSEIL - INGENIERIE</i>	
Cours d'eau :	Référence de l'intervention :	
Référence station :	Date :	
	Heure :	

Hydrologie :

Hauteur moyenne de la lame d'eau (en cm) :

Physico-chimie (mesures in situ) :

Température extérieure (en °C)		Conductivité (en µs/cm)	
Température de l'eau (en °C)		Oxygène dissous (en mg/l)	
pH (en u.pH)		Saturation en oxygène dissous (en %)	
Turbidité (visibilité en mètres du disque de Secchi)			

		2	4	5	3	1
Vitesses superficielles (en cm/s)	V	V>150	150>V>75	75>V>25	25>V>5	V<5
Supports	S					
Bryophytes	11					
Spermaphytes immergés	10					
Eléments organiques grossiers (racines)	9					
Eléments organiques grossiers (litières)	8					
Sédiments minéraux de grandes taille (pierres, galets) 250 mm > Ø > 25 mm	7					
Granulats grossiers 25 mm > Ø > 2.5 mm	6					
Spermaphytes émergents	5					
Sédiments fins organiques « vases » Ø ≤ 0.1 mm	4					
Sables et limons Ø < 2.5 mm	3					
Surfaces naturelles et artificielles (roches, dalles, sols, parois) blocs > 25 mm	2					
Algues	1					
marne et argile	0					

Référence de l'échantillon : **1 à 16**

	Vitesse Préférentielle		Vitesse secondaire		Vitesse possible		Vitesse improbable compte tenu de la nature du substrat
---	------------------------	---	--------------------	---	------------------	---	---

Cours d'eau : Maronne
Département :
Référence de la station : M1
Code : I2M1
Date de prélèvement : 30/06/2008

[illegible]

Annexe 3. Liste taxinomique du MAG16 HM2



Cours d'eau : Maronne
Département : 19
Référence de la station : M2
Code : HM2
Date de prélèvement : 23/04/2008

				Numéros des échantillons																		Effectif total famille
N° substrat		N° vitesse		11	9	7	7	5	8	10	10	8	11	2	2	6	3	4	9			
				4	4	5	4	5	3	4	3	1	5	5	4	3	3	3	5			
% de recouvrement				0,7%	0,3%	46,2%	5,7%	1,5%	0,2%	0,5%	0,1%	0,1%	2,6%	15,8%	2,5%	0,4%	1,1%	0,1%	1,7%			
Taxons	BMMP	C.B. 2	Opé Ind	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92			
PLECOPTERES																						
Chloroperlidae	10	9	9		3	10	11	5	7		5	1	4	3	2				1	52		
Chloroperla					3	10	11	5	7		5	1	4	3	2				1			
Leuctridae	10	6	7	1	37	31	28	3	1	1	13	1	1	3	2	1			4	127		
Leuctridae . nd									1	1			1									
Leuctra				1	37	31	28	3			13	1		3	2	1			4			
Nemouridae	7	6	6							5				1						6		
Protonemura										5				1								
Perlodidae	10	9	9	13		2	7	3	1	6	7		1	1	4					45		
Isoperla				13		2	7	3	1	6	7		1	1	4							
Taeniopterygidae	10	8	9	3						3					1					7		
Brachyptera				3						3					1							
TRICHOPTERES																						
Brachycentridae	10	8	8	6			1			5	1					1			1	15		
Micrasema				6			1			5	1					1			1			
Glossosomatidae	7	7					1			1	3									5		
Glossosomatidae . nd							1			1												
Agpetus										1	2											
Goeridae	10	7				2	26			2	13									43		
Goeridae . nd						1																
Silo						1	26			2	13											
Hydropsychidae	5	3	3	28	18	8	33	12	7	147	131			25	20		1		3	433		
Hydropsyche				28	18	8	33	12	7	147	131			25	20		1		3			
Hydroptilidae	6	6	5			1		1	1		3					2				8		
Hydroptila						1		1	1		3					2						
Lepidostomatidae	10	7	6	6	10	33	5	5	1	1		1	9	3		1	1			76		
Lepidostomatidae . nd							1															
Lasiocephala					1	1				1		1										
Lepidostoma				6	9	32	4	5	1				9	3		1	1					
Leptoceridae	10	5	4			5			1	2	1				1	1				11		
Athripsodes						5			1	2	1				1	1						
Limnephilidae	7	3		50	185	2		17	2			362	53	5		2	7	24	41	750		
Limnephilidae . nd				50	185	2		9	2			217	40	5		2	3	18	33			
Allogamus								8				91	8				3	6	7			
Anabolia													4				1		1			
Halesus												54	1									
Polycentropodidae	7	6	4		2	1			1				1		3					8		
Polycentropodidae . nd				1									1									
Holocentropus					1	1			1											2		
Psychomyidae	6	4					2								3							
Psychomyia																						
Rhyacophilidae	7	6	4	24						6	2		1		2					35		
Rhyacophilidae . nd				24						3			1		2							
Rhyacophila										3		2			2							
Sericostomatidae	10	7	6		14	20	3			7					2	1				47		
Sericostoma					14	20	3			7					2	1						
EPHEMEROPTERES																						
Baetidae	4	2	2	13	1	5	7	10		8	19		1	6	6				7	83		
Baetis				13	1	5	7	10		8	19		1	6	6				7			
Caenidae	7	3	2	2	1	3	1													7		
Caenis				2	1	3	1															
Ephemerellidae	10	4	3	59	165	162	16	60	5	11	22		15	8	3	1	2		1	530		
Ephemerella (seratella)				59	165	161	12	60	5	9	18		15	8	3	1	2		1			
Torleya major						1	4			2	4											
Ephemeridae	10	7	6		1															1		
Ephemera					1																	
Heptageniidae	10	7	5	1		2	1			2				3	1					10		
Ecdyonurus						2	1			2				3	1							
Rhithrogena				1																		
Leptophlebiidae	10	6	7				1						6							7		
Paraleptophlebia							1						6									
COLEOPTERES																						
Dryopidae	5	6			2	1						1	1				2	5		12		
Elmidae	5	5	2	3	11	7	6	25	9	10	13		9	8	6	2	5		9	123		
Elmis				2	1	1	3	14	7	5			7	2	5	1			7			
Esolus					5	1	1															
Limnius					1	2	1			2	8											
Oulimnius				1	4	3	1	11	2	3	5		2	6	1	1	5		2			
Scirtidae (=Helodidae)									1											1		
DIPTERES																						
Athericidae	6				2			4	1											7		
Ceratopogonidae						5								2						7		
Chironomidae	2	1	1	315	55	18	210	65	475	34	210	4	6	60	110	490	35		8	2104		
Empididae										1										4		
Limoniidae																				1		
Simuliidae	5	4		19	1			1		18	1			1	5				1	47		
Tipulidae	5	5			1															1		
CRUSTACES																						
AMPHIPODES																						
Gammaridae	6	3	2										2							2		
ISOPODES																						
Asellidae	3	1	1		1								2			1	1	1		6		
MOLLUSQUES																						
BIVALVES																						
Sphaeriidae	3	4	2		6	8														14		
GASTEROPODES																						
Ancylidae	6	2	2		2	4	5			7	2			1						21		
Bythinellidae					7			4	3			1		2		7	4	2		30		
Valvatidae	3	2	2			1														1		
ACHETES																						
Erpobdellidae	3	1	1							2				1						3		
TRICLADES																						
Planariidae	5				12	2	2			13	1		6							36		
OLIGOCHETES					21	88	45	20		44	90	1	40	2	10	6	65	4	30	471		
HYDRACARIENS	1	1	1		1	1							2							4		
Variété				29	41	45	43	25	28	37	40	14	33	29	33	23	16	8	22	58		
Effectif total				752	1007	714	562	374	553	532	794	739	315	258	610	132	43	94	155	5203		

Annexe 4. Liste taxinomique du MAG16 EM1pdt



Cours d'eau : Maronne
 Département : 19
 Référence de la station : M2
 Code : EM1pdt
 Date de prélèvement : 14/05/2008

			Numéros des échantillons																		
N° substrat				11	9	7	7	5	8	10	6	8	11	2	2	6	3	4	9		
N° vitesse				5	5	3	5	5	3	5	1	1	3	1	5	3	3	3	3		
% de recouvrement				3,4%	1,9%	0,5%	54,7%	0,8%	0,1%	1,0%	0,8%	0,0%	0,1%	0,2%	18,7%	1,0%	0,1%	0,1%	0,1%		
Taxons	BMPP	CB 2	Gpe Ind	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	Effectif total famille	
PLECOPTERES																					
Chloroperlidae	10	9	9	2		10	6		4		1	22	2	3			1		1	52	
Chloroperla				2		10	6		4		1	22	2	3			1		1		
Leuctridae	10	6	7	5		2	4	4		1			4	2	1	4		4		31	
Euleuctra																					
Leuctra				5		2	4	4		1			4								
Nemouridae	7	6	6	1	5			1	1	1		1	1						1	11	
Protonemura				1	5			1	1	1		1	1						1		
Periodidae	10	9	9	1	2	7		2		12		3	7	2	1	1		1	1	39	
Isoperla				1	2	7		2		12		3	7	2	1	1			1		
TRICHOPTERES																					
Brachycentridae	10	8	8	18	3		1			6			27							55	
Micrasema				18	3		1			6			27								
Glossosomatidae		7	7												1					1	
Glossosomatidae . nd															1						
Goeridae	10		7				27							2	5					34	
Goeridae . nd							18														
Goera							1														
Silo							8							2	5						
Hydropsychidae	5	3	3	12	45	31	30	15		224	5	13	144	26	20				19	584	
Hydropsyche				12	45	31	30	15		224	5	13	144	26	20				19		
Hydroptilidae	6	6	5		1								8	2	40					51	
Hydroptila					1								8	2	40						
Lepidostomatidae	10	7	6	1	1	1		1		21	1		16	2	1	1	5		1	52	
Lasiocephala													3								
Lepidostoma				1	1	1		1		21	1		13	2	1	1			1		
Leptoceridae	10	5	4							1		2	1							5	
Athripsodes																					
Limnephilidae	7		3		6		200	9	235	17	8	8	2			2	70	12	155	724	
Limnephilidae . nd					6		200	9	115		5	4	2			1	70	10	142		
Allogamus											7	3	4			1					
Halesus											10							2	13		
Polycentropodidae	7	6	4											1	1					2	
Polycentropodidae . nd																1					
Polycentropus																					
Psychomyidae		6	4				1							1	1	1	1			4	
Metatype																					
Psychomyia							1							1	1	1					
Rhyacophilidae	7	6	4	20	10	2	3	36		23	3	31				3	1	18		150	
Rhyacophilidae . nd				18	9			35		11		11				2	1	18			
Hyperhyacophila							2			5		3	15								
Parahyacophila				2				1		6		3	3								
Rhyacophila					1	2	1			1		2			1						
Sericostomatidae	10	7	6				1	2		5		12		3			17		1	41	
Sericostoma							1	2		5		12		3			17		1		
EPHEMEROPTERES																					
Baetidae	4	2	2	4	3	7	6	20		12		5	12		4	3				76	
Acentrella													1								
Baetis				4	3	7	6	20		12		5	11		4	3					
Caenidae	7	3	2	1																1	
Caenis				1																	
Ephemerellidae	10	4	3	185	76	121	38	420	17	254	126	341	416	14	82	28	1	2	155	2276	
Ephemerella (seratella)				185	75	120	37	420	17	254	125	337	416	10	82	28	1	2	155		
Torleya major					1	1	1				1	4		4							
Heptageniidae	10	7	5											4	4					4	
Ecdyonurus															4						
Leptophlebiidae	10	6	7						2			1								3	
Paraleptophlebia									2			1									
COLEOPTERES																					
Dryopidae	5	6					1					1						1		3	
Elmidae	5	5	2			2		1		6		22	6	2	5			1	4	49	
Elmis						2		1		2		6	4		2			1	2		
Esolus														1	2						
Limnius										4					1						
Oulimnius												2	2		1				2		
DIPTERES																					
Athericidae		6						2				2								4	
Ceratopogonidae		5																		1	
Chironomidae	2	1	1	225	7	7	1	65	6	69	80	200	605	3	300	8	4	3	21	1604	
Limoniidae		6												1						2	
Psychodidae		5														1				1	
Simuliidae	5	4		5	7			3		13			3							31	
Tipulidae	5	5							1		1				5					7	
CRUSTACES																					
AMPHIPODES																					
Gammaridae	6	3	2	1								65	2						1	69	
ISOPODES																					
Asellidae	3	1	1									3								3	
MOLLUSQUES																					
Sphaeriidae																					
Sphaeriidae	3	4	2													1		2		3	
GASTEROPODES																					
Ancylidae	6	2	2			1	3							2	4					10	
Bythinellidae		5	2							1						1				2	
Lymnaeidae	3	3	2								1	1	2							4	
ACHETES																					
Erpobdellidae	3	1	1	1						1		1			3					6	
Glossiphoniidae	3	2	1									1								1	
TRICLADES																					
Planariidae	5					1			4				2							7	
OLIGOCHETES	1	1	1	2		14	50		11	7	7	1		6	16	23	33	41		211	
HYDRACARIENS						1														1	
Variété				28	24	26	30	26	14	33	16	37	40	34	36	22	14	11	24	57	
Effectif total				734	318	392	689	1092	538	1223	389	1141	1980	144	660	116	261	77	706	6215	

Annexe 5. Liste taxinomique du MAG16 EM1av



Cours d'eau : Maronne
 Département :
 Référence de la station : M2
 Code : EM1av
 Date de prélèvement : 27/06/2008

				Numéros des échantillons																			
N° substrat				6	11	3	10	6	8	8	7	2	10	11	7	9	2	2	11				
N° vitesse				3	3	3	5	5	1	3	5	4	4	4	3	3	5	3	5				
% de recouvrement				1,0%	0,1%	0,1%	1,0%	5,5%	0,0%	0,1%	54,7%	2,9%	0,7%	0,9%	0,5%	0,1%	18,7%	0,1%	3,4%				
				25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	Effectif total famille			
PLECOPTERES																							
Chloroperlidae				10	9	9						1					1			2			
Chloroperla												1					1						
Leuctridae				10	6	7	5	1	3	1	10	8	5	19	1	10	20	2	26	7	1		
Euleuctra							5		3	1	10	8					26						
Leuctra							1						5	19	1			7	1				
Nemouridae				7	6	6														5			
Protonemura															2		3						
Periodidae				10	9	9											3						
Isoperla							1	35									1	1	2	2			
TRICHOPTERES																							
Brachycentridae				10	8	8		8		1	2			1	12		7		1	8			
Brachycentrus							8		1	2			1	12		7		1	8				
Glossosomatidae				7	7							1	1	1			8	1		12			
Glossosoma												1	1	1			8	1					
Goeridae				10		7						1						1	1	2			
Goenidae . nd																		1					
Silo												1											
Hydropsychidae				5	3	3	1	6		4	1		9	45	14	6	37	23	35	25			
Hydropsyche							1	6		4	1		9	45	14	6	37	23	35	25			
Lepidostomatidae				10	7	6						1			1	1		1		1			
Lepidostoma												1			1								
Leptoceridae				10	5	4			2		1	1							1				
Athripsodes									2		1	1											
Limnephilidae				7		3	1	2	27	42	169	14	1	2	1		25		13				
Limnephilidae . nd							1	2	25	41	145		1			17			13				
Allogamus										1	18	13		2	1								
Anabolia									2							8							
Drusus												1											
Halesus											6												
Polycentropodidae				7	6	4													3				
Polycentropus																			3				
Rhyacophilidae				7	6	4		1					3	9	6		5	3	21	7			
Hyperthyacophila															1		1	21	3				
Parathyacophila							1							9	4		2			4			
Rhyacophila												3			1		2						
Sericostomatidae				10	7	6		1	14	2	1	1	23			2		1	1				
Sericostoma							1	14	2	1	1	23				2		1	1				
EPHEMEROPTERES																							
Baetidae				4	2	2	20	8		8				31	28	22	14	8	76	14	42		
Acentrella														2	4	1							
Baetis							20	8		8				31	26	18	13	8	76	14	42		
Caenidae				7	3	2		1		3				1			1		3				
Caenis									3				1			1		3					
Ephemerellidae				10	4	3	40	128		103	34	9		3	28	28	51	35	79	92	29	185	
Ephemerella (seratella)							40	128		103	34	9		3	28	28	50	35	79	92	29	185	
Torleya major																							
Heptageniidae				10	7	5							2	35					10	4			
Ecdyonurus													2	2				1	10	4			
Rhytrogena														33			1						
Leptophlebiidae				10	6	7				2											2		
Habrophlebia									2														
COLEOPTERES																							
Elmidae				5	5	2	2	1		1	3		9	3	1	6		4	3	1	1		
Dupophilus							1			1								1					
Elmis												3	1					3	1		1		
Esolus																							
Limnius							1			2			6	2	1	5		1		1			
Oulimnius																							
Oulimnius							1		1														
DIPTERES																							
Ceratopogonidae					5					1											1		
Chironomidae				2	1	1	2	35	90	11	8	40	3		2	90	2	70	22	31	170		
Empididae					7									1							1		
Limoniidae					5																4		
Simuliidae				5	4		6	120		1	1	2		3	15	16	8		1	3	202		
Tabanidae					4								1								1		
CRUSTACÉS																							
AMPHIPODES																							
Gammaridae				6	3	2			1	4		1					2				8		
ISOPODES																							
Asellidae				3	1	1			2												2		
MOLLUSQUES																							
GASTEROPODES																							
Ancylidae				6	2	2													1		1		
Bythinellidae					5	2		1													1		
Lymnaeidae				3	3	2				1											1		
ACHETES																							
Erpobdellidae				3	1	1				1		2	2						4		9		
Glossiphoniidae				3	2	1						1									1		
TRICLADES																							
Planariidae				5											19		3				39		
OLIGOCHETES																							
HYDRACARIENS				1	1	1	80		160	5	17	13	80	28	11		21		3	2	445		
																1					1		
Variété							14	25	12	19	22	21	13	22	27	19	31	21	28	32	31	24	51
Effectif total							224	470	361	299	153	170	510	106	279	247	384	193	418	547	282	772	3354

Annexe 6. Liste taxinomique du MAG16 I1M1



Cours d'eau : Maronne
Département : 19
Référence de la station : M1
Code : I1M1
Date de prélèvement : 22/04/2008

			Numéros des échantillons																Effectif total famille
N° substrat			10	8	7	2	5	4	3	2	10	9	9	7	2	8	6	3	
N° vitesse			4	1	4	3	5	1	1	5	5	3	5	5	4	3	5	3	
% de recouvrement			12,2%	1,0%	13,0%	0,8%	0,1%	0,2%	0,4%	9,9%	3,2%	0,0%	0,1%	23,7%	11,3%	0,3%	6,9%	0,5%	
Taxons	BWVP	CB 2	Gpe Ind	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124
PLECOPTERES																			
Chloroperlidae	10	9	9	4		2	1							1		2		3	
Chloroperla				4		2	1							1		2		3	
Nemouridae	7	6	6	20		1								14		2			
Protonemura				20		1								14		2			
Perlodidae	10	9	9	14							6	1	1	11		1			
Isoperla				14							6	1	1	11		1			
TRICHOPTERES																			
Brachycentridae	10	8	8	9		1						2		5		7			
Micrasema				9		1						2		5		7			
Glossosomatidae		7	7												1	1			
Agpetus															1	1			
Goeridae	10		7			1	1												
Goeridae . nd						1	1												
Silo						1													
Hydropsychidae	5	3	3	70		5	1				6	5		59				2	
Hydropsyche				70		5	1				6	5		59				2	
Hydroptilidae	6	6	5	2								1		10					
Hydroptila				2								1		10					
Lepidostomatidae	10	7	6	18		1						1		1		4	1		
Lepidostomatidae . nd						1													
Lasiocephala				3												1			
Lepidostoma				15									1	1		3	1		
Leptoceridae	10	5	4		5		3	1	4	2			3	1	1	1	2		
Adicella														1					
Athripsodes										1									
Mystacides					5		3	1	4	1			3			1	2		
Limnephilidae	7		3	5	16		15	5	2		4	3	29	5		2	13	2	
Limnephilidae . nd					16		15	5	2			3	29	5		2	13	2	
Halesus				5							4								
Polycentropodidae	7	6	4			1					4	1		2	1		5	1	
Polycentropodidae . nd										1									
Holocentropus						1				3		1		2	1		4	1	
Polycentropus																			
Rhyacophilidae	7	6	4	1		1						3		7			1		
Rhyacophilidae . nd				1								1		2					
Rhyacophila						1													

Annexe 7. Liste taxinomique du MAG16 EM1ap



Cours d'eau : Maronne

Département :

Référence de la station : M2

Code : EM1ap

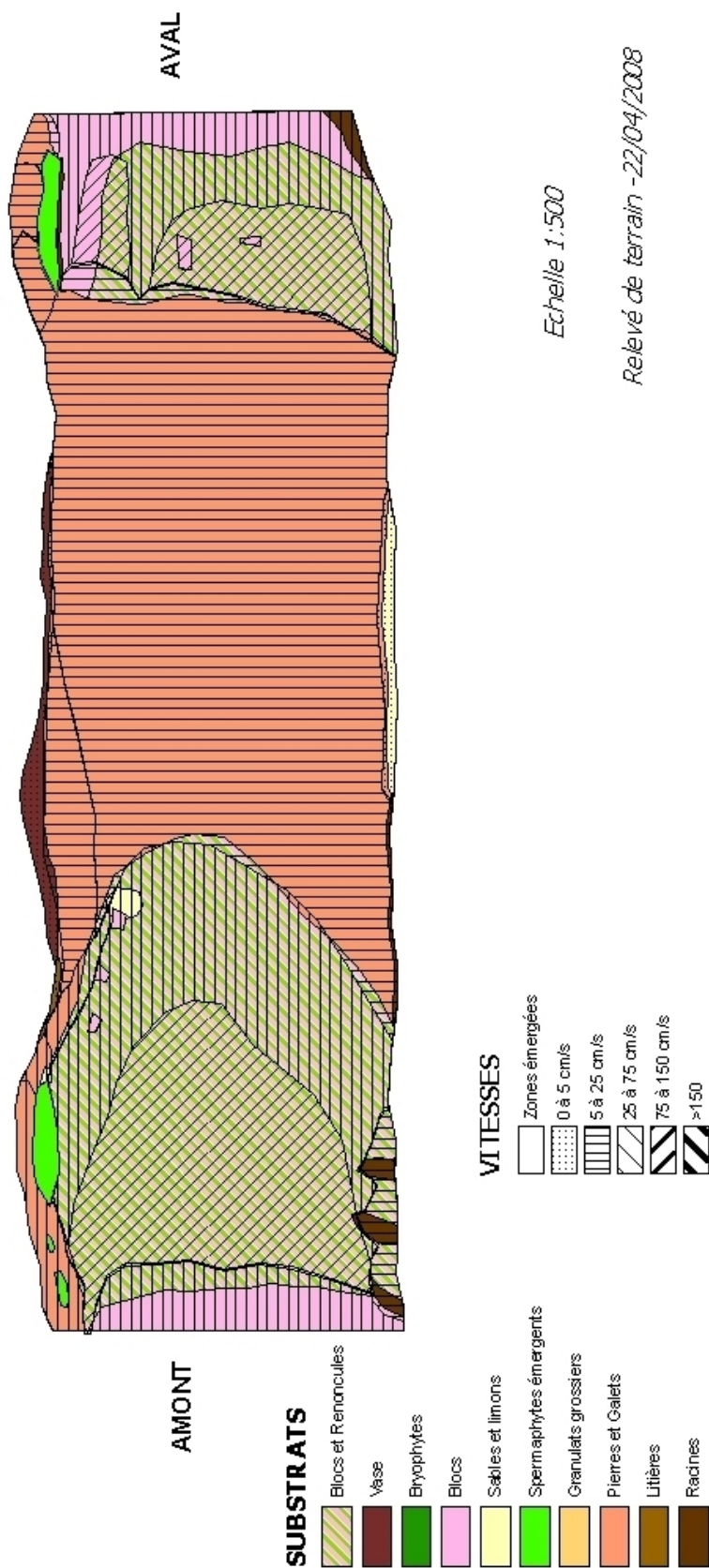
Date de prélèvement : 01/07/2008

				Numéros des échantillons																				
N° substrat				10	11	2	3	9	6	5	11	8	3	7	6	7	10	9	7					
N° vitesse				3	3	4	1	5	5	1	5	1	3	3	3	4	5	3	5					
% de recouvrement				0,7%	2,9%	1,9%	0,0%	0,6%	2,6%	0,1%	0,6%	0,1%	0,6%	41,7%	3,5%	0,3%	0,9%	0,4%	15,2%					
Taxons				BMVP	CB 2	Gpe ind	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	Effectif total famille	
PLECOPTERES																								
Leuctridae				10	6	7		2	3	3		5	3	1	49		31	4	33		9	21	164	
Euleuctra								2	3	3		5	3	1	48						9	13		
Leuctra															1		31	4	33			8		
Nemouridae				7	6	6								1						1			2	
Protonemura														1						1				
Perlodidae				10	9	9													1				1	
Isoperla																			1					
TRICHOPTERES																								
Brachycentridae				10	8	8	1	3	19		2							1	4	6		3	39	
Brachycentrus							1	1	19		2							1	4	6		3		
Micrasema								2																
Glossosomatidae					7	7											6		1			1	8	
Glossosoma																	6		1			1		
Goeridae				10		7										1	2		1			1	4	
Goeridae . nd																						1		
Silo															1		2							
Hydropsychidae				5	3	3		2	45	1	2		5	12				3	11	8	1	2	92	
Hydropsyche								2	45	1	2		5	12				3	11	8	1	2		
Hydroptilidae				6	6	5												1					1	
Hydroptilidae . nd																		1						
Lepidostomatidae				10	7	6								1									1	
Lepidostoma														1										
Leptoceridae				10	5	4			1								1	1			1		4	
Athripsodes								1										1	1					
Limnephilidae				7		3	9		2	7	2		1		46	16	8			11	8		110	
Limnephilidae . nd							9			5	2		1		23	3				9	6			
Allogamus									2						21	12	8			2	2			
Anabolia																1								
Halesus																								
Polycentropodidae				7	6	4									2				1				1	
Holocentropus																			1					
Psychomyidae					6	4			6			2			2		1						11	
Lype														2										
Psychomyia									6		2						1							
Rhyacophilidae				7	6	4		4	6		5		4	6	1			1	3	25		9	64	
Rhyacophilidae . nd														1								3		
Hyperthyacophila									6				3	3				1				5		
Parathyacophila											2		1	3						24				
Rhyacophila								4			3								3	1		1		
Sericostomatidae				10	7	6			2						11		5	1			9		28	
Sericostoma									2						11		5	1			9			
EPHEMEROPTERES																								
Baetidae				4	2	2	34	11	105	5	12	6	6	27	4		3	2	39	73		20	347	
Acentrella																		1						
Baetis							34	11	105	5	12	6	6	27	4		3	2	38	73		20		
Caenidae				7	3	2											1	2	5				8	
Caenis																	1	2	5					
Ephemerellidae				10	4	3	95	248	62	2	30	5	46	33	3		1	3	32	49	1	12	622	
Ephemerella (seratella)							95	248	62	2	30	5	46	33	3		1	3	32	49	1	12		
Ephemeridae				10	7	6											2						2	
Ephemera																	2							
Heptageniidae				10	7	5	1		1								1	1	4			5	13	
Ecdyonurus							1		1									1	1					
Rhitrogena																			4			5		
COLEOPTERES																								
Dryopidae				5	6							2											2	
Elmidae				5	5	2		6	2	4		1		6	1		28	3	9	2		4	66	
Dupophilus																			2	6		3		
Elmis								2	1	4											1			
Esolus								3					6						1					
Limnius								1				1				28	1	2	1			1		
DIPTERES																								
Chironomidae				2	1	1	30	24	70	4	2	1	7	4	25	40	8	1	18	73	2	3	312	
Limoniidae					5			1															1	
Simuliidae				5	4		25	2	31	1	17	1	33						220	75		1	406	
CRUSTACÉS																								
AMPHIPODES																								
Gammaridae				6	3	2				1				14									15	
ISOPODES																								
Asellidae				3	1	1								16									16	
MOLLUSQUES																								
BIVALVES																								
Sphaeriidae				3	4	2								2									2	
GASTEROPODES																								
Ancylidae				6	2	2			2			1											3	
ACHETES																								
Erpobdellidae				3	1	1			2					2	1	3	3	1				2	15	
Glossiphoniidae				3	2	1									2								4	
TRICLADES																								
Planariidae				5													5		11			2	18	
OLIGOCHETES				1	1	1				1		9				14	23	120	30	45	1	36	307	
Variété								12	20	29	17	15	15	16	16	28	11	30	27	32	22	15	29	33
Effectif total								335	579	613	51	125	51	172	176	311	102	314	80	581	499	96	192	2689

Annexe 8. Cartographie de la station M1

Carte n°6

Inventaires macrobenthiques Maronne ; Station M1



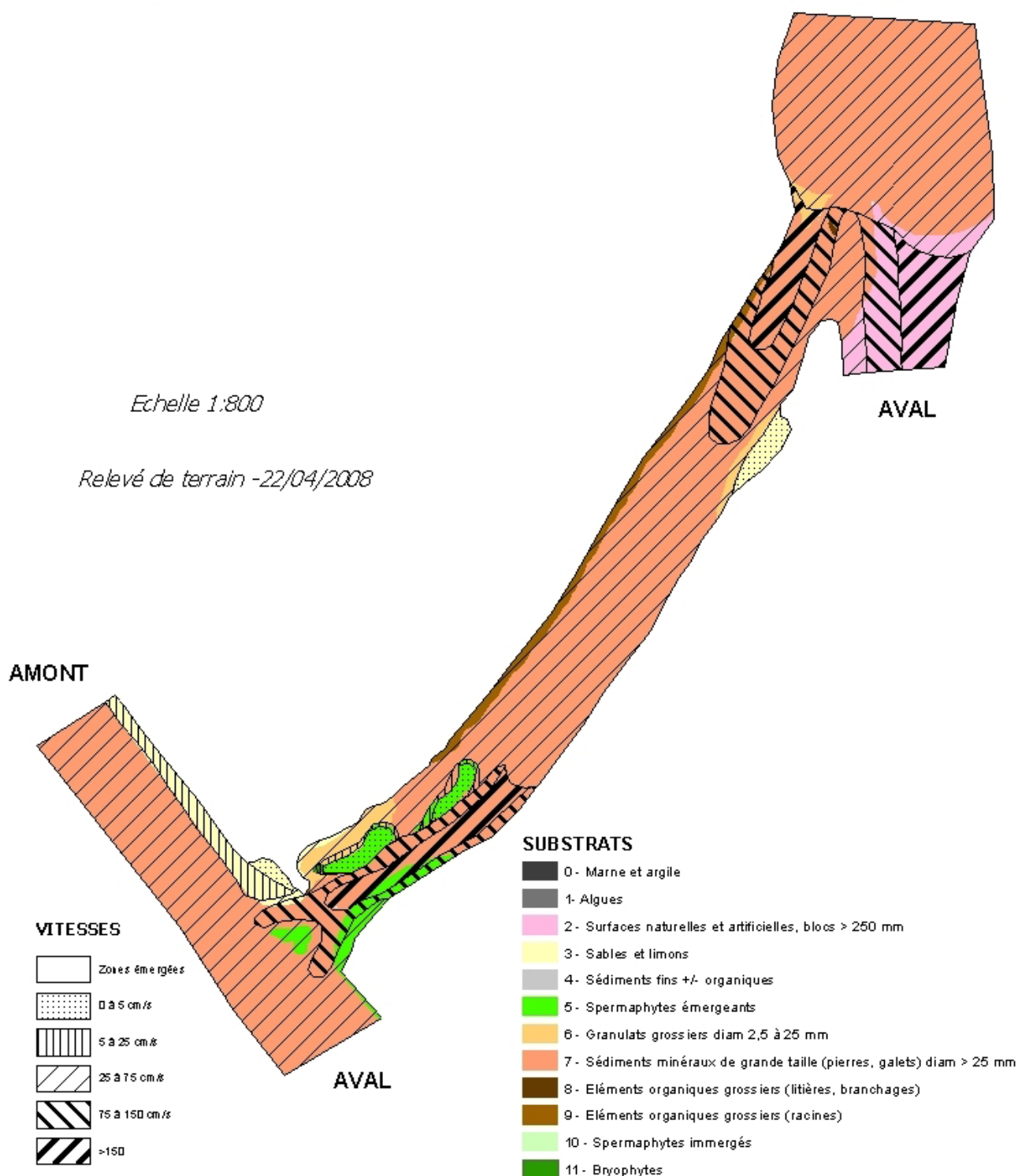
STATION M1 - Cartographie des couples Substrat / Vitesse

MARONNE





Inventaires macrobenthiques de la Maronne ; Station M2 - 40 m³/s



LA MARONNE

Cartographie des couples Substrat / Vitesse

Annexe 10.

Abondances des taxons en fonction substrats et de leur inondation

N° substrat	Abondances moyennes issues des échouages								Abondances moyennes issues des MAG 16									
	11	10	9	8	7	6	5	3	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2
Chloroperla									0,94	1,50	1,38	2,61	3,27	1,00	1,67		0,17	1,33
Leuctridae . nd			0,25	0,17	0,20	1,40	0,20	0,60	0,25	0,33		0,20						
Euleuctra	0,50	0,33	2,00	3,83	18,80	29,80	0,60	4,60	0,53	0,96	3,25	9,88	5,83	6,25	22,50	4,00	1,08	2,78
Leuctra	0,25	0,33	1,25	0,67	4,60			0,20	3,17	1,91	15,16	0,33	15,03	1,00	2,33		1,54	4,71
Protonemura	0,13	0,33		0,33					0,63	7,62	2,40	0,17	0,33		0,33			0,40
Dinocras									1,80	0,20			0,33	0,20				
Isoperla									3,87	4,12	1,43	0,28	1,83	0,20	1,67		5,83	1,39
Brachyptera									1,50	1,00								0,25
Brachycentrus	11,38	0,33	2,50		0,20	0,20	0,40		4,00	4,97	3,03	0,33	1,06	0,30	1,00			3,28
Micrasema	0,63	0,33					0,20		5,97	2,32	2,20		0,50	0,20				1,75
Glossosomatidae . nd									0,33				0,33					0,20
Agpetus									0,67				0,17					0,25
Glossosoma				1,80	2,00	0,20			0,50				0,93	0,20	2,00			0,71
Goeridae . nd				0,40	0,60								3,50			0,50	0,17	0,67
Goera													0,17					
Silo						0,20				2,50		0,17	4,13		4,00		0,17	1,50
Hydropsyche	3,38	18,00	2,75	0,50	2,80	3,40	2,60	0,20	31,12	61,88	18,26	1,78	11,57	2,36	7,38		0,25	18,16
Hydroptilidae . nd													0,25					
Hydroptila									2,67	0,71	2,20	0,20	0,33	0,40				2,63
Lepidostomatidae . nd						0,20							0,67					
Lasiocephala									1,00	0,96	0,73	0,17	0,17				0,83	0,25
Lepidostoma	0,25	0,33	0,25	0,17	0,20				3,68	4,73	3,74	0,72	1,83	0,70	2,00		0,17	1,13
Adicella											1,20							
Athripsodes		0,33		1,00	0,20	0,20		0,20	0,33	0,52	0,25	0,43	0,61	0,40			0,33	0,50
Mystacides											0,75	0,51			0,33	2,00	0,33	0,50
Oecetis											0,17					0,50		
Setodes																		0,67
Limnephilidae . nd	1,75	1,00	0,25	56,17	1,40	2,20	1,40	4,00	13,32	4,47	95,24	56,88	11,39	0,65	8,80	11,13	3,53	2,19
Allogamus		0,33		8,67	0,20	1,00		0,20	1,13	6,39	2,20	24,93	2,06	3,60	2,67	3,00	1,58	0,56
Anabolia				2,50	0,60				1,00	0,40	0,20					0,50	0,73	1,33
Drusus													0,17					
Halesus				1,00					0,25	1,24	3,25	3,98		10,00		1,00		0,37
Polycentropodidae . nd					0,20				0,25		1,00							0,40
Holocentropus										0,20	0,80	1,00	0,56	0,33				0,70
Plectrocnemia				0,17														
Polycentropus											0,20	0,20						0,73
Lype												0,33						
Metalype				0,50	0,20									0,20				
Psychomyia					0,40								0,40	0,67				1,05
Rhyacophilidae . nd	0,63	0,33			0,20		0,20		7,22	1,15	2,20	0,17	0,50	0,20	11,67		3,00	0,47
Hyperhyacophila	0,50								2,50	1,00	0,25	0,50	1,17	0,20	1,50			2,55
Hyporhyacophila											0,20							
Pararhyacophila	0,25			0,17			0,20		1,78	4,13	1,00				0,38			
Rhyacophila	0,38	0,67			0,40		0,20		1,25	0,91	2,07		0,80					1,03
Sericostomatidae . nd	0,13									0,51	0,20							
Sericostoma	0,13		2,50	28,83		1,00	1,00	2,40	0,33	4,41	8,25	11,39	2,03	0,40	1,10	4,00	4,10	2,30
Acentrella									1,17	0,67			0,29					0,40
Baetis	8,38	18,00	4,25	1,33	6,00	2,60	1,20	0,40	13,90	24,24	4,54	1,67	9,63	3,50	8,88	0,50	0,92	26,84
Centroptilium			0,25								2,50				0,67	3,00		
Caenis						0,20			0,58	0,36	1,00	0,20	1,10	0,85			1,00	0,43
Ephemerella (seratella)	23,75	87,33	13,00	8,00	21,20	13,00	7,00	2,60	148,30	51,19	104,96	18,48	29,57	35,92	103,20	0,88	0,83	22,55
Torleya major				0,17					0,50	0,88	1,20	0,67	0,97	1,00				2,30
Ephemera								0,20			1,00	0,20			0,50	1,00	0,50	0,25
Ecdyonurus		0,33	0,25	0,17	0,40					1,00		0,40	0,40	0,60	5,00			2,39
Rhitrogena					0,40				0,50				0,90	0,33				8,50
Habrophlebia				0,33								0,34	0,67					
Paraleptophlebia									1,50	0,33		0,79	0,33					0,25
Ephoron virgo																	1,00	
Gerridae				0,33														
Nepa			0,25															
Dryopidae			0,75		0,20		0,40		0,25		2,00	0,23	0,33		1,00	3,00	0,33	
Dupophilus			0,25									1,50	0,40	1,00				0,20
Elmis	0,88		0,75	0,33	0,40	0,40	0,40		1,60	1,80	1,62	1,30	0,83	0,20	5,00	0,50	1,33	1,31
Esolus	2,50			0,17	0,40	0,60			0,90		2,63		0,50					0,58
Limnius			0,25	0,33	0,20	1,00		0,20	1,42	1,67	1,00	0,28	3,60	0,90			0,33	0,68
Oulimnius							0,20		0,70	1,15	1,92	1,18	0,39	0,20	3,25		0,96	0,63
Orectochilus										0,33								
Scirtidae (=Helodidae)												0,20						
Hydraenidae				0,17			0,20											
Athericidae				0,17							2,00	0,23			2,00			0,20
Ceratopogonidae	0,13				0,20	4,00	0,20	0,80			0,20	0,23	0,83	0,20			3,08	0,60
Chironomidae	168,00	62,00	23,50	7,50	16,20	4,80	22,20	6,20	192,48	70,01	87,38	117,61	34,57	21,16	61,10	14,38	92,83	130,50
Empididae										0,83	1,40							0,25
Limoniidae	0,75		0,25		0,20	0,80			0,33		0,37	0,53				0,50		0,80
Psychodidae												0,33		0,20				
Simuliidae	1,13	8,00	1,00		3,20	0,40	5,20		25,42	81,51	3,60	0,33	30,17	0,80	9,38		0,25	13,53
Tabanidae												0,33	0,17			1,50	0,92	
Tipulidae											1,00	0,80		1,00				1,00
Calopteryx										0,33								
cordulegaster				0,17													0,79	
Sialidae												0,83	0,17			3,50		0,20
HYMENOPTERES															1,00		0,17	
Gammaridae	0,38	0,33	1,75	1,00	0,40	0,40			0,69	0,71	0,70	3,89	0,39				0,25	
Asellidae			1,50			0,20	0,20		0,50	0,33	0,63	1,13	0,50	0,20		0,63	0,50	0,20
Sphaeriidae				0,17		0,40	0,20	1,60			6,00	0,36	0,61	0,20	1,00	3,13	0,33	
Ancylidae					1,00	0,20	0,40	0,60			1,50	2,00	0,40	1,37	0,30	2,00		1,13
Bythinellidae							0,20		0,33	0,20	7,00	0,49		1,60	1,33	1,00	0,67	0,40
Lymnaeidae				0,17				0,20	0,67	0,57		0,33	0,17	1,00	2,00			
Valvatidae													0,17					
Erpobdellidae				0,67	0,60	2,60	0,40	0,80	0,25	0,51	0,40	0,47	0,83	0,65	1,00		0,33	0,83
Glossiphoniidae			0,50	0,33								0,92	0,50	0,40	1,00			
Planariidae	1,38				1,80		1,00		4,37	2,33	6,38	0,80	2,47	5,67				
OLIGOCHETES	4,00	10,33	10,25	13,00	7,80	39,80	9,20	48,60	6,00	19,27	12,78	17,46	35,90	14,44	23,75	32,50	52,93	14,37
HYDRACARIENS									0,50			0,58	0,22		1,00			
N° substrat	11	10	9	8	7	6	5	3	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2
Abondances globales	231,50	209,00	70,50	139,17	92,60	113,80	56,20	74,80	490,61	383,86	425,56	290,63	227,80	120,85	303,70	92,63	183,93	286,71

Annexe 11. Liste faunistique des dérives

			Numéro des échantillons											
Bras :			Amont	Amont	Amont	Amont	Aval	Aval	Aval	Aval	Médian	Médian	Médian	Médian
Heure de pose :			23h30	00h30	01h30	02h30	23h30	00h30	01h30	02h30	02h30	23h30	00h30	01h30
Taxons	Bras 1	Bras 2	D54	D58	D61	D62	D51	D65	D55	D68	D57	D59	D52	D53
PLECOPTERES														
Chloroperlidae	10	9	9								1			
Chloroperla											1			
Leuctridae	10	6	7	12	5	8	7	4	1	1	2		5	
Euleuctra			12		8	2	4	1			2		5	
Leuctra				5		5				1				
Nemouridae	7	6	6											1
Protonemura														1
Perlodidae	10	9	9				1					7	2	1
Isoperla			7				1					7	2	1
TRICHOPTERES														
Brachycentridae	10	8	8	3	3	5	10	1	1	3	1	2	1	
Brachycentrus			3	3	5	10	1	1		3	1	2	1	
Glossosomatidae	7	7	1									2		
Glossosoma			1									2		
Hydropsychidae	5	3	3	2			2	1		1			2	1
Hydropsyche			2			2	1			1			2	1
Lepidostomatidae	10	7	6		1							1	1	
Lepidostoma				1								1	1	
Leptoceridae	10	5	4									8		
Athripsodes												8		
Limnephilidae	7	3				1						2		
Limnephilidae . nd												1		
Allogamus						1						1		
Polycentropodidae	7	6	4	2		2	1		1			4		
Holocentropus						1	1					1		
Polycentropus			2		1				1			3		
Psychomyidae	6	4			1	1	1				2	1	1	1
Psychomyidae . nd											1			
Psychomyia					1		1				1	1	1	1
Tinodes						1								
Rhyacophilidae	7	6	4	6	3	2	2	2	2	2	2	8		
Rhyacophilidae . nd			2		1	2	2		1	2	2			
Pararhyacophila			1											
Rhyacophila			3		2			2	1			8		
Sericostomatidae	10	7	6	1	1									
Sericostoma			1	1										
EPHEMEROPTERES														
Baetidae	4	2	2	53	35	42	51	6	4	21	17	11	39	6
Baetis			53	35	42	51	6	4	21	17	11	39	9	6
Caenidae	7	3	2		2	3	2					1		
Caenis				2	3	2						1		
Ephemerellidae	10	4	3	42	49	56	42	4	3	9	14	16	53	11
Ephemerella (seratella)			42	49	56	42	4	3	9	14	16	53	11	11
Heptageniidae	10	7	5	5	9	11	1	1	1	6	6	5	1	
Ecdyonurus			4		4		1	1		4		4	1	
Epeorus										1	1			
Rhytrogena			1		5	11			1	1	5	1		
Leptophlebiidae	10	6	7	5	2	3		1			1	1		1
Habrophlebia			5		2	3		1			1	1		1
COLEOPTERES														
Dystiscidae	5	4												1
Elmidae	5	5	2	6		3	2	2				4	2	2
Dupophilus			5									1		
Elmis					3	1			2					
Esolus												2	1	
Limnius			1			1	2					1	1	2
Gyrinidae	5	4												1
Orectochilus														1
DIPTERES														
Athericidae	6					1								
Blephariceridae	5					1					1			
Chironomidae	2	1	1	6	2	4	3	1			31	3		
Limoniidae	5								1					
Simuliidae	5	4		8	11	36	22	2	3	6	22	12	12	9
CRUSTACÉS														
AMPHIPODES														
Gammaridae	6	3	2			1								
ISOPODES														
Asellidae	3	1	1			1	1							
MOLLUSQUES														
GASTEROPODES														
Ancylidae	6	2	2		1		1					1		
ACHETES														
Erpobdellidae	3	1	1			1								
Glossiphoniidae	3	2	1			1								
TRICLADES														
Planariidae	5										1			
OLIGOCHETES														
HYDRACARIENS														
Variété			20	11	18	23	16	10	8	10	23	12	11	15
Effectif total			160	116	182	174	32	19	41	66	154	41	35	87

