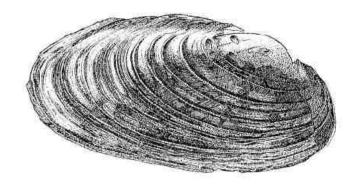


Suivi des populations de Moule perlière sur le site Natura 2000 FR8201768 « Ruisseaux à Moule perlière du Boën, du Ban et Font d'Aix »



dessin de Béatrice Kremer-Cochet

Lot 2 Caractérisation des habitats

2016















Table des matières

Introduction	5
1. Matériel et méthodes	θ
1.1. Espèce d'étude	6
1.2. Site d'étude	9
1.3. Méthodologie générale	10
2. Identification des altérations de l'habitat sédimentaire de la mulette perlière	16
2.1. Disponibilité sédimentaire	
1.1.1 Méthode	16
1.1.2. Résultats	16
1.1.3. Discussion	18
2.2. Colmatage sédimentaire	18
2.2.1. Méthode	19
2.2.2. Résultats	
2.2.3. Discussion	
2.3. Stabilité sédimentaire	
2.3.1. Méthode	
2.3.2. Résultats	
2.3.3. Discussion	
2.4. Conclusion	30
3. Facteurs affectant la disponibilité, la stabilité et la perméabilité sédimentaire	30
3.1. Méthode	30
3.1.1. A l'échelle locale	30
3.1.2. A l'échelle du bassin versant	31
3.1.3. Exploitation numérique	33
3.2. Résultats	
3.2.1. A l'échelle locale	
3.2.1.1. Comparaison des pentes calculées sur le terrain et issues de la BD TOPO	
3.2.1.3. Disponibilité sédimentaire	
3.2.1.4. Stabilité sédimentaire	
3.2.1.5. Colmatage biologique et physique	
3.2.2. A l'échelle du bassin versant : occupation du sol	
3.2.2.1. Disponibilité sédimentaire	
3.2.2.2. Stabilité sédimentaire	
3.2.2.3. Colmatage biologique et physique	
3.2.3. Influence des quatre variables entre elles	
3.3. Discussion	
4. Préconisations de gestion	41
5. Perspectives de recherche	44
Conclusion - résumé	44
Références bibliographiques	46
Annexes	48

Table des illustrations

Tableaux

Tableau 1. Types de substrat déterminés selon la granulométrie des particules	
Tableau 2. Conversion numérique selon le type de ripisylve	
Tableau 3. Barème de correction du potentiel Redox en fonction de la température	
Tableau 4. Valeur moyenne du potentiel redox pour des populations fonctionnelles et non fonctionnelles	20
Tableau 5. Pourcentage de variance du colmatage expliqué par la conductivité et le pourcentage de limon visible en s	urface
selon les modèles linéaires généralisés (GLM)	
Tableau 6. Différentes catégories paysagères retenues comme variables explicatives	32
Tableau 7. Liens entre la disponibilité sédimentaire, l'instabilité sédimentaire, le colmatage biologique et le colmatage	
physique	
Tableau 8. Synthèse des liens entre la disponibilité sédimentaire, l'instabilité sédimentaire, le colmatage biologique e	
colmatage physique	
Tableau 9. Effet de la fréquentation des bovins sur les ripisylves (haies)	44
Cartes	
Carte 1. Situation du site Natura 2000 FR8201768	9
Carte 2. Localisation des points de relevés au sein du site Natura 2000 FR8201768	10
Carte 3. Rang de Strahler des différents cours d'eau échantillonnés	
Carte 4. Profondeur maximale des sédiments sur le bassin versant	
Carte 5. Pourcentage de surface couverte par les limons sur les sites échantillonnés	25
Carte 6. Contribution à la conductivité suivant les tronçons	
Carte 7. Instabilité sédimentaire (paramètre de Shields) suivant les points d'échantillonnage	
Carte 8. Bandes tampon utilisées pour la caractérisation des facteurs affectant la disponibilité, la stabilité et la permé	
sédimentaire à l'échelle du bassin versant	
Carte 9. Occupation du sol dans les différentes bandes tampon	32
Carte 10. Pentes au sein du bassin versant	
Figures Figure 1. Photographie de Moules perlières adultes	7
Figure 2. Cycle de vie de la Moule perlière	
Figure 3. Populations de Moule perlière connues en France	
Figure 4. Résultats des inventaires de Moule perlière effectués au sein du site Natura 2000 FR8201768	
Figure 5. Évolution mensuelle des débits sur la station K0813020 Aix à St-Germain-Laval	
Figure 6. Variation du débit de l'Aix à la station K0813020 à St-Germain-Laval en 2016	
Figure 7. Mesure de l'encaissement	
Figure 8. Exemple de mesure de la pente de la ligne d'eau	
Figure 9. Clé de détermination simplifiée des faciès d'écoulement	
Figure 10. Classes utilisées pour caractériser la ripisylve	
Figure 11. Proportion des faciès sur l'ensemble des points de relevés.	
Figure 12. Disponibilité sédimentaire en fonction de la profondeur	
Figure 13. Relation entre la profondeur maximale de sédiments et la pente	
Figure 14. Mesure du potentiel redox à différentes profondeurs de sédiment	
Figure 15. Potentiel redox et fonctionnalité des cours d'eau pour la Moule perlière	
Figure 16. Méthode d'évaluation du degré de colmatage et d'enchâssement des matériaux du substrat alluvial	
Figure 17. Relation entre le potentiel Redox à 2 cm de profondeur et les classes de colmatage estimées	
Figure 18. Potentiel Redox au niveau des différents points de relevé	
Figure 19. Évolution du potentiel Redox selon la position sur le bassin versant à 2 et 4 cm de profondeur	
Figure 20. Evolution du potentiel Redox suivant la proportion de limons visible en surface à trois profondeurs (2, 4 et a	
Figure 21. Relation entre la conductivité hydraulique et le potentiel Redox mesuré à 2 et 4 cm de profondeur	-
Figure 22. Variation du paramètre de Shields (en log) en fonction de l'emplacement sur le bassin versant	
Figure 23. Variation de la proportion de limons visible en surface en fonction du paramètre de Shields	

Figure 24. Relation entre les pentes mesurées sur le terrain au niveau des points de relevés et les valeurs de la BD TOPO (10	3N)
sur les tronçons correspondants	.34
Figure 25. Relation entre la proportion de berges aménagées sur un tronçon de 2 km en amont du point de relevé et le	
paramètre de Shields	.34
Figure 26. Relation entre la proportion de berges aménagées sur un tronçon de 2 km en amont du point de relevé et la	
conductivité hydraulique	.35
Figure 27. Occupation du sol au sein des différentes bandes tampon.	.36
Figure 28. Effet des différentes occupations du sol sur la disponibilité sédimentaire	.36
Figure 29. Effet des différentes occupations du sol sur la stabilité sédimentaire (paramètre de Shields)	.37
Figure 30. Effet des différentes occupations du sol sur la quantité de limons (pourcentage de surface visible en limons)	.37
Figure 31. Effet des différentes occupations du sol sur la conductivité	.38
Figure 32. Courbe de contribution à la conductivité de la proportion de surface en conifères Erreur! Signet non déf	ini.
Figure 33. Courbe de contribution à la conductivité de la proportion de surface en feuillus Erreur! Signet non déf	ini.
Figure 34. Courbe de contribution à la conductivité de la proportion de surface en prairies Erreur! Signet non déf	ini.

Citation recommandée

Vrignaud S., Lelièvre H. & Moreau C., 2016. Suivi des populations de moules perlières sur le site NATURA 2000 FR8201768 « Ruisseaux à Moule perlière du Boën, du Ban et Font d'Aix » - Lot 2, Caractérisation des habitats. Rapport pour le Syndicat mixte des Monts de la Madeleine. 48 pages + annexes

Remerciements

Nous tenons à remercier Armelle Sicart-Bonnefoy du Syndicat Mixte des Monts de la Madeleine de nous avoir confié cette étude. Nous remercions également David Naudon (Limousin Nature Environnement) pour la mise à disposition du Redox-mètre, ainsi que Jean-Claude Moreau (géomètre expert) pour son assistance aux mesures de pente, Adrien Pinot (VetAgroSup Clermont-Ferrand) et Jean-Yves Barnagaud (CEFE-CNRS) pour leur aide sur les analyses statistiques.





Protection des berges : des situations contrastées...

Introduction

La Moule perlière *Margaritifera margaritifera* est un mollusque bivalve des eaux douces continentales de l'Europe et de l'Amérique du Nord, inféodé principalement aux cours d'eaux oligotrophes des terrains siliceux (Gitting et al. 1998).

Si elle peut encore présenter des populations très abondantes, pour peu qu'elle rencontre des conditions favorables, avec des millions d'individus dans un seul cours d'eau, constituant des « pavages » de plusieurs milliers de moules, de telles populations ne subsistent aujourd'hui en Europe qu'en Russie, Scandinavie, Ecosse et Irlande.

En France, l'espèce était autrefois très présente dans les cours d'eau du Massif central, de Bretagne ou des Pyrénées occidentales. Au milieu du XIXème siècle, on en pêchait encore chaque année des dizaines de milliers pour les perles ou pour nourrir les canards, alors qu'il ne reste aujourd'hui que de très rares rivières dans lesquelles subsiste une population de quelques centaines d'individus.

Les causes de cette quasi-extinction sont multiples : le ramassage intense qui avait fortement réduit les effectifs dès la fin du XIX^{ème} siècle, les destructions physiques des habitats (barrages, recalibrages) et surtout la dégradation de la qualité des eaux au cours du XX^{ème} siècle.

Aujourd'hui, trois grandes thématiques doivent être considérées pour la conservation de l'espèce (PNA Mulette perlière 2012-2015) :

- (1) La détérioration de la qualité de l'eau liée à l'eutrophisation, à l'érosion des sols et aux pollutions (urbanisation, industries...) et à l'augmentation de sa température (réduction de l'ombre des ripisylves, des débits d'étiage, plans d'eau...).
- (2) La diminution du stock de poissons migrateurs (Saumon et Truite) liée notamment à la diminution de la qualité de l'eau et à la perte de transparence des cours d'eau (obstacles au franchissement).
- (3) La perte de la naturalité des rivières : réduction de la transparence migratoire, entretien des berges et du cours d'eau majeur, aménagements...

Dans ce contexte, il est essentiel de mieux comprendre les causes de régression et les mécanismes qui interagissent, afin d'améliorer l'efficacité des actions de préservation.

Wahlström (2006) et Geist & Auerswald (2007) montrent que la santé des populations, qui repose essentiellement sur le taux de recrutement juvénile, est tributaire de la qualité du sédiment et de celle du sous-écoulement. Les échanges entre les eaux de surface et le sous-écoulement sont importants pour la survie des jeunes. Les juvéniles doivent pouvoir trouver dans le sous-écoulement la même qualité d'eau que celle de la rivière au moins dans les 10 premiers centimètres. Le substrat du lit de la rivière est le meilleur paramètre physique pour décrire l'habitat de la Mulette perlière. Si les adultes peuvent tolérer la présence ponctuelle de vase ou de boue, les juvéniles ne se rencontrent que dans des milieux de galets, rochers stabilisés avec assez de sable propre pour s'enfoncer. On peut prédire la présence de Mulette perlière à partir des caractéristiques du lit avec un succès de 70 à 90 % (Hastie et al. 2000; Hastie et al. 2004)

Buddensiek (1995) a montré que la croissance et la survie sont négativement corrélées à la conductivité, la concentration en ammoniaque, nitrate (NO3), phosphate, sodium, potassium, calcium et magnésium ; tous ces paramètres étant des indicateurs d'eutrophisation.

Néanmoins, pour Geist & Auerswald (2007), les différences entre les sites présentant des populations fonctionnelles (i.e. qui recrutent) et les sites où les populations ne sont plus fonctionnelles résident plus dans la qualité physique du substrat (moins de colmatage, moins de fines et de meilleurs échanges entre la surface et le milieu interstitiel) que dans la qualité chimique du milieu.

De nombreux paramètres peuvent donc influencer la persistance et la fonctionnalité des populations, mais les mécanismes sont encore mal compris. Une recherche plus poussée est donc nécessaire pour déterminer quels sont les paramètres qui ont le plus d'influence sur la qualité des habitats aquatiques, et à quelle échelle spatio-

temporelle. C'est sur la base de cette approche scientifique que les mesures de gestion et de protection de l'espèce pourront être améliorées. Par exemple, la pose de clôture le long des rivières est une mesure classiquement préconisée, pour éviter la dégradation des cours d'eau par le bétail, or beaucoup de clôtures ont été mises en œuvre au sein du site Natura 2000 "rivières à Moule perlière du Boën, Ban et Font d'Aix", sans que cela ne ralentisse la régression locale de l'espèce.

Bien que restant à appréhender formellement, il semble donc que le colmatage ne soit pas l'unique facteur affectant la population de mulette perlière. En outre, dans le cycle de développement, plusieurs stades sont classiquement pointés comme étant défectueux. C'est le cas en particulier de la phase parasitaire (glochidie) durant laquelle la faible concentration de poissons-hôtes est souvent considérée comme un facteur limitant. Or Geist et al. (2006) ont démontré que ce stade n'était que très rarement un facteur limitant. En considérant que le stade glochidie n'était pas le facteur limitant et que malgré cela il est constaté un défaut de recrutement, le stade juvénile (jeunes moules enfouies dans les sédiments) ressort tout logiquement comme étant le stade sensible. Le colmatage est effectivement considéré comme un réel facteur limitant (Geist & Auerswald 2007). Mais d'autres aspects sédimentologiques méritent une attention particulière et peuvent être considérés comme des facteurs clefs. Ainsi la présence même de sédiment est nécessaire pour le bon accomplissement du cycle de développement. Ce facteur sera donc étudié sous les termes "disponibilité sédimentaire". De même, la vie hyporrhéique de la mulette perlière est particulièrement long pour un invertébré (plusieurs années), il est donc nécessaire que ces sédiments soient stables afin que les jeunes individus ne soient pas entrainés par le courant à l'occasion d'une crue avec le restant des sédiments. Cette variable retenue sera qualifiée de "stabilité sédimentaire".

Le colmatage sédimentaire se définit comme le dépôt et l'infiltration de sédiments fins sur et dans le lit des cours d'eau, provoquant le remplissage des interstices du substrat et conduisant ainsi à une altération de ses fonctions (Gayraud et al. 2002). En effet, la zone hyporhéique ou couche de fond du lit du cours est définie comme un écotone entre l'eau de surface et l'eau interstitielle. Cette zone est le siège d'importants processus écologiques et constitue un habitat permanent pour les organismes interstitiels (Boulton et al. 1998). Le colmatage peut donc avoir des effets néfastes sur le fonctionnement des écosystèmes aquatiques. Il est d'ailleurs considéré aujourd'hui comme un problème environnemental majeur à travers le monde (Datry & Descloux 2010). L'apport excessif de sédiments fins dans le lit des cours d'eau est un phénomène désormais largement répandu en France. Leur dépôt et infiltration peuvent remplir les interstices du substrat aussi bien en surface qu'en profondeur, ce qui conduit au colmatage du substrat et à une altération des processus biologiques qui s'y produisent (recyclage du carbone et de l'azote, alimentation et croissance des invertébrés, reproduction de poissons déposant leurs œufs dans le substrat...).

Après avoir décrit la situation locale au niveau de ces 3 paramètres (1^{ère} partie), nous nous sommes intéressés à identifier et hiérarchiser les perturbations les affectant (2^{ème} partie), puis nous avons développé les différentes préconisations de gestion découlant des résultats obtenus (3^{ème} partie).

1. Matériel et méthodes

1.1. Espèce d'étude

La Moule perlière est un mollusque lamellibranche d'eau douce (Figure 1). Elle possède une coquille carbonatée dont le périostracum est de couleur noire chez l'adulte et brune chez le juvénile (Bensenttiti & Gaudillat 2006). La taille moyenne d'une coquille adulte varie entre 11 et 15 cm de long, pour une largeur de 4 à 5 cm. La coquille est souvent réniforme, fragile et allongée. La Moule perlière possède deux dents cardinales sur la valve gauche et une sur la valve droite. Le caractère permettant de déterminer assurément cette espèce est l'absence de dents latérale (Cochet 2004).



Figure 1. Photographie de Moules perlières adultes (Source : Vincent Prié)

La Moule perlière a une durée de vie d'environ 100 ans en France, mais l'âge maximum observé chez cette espèce est de 217 ans en Suède (Schöne et al. 2004). La maturité sexuelle est atteinte vers l'âge de 15 à 20 ans (Young & Williams 1984). Chez cette espèce, la plupart du temps les deux sexes sont différenciés et aucun dimorphisme sexuel n'est observé. Pourtant, dans certains cas d'isolement prononcé, quelques individus pourraient devenir hermaphrodites (Bauer 1987). Cette stratégie adaptative permettrait d'accroître les chances de reproduction et donc de favoriser le renouvellement des populations.

Son cycle biologique est en outre lié à la présence d'un poisson hôte, Truite fario (*Salmo trutta*) ou Saumon atlantique (*Salmo salar*), sur les branchies duquel la larve mobile se fixe pendant plusieurs semaines, ce qui lui permet de se disséminer et explique la vaste répartition périatlantique d'une espèce par ailleurs immobile (Figure 2).

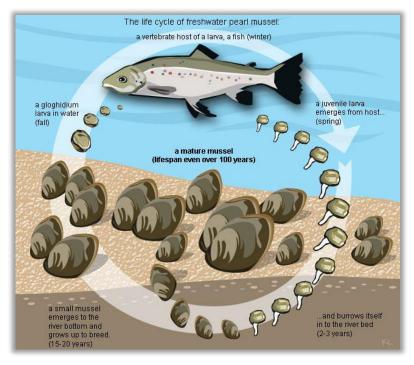


Figure 2. Cycle de vie de la Moule perlière (Source : www.viljakkalanpuolesta.net)

Selon l'UICN, la Mulette perlière est classée en danger (Endangered A1ce+2c) à l'échelle mondiale.

La Mulette perlière est en déclin en Europe, mais sa situation semble stable en Amérique du Nord où elle n'est menacée qu'en marge de son aire de distribution (Bouchet 1990).

En France, la moule perlière était historiquement présente dans la majorité des cours d'eau des massifs anciens. Mais aujourd'hui une réduction d'au moins 50 % de sa population en 10 ans est notée par l'UICN. En Europe Centrale, on estime que 90 % des moules perlières ont disparu au cours du XXème siècle. Elle aurait disparu de plus de 60 % des cours d'eau français dans lesquels elle était présente au début du XXème siècle avec des diminutions d'effectifs de plus de 90 % (Gilbert Cochet comm. pers.).

Aujourd'hui, différentes études d'inventaires, notamment menées par Gilbert Cochet (2000) et Philippe Quéré (1997), évaluent à moins de 100 000 le nombre d'individus présents en France, répartis sur environ 80 rivières. Sur ces 80 rivières (Figure 3), une petite dizaine seulement abritent encore des populations fonctionnelles, c'est à dire capables de maintenir voire d'augmenter leurs effectifs, ce qui implique à la fois de la reproduction et du recrutement de jeunes individus.



Figure 3. Populations de Moule perlière connues en France (Source : Gilbert Cochet)

Au sein du bassin versant du Boën concerné par le site Natura 2000, les données historiques suggèrent que l'espèce était déjà peu abondante dès les années 1930-40. Il n'existe aucun souvenir, direct ou indirect, de populations denses, et a fortiori de « pavages » sur ce bassin versant.

Des inventaires récents ont été effectués en 1998 puis en 2008 (par Gilbert et Philippe Cochet) et enfin en 2016 (cf. lot 1 de la présente étude) et confirment le déclin rapide de l'espèce, laissant présager son extinction prochaine (Figure 4).

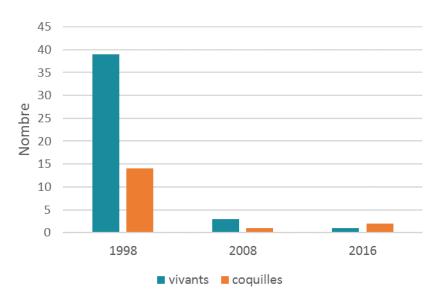


Figure 4. Résultats des inventaires de Moule perlière effectués au sein du site Natura 2000 FR8201768 (Source : CESAME, S. Vrignaud)

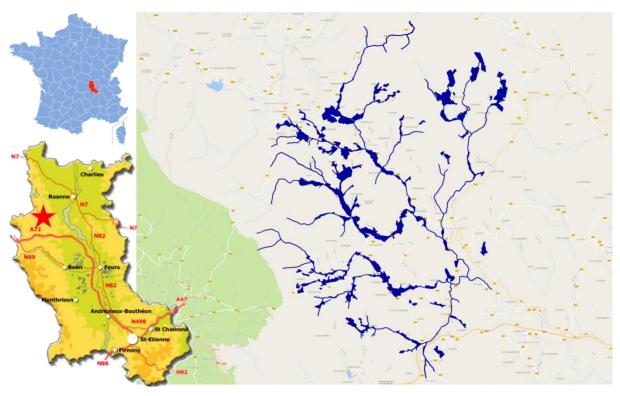
Au niveau réglementaire, la Mulette perlière figure aux annexes II et V de la Directive Européenne « Faune-Flore-Habitats ». Elle figure également à l'annexe III de la convention de Berne.

En France, *Margaritifera margaritifiera* est protégée au titre de l'article 2 de l'arrêté du 23 avril 2007 fixant les listes des mollusques protégés sur l'ensemble du territoire et les modalités de leur protection.

1.2. Site d'étude

L'étude a été réalisée au sein du site Natura 2000 FR8201768 « Ruisseaux à moule perlière du Boën, du Ban et Font d'Aix ». Ce site a été désigné comme zone spéciale de conservation (ZSC) par l'Arrêté du 22 août 2016.

Le site est constitué du réseau hydrographique du haut bassin versant de la rivière Aix, affluent rive gauche de la Loire, dans les Monts de la Madeleine (département de la Loire), à l'amont de la retenue de Gour Saillant (Carte 1). Il se situe à une altitude comprise entre 569 et 1162 m. Il concerne une partie du territoire des communes de Champoly, Chausseterre, La Tuilière, Saint-Just-en-Chevalet, Saint-Marcel-d'Urfé, Saint-Priest-la-Prugne et Saint-Romain-d'Urfé.



Carte 1. Situation du site Natura 2000 FR8201768

La totalité du bassin versant concerné est un linéaire de 80 km de cours d'eau avec des surfaces supplémentaires d'habitats associés (prairies humides...). Si la présence de la Moule perlière a justifié sa désignation, d'autres espèces d'intérêt communautaire y sont également recensées : Écrevisse à pattes blanches (*Austropotamobius pallipes*), Chabot (*Cottus gobio*), Lamproie de planer (*Lampetra planeri*) et Loutre d'Europe (*Lutra lutra*).

Les données hydrologiques sont disponibles en aval de la zone d'étude pour la station K0813020 sur l'Aix à Saint-Germain-Laval. Les données globales (Figure 5) montrent que les débits maximaux sont enregistrés en hiver entre décembre et février (environ 5 m³/s) alors que les débits minimaux sont observés en été de juillet à septembre (environ 1 m³/s).

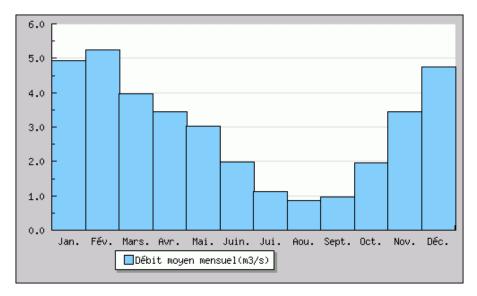
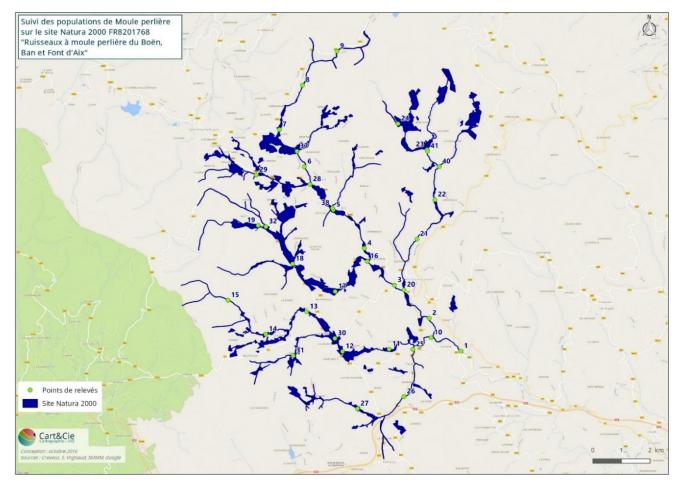


Figure 5. Évolution mensuelle des débits sur la station K0813020 Aix à St-Germain-Laval (données Eaufrance)

1.3. Méthodologie générale

☐ Plan d'échantillonnage : répartition des points

Les points de mesures ont été disposés sur carte à l'aide de la BD Carthage (IGN) sur l'ensemble du bassin versant, dans le périmètre du site Natura 2000, à raison d'un point tous les 2 km (Carte 2). Au niveau de chaque affluent, le premier point a été placé à 50 m en amont de la confluence. L'ensemble des paramètres utilisés pour caractériser l'habitat a été mesuré sur ces points de relevés. Le nombre de points initialement prévus était de 41, mais l'un d'entre eux (n°33) a été supprimé car les mesures n'ont pas été réalisées au bon endroit du fait d'un décalage important entre la BD Carthage et la réalité du terrain.



Carte 2. Localisation des points de relevés au sein du site Natura 2000 FR8201768

À l'aide d'un navigateur GPS (Garmin GPS MAP 64), nous avons accédé à la position la plus proche du point correspondant aux coordonnées enregistrées, au niveau du lit du cours d'eau. En cas d'impossibilité d'accès ou de dégradation trop importante (berges piétinées, ouvrage...), le point de relevé a été décalé de quelque mètres en amont de la position prévue.

Dates de relevés

Les relevés ont été effectués en juillet et aout 2016. Les dates précises sont données en Annexe 1. Les données hydrologiques de la station de Saint-Germain-Laval confirment que les relevés ont bien été effectués en période d'étiage avec des débits sur l'Aix inférieurs à 1 m³/s (Figure 6).

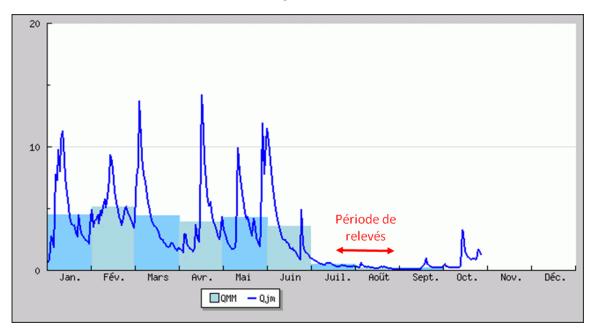
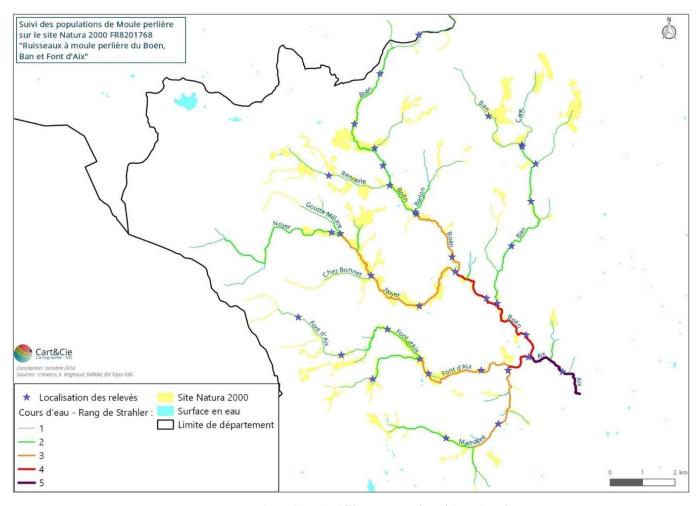


Figure 6. Variation du débit de l'Aix à la station K0813020 à St-Germain-Laval en 2016 (données Eaufrance)

Rang de Strahler

Pour chaque tronçon de cours d'eau, nous avons calculé l'indice de Strahler, qui permet de se situer sur le bassin versant (amont *versus* aval) (Carte 3). Plus il est élevé, plus on se situe dans la partie aval. Selon la classification, les premiers cours d'eau depuis la source débutent par un rang 1. Quand ceux-ci débouchent dans un autre cours d'eau du même rang, celui-ci augmente d'un et ainsi de suite.



Carte 3. Rang de Strahler des différents cours d'eau échantillonnés

☐ Distance depuis le point le plus en aval

Afin de prendre en compte la localisation amont/aval des points de relevés, qui n'est pas nécessairement reflétée par le rang de Strahler (les affluents de rang 1 peuvent se trouver en amont ou en aval du bassin versant), nous avons calculé la distance de chaque point par rapport au point le plus en aval (point 1 sur l'Aix).

☐ Autres paramètres mesurés

Encaissement

Afin d'apprécier la stabilité / l'instabilité des sédiments, le niveau d'encaissement a été mesuré à partir de la largeur de plein bord divisée par la hauteur moyenne de cinq hauteurs disposées de façon équidistante sur la largeur de plein bord (Figure 7)

Plus l'encaissement est prononcé, plus les sédiments sont instables et moins l'habitat est favorable à la faune benthique telle que la mulette perlière.

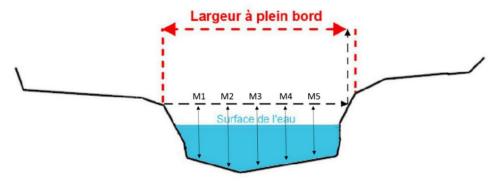


Figure 7. Mesure de l'encaissement (d'après Guide technique CARHYCE 2015)

Pente

Les mesures de pente ont été effectuées pour chaque point de relevé selon la méthode CARHYCE utilisée par l'ONEMA, à l'aide d'un niveau optique de chantier et d'une mire télescopique de 5 m (Figure 8). Selon la configuration du site (végétation rivulaire, méandrage et importance de la pente), un point intermédiaire a pu être utilisé, afin de garantir une distance de mesure significative (> 70 m). Les mesures de pentes ont donc été effectuées sur des linéaires de cours d'eau compris entre 70 et 170 m.

Dans un second temps, nous avons comparé les données de pente obtenues sur le terrain au niveau des différents points de relevés avec les données issues de la BD TOPO IGN sur les tronçons équivalents. L'objectif de cette comparaison est d'évaluer la nécessité de réaliser les mesures de pentes sur le terrain, ce qui s'avère relativement lourd et nécessite du matériel et des compétences, par rapport à l'utilisation des données IGN.

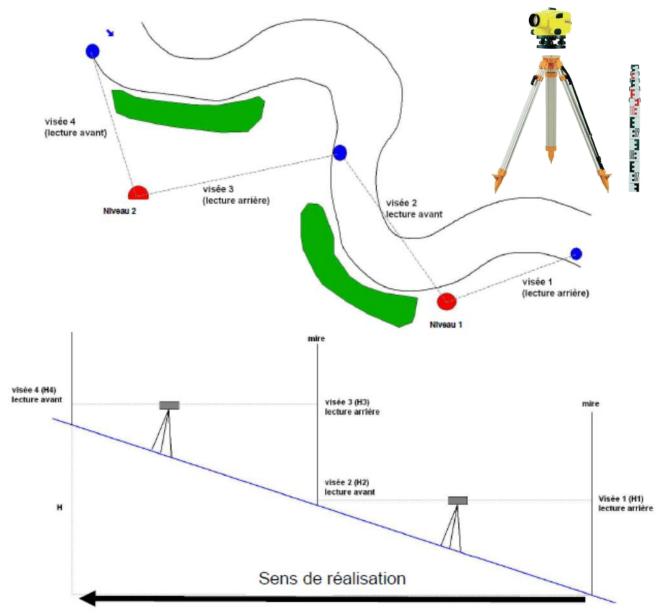


Figure 8. Exemple de mesure de la pente de la ligne d'eau avec un report de niveau imposé par la configuration de la station (En haut : vue de dessus ; En bas : vue en coupe). Source : Guide technique CARHYCE 2015

Profil en long

La proportion des différents faciès d'écoulement définis selon Malavoi & Souchon (2002) a été estimée visuellement sur environ 25 m amont/aval des points de relevé (Figure 9).

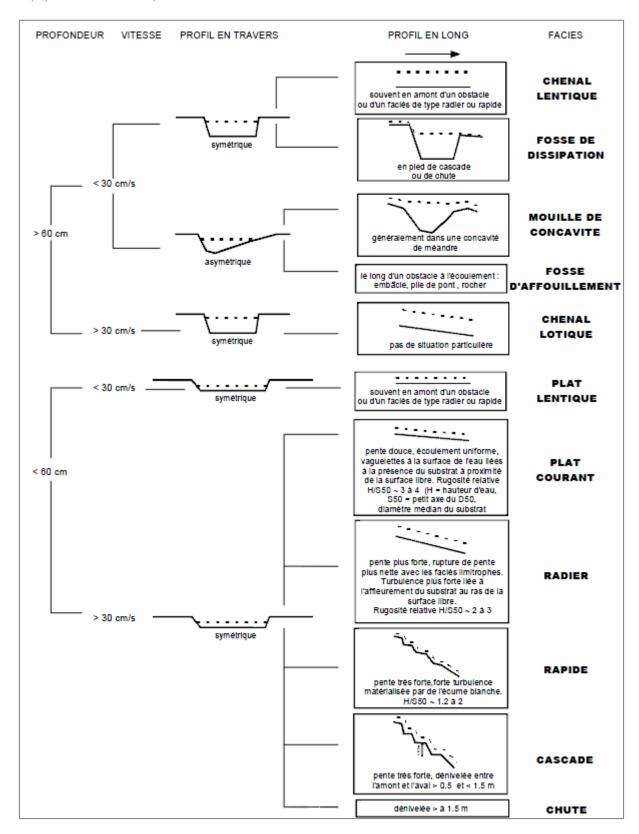


Figure 9. Clé de détermination simplifiée des faciès d'écoulement (Malavoi & Souchon, 2002)

Nature du substrat

Le substrat composant le fond du cours d'eau au niveau des points de relevé (+ environ 25 m amont/aval) a été décrit en fonction de la granulométrie (Tableau 1). La proportion des différents types de substrats (limons, sable, gravier, galets, rochers) a été estimée visuellement.

Tableau 1. Types de substrat déterminés selon la granulométrie des particules (selon la classification de Wentworth)

Taille des particules (mm)	Type d'élément
> 256	Blocs, rochers
16-256	Galets
2-16	Graviers
0,05-2	Sable
0,002-0,05	Limons, vase

Ripisylve

La structure de la ripisylve a été décrite selon 4 classes sur environ 50 m amont/aval du point de relevé, et pour chaque rive (Figure 10).

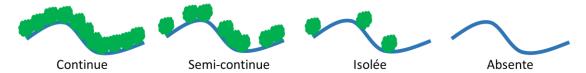


Figure 10. Classes utilisées pour caractériser la ripisylve (code renseigné pour chaque berge)

Pour une exploitation numérique, les classes de ripisylve ont été converties en pourcentage en additionnant les deux rives (50 % chacune ; Tableau 2). L'influence de cette variable sur les quatre critères étudiés a ensuite été analysée.

Tableau 2. Conversion numérique selon le type de ripisylve

Ripisylve	% retenu pour une berge
Absente	0
Isolée	33,3
Semi-continue	16,7
Continue	50

☐ Exploitation des résultats

Les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide du logiciel R (R Core Team 2013). Pour tester l'influence des différents paramètres, nous avons utilisé des modèles linéaires généralisés (GLM) à effet fixe, ainsi que des modèles mixtes (packages nlme et lme4) en ajoutant la distance à l'aval ou la pente comme variables aléatoires. Ceci permet de tester l'effet des variables explicatives en s'affranchissant de la localisation du point de relevé. En effet, les facteurs tels que l'occupation du sol ou la pente ne sont pas homogènes au sein du bassin versant (par exemple plus de boisements de résineux en amont et plus de prairies en aval, des pentes plus fortes en amont...) et les résultats obtenus pourraient ne traduire que des différences de position des relevés plus que l'effet de l'occupation du sol ou de la pente. Des modèles quadratiques ont aussi été testés pour des relations paraissant graphiquement non linéaires. Le choix des modèles repose sur le facteur de parcimonie selon le critère d'information d'Akaike (AIC). Le modèle retenu est celui possédant le plus faible AIC en considérant que les modèles avec une différence d'AIC (delta) inférieure à 2 sont semblables (Burnham & Anderson 2002). En cas de différence d'AIC inférieure à 2, le modèle le plus simple (c'est-à-dire présentant le moins de paramètres) a donc été choisi.

Les données des variables ont été transformées (log) afin qu'elles suivent une loi normale (ou qu'elles s'en rapprochent).

Les analyses spatiales ont été réalisées à l'aide du logiciel QGis.

2. Identification des altérations de l'habitat sédimentaire de la mulette perlière

2.1. Disponibilité sédimentaire

Les individus adultes ayant une taille de l'ordre de 8 à 10 cm et possédant un pied musculeux pour s'ancrer dans le substrat, une quantité minimale de sédiment est nécessaire pour que les moules puissent s'ancrer dans celui-ci. Le postulat est que plus les sédiments sont profonds et plus ils couvrent une surface importante, plus le milieu est favorable pour les moules.

Contrairement au colmatage, il n'existe pas de référentiel permettant de savoir à partir de quelle valeur une population viable peut s'épanouir.

1.1.1 Méthode

Une sonde de 70 cm de long a été insérée dans le sédiment (voir aussi mesure du potentiel redox en 2.2.1). Les profondeurs maximales de sédiment ont été notées pour 20 points de relevés, répartis d'une berge à l'autre du cours d'eau. En cas d'impossibilité d'introduire la sonde à 20 reprises au niveau du point de relevé, en raison du manque de sédiments fins, le nombre de relevés de profondeurs effectivement réalisés est indiqué.

1.1.2. Résultats

Différents faciès ont été observés et couvrent des surfaces variables suivant les points de relevés (Figure 11). De manière attendue pour ce type de rivières de tête de bassin, les faciès les plus représentés sont des faciès courants (radiers, rapides et plats courants), mais on trouve également une bonne proportion de plats lentiques au courant moins marqué. À noter que les faciès les plus propices à la présence de la mulette perlière sont les plats courants et lentiques, mais qu'elle peut parfois fréquenter des zones de rapides ou de radiers à la faveur d'interstices plus abrités.

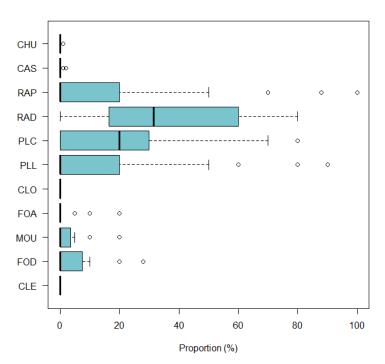


Figure 11. Proportion des faciès sur l'ensemble des points de relevés. CHU : chute ; CAS : cascade ; RAP : rapide ; RAD : radier ; PLC : plat courant ; PLL : plat lentique ; CLO : chenal lotique ; FOA : fosse d'affouillement ; MOU : mouille de concavité ; FOD : fosse de dissipation ;

CLE : chenal lentique

La disponibilité sédimentaire diminue fortement selon la profondeur. Ainsi, la profondeur de 4 cm (mesure du potentiel Redox à 2 cm) est accessible dans près de 99 % des relevés, alors que la profondeur de 6 cm n'est accessible que pour 52 % des relevés et seulement 17 % pour des profondeurs supérieures à 8 cm (Figure 12). De même, quand on considère la profondeur maximale de sédiments, on note que sur près de 30 % des relevés,

l'épaisseur de sédiments est inférieure à 10 cm, ce qui ne permet théoriquement pas à la Moule perlière de s'implanter durablement, compte-tenu de sa taille adulte.

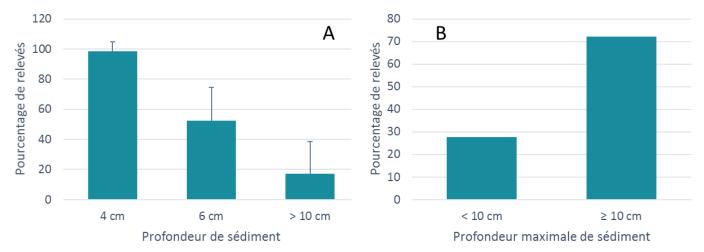


Figure 12. Disponibilité sédimentaire en fonction de la profondeur. A. Pourcentage de relevés réalisés selon la profondeur. B. Pourcentage de relevés en fonction de la profondeur maximale de 10 cm (seuil de disponibilité sédimentaire minimale pour la Moule perlière)

La profondeur maximale de sédiments (log transformée) est négativement influencée par la pente (GLM; P=0,029; Figure 13).

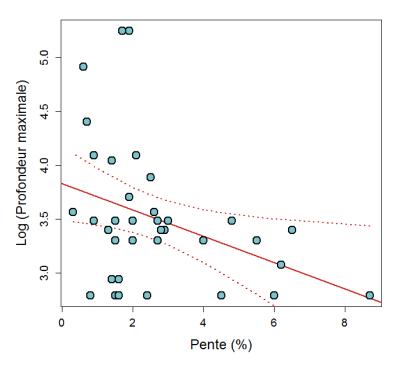
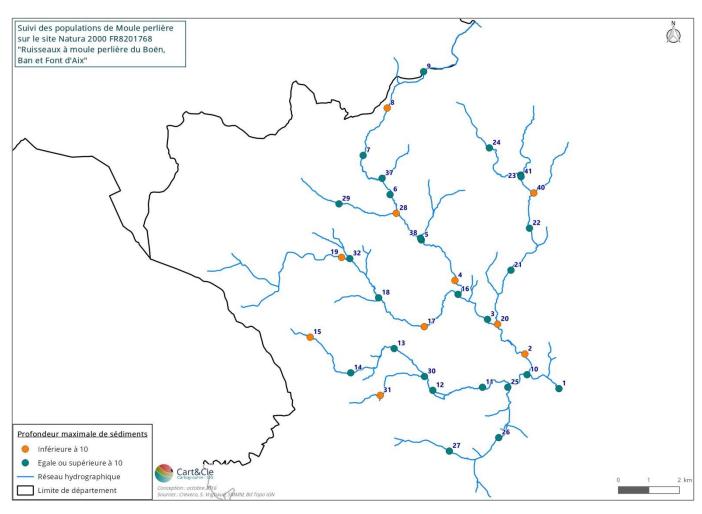


Figure 13. Relation entre la profondeur maximale de sédiments et la pente (transformation en log) et la pente (y=-0,12x +3,83 ; pourcentage de variance expliquée : 13,24% ; p < 0,05)

En revanche, on n'observe pas d'effet significatif en fonction de la répartition amont-aval que ce soit sur le rang de Strahler (P=0,254) ou la distance depuis l'aval (P=0,069).

D'un point de vue de la répartition au sein du bassin versant, on ne note pas de variations nettes de disponibilité sédimentaire (Carte 4). On trouve des secteurs favorables en amont comme en aval.



Carte 4. Profondeur maximale des sédiments sur le bassin versant

1.1.3. Discussion

La proportion de sédiments suffisamment profonds (> 10 cm) est plutôt importante. Elle est susceptible d'affecter le bon accomplissement du cycle de développement des individus ainsi que la survie des adultes. Tout logiquement, plus la pente est importante, plus les sédiments sont emportés et donc, moins la disponibilité sédimentaire est importante. Toutefois, la Figure 13 illustre qu'il existe une forte variation pour les pentes douces. Cela laisse à penser que la situation est complexe pour les pentes faibles. Il est probable que cette disparité de disponibilité sédimentaire se soit accentuée, rendant les sédiments inhospitaliers pour les moules. Aussi, une identification des facteurs régissant cette variabilité est nécessaire. C'est pourquoi dans l'approche ultérieure, la pente sera aussi considérée comme facteur aléatoire dans les modèles afin que celle-ci ne viennent pas biaiser l'analyse.

2.2. Colmatage sédimentaire

De nombreux auteurs considèrent le colmatage des sédiments comme une cause majeure de dégradation des hydrosystèmes fluviaux à l'échelle mondiale (par exemple Descloux et al. 2013, Mathers et al. 2014). En effet, l'interface eau/sédiment est le lieu d'une activité biologique intense participant activement à l'autoépuration de l'eau (Angelier 2009). De nombreux êtres vivants, dont la mulette perlière, vivent dans cet écotone.

Ce colmatage peut être de différents types : biologique, chimique (Schälchli 1992, Bouwer 2002) et enfin physique.

Selon Bouwer (2002), Le colmatage biologique est dû aux algues et au floque bactérien contenus dans l'eau qui s'accumulent à la surface des sédiments ainsi qu'à la croissance des micro-organismes sur et dans les sédiments qui forment ainsi un biofilm et de la matière organique comblant les interstices (et/ou réduisant leurs tailles). Ce type de colmatage est amplifié par les nutriments.

Suivant ce même auteur, le colmatage chimique peut se produire par la précipitation notamment de Calcium sur ou dans les sédiments. Il peut parfois trouver son origine par l'augmentation du pH liée à l'activité photosynthétique des algues qui diminuent le taux de CO₂ dissous. En outre, les bactéries peuvent aussi produire des gaz (méthane notamment) qui bloquent les pores et s'accumulent sous une couche étanche, créant une barrière supplémentaire à l'infiltration.

Le colmatage physique repose sur l'érosion, l'introduction et l'accumulation des sédiments fins (aussi appelés "fines") dans les hydrosystèmes (Brunke 1999, Mathers et al. 2014).

La généralisation mondiale du colmatage notamment physique est d'origine anthropique (Descloux et al. 2013) et repose sur différents facteurs influençant l'hydromorphologie des rivières : changement de pratiques agricoles, urbanisation, chenalisation et modification d'habitats (Mathers et al. 2014), régulation des débits par des barrages (Mürle et al. 2003, Gartner et al. 2012).

Geist & Auerswald (2007) ont défini les valeurs critiques pour une population fonctionnelle. L'existence de ce référentiel permet donc de raccrocher les mesures de cette présente étude et d'apprécier si ce facteur est un facteur clef dans la régression de l'espèce.

2.2.1. Méthode

☐ Potentiel Redox

Nous avons utilisé la mesure du potentiel d'oxydoréduction pour caractériser la qualité chimique du milieu hyporhéique du cours d'eau en fonction des exigences écologique des naïades. La mesure du colmatage des substrats a été effectuée en utilisant un redox-mètre. L'électrode de mesure en platine est insérée dans le sédiment aux différentes profondeurs : 2 cm, 4 cm et 8 cm (Figure 14). L'électrode de référence de type Ag/AgCl2 est positionnée dans l'eau libre. La valeur mesurée est ensuite corrigée selon la température de l'eau (Tableau 3).



Figure 14. Mesure du potentiel redox à différentes profondeurs de sédiment

Tableau 3. Barème de correction du potentiel Redox en fonction de la température

Température (en °C)	Majoration du potentiel Redox (en mV)
0-5	224
5-10	221
10-15	217
15-20	214
20-25	210
25-30	207
30-35	203

L'analyse consiste à mesurer la différence de potentiel redox ou oxydoréduction entre l'eau libre et différentes profondeurs dans les sédiments. Si la mesure dans les sédiments donne une valeur inférieure à 20% de celle dans l'écoulement de surface, on considère alors qu'il y a une moins bonne oxygénation du substrat et donc colmatage (Geist & Auerswald 2007). Le substrat est considéré comme anoxique pour des valeurs de potentiel redox inférieures à 300 mV. Geist & Auerswald (2007) avaient définit des valeurs moyennes (Tableau 4) pour des populations fonctionnelles et non fonctionnelles illustrées par la Figure 15.

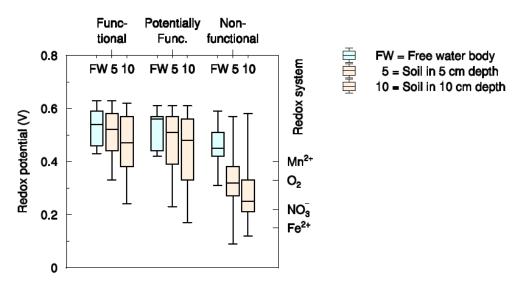


Figure 15. Potentiel redox et fonctionnalité des cours d'eau pour la Moule perlière (d'après Geist & Auerswald 2007)

Tableau 4. Valeur moyenne du potentiel redox (en V) pour des populations fonctionnelles et non fonctionnelles (d'après Geist & Auerswald 2007)

Population	Fonctionnelle	Non fonctionnelle
Colonne d'eau	0,53	0,47
Profondeur de 5 cm	0,51	0,33
Profondeur de 10 cm	0,47	0,27

☐ Méthode d'Archambaud

Le degré de colmatage a également été estimé visuellement d'après la méthode d'Archambaud (2005), qui repose sur la quantité de limons qui sont libérés dans la colonne d'eau lorsque l'on retire un élément plus ou moins enchâssé dans le sédiment (Figure 16). Afin de tester l'efficacité de cette méthode simplifiée, nous avons comparé les résultats obtenus avec les mesures de redox.

Code		Représentation du degré de colmatage (lorsque l'on	
	Colmatage	soulève un élément du fond)	
1] 0 - 25%]	Les éléments sont posés. On peut observer soit un dépôt fin de limons peu colmatant (cas de gauche) soit aucun dépôt (cas de droite)	
2] 25 - 50%]	Les éléments sont collès par une sous-couche de limon (avec ou sans limon en dépôt). Le nuage de limon qui se soulève est peu dense.	
3] 50 - 75%]	Les éléments sont légèrement enchâssés et provoquent un nuage de limon assez épais lorsqu'ils se désolidarisent de la sous-couche.	
4] 75 - 90%]	Les éléments sont très enchâssés et provoquent un nuage épais de limons (accentué ou non par un dépôt de limons)	
5] 90-100%]	Les éléments sont recouverts de limons et provoquent un nuage très épais (cas de gauche) ou bien sont entièrement cimentés dans la sous-couche et impossibles à soulever (cas de droite)	

Figure 16. Méthode d'évaluation du degré de colmatage et d'enchâssement des matériaux du substrat alluvial (Archambaud et al. 2005)

Conductivité

La conductivité est une mesure de la capacité de l'eau à conduire un courant électrique, donc une mesure indirecte de la teneur de l'eau en ions. La conductivité est influencée par divers facteurs naturels et anthropiques : géologie du bassin versant (composition des roches), apports d'eau souterraine, température de l'eau, évaporation, variations de débit, apports d'eau contaminée provenant des activités humaines (salage des routes, agriculture, développement urbain, activités industrielles).

La conductivité a été mesurée à l'aide d'un conductimètre électronique plongé dans la colonne d'eau. Les résultats sont donnés en micro-Siemens par centimètre carré (µS/cm²). Les valeurs obtenues ont été corrigées selon la température et ramenée à 20°C pour pouvoir être comparées sur les différentes stations. Afin de limiter de l'autocorrélation spatiale, nous avons utilisé la contribution à la conductivité, c'est-à-dire la variation (positive ou

négative) de la conductivité entre le point de référence situé en amont et la station située en aval. Pour les affluents, une correction a été faite en fonction de la surface des bassins versants concernés en partant du principe que le débit était proportionnel à la surface de ceux-ci.

☐ Proportion de limons

Comme précisé précédemment, nous avons estimé visuellement la proportion des différents types de substrat à partir des éléments fins (limons et vase) aux éléments les plus gros (blocs rocheux). La proportion de limons a été utilisée pour estimer le colmatage en considérant que la quantité de limons visible en surface reflétait l'intensité du colmatage dans les couches superficielles (0-10 cm).

2.2.2. Résultats

☐ Intérêt de la méthode d'Archambaud pour le colmatage de surface

L'estimation visuelle du colmatage de surface par la méthode d'Archambaud et al. (2005) est cohérente avec les valeurs maximales de potentiel Redox mesurées à 2 cm (GLM; P=0,041; Figure 17). En revanche, la relation n'est pas significative avec les valeurs moyennes, même si elle approche du seuil de significativité (GLM; P=0,066).

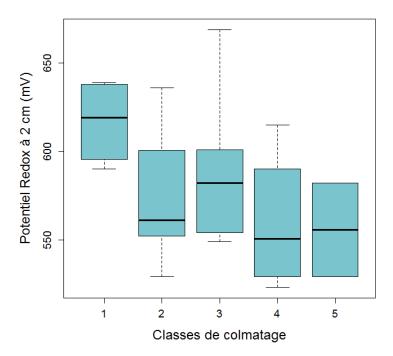


Figure 17. Relation entre le potentiel Redox à 2 cm de profondeur (valeurs maximales) et les classes de colmatage estimées selon Archambaud et al. (2005).

On observe également une relation significative pour les valeurs de redox moyennes à 4 cm (GLM; P=0,047) mais pas pour les valeurs maximales (GLM; P=0,062). À 8 cm, la relation n'est plus significative ni pour les valeurs moyennes ni pour les valeurs maximales (GLM; P=0,076 et P=0,567 respectivement).

☐ Potentiel Redox et fonctionnalité

Les résultats obtenus pour chaque station de relevés montrent que le potentiel Redox reste supérieur aux seuils correspondant à des populations fonctionnelles définis par Geist & Auerswald (2007) pour la plupart des stations (Figure 18). Les potentiels Redox les plus élevés sont observés sur les petits affluents comme le Noyer, le Ban ou la Rennerie, mais les valeurs restent néanmoins compatibles pour la plupart des stations du Boën et de la Font d'Aix. On note un potentiel Redox relativement bas pour les 3 stations du Machabré.

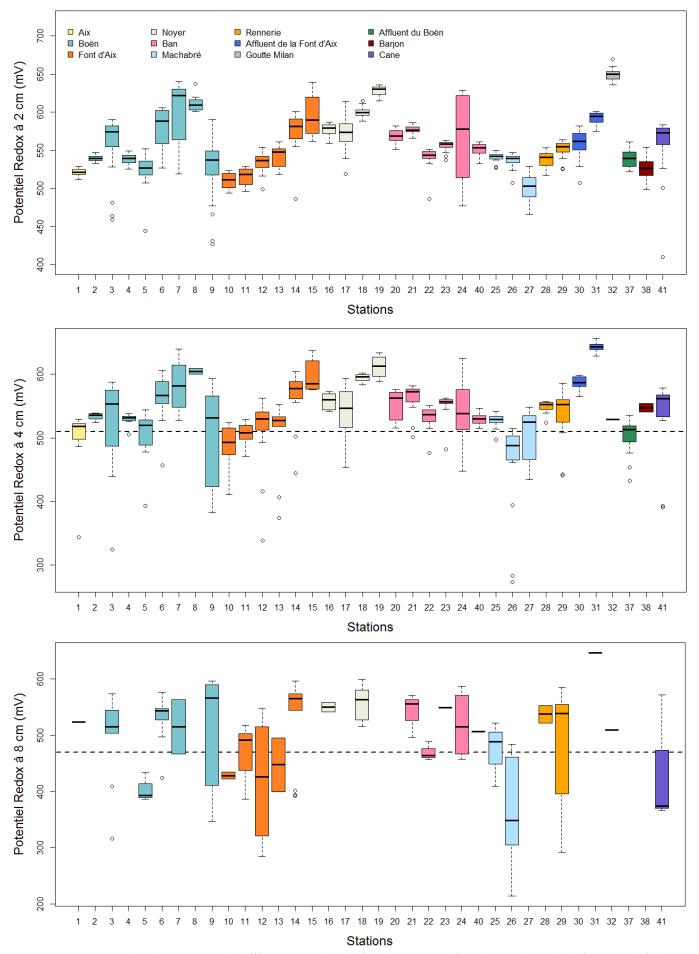


Figure 18. Potentiel Redox au niveau des différents points de relevé. Les lignes pointillées indiquent les seuils de fonctionnalité des populations (d'après Geist & Auerswald, 2007)

☐ Stratification longitudinale du potentiel Redox

On observe une relation positive significative entre le potentiel Redox moyen et la distance depuis l'aval aux profondeurs 2 cm (GLM; P=0,003) et 4 cm (GLM; P=0,007) mais pas 8 cm (GLM; P=0,112) (Figure 19).

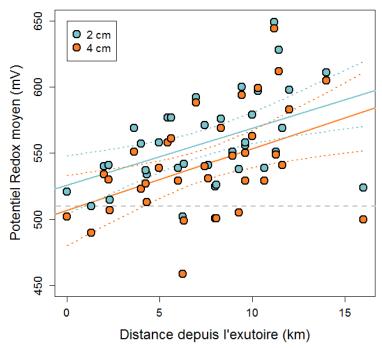


Figure 19. Évolution du potentiel Redox selon la position sur le bassin versant à 2 et 4 cm de profondeur (y=4,31x +525,89 ; pourcentage de variance expliquée : 22,94 % pour 2 cm - y=4,66x +506,68 ; pourcentage de variance expliquée : 19,52 % pour 4 cm)

En revanche, le rang de Strahler n'a pas d'effet significatif quelle que soit la profondeur, bien que le potentiel Redox tende à diminuer quand le rang de Strahler augmente (GLM; P=0,098 à 2 cm, P=0,089 à 4 cm et P=0,317 à 8 cm).

☐ Potentiel Redox en fonction du substrat

Le potentiel Redox est négativement influencé par la quantité de limons visible en surface pour les trois profondeurs testées (GLM; P=0,017 à 2 cm, P=0,006 à 4 cm et P=0,002 à 8 cm; Figure 20).

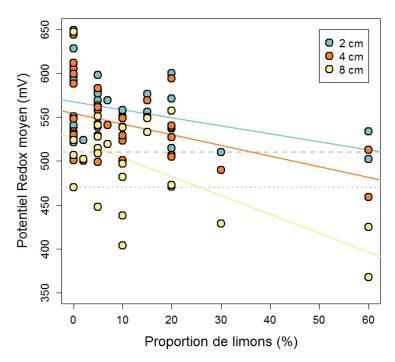
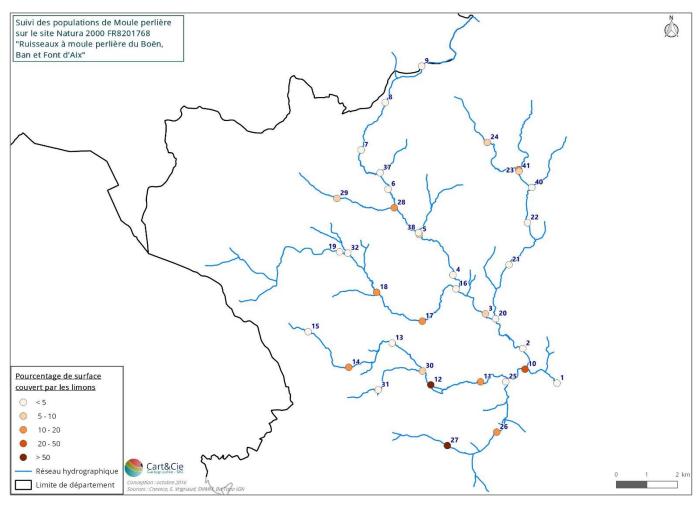


Figure 20. Evolution du potentiel Redox suivant la proportion de limons visible en surface à trois profondeurs (2, 4 et 8 cm) (à 2 cm : y=-0,91x +567,71; pourcentage de variance expliquée : 15,51 %; à 4 cm : y=-1,21x +554,30; pourcentage de variance expliquée : 19,96; à 8 cm : y=-2,14x +525,21; pourcentage de variance expliquée : 34,07 %). En tirets la valeur moyenne pour une population fonctionnelle à 5 cm (510 mV) et en pointillés la valeur moyenne pour une population fonctionnelle à 10 cm (470 mV) (d'après Geist & Auerswald 2007)

La répartition spatiale des résultats indique que les proportions de limons les plus importantes se trouvent en aval du bassin versant, même si quelques relevés plus en amont montrent des proportions notables (Carte 5). En effet, les limons peuvent s'accumuler sur des faciès à fort courant au niveau de secteurs abrités (mouilles de concavité, fosses d'affouillement et de dissipation), mais sont surtout présents dans les secteurs à faible courant.



Carte 5. Pourcentage de surface couverte par les limons sur les sites échantillonnés

☐ Potentiel Redox en fonction de la conductivité

Le potentiel Redox dépend significativement de la conductivité aux profondeurs 2 cm (GLM; p = 0,0006; Figure 21) et 4 cm (GLM; p = 0,004; Figure 21), mais la relation n'est plus significative à 8 cm.

La carte des résultats (Carte 6) montre que certains affluents ont un effet positif sur la conductivité (réduction) comme le Ban ou le Noyer, alors que d'autres comme la Font d'Aix ou le Machabré ont un effet plutôt négatif.

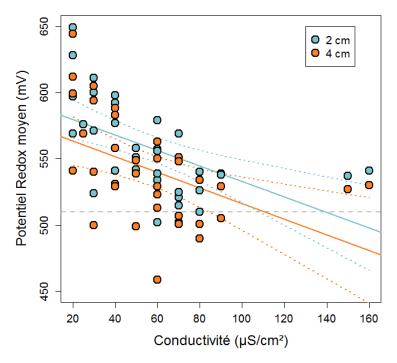
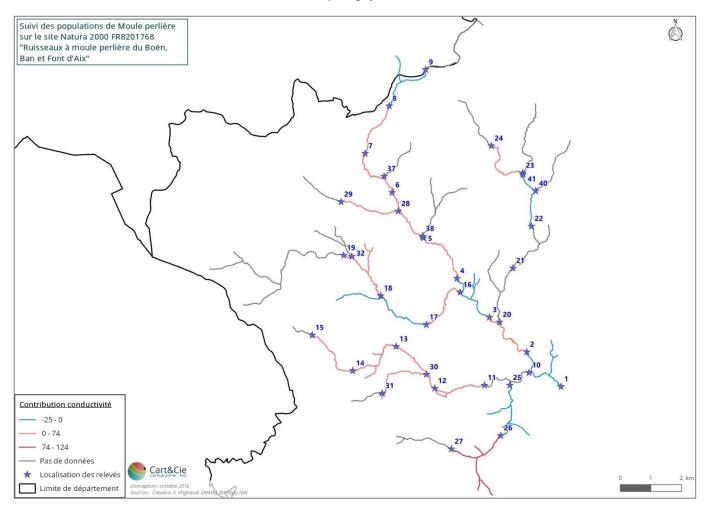


Figure 21. Relation entre la conductivité hydraulique et le potentiel Redox mesuré à 2 et 4 cm de profondeur (y=-0,58x +591,40 ; pourcentage de variance expliquée : 30,68 % pour 2 cm - y=-0,59x +575,05 ; pourcentage de variance expliquée : 22,49 % pour 4 cm). La relation n'est pas significative à 8 cm.



Carte 6. Contribution à la conductivité suivant les tronçons

2.2.3. Discussion

Les résultats acquis permettent de conforter l'utilisation de la méthode d'Archambaud comme pertinente pour apprécier le colmatage de surface. Elle peut donc être retenue à la place des mesures du potentiel redox. Cependant, l'exploitation statistique ultérieure devient plus compliquée avec l'utilisation de classes.

Un colmatage a été constaté pour un certain nombre de points de relevés. Cependant, la majorité de ceux-ci se trouvent avec un niveau de perméabilité du substrat compatible avec une population viable de mulette perlière, selon le référentiel connu. Aussi, on peut conclure que le colmatage semble avoir affecté les populations locales de naïades, mais ne semble pas être la raison exclusive de cette régression.

On note un redox moindre dans la partie aval indiquant que le colmatage a été plus sévère dans cette partie du bassin versant. Toutefois, seule une faible proportion des points se révèlent être incompatibles à la survie de la mulette perlière au regard de ce critère.

Enfin, les résultats indiquent que le colmatage constaté est régi par deux paramètres (Tableau 5) : les fines (colmatage physique) qui sont présentes jusqu'en profondeur (proportion de limons) et la conductivité (traduisant la charge en nutriments) qui, elle, ne se décèle qu'en surface (jusqu'à 4 cm).

Tableau 5. Pourcentage de variance du colmatage expliqué par la conductivité et le pourcentage de limon visible en surface selon les
modèles linéaires généralisés (GLM)

Profondeur	Pourcentage du colmatage expliqué par		
	la conductivité de la	le pourcentage de limons	
(en cm)	colonne d'eau	visible en surface	
2	30,7*	42,2*	
4	29,0*	38,5*	
8	7,9	38,6*	

^{*}résultat significatif au seuil de 5 %

Il est à noter que le colmatage de surface est plus facilement résilient que le colmatage en profondeur. Le premier peut se résoudre par l'effet d'une crue. Pour le second, la soustraction de ces limons présents en profondeur sera plus difficile. La notion de résilience est donc très hypothétique et ce même si les sources de fines venaient à être jugulées. On serait donc plutôt en situation d'hystérésis, ce qui correspond au cas où les perturbations ont cessé, mais le retour à l'état initial reste impossible.

2.3. Stabilité sédimentaire

Les naïades dont fait partie la mulette perlière possèdent un pied musculeux qui permet de s'ancrer dans les sédiments. Plus l'individu est grand, plus sa faculté de s'ancrer solidement est importante du fait même qu'il s'accroche plus profondément. Ainsi, la faculté de résistance quant au mouvement des sédiments est graduelle suivant l'âge (donc la taille) des individus.

Une bonne stabilité de sédiments est donc préférable pour une meilleure survie des juvéniles (en particulier). En outre, celle-ci doit être plutôt longue au regard de la biologie de la mulette perlière. Il est difficile d'appréhender directement cette stabilité sédimentaire. Il existe différentes méthodes qui reposent toutes sur des méthodes indirectes. Mais, tout comme pour la disponibilité sédimentaire, il n'existe pas de référentiel permettant de savoir si les observations réalisées correspondent ou non aux exigences de l'espèce.

2.3.1. Méthode

La stabilité sédimentaire a été estimée à partir du calcul de débit solide, qui peut être appréhendé de différentes façons (Degoutte 2012). Le calcul repose principalement sur la pente, le débit liquide, le diamètre des particules, la rugosité de ces dernières. De même, plus la pente est importante (cas de de la rectification des cours d'eau, ou d'une érosion régressive), plus le débit solide augmente. Cependant, ce raisonnement à une échelle réduite (variables de réponse) mérite de prendre en compte des aspects plus globaux propres au cours d'eau (variables explicatives) comme l'a récapitulé Galay (1983) et qui peuvent notamment influencer le diamètre des particules, le débit liquide...

De plus, le paramètre de Shields critique ("shields factor") et la contrainte de cisaillement aussi appelée contrainte tractrice ("shear stress", θ , Theta) ont été pris en compte pour une meilleure compréhension du débit solide. Ils se calculent de la façon suivante :

$$\theta = t / (p_s - p).g.D$$

avec t = p.g.R.S

Où θ est le paramètre de Shields (adimensionnel), t est la contrainte de cisaillement (en Pa), p_s est la densité des sédiments (en kg/m³), p est la densité de l'eau (soit 1000 kg/m³), g est l'accélération de la pesanteur (soit 9,81 m/s²), D est la taille des grains (en m), R est le rayon hydraulique (en m) et S, la pente (en %) (Brunke 1999). La valeur critique du paramètre de Shields est la valeur à partir de laquelle le grain commence à bouger. En plus des variables pouvant influer le paramètre de Shields décrites précédemment (diamètre des sédiments...), on notera le rayon hydraulique. Dans une situation de débit important, l'eau doit normalement sortir de son lit mineur, ce qui se traduit par une crue. Or, suite à une incision, ce même débit reste dans le lit mineur, le rayon hydraulique est proportionnellement plus important. Il en résulte une contrainte tractrice élevée. Celle-ci augmente le charriage voire l'incision surtout si les particules restent fines, jusqu'à l'atteinte d'une situation d'équilibre.

Afin de permettre une comparaison inter-sites, les variables régissant le paramètre de Shields ont été considérées comme constantes à l'exception du rayon hydraulique et de la pente. Selon Degoutte (2012), le paramètre de Shields ne fait pas consensus concernant le seuil critique de déplacement des particules. Il permet néanmoins, dans le cadre de notre étude de pouvoir apprécier de façon relative entre les différents points d'échantillonnage la force motrice exercée par l'écoulement de l'eau sur les sédiments.

2.3.2. Résultats

On observe une relation positive significative entre le paramètre de Shields (log transformé) et la distance depuis l'aval (GLM; P=0,003; Figure 22).

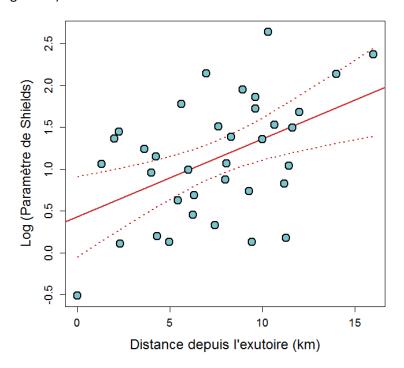


Figure 22. Variation du paramètre de Shields (en log) en fonction de l'emplacement sur le bassin versant (y=0,09x+0,43; pourcentage de variance expliquée : 22,94%; p<0,05)

Le paramètre de Shields est négativement influencé par la quantité de limons (GLM; P=0,011; Figure 23) mais la relation n'est pas significative pour le potentiel Redox à 2, 4 et 8 cm (GLM; P=0,133; P=0,075 et P=0,747 respectivement).

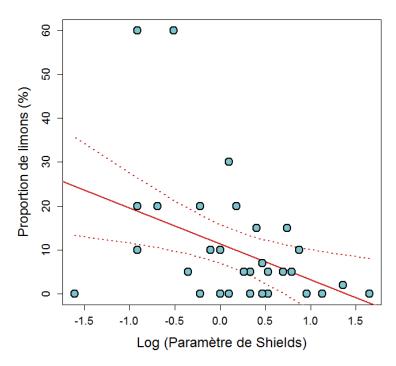
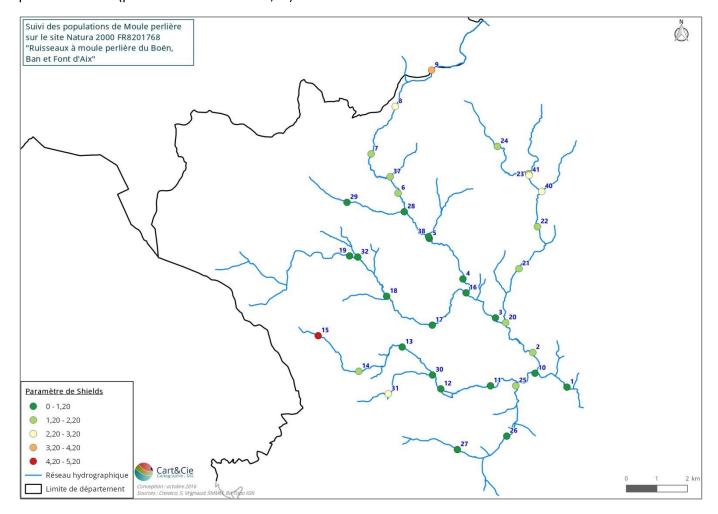


Figure 23. Variation de la proportion de limons visible en surface en fonction du paramètre de Shields (en log) (y=-8,50x+11,49; pourcentage de variance expliquée : 17,90 ; p < 0,05)

Au sein du bassin versant (Carte 7), on observe que les secteurs avec l'instabilité sédimentaire la plus forte se situent en amont, dans les zones de fortes pentes, mais globalement, les sédiments semblent stables sur la majorité des points de relevé (paramètre de Shields < 1,20).



Carte 7. Instabilité sédimentaire (paramètre de Shields) suivant les points d'échantillonnage

2.3.3. Discussion

Il existe tout logiquement une relation entre le paramètre de Shields et la localisation sur le bassin versant. Plus on se situe en amont, plus il est élevé. Cette situation est en lien avec le relief plus escarpé en tête de bassin versant.

Il est possible que le paramètre de Shields ait augmenté à l'occasion d'une légère incision guère visible à l'œil nu mais qui pourrait ressortir dans le cadre de mesures plus précises intégrant des modélisations hydrauliques. L'absence de mesures anciennes ne permet pas d'en juger. Cependant, quelques éléments mesurés permettent de penser qu'il y a eu une accentuation de cet encaissement (*cf.* ci-dessous).

L'absence de référentiel et de valeur critique (début de déplacement) rend difficile une interprétation fiable et précise des résultats. Notre raisonnement repose seulement sur le postulat que moins les sédiments bougent, plus l'habitat est favorable pour la mulette perlière. En d'autres termes, un paramètre de Shields réduit traduit un habitat plus stable et plus favorable.

2.4. Conclusion

La mesure des paramètres que sont le colmatage (que nous estimons au travers de la conductivité et du pourcentage de surface recouverte par du limon), la disponibilité sédimentaire ainsi que le paramètre de Shields permettent une appréciation plutôt complète des sédiments qui sont un élément clef du cycle de vie de la mulette perlière.

Le raisonnement utilisé pour la suite de l'étude repose sur le fait que la conductivité, le pourcentage de surface recouverte de limons et le paramètre de Shields influencent négativement la survie des mulettes perlières (notamment des jeunes) et que la disponibilité sédimentaire influence positivement la survie.

3. Facteurs affectant la disponibilité, la stabilité et la perméabilité sédimentaire

3.1. Méthode

3.1.1. À l'échelle locale

☐ Aménagement des berges

La distance amont et aval du point de relevé par rapport à un ouvrage artificiel (seuil, barrage, buse, pont...) et à un obstacle de type seuil naturel, escalier rocheux ou ouvrage détruit a été calculée. Ces données sont issues des études réalisées par CESAME entre 2001 et 2016.

Au sein des sous-bassins pour lesquels les données étaient disponibles (15/36), la proportion du linéaire impacté par une perturbation physique a été calculée sur 2 km en amont des points de relevé :

- Perturbations linéaires : obstacles, affleurements de substrat rocheux, séries de petit bois mort
- Encombrement du lit : dépôts sédimentaires, ligneux
- Endiguement, merlons de curage
- Protection / stabilisation de berges : enrochement, génie végétal, remblais...
- Travaux hydrauliques : dérivations, recalibrages
- Piétinement bovin

Nous avons défini 2 variables pour quantifier les aménagements : en prenant en compte seulement les aménagements physiques de protection et de stabilisation des berges, endiguements ou bien en considérant aussi les perturbations naturelles (embâcles, dépôts sédimentaires...).

☐ Gestion de la ripisylve

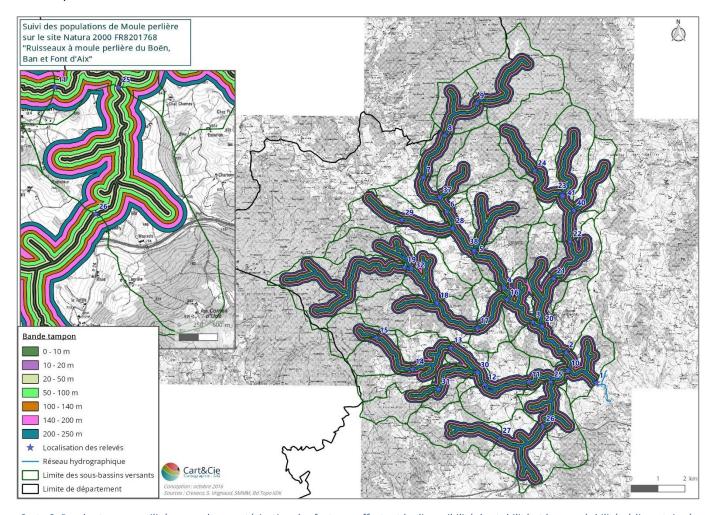
La ripisylve a été décrite selon les 4 catégories présentées précédemment (continue, semi-continue, isolée et absente) au niveau du point de relevé. Nous avons également utilisé les données à l'échelle du bassin versant issues des études réalisées par CESAME entre 2001 et 2016.

☐ Présence d'obstacle

Les obstacles du type seuils, chaussées peuvent entrainer des perturbations sédimentaires (incision, accumulation de sédiments). Aussi la réflexion intègre cet aspect en se basant sur les données de CESAME et IRIS (2009)

3.1.2. À l'échelle du bassin versant

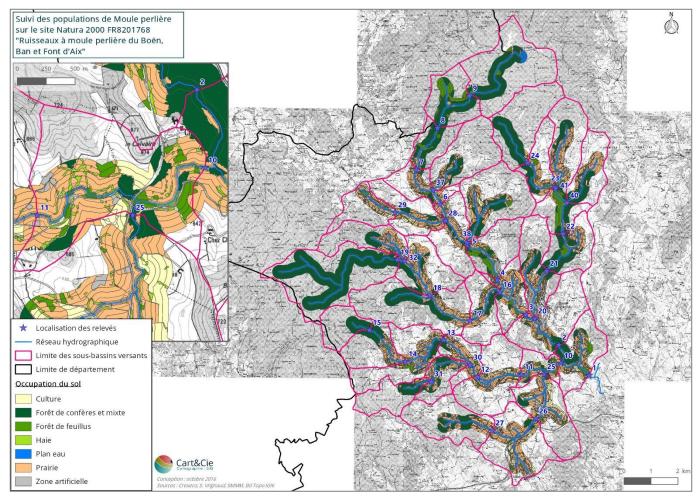
Pour chacun des points de relevés, un sous bassin versant a été délimité entre 2 points successifs, plus les éventuels affluents, en fonction des courbes de niveau (Carte 8). L'occupation du sol (surface agricole, forestière et type de forêt, ripisylve...) et la pente ont été étudiées sur des bandes tampon de largeurs variables entre 0 et 250 m du cours d'eau au sein de ces sous-bassins, afin d'identifier les facteurs affectant le plus la disponibilité, la stabilité et la perméabilité sédimentaire à l'échelle du bassin versant. S'appuyant sur Pella et al. (2004), Wasson et al. (2010) et Vrignaud (2016), les largeurs des bandes tampons choisies sont : 0 à 10 m, 10 à 20 m, 20 à 50 m, 50 à 100 m, 100 à 140 m, 140 à 200 m et 200 à 250 m.



Carte 8. Bandes tampon utilisées pour la caractérisation des facteurs affectant la disponibilité, la stabilité et la perméabilité sédimentaire à l'échelle du bassin versant

Occupation du sol

L'occupation des sols a été déterminée en croisant différentes sources de données (Carte 9) : couche végétation de la BD TOPO IGN (surfaces boisées) et Registre Parcellaire Graphique (RPG) 2014 (surfaces agricoles), complétés par photo-interprétation (surfaces urbanisées et autres surfaces non renseignées dans les bases de données). Les données ont été mises à disposition par le SMMM.



Carte 9. Occupation du sol dans les différentes bandes tampon

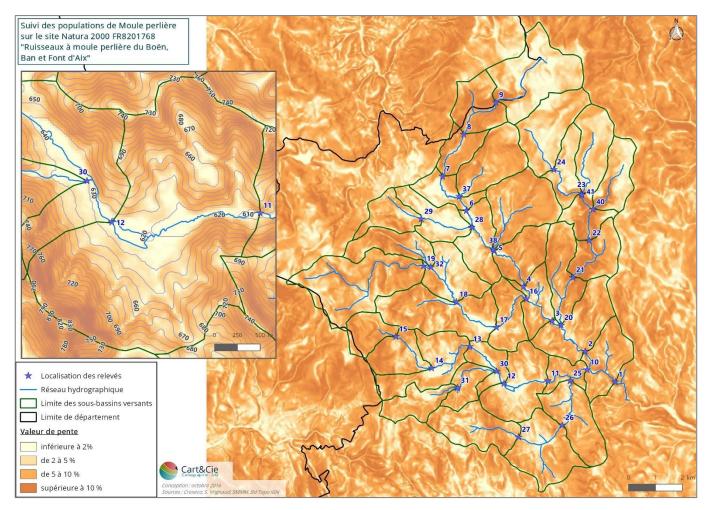
La définition des catégories de variables paysagères explicatives repose sur un regroupement détaillé dans le Tableau 6.

Tableau 6. Différentes catégories paysagères retenues comme variables explicatives

Base de données	Catégorie suivant la base de données	Catégorie retenue	
	Haies	Haies	
	Bois		
	Forêt fermée de feuillus	Feuillus	
	Forêt ouverte		
	Forêt fermée de conifères	Conifères	
	Forêt fermée mixte	Conneres	
PD Tong ICN	Carrières		
BD Topo IGN	Parcs, jardins, potagers, vergers		
	« Zones urbaines » (habitations)	Infrastructures	
	Autoroutes		
	Infrastructures routières		
	Prairies		
	Prairies artificielles		
Landes, fruticées, friches, prairies abandonr		Prairies	
Prairies naturelles Prairies temporaires			
Registre parcellaire	Maïs grain et ensilage		
graphique	Orge	Cultures	
	Légume, fleurs	Cultules	
	Divers (cultures)		
	Autres céréales		

Pente

Le calcul des pentes a été effectué d'après le modèle numérique de terrain (MNT) à 10 m des départements de l'Allier et de la Loire (Carte 10). Pour chaque bande tampon au sein des différents sous-bassins, les paramètres de pente (pente moyenne, minimale, maximale) ont été extraits, mais seule la pente maximale a été retenue dans les modèles.



Carte 10. Pentes au sein du bassin versant (source : Modèle Numérique de Terrain 42 et 03)

3.1.3. Exploitation numérique

L'exploitation numérique repose sur la comparaison de modèles linéaires généralisés, de modèles mixtes (avec comme effet aléatoire la pente ou la distance à l'exutoire) et de modèles quadratiques (cf.1.3).

3.2. Résultats

3.2.1. A l'échelle locale

3.2.1.1. Comparaison des pentes calculées sur le terrain et issues de la BD TOPO

On observe une corrélation relativement bonne entre les valeurs de pente calculées sur le terrain à l'aide du niveau optique et les valeurs données par la BD TOPO sur les tronçons équivalents (Figure 24). On note cependant que certaines valeurs de pentes ont des écarts plus importants, notamment pour les plus fortes pentes, avec par exemple des pentes mesurées autour de 6 % au niveau de 3 points de relevé contre 8 à 11,5 % sur le tronçon correspondant dans la BD TOPO (soit des écarts de 36 %, 77 % et 86 %). Les écarts observés proviennent du fait que la longueur utilisée pour la mesure de pente est souvent plus longue dans la BD TOPO (moy=867 m, min=119 m, max=1777 m) que celle mesurée sur le terrain qui est plus ponctuelle (de 70 à 170 m).

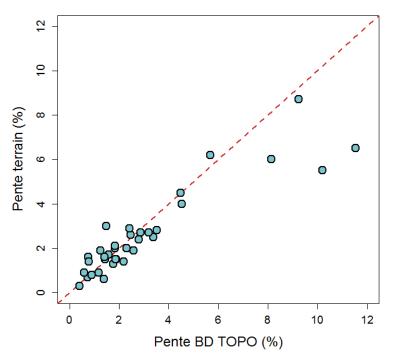


Figure 24. Relation entre les pentes mesurées sur le terrain au niveau des points de relevés et les valeurs de la BD TOPO (IGN) sur les tronçons correspondants (y=0,63x +0,69 ; pourcentage de variance expliquée : 83,47 % ; p < 0,05)

3.2.1.3. Disponibilité sédimentaire

On ne note aucun effet significatif des aménagements de berges sur la disponibilité sédimentaire.

3.2.1.4. Stabilité sédimentaire

Le paramètre de Shields est influencé positivement par les aménagements des berges aussi bien en ne considérant que les aménagements d'origine anthropique (GLM ; P=0,048) que l'ensemble des perturbations du cours d'eau (GLM ; P=0,033 ; Figure 25). L'instabilité sédimentaire s'explique à hauteur de près de 33 % par les aménagements de berges. Toutefois, l'encaissement n'est pas corrélé aux aménagements de berges (GLM ; P > 0,05).

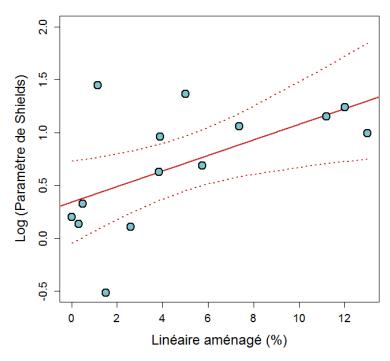


Figure 25. Relation entre la proportion de berges aménagées sur un tronçon de 2 km en amont du point de relevé et le paramètre de Shields (Données CESAME 2016 pour les aménagements) (y=0.07x+0.34; pourcentage de variance expliquée : 32,71 %; p<0.05)

3.2.1.5. Colmatage biologique et physique

La conductivité est influencée positivement par les aménagements des berges (GLM à effet mixte avec la distance depuis l'aval comme facteur aléatoire ; P=0,033 ; Figure 26).

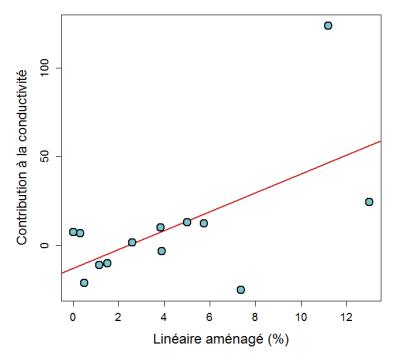


Figure 26. Relation entre la proportion de berges aménagées sur un tronçon de 2 km en amont du point de relevé et la conductivité hydraulique (Données CESAME 2016 pour les aménagements) (y=5,32x-13,05; pourcentage de variance expliquée : 6,82 %; p < 0,05)

En revanche, la quantité de limons n'est pas influencée par les aménagements des berges (GLM; p > 0,05).

3.2.2. À l'échelle du bassin versant : occupation du sol

Les habitats dominants au sein du bassin versant sont les prairies et les boisements, notamment résineux. On observe cependant de légères variations en fonction de la distance au cours d'eau (Figure 27). Ainsi, les haies sont plus représentées dans la bande 0-10 m, ce qui est lié à l'important linéaire de ripisylve le long des différents cours d'eau. À partir de 10 m, les prairies sont majoritaires mais la proportion de boisements de résineux a tendance à augmenter quand on s'éloigne des cours d'eau, au détriment des boisements de feuillus. Les plantations de résineux sont notamment très présentes dans les secteurs les plus en amont et en altitude. Les zones urbanisées sont peu développées et présentes surtout à plus de 50 m des cours d'eau. On observe globalement très peu de cultures dans ce secteur, notamment aux abords immédiats des cours d'eau.

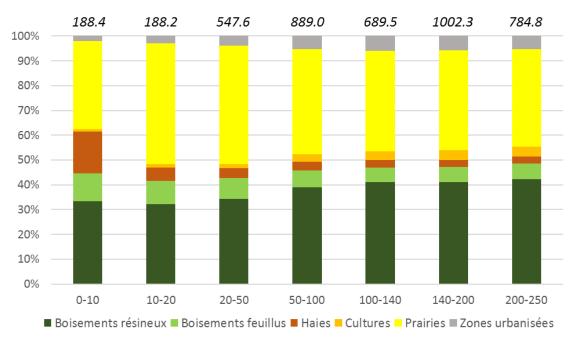


Figure 27. Occupation du sol au sein des différentes bandes tampon. Les surfaces totales (ha) sont données au-dessus de chaque barre.

Pour les figures 28 à 31, quand les occupations du sol ne sont pas figurées sur les bandes tampons, c'est que la pente maximale est le facteur prédominant. Il a été fait le choix de faire figurer seulement les variables sur lesquelles une interaction est possible (modèle retenu avec occupation du sol; p: occupation du sol + pente ; d: occupation du sol + distance à l'aval).

3.2.2.1. Disponibilité sédimentaire

La présence de boisements résineux a un effet légèrement négatif sur la disponibilité sédimentaire quelle que soit la distance à la rivière. Pour les boisements feuillus, cet effet ne s'observe que pour une distance inférieure à 10 m et dépend en outre de la pente maximale périphérique au cours d'eau. Les prairies ont un effet légèrement positif et constant quelle que soit la distance au cours d'eau, alors que les haies possèdent un effet marqué sur la quantité de sédiment, dans les zones de 0 à 20 m (ripisylves) et à partir de 100 m. Tous les modèles choisis (les plus parcimonieux) sont valables quelle que soit la pente maximale périphérique au cours d'eau (à l'exception des feuillus sur la distance 0-10m).

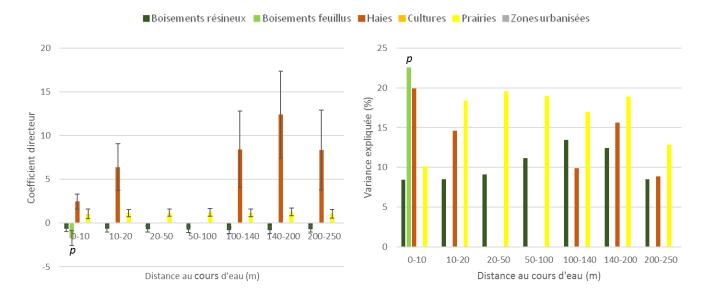


Figure 28. Effet (coefficient directeur à l'échelle logarithmique et pourcentage de variance expliquée) des différentes occupations du sol sur la disponibilité sédimentaire – la lettre « p » correspond à un effet additionnel de la pente avec la variable en question

3.2.2.2. Stabilité sédimentaire

Les boisements résineux contribuent à augmenter légèrement l'instabilité sédimentaire sur les 250 premiers mètres de part et d'autre des rivières. Les prairies diminuent légèrement le paramètre de Shields (donc l'instabilité) à partir de 10 m de la rivière. Les zones urbanisées affectent également le paramètre de Shields de manière importante en réduisant l'instabilité entre 50 et 140 m. Les haies diminuent cette instabilité sédimentaire aux abords de la rivière (ripisylve), mais surtout au-delà de 100 m. Là encore, les effets sont constatés quelle que soit la pente sur laquelle l'occupation du sol est évaluée, mais peuvent dépendre de la distance à l'exutoire.

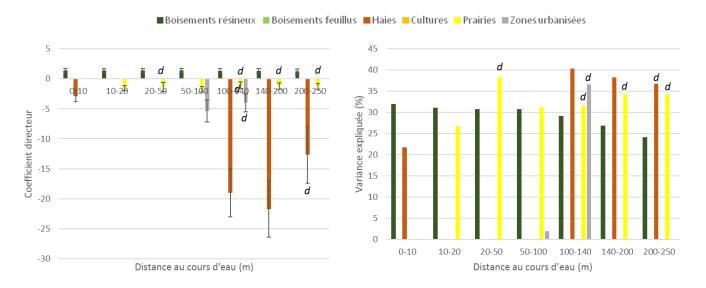


Figure 29. Effet (coefficient directeur à l'échelle logarithmique et pourcentage de variance expliquée) des différentes occupations du sol sur la stabilité sédimentaire (paramètre de Shields) - la lettre « d » correspond à un effet additionnel de la distance à l'exutoire avec la variable en question

3.2.2.3. Colmatage physique et biologique

Globalement, les résineux tendent à limiter la quantité de limons dans les rivières étudiées quelle que soit la distance à la rivière. Il en est de même des boisements feuillus, mais à partir d'une distance supérieure à 100 mètres avec un effet légèrement supérieur aux résineux. Les prairies, quant à elles, augmentent la quantité de limons visibles en surface quel que soit l'éloignement à la rivière. Par ailleurs, les haies augmentent considérablement la quantité de limons sur la distance 0- 20 m et à partir de 100 m. On note enfin un léger effet positif des cultures à partir de 200 m.

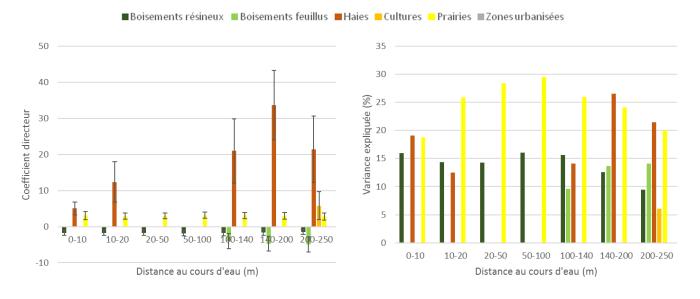


Figure 30. Effet (coefficient directeur à l'échelle logarithmique et pourcentage de variance expliquée) des différentes occupations du sol sur la quantité de limons (pourcentage de surface visible en limons)

Le type d'occupation du sol semble avoir globalement peu d'effet sur la conductivité. Les zones urbanisées possèdent un effet positif sur la conductivité surtout sur une distance de 50 à 140 m des cours d'eau. Les prairies favorisent très légèrement la conductivité à partir de 20 m. les résineux affectent la charge en ions à partir de 50 m Enfin, les haies possèdent un effet considérable comparé aux autres occupations des sols et qui est à la fois négatif (50 à 100 m) et positif (100 à 140 m).

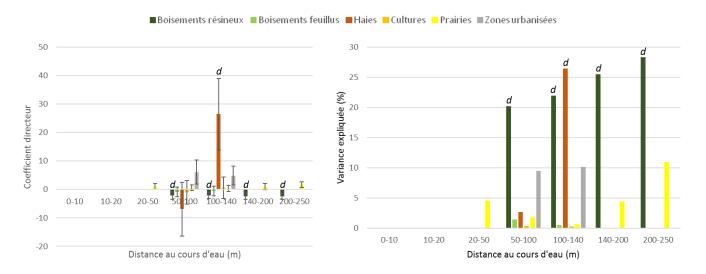


Figure 31. Effet (coefficient directeur et pourcentage de variance expliquée) des différentes occupations du sol sur la conductivité - la lettre « d » correspond à un effet additionnel de la distance à l'exutoire avec la variable en question

3.2.3. Influence des quatre variables entre elles.

Afin de préconiser des mesures adéquates, il est nécessaire de comprendre comment sont liées ces quatre variables clefs que sont la disponibilité sédimentaire (profondeur maximale), l'instabilité sédimentaire (paramètre de Shields), le colmatage biologique (la conductivité) et le colmatage physique (pourcentage de surface couverte par les limons). Aussi, les tableaux 7 et 8 synthétisent le comportement des 4 paramètres les uns par rapport aux autres.

	Disponibilité sédimentaire (Profondeur maximale)	Instabilité sédimentaire (paramètre de Shields)	Colmatage biologique (conductivité)	Colmatage physique (% de surface visible en limon)
Disponibilité sédimentaire		P < 0,05 ß= - 0,24 (log) ± 0,09	P > 0,05	P < 0,05 ß= - 0,03 (log) ± 0,01
Instabilité sédimentaire			P > 0,05	P < 0,05 ß= - 0,02 (log) ± 0,01
Colmatage biologique				P > 0,05
Colmatage physique				

Tableau 8. Synthèse des liens entre la disponibilité sédimentaire, l'instabilité sédimentaire, le colmatage biologique et le colmatage physique. En rouge : effet néfaste sur la mulette perlière ; en vert effet bénéfique sur la mulette perlière

Causes	Effets	Conductivité
Si augmentation de l'instabilité (le	Diminution de la disponibilité	
paramètre de Shields augmente)	sédimentaire	
parametre de Silielos augmente)	Diminution du colmatage physique	Indépendante des autres critères
Si diminution de l'instabilité (le	Augmentation de la disponibilité	independante des autres criteres
paramètre de Shields diminue)	sédimentaire	
parametre de Smeids diffillide)	Augmentation du colmatage physique	

Le premier constat est que la stabilité sédimentaire est un paramètre clef dans les processus hydromorphologiques régissant la présence de la mulette perlière. Le second constat est que ce critère répond de manière contrastée aux exigences de l'espèce, dans la mesure où l'augmentation de l'instabilité améliore la qualité de l'habitat pour l'un des critères (le colmatage physique), mais la détériore pour un autre (la disponibilité sédimentaire), et vice et versa en cas de diminution de l'instabilité sédimentaire. La conductivité, quant à elle est indépendante des autres critères. Elle n'influence ou n'est influencée par aucune des autres variables.

3.3. Discussion

Les informations recueillies et leur exploitation permettent de mieux cerner la problématique de conservation de la mulette perlière. Une hiérarchisation des causes de régression et des actions à mener peut donc être envisagée (cf. partie 4.). Un élément documenté (le colmatage des sédiments) a pu être appréhendé finement ainsi que les causes de celui-ci. Les critères que sont l'instabilité sédimentaire et la disponibilité sédimentaire bien que reposant sur un postulat plus empirique ont fait eux aussi l'objet d'une approche poussée dans la compréhension de l'étendue de ces phénomènes et des causes de ceux-ci.

Cette approche de conservation intégrative est à notre connaissance innovante. Aucune étude n'avait jusqu'alors poussé aussi loin l'analyse. Non seulement les causes de régression sont identifiées et quantifiées, mais les facteurs agissant sur elles le sont aussi. Ainsi, les leviers les plus pertinents sont identifiés et hiérarchisés.

Bien que cette approche soit la plus complète possible, certains aspects nécessitent de prendre du recul vis-à-vis des résultats obtenus. Autant l'effet du colmatage est documenté, autant la disponibilité sédimentaire et l'instabilité sédimentaire n'ont pas fait l'objet d'études en lien avec la mulette perlière. Il n'y a donc aucun référentiel auquel se fier pour ces deux critères. Aucune valeur seuil n'est connue. Ce manque de données s'explique très certainement par la complexité de l'appréhension de ces phénomènes. C'est en particulier le cas de l'instabilité sédimentaire pour lequel l'indicateur choisi a été le paramètre de Shields. Or, d'une part, la méthode de calcul du paramètre repose sur un régime simplifié (valeurs issues d'expérimentations de laboratoire) ne répondant pas véritablement à des conditions *in natura* avec toute la complexité que cela implique. Et d'autre part, ce paramètre, bien que largement utilisé, est soumis à critique (Degoutte 2012). C'est pourquoi, aucune valeur critique (seuil de déplacement d'une particule de diamètre et de densité connu) n'a été prise en compte. Il ne s'agit que de valeurs issues de relevés de terrain, comparables les unes aux autres dans le cadre de cette étude et très difficilement extrapolables à d'autres contextes. Mais on ne peut que souhaiter que les scientifiques s'emparent de ces critères afin d'obtenir des méthodes, des référentiels et donc des comparaisons possibles.

Les résultats montrent, dans le cas présent, que le colmatage est un facteur limitant mais pas le plus important comme en atteste le niveau compatible avec la fonctionnalité de populations, y compris en partie plutôt aval dans le bassin versant étudié. L'instabilité et la disponibilité sédimentaires peuvent aussi être considérés comme des facteurs limitant et certainement plus que le colmatage. C'est pourquoi dans une optique de remédiation, il serait plus efficace de prendre en compte ces derniers critères que le seul colmatage. L'analyse des relations entre les causes du colmatage (conductivité et quantité de limons), l'instabilité sédimentaire et la disponibilité sédimentaire fait ressortir le paramètre de Shields comme un élément clef. Celui-ci conditionne pour une grande part les autres variables à l'exception de la conductivité (à l'origine du colmatage biologique) qui est indépendante des autres critères. Ce paramètre est très certainement trop élevé (principalement en lien avec les aménagements de berges), et une diminution de celui-ci entrainerait des conditions plus favorables du fait d'une meilleure stabilité des sédiments, et une plus grande accumulation. Mais le corolaire serait l'accumulation de limons par ailleurs néfastes à la mulette perlière. Cette situation d'apparence paradoxale a pourtant permis à l'espèce de perdurer jusqu'alors et même d'être très abondante. Des pistes peuvent être évoquées afin de pallier à cette situation semblant a priori inextricable (cf. partie 4).

Par ailleurs, malgré une quantification des problèmes supposés, à l'exception du colmatage, il est impossible de dire quelle sont les portions de rivières compatibles avec une population fonctionnelle. D'ailleurs, il est possible

(mais peu probable) que des tronçons soient redevenus favorables mais qu'ils soient trop distants de la population (au seuil de l'extinction) pour être recolonisés. Ce serait une situation d'hystérésis (l'inverse de la résilience).

La conductivité étant un facteur favorisant le colmatage, nous avons cherché à mieux cerner les paramètres régissant ce critère. Dans un bassin acide comme celui étudié, la conductivité est surtout en lien avec les nutriments et tout particulièrement les nitrates. Le taux de ceux-ci n'ayant pas été analysé, cette relation repose sur une hypothèse de travail qu'il serait utile de confirmer. En outre, la conductivité, qui peut varier à une échelle géographique très faible et sur des pas de temps rapides, répond à une échelle spatio-temporelle courte comparée aux problématiques soulevées comme celle du colmatage biologique. A l'inverse, les processus hydromorphologiques sont longs à se mettre en place et se font sur de grandes distances. L'échantillonnage pratiqué pour ces aspects répond à cette dimension spatio-temporelle. La présente étude repose sur un échantillonnage ponctuel de la conductivité qui peut potentiellement être influencé par un évènement récent à un endroit donné. Aussi, il serait nécessaire d'effectuer des relevés réguliers de la conductivité (en s'assurant du même coup que celle-ci est en lien avec le taux de nutriments et en particulier des nitrates) et d'effectuer la même analyse basée sur les éléments du paysage. En effet, il parait anormal que les cultures situées à une distance maximale de 50 m de part et d'autre des cours d'eau atténuent la conductivité (et donc la quantité de nutriments). Cette situation est peut-être due aux importantes précipitations qui ont eu lieu durant le printemps et qui ont entrainé la lixiviation importante et rapide des nitrates. Cet aspect reste donc à approfondir avec des données recouvrant une plus grande période. Par contre, pour ce critère, les zones urbanisées libérant continuellement des nutriments peuvent être identifiées comme adaptées à l'échelle des relevés de cette étude.

L'analyse des résultats fait ressortir un effet majeur des haies sur les variables étudiées. Certains résultats intuitifs sont confirmés. C'est le cas du rôle des haies dans la limitation du paramètre de Shields. En effet, le mécanisme est très certainement à mettre en lien avec le fait qu'elles ralentissent l'écoulement de l'eau. Cette effet tampon limite les afflux brutaux et donc limite l'incision et du même coup le paramètre de Shields. Mais les haies favorisent la disponibilité sédimentaire, la quantité de limons et dans une moindre mesure la conductivité. Pour ces derniers critères, le mécanisme reste pour l'heure inconnu. Pour la contribution des haies dans la production de limon, elle se fait de façon importante au fur et à mesure que la surface en haie augmente, mais pour autant, cette contribution reste plutôt faible : moins de 20 % (cf. annexe 2, pourcentage de variance expliquée des bandes 0 à 250 m) à l'inverse des cultures qui contribuent à plus de 20 %.

L'analyse de la contribution paysagère repose uniquement sur le type d'occupation des sols, mais sans prendre en compte les usages. En effet, le niveau de maturation des forêts, le stade de régénération, la coupe à blanc des forêts, la nature des cultures, les itinéraires techniques de celles-ci, le chargement sur les prairies, le niveau de fertilisation de celles-ci, notamment n'ont pas été intégrés dans cette présente étude. De même, le rôle des zones humides n'a pas été intégré dans l'analyse.

Nos résultats suggèrent que la ripisylve accentue localement l'encaissement (augmentation du paramètre de Shields), ce qui est probablement lié au fait que les arbres jouent le rôle d'espèce ingénieur en consolidant les berges. Cependant, il n'est pas préconisé d'éliminer ces arbres, car cela engendrerait plus d'inconvénients que d'avantages au regard des exigences de la mulette perlière, et qu'au-delà de la naïade, cela affecterait aussi d'autres espèces sensibles (Loutre, Écrevisse à pattes blanches...).

L'étude du paramètre de Shields traduit une possible incision bien que cela ne ressorte pas significativement. L'approche choisie n'a pas cherché à appréhender une éventuelle incision régressive où des atteintes en aval affecteraient l'amont. Bien que cela reste assez peu probable, il pourrait être intéressant de pousser encore les investigations pour mettre ou non en évidence l'effet de l'aval sur l'amont.

Les préconisations visent à rendre l'habitat le plus favorable en un minimum de temps, mais il est pour l'heure impossible de savoir au bout de combien de temps il pourra être de nouveau favorable. En outre, le colmatage

profond (lié aux limons) sera long à se résorber. Il se fera progressivement à la faveur de crues à la condition *sine* qua non que les sources d'émission se tarissent.

4. Préconisations de gestion

Les résultats obtenus et leur mise en perspective permettent de hiérarchiser les actions à mener pour améliorer l'habitat en faveur de la moule perlière pour ce bassin versant :

- 1- Réduire l'instabilité sédimentaire (paramètre de Shields),
- 2- Augmenter la disponibilité sédimentaire,
- 3- Diminuer l'introduction de particules fines,
- 4- Diminuer l'apport en nutriments.

Comme nous avons pu le démontrer ci-dessus, si on diminue l'instabilité sédimentaire, l'accumulation de fines sera favorisée. C'est pourquoi, plusieurs actions doivent être prises simultanément. Même si une hiérarchie est affichée, la succession dans le temps doit être la plus courte possible. L'idéal étant de tout mener de front.

En premier lieu, il est nécessaire de restituer à la rivière un espace de liberté plus large en supprimant les aménagements de berges qui empêchent la recharge en sédiments. Cela nécessite, tout d'abord, d'identifier tous ces aménagements présents dans l'aire historique de répartition de l'espèce sur le bassin versant (cf. lot 1) et plus largement. Puis, en priorité, il est nécessaire de supprimer ceux qui sont situés à proximité de la population du « Pont Canard », puis d'étendre cette action à l'aire historique de répartition de la mulette sur le bassin versant et enfin à l'ensemble des rivières du bassin versant.

Troisièmement, la surface en conifères contribue à environ 30 % de l'augmentation du paramètre de Shields sur les 200 premiers mètres de part et d'autre des rivières (pourcentage de variance exprimée, *cf* annexe 2). Une conversion de ces surfaces en feuillus limiterait cette contribution. Cependant, il faudrait une quantité très importante de surfaces converties pour arriver à un effet significatif du fait du faible coefficient directeur entre 1,32 à 1,36 à l'échelle logarithmique. Par ailleurs, il est possible que ce soit l'action même des forêts de conifères qui augmente le paramètre de Shields. Mais il est aussi possible que cela soit lié aux aménagements connexes de ces plantations tels que les fossés de drainage. Idéalement, la mise en œuvre de cette mesure serait pertinente, mais nous avons conscience des difficultés à convertir une surface importante de conifères en feuillus. C'est pourquoi, cette mesure doit plus être considérée comme optionnelle

Quatrièmement, une fois les aménagements soustraits, le débit sédimentaire devrait s'accélérer. Aussi, afin de ne pas perdre ce capital et de ruiner les efforts en réduisant la disponibilité sédimentaire, il semble essentiel de disposer des embâcles. À défaut de se constituer naturellement, il sera nécessaire de les constituer artificiellement. Cela peut se faire de différentes façons (notamment ancrés ou non). L'idéal serait qu'ils puissent être mobiles afin d'assurer une certaine instabilité relative, mais malgré tout nécessaire. La création d'embâcles est plutôt contraire aux instincts actuels en matière d'entretien des espaces. Le grand public n'y est certes pas habitué, mais ces embâcles possèdent de très nombreuses vertus :

- ils stabilisent davantage le substrat qui est globalement très instable,
- ils assurent une hétérogénéité des fossés et cours d'eau concernés, cette même hétérogénéité permet à une faune d'autant plus diversifiée et abondante de se développer,
- les embâcles possèdent une dynamique spatio-temporelle qui leur est propre augmentant ainsi l'hétérogénéité spatio-temporelle qui est nécessaire à de très nombreuses espèces, y compris la moule perlière
- ils permettent une meilleure faculté auto-épuratrice de l'eau du fait de l'épanchement amont, ce dernier permet la recréation de zones humides annexes qui sont des milieux rares et particulièrement riches sur le plan écologique,

- enfin, cela limite les pics de crue par la rétention d'eau qui permet ainsi de diminuer le phénomène d'incision généralisé.

Tous ces facteurs positifs de façon générale le sont aussi pour bon nombre d'espèces dont les mollusques et en particulier les espèces tributaires des sédiments (Vrignaud 2016).

Cependant, le code de l'environnement exige une suppression de ces embâcles (art L.215-14 : « le propriétaire riverain est tenu à un entretien régulier du cours d'eau [...] notamment par enlèvement des embâcles »). C'est pourquoi, il est suggéré d'en créer de nombreux petits plutôt que quelques gros. Par ailleurs, il est à espérer que la loi évolue dans le sens d'une meilleure prise en compte de ces aspects.

Cinquièmement, à défaut de pouvoir convertir des surfaces de prairies en forêts de feuillus, il est préconisé de limiter le chargement de toutes les prairies (quelle que soit la distance à la rivière). En effet, les surfaces pâturées affectent elles aussi la qualité des hydrosystèmes notamment par l'érosion importante qui y est présente fournissant une quantité notable de sédiments (Haygarth et al. 2006; Bilotta et al. 2007; Brazier et al. 2007; Bilotta et al. 2008). Un pis-aller consisterait à proscrire tout intrant sur les parcelles (fertilisation organique, minérale et fourrage) et l'hivernage externe des animaux (en particulier sur les sols humides) par incitation financière du type mesures agro-environnementales (a minima).

Sixièmement, la contribution des surfaces urbanisées sur la conductivité a été identifiée. Aussi, une amélioration des capacités d'assainissement est utile. Il est possible qu'elle ait déjà eu lieu et que les résultats ne se fassent pas encore ressentir à l'échelle des sédiments. Mais le fait que les prospections aient été menées après une période de crue et le constat visuel des capacités altérées d'une station d'épuration d'un village laissent à penser que des efforts d'assainissement sont encore possibles.

Tableau 9. Liste des actions hiérarchisées

Ordre de priorité	Type d'action	Sous priorité	Localisation
1	Cartographie et caractérisation précise et complète de tous les aménagements de berges	-	-
		1	Abords de la population de Pont Canard
2	Enlèvement des aménagements de berges	2	Aire historique de répartition de la mulette sur le bassin versant
		3	Ensemble des rivières du bassin versant
3 (« mesure	Conversion des conifères en feuillus sur les 200	1	Abords de la population de Pont Canard
optionnelle » <i>cf</i> . texte)	premiers mètres de part et d'autre des rivières	2	Ensemble des rivières du bassin versant
4	Création d'embâcles	-	En aval des secteurs où les aménagements ont été soustraits
	Dáda atian da abana ant da tanta da ancieira	1	En priorité en amont de la population du Pont Canard
5	Réduction du chargement de toutes les prairies (quelle que soit la distance à la rivière)	2	En amont de toutes zones où des embâcles seront créées ou naturellement présent
6	Amélioration de l'assainissement	-	Sur les 140 premiers mètres de part et d'autre des rivières

En parallèle, des études complémentaires sont à envisager afin d'optimiser les mesures préconisées :

- Suivi de la conductivité et étude de la composition de celle-ci (part de nutriments dans cette variable) et identification des sources suivant la même méthode mais avec un jeu de données couvrant une période plus longue (une année),
- Localisation des embâcles et caractérisation de celles-ci : l'étude de ces éléments clefs du fonctionnement des hydrosystèmes est délicate, c'est pourquoi, il pourrait être utile de se rapprocher de chercheurs spécialisés sur ce sujet (Hervé PIEGAY à l'ENS de Lyon).

Par ailleurs, le maintien et la libre évolution (absence de coupe et non accès au bétail) des ripisylves est nécessaire. Cela permet notamment un renouvellement des arbres et arbustes ainsi que le maintien de la strate arbustive permettant un freinage de l'écoulement de l'eau.

Concernant les haies, pour de très nombreuses raisons, il est proposé de ne pas y toucher. Un arrachage comporterait plus d'inconvénients que d'avantages.

Sont à proscrire :

- Le **drainage**. Il affecte la qualité de l'eau en diminuant le pouvoir auto-épurateur du sol et en favorisant la minéralisation de la matière organique par l'assèchement. En outre, le drainage contribue à l'apport de particules fines dans les cours d'eau de façon pernicieuse car moins visible que l'érosion de surface (Deasy et al. 2009).
- La **fréquentation des berges par les bovins**. Cet aspect présente de nombreux inconvénients repris dans le tableau 9.
- Aménagement de berges
- Plantation de conifères dans les 200 premiers mètres
- Suppression des embâcles

Tableau 9. Effet de la fréquentation des bovins sur les ripisylves (haies) (d'après Bilotta et al. 2007 ; Haygarth et al. 2006 ; Bilotta et al. 2007 ; Brazier et al. 2007 ; Bilotta et al. 2008).

	Sans la fréquentation par les bovins	Avec la fréquentation par les bovins
Nature des strates	Arborée, arbustive, herbacée, muscinale	Arborée uniquement
Nature et cohortes de la	Toutes classes d'âge dans les différentes	Arbres adultes uniquement (le recrutement est
végétation	strates	empêché par le pâturage et le piétinement)
		Compaction et diminution de la porosité sur les
Structure du sol	Sol de type forestier	zones planes, et déstabilisation sur les zones
		pentues
Tissu racinaire	Dense	Faible densité du fait du tassement et du
Tissu faciliane	Delise	piétinement
Rugosité	Importante du fait des différentes strates	Faible (seule la strate arborée influe)
Stabilité des berges	Cohésion de surface et en profondeur (tissu racinaire)	Berges plus friables, érosives
Ruissellement lié à des	Faible (pouvoir tampon de la végétation	Elevé (interception des gouttes que par la
précipitations	et la matière organique du sol)	végétation arborée, sols compacts, sans strate
precipitations	et la matiere organique du soi)	herbacée)
		Apport conséquent de nutriments par les
Qualité de l'eau	Effet tampon et épurateur des ripisylves	écoulements de la ripisylve et déjections dans la
		rivière et/ ou les berges

Contexte du site Natura 2000 :

Les notices concernant des mesures agro-environnementales en cours de validation (RA_ROA2_ZH02 - Gestion globale des zones humides et RA_ROA_ZH03 - Gestion globale des zones humides avec absence d'intervention en période hivernale) intègrent des mesures compatibles avec les préconisations de gestion développées précédemment. La diminution du chargement et la préconisation de pratique limitant l'apport de fines est bénéfique. La mesure RA_ROA_ZH03 est encore plus intéressante car limitant le piétinement à une période clef. Cette mesure, même si elle correspond à un objectif classé en 4ème position est la première du classement qui concerne des surfaces agricoles. Ce choix semble donc pertinent.

5. Perspectives de recherche

A l'échelle du site, plusieurs perspectives de recherche et d'étude sont à envisager :

- Intégration des aspects qualitatifs des facteurs paysagers. Dans notre étude, seul l'effet des surfaces des variables paysagères (occupation du sol) a été étudié. Or les aspects qualitatifs n'ont pas été pris en compte dans l'analyse (cf. discussion). Aussi, des études sur le terrain et à partir de la bibliographie apporteraient une plus-value dans la compréhension des mécanismes.
- Suivi des impacts des mesures prises. Des mesures de gestion étant mises en œuvre au sein du site Natura 2000, il serait utile de mesurer leur effet. En effet, des erreurs d'interprétation peuvent être possibles et les effets peuvent être différents de ceux escomptés. Enfin, l'évaluation des politiques publiques est logiquement nécessaire pour s'assurer de la bonne affectation des fonds et de l'efficacité des stratégies. Ainsi, une analyse fine et complète est nécessaire pour s'assurer que les mesures prises sont pertinentes au regard des objectifs fixés.

Conclusion - résumé

La régression de la mulette perlière est ancienne sur le site d'étude. Elle est liée à la fois à des perturbations ponctuelles pouvant entrainer une mortalité brutale et à des atteintes lentes à l'habitat entrainant une régression continue de l'espèce. L'approche choisie vise à comprendre les causes de cette régression lente et inexorable. Elle a été faite à partir de 40 points d'échantillonnage répartis sur l'ensemble du bassin versant (tous les 2 km et à partir de l'amont des confluences). Notre hypothèse de départ était que la qualité sédimentaire est essentielle pour l'accomplissement du cycle de la mulette. Ainsi, des variables susceptibles d'affecter le recrutement ont été relevées : colmatage (par le potentiel redox à 2, 4 et 8 cm), la disponibilité sédimentaire (par la profondeur

maximale où la sonde redox pouvait s'enfoncer) et l'instabilité sédimentaire (par le paramètre de Shields déterminant à partir de quelles conditions une particule élémentaire est emportée par le courant).

Il ressort que le colmatage est à la fois régi par la conductivité (traduisant un colmatage biologique) et le pourcentage de surface recouverte par des limons (indiquant un colmatage physique). La poursuite de l'étude vise donc à comprendre les facteurs influençant les variables composant le colmatage.

Du fait de l'absence de données publiées, il n'est pas possible de comparer le paramètre de Shields ainsi que la disponibilité sédimentaire à un niveau d'exigence de populations fonctionnelles de mulette perlière. Par contre, le colmatage est bien documenté et permet de mieux appréhender ce critère. Il ressort que le colmatage classiquement mis en avant ne semble pas être dans le cas précis le facteur principal de régression de l'espèce, confirmant le besoin d'étude plus globale des sédiments.

La recherche des facteurs régissant les indicateurs de la qualité du substrat choisis (la quantité de limons, la conductivité, le paramètre de Shields et la profondeur maximale des sédiments) a été faite à différentes échelles : au niveau du point de prélèvement (par la ripisylve), au niveau du tronçon de rivière (par les aménagements de berges à 2 km en amont et la présence de seuils), au niveau du paysage (par l'occupation du sol sur des bandes tampons échelonnées de 0 à 250 m de part et d'autre des rivières).

Il ressort que le développement de la ripisylve ainsi que les aménagements de berges favorisent le paramètre de Shields. Au niveau paysager, les haies possèdent un effet majeur sans que les mécanismes soient expliqués notamment en ce qui concerne leur contribution à la conductivité. Les surfaces urbanisées augmentent elles aussi la conductivité (à la distance comprise entre 20 et 100 m). Les résineux favorisent l'instabilité sédimentaire quelle que soit la distance à la rivière. Les cultures contribuent à l'introduction de limons dans la rivière.

L'analyse des interactions entre les quatre variables étudiées fait ressortir le rôle majeur du paramètre de Shields. L'augmentation de ce facteur affecte l'habitat de la mulette, mais diminue le colmatage. Aussi, ce paradoxe apparent est difficile à résoudre pour comprendre comment l'espèce a pu proliférer par le passé.

Au regard des résultats et de leur analyse, il est proposé une hiérarchisation des actions comme suit, même si audelà de la hiérarchisation, une simultanéité des actions est préférable :

- 1. Enlèvement des aménagements de bordure de cours d'eau,
- 2. Conversion des plantations de conifères en feuillus (quelle que soit la distance à la rivière),
- 3. Création d'embâcles,
- 4. Réduction du chargement de toutes les prairies,
- 5. Amélioration de l'assainissement.

Des études complémentaires sont proposées. Elles visent à améliorer l'approche, mais surtout, à évaluer la pertinence des actions mises en œuvre.

Références bibliographiques

- Angelier E., 2009. Ecologie des eaux courantes. 199 pages. Tec & Doc. Paris
- Archambaud G., Giordano L., & Dumont B., 2005 : Description du substrat minéral et du colmatage. Note technique. Cemagref Aix-en-Provence, UR Hydrobiologie.
- Baudoin J.-M., Boutet-Berry L., Cagnant M., Kreutzenberger K., Lamand F., Malavoi J.-R., Marmonier P., Pénil C., Rivière C., Sadot M., Tual M., 2015. CARHYCE: CARactérisation Hydromorphologique des Cours d'Eau Protocole de recueil de données hydromorphologiques à l'échelle de la station sur des cours d'eau prospectables à pied. Version 3.0. 54 p.
- Bauer G., 1987. Reproductive strategy of fresh water pearl mussel. Journal of Animal Ecology, 56: 691-704.
- Bensettiti F. & Gaudillat V., 2006. Cahiers d'Habitats tome 7 : Espèces animales. Paris, 352 pp.
- Bilotta G. S., Brazier R. E. & Haygarth P. M., 2007. The impacts of grazing animals on the quality of soils, vegetation, and surface waters in intensively managed grasslands. *Advances in Agronomy*, 94: 237-280.
- Bilotta G. S., Brazier R. E., Haygarth P. M., Macleod C. J. A., Butler P., Granger S., Krueger T., Freer J., & Quinton J., 2008. Rethinking the contribution of drained and undrained grasslands to sediment-related water quality problems. *Journal of Environmental Quality*, 37 (3): 906-914.
- Bouchet P., 1990. La malacofaune française : endémisme, patrimoine naturel et protection. *Revue d'écologie (La Terre et la Vie)*, 45 : 259-288.
- Boulton A.J., Findlay S., Marmonier P., Stanley E.H., & Valett H.M., 1998. The functional significance of the hyporheic zone in streams and river. *Annual review of Ecology and systematics*. 29: 59-81
- Bouwer H., 2002. Artificial recharge of groundwater: hydrogeology and engineering. *Hydrogeology Journal* 10: 121-142.
- Brazier R. E., Bilotta G. S. & Haygarth P. M., 2007. A perspective on the role of lowland, agricultural grasslands in contributing to erosion and water quality problems in the UK. *Earth Surface Processes and Landforms*, 32 (6): 964-967.
- Burnham K. P. & Anderson D. R., 2002. Model selection and multimodel inference: a pratical information-theoretic approach. Springer-Verlag.
- Brunke M., 1999. Colmation and depth filtration within streambeds: retention of particles in hyporheic interstices. Internat. Rev. Hydrobiol. 84 (2): 99-117.
- Buddensiek V., 1995. The culture of juveniles freshwater pearl mussels *Margaritifera margaritifera* L. in cages: a contribution to conservation programmes and the knowledge of habitat requirement. *Biological Conservation* 74: 33-40.
- Cochet G., 2004. La moule perlière et les nayades de France histoire d'une sauvegarde. Catiche production. 32 p. Nohanent.
- CESAME & IRIS Conseil, 2009. Etude des populations d'Ecrevisses à pieds blancs et de Moule perlière. Rapport pour le Syndicat Mixte des Monts de la Madeleine. 108 pages + annexes.
- Datry T. & Descloux S., 2010. Mesure du colmatage interstitiel : test d'applicabilité de la méthode de conductivité hydraulique.
- Deasy C., Brazier R. E., Heathwaite A. L. & Hodgkinson R., 2009. Pathways of runoff and sediment transfer in small agricultural catchments. *Hydrological Processes*, 23 (9): 1349-1358.
- Degoutte G., 2012. Diagnostic, aménagement et gestion des rivières. Hydraulique et morphologie fluviales appliquées. 2^{ème} édition. *Tec et Doc.* Lavoisier. Paris.
- Descloux S., Datry T. & Marmonnier P., 2013. Benthic and hyporheic invertebrate assemblages along a gradient of increasing streambed colmation by fine sediment. *Aquatic Sciences* 75: 493-507.
- Gartner J. D., Renshaw C. E., Dade W. B. & Magilligan F. J., 2012. Time and depth scales of fine sediment delivery into gravel stream beds: Constraints from fallout radionuclides on fine sediments residence time and delivery. *Geomorphology* 151-152: 39-49.

- Gayraud, S. Herouin, E. Philippe, M., 2002. The clogging of stream beds: a review of mechanisms and consequences on habitats and macroinvertebrate communities. *Bulletin français de la pêche et de la pisciculture*. 365-366: 339-355
- Gitting, T., D. O'Keefe, F. Gallagher, J. Finn & O'Mahony T., 1998. Longitudinal variation in abundance of a freshwater pearl mussel *Margaritifera margaritifera* population in relation to riverine habitats. *Biology and Environment: Proceedings of the Royal Irish Academy* 98B (3): 171-178.
- Geist, J., M. Porkka & Kuehn R., 2006. The status of host fish populations and fish species richness in European freshwater pearl mussel (*Margaritifera margaritifera*) streams. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 16: 251-266.
- Geist, J. & Auerswald K., 2007. Physicochemical stream bed characteristics and recruitment of the freshwater pearl mussel (*Margaritifera margaritifera*). *Freshwater Biology* 52: 2299-2316.
- Hastie, L. C., M. R. Young, P. J. Boon, P. J. Cosgrove & Henniger B., 2000. Sizes, densities and age structures of Scottish *Margaritifera margaritifera* (L.) populations. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 10: 229-247.
- Hastie, L. C., Cooksley S. L., Scougall F., Young M. R., Boon P. J. & Gaywood M. J., 2004. Applications of extensive survey techniques to describe freshwater Pearl Mussel distribution and macrohabitat in the river Sprey, Scotland. *River Res. Applic.* 20: 1001-1013.
- Haygarth P. M., Bilotta G. S., Bol R., Brazier R. E., Butler P. J., Freer J., Gimbert P. J., Granger S. J., Krueger T., Macleod C. J. A., Naden P., Old G., Quinton J. N., Smith B. & Worsfold P., 2006. Processes affecting transfer of sediment and colloids, with associated phosphorus, from intensively farmed grasslands: an overview of key issues. *Hydrological Processes*, 20: 4407-4413.
- Malavoi J.-R. & Souchon Y., 2002. Description standardisée des principaux faciès d'écoulement observables en rivière : clé de détermination qualitative et mesures physiques. *Bulletin français de la pêche et de la pisciculture*, 365-366: 357-372
- Mathers K.L., Millett J., Robertson A.L., Stubbington R. &. Wood P.J., 2014. Faunal response to benthic and hyporheic sedimentation varies with direction of vertical hydrological exchange. *Freshwater Biology* 59: 2278-2289.
- Mürle U., Ortlepp J. & Zahner M., 2003. Effects of experimental flooding on riverine morphology, structure and riparian vegetation: The River Spöl, Swiss National Park. *Aquatic Sciences* 65: 191-198.
- Pella H., Chandresis A. & Wasson J.-G., 2004. Constitution d'un système d'information à référence spatiale dans le contexte de la Directive cadre européenne sur l'eau. *Ingénieries*, 40: 11-20.
- R Core Team 2013. R: a language and environment for statistical computing. R foundation for statistical computing, Vienna, Austria.
- Schälchli U., 1992. The clogging of coarse gravel rivers beds by fine sediment. Hydrobiologia 235-236: 189-197.
- Schöne, B-R., Dunca E., Mutvei H., Norlud U., 2004. A 217-year record of summer air temperature reconstructed from freshwater pearl mussels (*M. margaritifera*, Sweden). *Quaternary Science Reviews*, 23 (18-19): 1803-1816.
- Vrignaud S., 2016. Les espèces face à l'instabilité des hydrosystèmes fluviaux : le cas de la mulette épaisse *Unio crassus* Philipsson, 1788 (Mollusca : Bivalvia : Unionida). Mémoire de diplôme de l'Ecole Pratique des Hautes Etudes, 134 pages + annexes.
- Wahlström K., 2006. Sediment Requirements for Freshwater Pearl Mussel (*Margaritifera margaritifera*) Recruitment. Biology. Karlstad, Karlstads universitet: 17 pp.
- Wasson J.-B., Villeneuve B., Iital A., Murray-Bligh J., Dobiasova M., Bacikova S., Timm H., Pella H., Mengin N., Chandesris A., 2010. Large scale relationships between basin and riparian land cover and the ecological status of European rivers. *Freshwater Biology*, 55: 1465-1482.
- Young, M., & Williams J., 1984. The reproductive biology of freshwater pearl mussel: *Margaritifera margaritifera* (Linn) in Scotland I. Field studies. *Archive für hydrobiologie*, 99: 405-422.

Annexes

Annexe 1. Données brutes (photographies et relevés des stations)



										L	ong.		Long	Dur	Dur	Dur	Vit			Moy	Moy	Moy			Ripi	Rini	Ripi Faciès											Substra	it	
Station Rivière	Date	Heure Ob	os Lo	ongitude	Latitude	LPB	H1	H2 H	3 H4		mes ente	Pente	mes cour	1	2	3	max	Cond	Temp	redox 2cm	redox 4cm	redox 8cm	Pmax	colmat	RG	RD	CLE	FOD N	10U F	DA CL	PLL	PLC	RAD F	RAP C	AS CHU	Lim	Sab	Grav	Gal	Roch
1 Aix	29/07/2016	15:25 HL	/CM	3.865851	45.89144	1155	57	57 6	4 64	66	145	0.3	19.3	33.1	42.7	36.4	0.58	70	17	521	502	524	13	2	CONT	CONT	0	0	0	0 0	30	20	50	0	0 0	0	20	20	50	10
2 Boen	29/07/2016	16:30 HL	/CM	3.851601	45.901754	950	69	78 7			100	1.6	11.6	16.4	16.7	18	0.71	80	17	540	534	NA	7	2	CONT	CONT	0	0	10	0 0	0	40	50	0	0 0	0	15	15	30	40
3 Boen	28/07/2016	17:20 HL	/CM	3.835984	45.912067	820	57	58 4	9 48	49	105	1.4	10.5	45.6	55.6	49	0.23	60	16	557	523	497	21	4	ISO	SEMC	0	0	0	0 0	90	0	9	0	1 0	10	15	15	60	0
4 Boen	26/07/2016	18:00 HL		3.822428	45.923629	450	41	38 7	0 67	57	110	1.5	5.4	23.4	24.8	25.3	0.23	90	18	539	529	NA	6	3	SEMC	CONT	0	10	0	0 0	40	0	20	30	0 0	0	15	15	30	40
5 Boen	26/07/2016	15:40 HL		3.808425	45.935659	470	66	83 8	6 81	75	150	0.9	7	25.6	27.9	23.6	0.30	70	19	525	501	404	22	3	SEMC	ISO	0	0	0	0 0	0	70	30	0	0 0	10	9	20	60	1
6 Boen	26/07/2016	12:30 HL		3.837549	45.962561	280	51	56 5	8 72	69	130	1.9	5.8	21	15	22	0.39	60	15	579	563	528	15	3	SEMC	SEMC	0	0	10	0 0	0	30	60	0	0 0	5	20	10	60	5
7 Boen	26/07/2016	11:30 HL		3.784202	45.960724	450	53	63 7	0 62	55	135	2.6	7.2	19.6	21.8	21.7	0.37	40	13	598	583	515	13	3	CONT	SEMC	0	10	0	0 0	0	40	30	20	0 0	5	10	15	40	30
8 Boen	26/07/2016	10:15 HL		3.794582	45.974615	364	16	82 8			80	4.5	6	11.7	11.3	12.3	0.53	30	11	611	605	NA	6	1	CONT	CONT	0	0	0	0 0	0	0	0 :	100	0 0	0	10	10	20	60
9 Boen	20/07/2016	9:50 HL	/SV	3.810105	45.985212	560	70	67 6	6 64	60	75	4.8	2.3	4	NA	NA	0.58	30	11	524	500	502	12	1	CONT	CONT	0	28	0	0 0	0	0	0	70	1 1	2	4	4	10	80
10 Font d'Aix	29/07/2016	14:35 HL	/CM	3.852429	45.895647	550	78	73 6	5 53	45	160	1.3	8.5	27.1	27.2	25.4	0.33	80	17	510	490	429	11	4	SEMC	ISO	0	0	2	0 0	60	0	33	5	0 0	30	5	5	50	10
11 Font d'Aix	29/07/2016	13:50 HL	/CM	3.833584	45.892081	246	43	56 6	58	50	120	0.6	8.7	16.9	18.3	19	0.51	70	18	515	507	471	50	4	SEMC	ABS	0	0	10	0 0	20	30	40	0	0 0	20	30	40	10	0
12 Font d'Aix	29/07/2016	12:20 HL	/CM	3.812606	45.891335	230	47	50 5	5 61	44	160	0.7	11.3	47.2	45	45.5	0.25	60	16	534	513	425	30	4	SEMC	BOS	0	0	0	0 0	80	0	20	0	0 0	60	10	25	5	0
13 Font d'Aix	29/07/2016	10:35 HL	/CM	3.796479	45.903763	285	23	33 3	8 30	23	100	2.0	7.7	23.7	17.6	26	0.44	50	16	542	499	448	10	2	CONT	CONT	0	0	2	0 0	0	8	70	20	0 0	5	10	10	45	30
14 Font d'Aix	29/07/2016	9:30 HL	/CM	3.778072	45.896745	220	45	46 5	4 52	46	120	2.5	9.5	49	55.2	48.1	0.20	25	13	576	569	533	18	3	SEMC	SEMC	0	0	10 1	.0 0	0	20	60	0	0 0	15	35	30	15	5
15 Font d'Aix	20/07/2016	16:00 HL	/SV	3.761095	45.907349	200	48	57 5	5 45	40	100	8.7	4	8	9	11	0.50	20	15	597	599	NA	6	1	CONT	CONT	0	0	0	0 0	0	0	0 :	100	0 0	0	15	10	25	50
16 Noyer	26/07/2016	16:45 HL		3.823681	45.919526	480	22	34 4	0 42	44	120	1.5	6	18.4	16.2	19.7	0.37	40	17	577	558	551	12	2	CONT	CONT	0	0	0	0 0	0	40	60	0	0 0	5	40	10	39	6
17 Noyer	26/07/2016	19:00 HL		3.80929	45.91011	500	50	51 5	3 59	55	130	0.8	5	9.5	9.6	9.4	0.53	30	17	571	540	NA	6	2	SEMC	ISO	0	0	20	0 0	20	30	30	0	0 0	20	20	40	20	0
18 Noyer	02/08/2016	11:25 HL	/LD	3.790153	45.91875	368	19	27 4	3 54	52	150	0.9	8	29	29	32	0.28	30	12	600	594	557	12	4	CONT	CONT	0	0	10	0 0	25	45	20	0	0 0	20	30	28	20	2
19 Noyer	02/08/2016	9:27 HL	/LD	3.774682	45.930759	330	28	36 3			140	2.4	8.9	16	16	17	0.56	20	11	628	612	NA	6	2	CONT	CONT	0	5	5	0 0	0	0	70	20	0 0	0	5	15	60	20
20 Ban	28/07/2016	16:30 HL	/CM	3.840243	45.910621	600	68	86 7	1 76	68	110	1.4	9	21.4	21.8	20	0.45	70	16	569	551	NA	7	3	SEMC	CONT	0	0	0	0 0	0	20	80	0	0 0	5	10	15	50	20
21 Ban	18/08/2016	18:39 HL	/CM	3.846133	45.926475	460	31	32 4	8 62	42	140	4.0	9.1	43.1	27	26.5	0.34	NA	16	577	561	541	10	3	SEMC	CONT	0	0	2	0 0	0	40	10	48	0 0	5	15	15	30	35
22 Ban	02/08/2016	14:54 HL	/LD	3.854127	45.938779	280	43	63 5	9 65	24	100	2.7	7.3	21	22	23	0.35	40	14	541	531	470	10	2	CONT	ISO	0	0	0 2	0 0	0	30	30	20	0 0	0	10	10	30	50
23 Ban	02/08/2016	13:00 HL	/LD	3.850665	45.954456	220	21	37 3	8 30	24	100	5.5	3.5	8	9	10	0.44	60	12	556	550	549	10	2	CONT	CONT	0	10	0	0 0	0	0	0	88	2 0	15	5	0	0	80
24 Ban	20/07/2016	12:00 HL	/SV	3.837549	45.962561	260	65	66 7	2 69	62	90	2.0	6.7	29	25	26	0.27	20	13	569	541	519	12	2	SEMC	CONT	0	0	2	0 0	0	80	18	0	0 0	7	18	20	50	5
40 Ban	02/08/2016	14:20 HL	/LD	3.856107	45.949139	410	22	36 4	1 36	34	140	6.0	4.1	10	14	15	0.41	70	14	551	548	NA	6	2	SEMC	CONT	0	20	0	0 0	0	20	10	50	0 0	0	0	10	10	80
25 Machabré	28/07/2016	18:48 HL	/CM	3.844263	45.892013	365	43	45 4	5 32	42	120	3.0	4.4	16.7	16.4	19.4	0.27	160	16	541	530	507	12	3	CONT	CONT	0	20	0	0 0	10	0	70	0	0 0	0	0	10	30	60
26 Machabré	02/08/2016	8:18 HL	/LD	3.840208	45.877207	255	44	41 4	3 48	49	90	2.1	4.2	38	51	36	0.12	150	11	537	527	473	22	4	ISO	SEMC	0	10	10 1	.0 0	0	25	45	0	0 0	20	14	14	50	2
27 Machabré	29/07/2016	17:40 HL	/CM	3.819335	45.873403	100	29	31 3	1 29	22	130	1.7	5.8	44.9	44.2	48.3	0.13	60	19	502	459	368	70	5	ISO	SEMC	0	10	0	0 0	20	20	50	0	0 0	60	10	30	0	0
28 Rennerie	26/07/2016	14:10 HL		3.797938	45.943601	205	41	48 3	8 34	32	100	1.6	5.4	34	37	46	0.16	90	19	538	505	NA	6	2	ABS	ABS	0	0	0	0 0	20	0	80	0	0 0	20	20	20	40	0
29 Rennerie	20/07/2016	14:15 HL	/SV	3.773805	45.946527	170	33	30 2	4 21	9	110	1.5	5	42	45	45	0.12	50	17	551	549	538	10	3	ISO	SEMC	0	0	0	5 0	50	30	15	0	0 0	10	20	70	0	0
30 Aff_Font d'Aix	29/07/2016	11:25 HL	/CM	3.809158	45.895433	174	13	16 1	9 23	17	170	1.9	5.3	17.9	18	18.2	0.30	50	14	558	539	482	70	5	SEMC	BOS	0	10	0	0 0	0	28	60	0	2 0	10	30	60	0	0
31 Aff_Font d'Aix	29/07/2016	8:50 HL	/CM	3.790427	45.890012	130	32	40 4	8 53	54	120	6.2	3.9	7.6	7.3	10	0.53	40	13	592	588	NA	8	1	SEMC	SEMC	0	0	0	0 0	0	0	0 :	100	0 0	0	25	25	40	10
32 Goutte Millan	02/08/2016	9:58 HL	/LD	3.778057	45.929999	380	17	19 2	3 26	29	110	2.9	7.4	14	16	19	0.53	20	12	649	644	647	11	3	CONT	CONT	0	0	1	0 0	0	19	80	0	0 0	0	9	30	60	1
37 Aff_Boen	20/07/2016	15:20 HL	/SV	3.792119	45.953928	280	52	43 4			70	2.8	5.6	24	17	20	0.33	60	17	539	529	509	11	3	BOS	CONT	0	0	0	0 0	0	20	80	0	0 0	5	30	12	50	3
38 Barjon	26/07/2016	15:00 HL		3.808091	45.936174	145	31	38 3	4 32	29	100	2.7	2.2	9	8.3	8.6	0.27	80	20	526	501	NA	12	3	ABS	ISO	0	0	0	0 0	10	10	80	0	0 0	0	30	30	35	5
41 Cane	02/08/2016	12:30 HL	/LD	3.850809	45.953971	490	34	22 3	1 14	43	110	6.5	7.8	56	44	49	0.18	40	12	558	529	438	11	3	CONT	CONT	0	5	5	0 0	0	50	20	20	0 0	10	10	10	10	60

Annexe 2. Résultats des modèles statistiques (occupation du sol et pente). Les modèles retenus sont surlignés en vert

À l'échelle du bassin versant

Contribution à la conductivité

Quantité de limons

Paramètre de Shields

Profondeur de sédiments

Contribution à la conductivité

Martine Mart						Distance					
Mathematic Mat	200-250					*****					
Martine Mart Martine									,,,,,		Bonto may
Mathematic Mat	0.07 0.06 7.46	02.00 0.00									
Part	-0.08 0.04 20.9										
Charles	0.07 0.05		0.05	0.09	0.09 0.06	0.07 0.06	0.06 0.06			0.07 0.05	+ distance
Septem No. Sep			3.65 0.13						0.65 66.04 4	66.00 7.19 -3.33 9.20 0.0	Culture
Septimen Sep		63.71 0.83							31.05 63.29 1	1 59.96	Culture
	-0.09 0.04				-0.03 0.05	-0.02 0.04	-0.07 0.04	-0.08 0.04		-0.14 0.05	
Fine Primer Marche March	3.44 -1.11 3.55 7.94 0.07 0.06	66.32 3.44						*****	7.59 66.42 4		
Figure 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1.		64.49 1.61							36.02 64.01 2		
Part	-0.08 0.05	04.49 1.01							30.02 04.01 2		
Mathematic Math M	0.06 0.06										
Part Surfisher Part		62.88 0.00					63.39 0.00 -0.06 0.04 11.76		28.34 61.71 0		
Septimene 1	0.07 0.06 7.46	64.43	0.06 7.46	64.43 0.07	64.43 0.07 0.06 7.46	64.43 0.07 0.06 7.46	64.43 0.07 0.06 7.46	64.43 0.07 0.06 7.46	7.46 64.43	64.43 0.07 0.06 7.4	distance
Confiner Solid 73 0.00 73 0.00 73 0.00 73 0.00 73 0.00 73 0.00	-0.08 0.04 20.9	62.95	0.04 24.36	62.00 -0.09	64.97 -0.05 0.04 13.43	66.28 -0.02 0.04 8.12	63.94 -0.06 0.04 17.38	64.24 -0.08 0.04 23.52	34.52 64.24	58.82 -0.13 0.05 34.	Pente max
Charles well as the proper wella	0.07 0.05										
Perfer max 197 198 108 109	0.00	0.102									
Osification 1	15.1	64.53					65 33 12 00	63.46	31.77 63.46	59 73 31	
Figure F	0.01	60.81 0.00	0.00	0.00	0.00	0.02 0.00	0.01	0.00	10.07 65.37 3	0.00	
Center ms. 4 10 10 0 71 10 0 71 10 0 74 1 0 74 1 0 74 1 0 74 0 74	0.00 -2.43 1.03 28.3	50.01 0.00							20.07 03.37 3.		
Pert Pert Name Per	0.00	62.20 1.39	0.00	0.120		0.20 0.01	0.00	VIII VIII	34.87 64.17 2	0.00	
Parternax 988 00 031 032 032 032 032 032 032 032 032 032 032 032 033 034 0	-0.04 0.05										
Harten H	0.12 0.06		0.07	0.14	0.00		0.10 0.08	****		0.06 0.06	+ distance
Fig. 1 Part Part Part Part Part Part Part Part											Pente max
Fermitter (1964)	0.07 0.06 7.46	0.11.0				0.000 0.000 0.000		T.1.0 T.0.0		0.000	
Feelliss 652 639 1.22 632 532 543 545 635 1.23 632 532 543 545 545 545 545 545 545 545 545 545	-0.08 0.04 20.9	62.95							34.52 64.24		
Feelly Meley	0.07 0.05 3.23 -0.28 1.77 0.12	66.11 2.22							2.27 (5.26.2		
Pertent wax Septem wax Se	1 21 1 40 1 00	1 21	1 02	2 50 1 20	2 11 0 20 2 20	2.40 0.07 2.42	1 20 1 97 2 55	1.04 0.47 2.02	1	1 02 0 00 1 00	
Feynitive 1. Subject 1	-0.10 0.05	64.19		64.59	67.54		64.78	63.65	28.89 63.65	60.64	
Ferrillival Regullival		66.13 3.25							10.25 65.26 3		
+	0.08 0.06										
Mathematic	1.87 0.80 1.98 21.7	64.75 1.87	1.91 24.74	63.89 1.89 0.57	66.96 2.53 -0.17 2.15 13.45	67.61 3.18 -1.82 2.45 10.84	65.70 2.31 1.18 2.66 18.27	64.24 2.53 0.12 2.04 23.54	34.83 64.24 2	60.72 1.91 0.44 1.53 34.	Feuillus
Petternax S481	-0.09 0.05							0.00			
Hales SAZ W. W. W. W. W. W. W. W	0.06 0.06		0.00	0.00		0.00	0.00	0.00		0.00	
Petternax Sala Sa	0.00 -0.08 0.04 13.7 0.07 0.06 7.46										
Haise	-0.08 0.04 20.9										
Halse 65.2 7.29 1.06 1.05 1.45 67.2 1.05 1	0.07 0.05	02.53	0.0.						34.32 04.24	00.00 0.00 0.00	
Helmer May 1963 1970 1970 1970 1970 1970 1970 1970 1970		65.53 3.59							1.45 65.29 4		
+ pente max	2.65 4.91 9.70 14.9	2.65	11.29	1.73 -12.45	67.56 5.76 0.13 12.60 3.50	67.25 2.82 -8.00 9.81 3.05	61 03 0.00 -11.34 6.30 34.64	61 14 0.00 -8.01 5.22 27 24	25 20 61 14 0	ES ES 0.00 -2.41 1.68 SE	Haies
Haise	-0.08 0.05	04.39	0.05	-0.10	-0.03 0.06	-0.02 0.04 3.33	-0.08 0.04	-0.09 0.04 27.24	33.35 01.14	-0.15 0.05	+ pente max
False Fals		62.59 0.65							7.47 66.43 5		
+ Pente max	0.14 0.07										
Final Print Prin		61.94 0.00							37.57 63.13 1		
Pente max S881 O.O. O.	-0.06 0.04 0.13 0.06										
First max Sas		62.88 0.00							28 34 61 71 0		
Pente max	0.07 0.06 7.46										
Prairies 6.503 6.22 1.43 1.41 4.93 6.95 3.24 1.11 1.06 5.27 5.25 1.21 18.23 5.38 1.99 0.10 1.38 1	-0.08 0.04 20.9	62.95									
Prairies Continue	0.07 0.05		0.05	0.09	0.09 0.06	0.07 0.06	0.06 0.06	0.06 0.05		0.07 0.05	+ distance
+pente max 60.65 -0.14 0.06 28.86 63.71 -0.08 0.05 18.23 65.38 -0.07 0.05 11.78 67.71 -0.08 0.05 11.78 67.71 -0.08 0.05 11.78 67.71 -0.08 0.05 11.78 67.71 -0.08 0.05 -0.09 0.06 13.09 64.50 -0.09 0.06 -0.09 -0.06 -0.09 -0.06 -0.09 -0.06 -0.09 -0.06 -0.09 -0.06 -0.09 -0.06 -0.09 -0.06 -0.09 -0.06 -0.09 -0.06 -0.09 -0.06 -0.09 -0.06 -0.09 -0.06 -0.09 -0.06 -0.09 -0.06 -0.09 -0.08 -0.09 -0.08 -0.08 -0.08 -0.09 -0.08 -0.08 -0.09 -0.08 -0.08 -0.09 -0.08 -0.09 -0.08 -0.09 -0.08 -0.09 -0.09 -0.08 -0.09 -0.08 -0.09 -0.09 -0.08 -0.09 -0								0			
+pente max -0.14 0.06 -0.08 0.05 -0.07 -0.05 -0.07 -0.05 -0.0		64.56							28.86 63.71		
+ distance Frairies Frairies	-0.06 0.06		0.06	-0.09	-0.04 0.07	0.01 0.06	-0.07 0.05	-0.08 0.05		-0.14 0.06	
Pairies 6.08 1.99 0.21 1.57 34.58 6.39 1.20 0.69 1.33 24.66 6.29 1.90 1.23 1.68 1.97 64.67 0.27 3.28 1.83 22.00 66.85 2.42 0.47 1.54 1.87 63.60 1.60 0.84 1.46 25.73 62.56 1.93 +pente max 4 0.07 0.06 0.05 0.05 0.09 0.07 0.05 0.09 0.09 0.05 0.09 0.09 0.05 0.09 0.05 0.09 0.09	0.00 2.51 1.05 28.9 0.12 0.06	60.63 0.00							17.61 63.64 1		
+ pente max	0.00	62 56 1 02	0.00			0.22	0.00	1.00	34 58 63 01 7	0.00	
Herefress (a) (a) (b) (b) (b) (c) (c) (c) (c) (c) (c) (c) (c) (c) (c	-0.01 0.06	02.30 1.33							5-4.50 05.51 2		
Fente max	0.12 0.06										
Pente max 58.82 -0.13 0.05 34.52 64.24 -0.08 0.04 23.52 63.94 -0.06 0.0	0.00 -0.08 0.04 13.7	62.88 0.00	0.05 12.91	63.10 1.10 -0.08	65.56 1.13 -0.03 0.04 2.59	66.01 1.58 -0.01 0.04 0.58	63.39 0.00 -0.06 0.04 11.76	61.71 0.00 -0.08 0.04 18.22	28.34 61.71 0	58.81 0.00 -0.13 0.05 28.	
Horistance Hor	0.07 0.06 7.46	0.11.0			T	0.000 0.000 0.000		T.1.0 T.0.0		0.000	
$ \begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	-0.08 0.04 20.9	62.95							34.52 64.24		
$ \begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	0.07 0.05								\vdash		
+pente max											
Infras 65.75 6.94 5.51 7.13 10.28 66.28 4.57 2.55 6.92 8.12 65.75 6.92 8.12 65.82 2.43 3.71 5.08 9.99 5.73 0.00 11.06 4.25 31.78 60.51 0.00 7.83 3.23 23.0 63.36 1.36 6.19 3.67 19.54 65.29 2.41 4 distance 16.17 10.17	13.8	64.86	13.17	65.03	65.//	65.95	65.37	63.15	28.57 63.15	60.74	
+ distance 0.09 0.06 0.07 0.06 0.07 0.0	-0.08 0.05 2.41 4.29 4.25 12.1	65.70 2.41							10 28 66 20 4		
Infras 60.77 1.96 1.36 6.46 34.68 64.19 2.48 -1.26 6.51 23.88 6.62 2.23 2.75 5.03 1.85 61.53 1.80 11.64 4.58 32.39 62.25 1.74 7.27 3.51 30.14 62.45 0.45 4.26 3.73 29.49 64.69 1.81 + pente max -0.03 0.05 -0.08 0.04 -0.06 0.04 -0.02	0.10 0.06	03.25 2.41							10.20 00.28 4		
+ pente max -0.13 0.05 -0.08 0.04 -0.06 0.04 0.02 0.04 -0.02 0.04 -0.07 0.05		64.69 1.81							34.68 64.19 2		
	-0.07 0.05								2 1.00 04.13 2		
+ distance 0.07 0.05 0.06 0.06 0.08 0.07 0.15 0.06 0.13 0.06 0.12 0.06	0.08 0.06		0.06	0.12	0.13 0.06	0.15 0.06	0.08 0.07	0.06 0.06			

Quantité de limons

																	Distan	ce															
Temper were were were were were were were w			0	-10				10	0-20			2	0-50								1	00-140				14	10-200				20	0-250	
Significant in 124																																	JL D 70
Series Lee 1. 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1			0.00					0.00				0.00									0.00					0.00					0.00		
Significant will have been properly and prop			4.60					5 66				6 20									4.02					4 20					1 50		
	Culture				7 27					4 04				4 90			2.60																2.00
	+ pente max	125.09	4.69			14.34	124.14	4.69		16.55	122.91	4.69		19	38 123.7	2 4.69			17.54	125.30	4.69	-		13.84	125.99	4.69			12.16	125.87	4.69		- 12
Series Legis	Culture	129.87	5.93			2.18	129.87	6.90			129.81	7.60			129.8	6 7.77			2.21	129.88	6.25			2.14	129.78	5.79			2.42	128.22	3.32		
- Finther control cont																																	
. ** state of the content of the con		126.40	2.46			15.97	124.53	1.56			123.32	1.11			85 124.3	8 2.29			20.54	126.21	2.58			16.42	127.46	3.47			13.44	127.50	2.60		
Series Mere Mere Mere Mere Mere Mere Mere Me																																	
1785 No. 178	Pente max	123.94	1.78	_	-	12.30	122.97	1.96	-	-	122.21	1.90	_		41 122.0	9 1.53			16.69	123.63	1.23			13.05	123.99	0.35	_	_	12.16	124.90	0.00	_	
Conference Parties and Parties	distance	127.88		-0.05	0.06	2.14	127.88		-0.05	0.06 2.14	127.88		-0.05	0.06 2.	127.8	8	-0.05	0.06	2.14	127.88				2.14	127.88		-0.05	0.06	2.14	127.88		-0.05	0.06 2.
Part Part Part Part Part Part Part Part	Coniferes	122.42	0.26			15.93	123.09	2.08			123.12	2.81			26 122.3	5 1.79			16.07	122.55	0.15			15.61	123.82	0.18			12.58	125.10	0.20		
Telephone Methods 14 154 159 159 159 159 159 159 159 159 159 159		122.16	0.00			21.05	121.01	0.00			120.31	0.00			99 120.5	6 0.00			24.46	122.40	0.00			20.50	123.64	0.00			17.72	125.22	0.32		
		124 14	1 98			16 58	124.85	3 84			124.82	4 51			97 123 9	2 3 36	_		17.07	124 23	1.83			16 37	125 71	2 07			12.86	127.09	2 19		
Fig. 1. September 1. September 2. September 2. September 3. September																																	
welltage wel	Coniferes	124.10	1.94	-1.53	0.91	21.17	122.99	1.98	-1.32	0.90 23.56	122.31	2.00	-1.38	0.91 24	99 122.5	2 1.96	-1.49	0.94	24.56	124.29	1.89	-1.56	0.97	20.75	125.62	1.98		0.98	17.77	127.14	2.24	-0.90	0.99 14
Pretent and 1234 0.0 0.1 0.1 10.2 130 120 120 120 120 120 120 0.0 0.0 0.0 0.1 10.0 120 120 120 120 120 120 120 120 120 12	+ pente max																																
FreeHills 1278 179 179 179 179 179 179 179 179 179 179		122.04	0.00			12.20	122.07	0.00			122.24	0.00			41 122 1	0.00		0.0.	16.00	122.02	0.00		0.0.	12.05	122.00	1.40			12.10	124.00	1.00		
Feerlise 1.27 1.37 1.37 1.37 1.37 1.37 1.37 1.37 1.3			0.00					0.00				0.00					_				0.00					1.48					1.99		
Figurity 1.2. 1.2. 1.2. 1.2. 1.2. 1.2. 1.2. 1.2			3.37					3.73				3.29									1.41					0.87					0.27		
- pente max	Feuillus				1 02					2.05				2.14			2.02											2.09					2 11
**************************************	+ pente max				0.05		124.07			0.04				0.04			-0.08		10.03	124.14				10.36	122.51			0.04	20.27	122.51			0.05
Figure 1. Figure		128.30	4.36			6.34	127.76	4.79			126.53	4.32			85 126.6	4 4.55			10.57	126.29	2.66			11.43	124.68	2.17			15.31	124.49	1.58		
Feltemax 1348 310 0.05		126.01	2.07			16 00	12/122	1 26			122 00	1 67			65 124 2	0 2.20			20.75	125 50	1.05			17 96	124.02	1 51			21 24	124 14	1 22		
*** *** *** *** *** *** *** *** *** **		120.01	2.07			10.00	124.55	1.50			125.00	1.07			05 124.2	2.20			20.75	123.30	1.55			17.00	124.02	1.51			21.54	124.14	1.23		
Hales	+ distance																																
Hales	Pente max		3.10					0.89				0.00	_			_		_			0.42					6.43					1.59		0.05 9.
Hales Public Mark	distance		0.40					4.70													0.00					0.00					0.00		
					1 00					5.61							10.12						0.94				_	10 E0					0.50
Hales Hales 1262 178 571 210 2002 2559 351 340 70 1313 19		120.84	0.00			23.87	122.08	0.00			123.82	1.61			30 122.6	5 0.56			19.96	123.22	0.01			18.67	118.50	0.94			28.67	123.31	0.00		
Hales 12.09 1.05 4.00 2.4 24.19 12.04 24.19 12.04 24.19 12.04 24.19 12.04 24.19 12.04 24.19 12.04 25.19 25.19 24	Haies	122.62	1.78			20.02	125.59	3.51			129.53	7.32			08 128.2	5 6.16			6.49	125.12	1.91			14.28	118.27	0.71			29.12	125.34	2.03		
+ Penter max 1.5																																	
+ Histance Preite max 123.94		122.69	1.85			24.19	124.02	1.94			124.78	2.57			65 124.5	5 2.46			20.18	125.22	2.01			18.68	119.49	1.93			30.63	125.29	1.98		
Pentermax 1334 3.24 - 0.11 0.05 12.30 12.97 6.07																-																	
Prairies 11.9 0.49 3.07 11.0 18.7 17.8 0.99 2.8 0.8 2.86 1.663 0.69 2.99 0.81 2.84 1.678 0.05 0.06 2.14 127.88 0.05 0.06	Pente max	123.94	3.24	0.0-	0.0.	12.30	122.97	6.07			122.21	6.27			41 122.0	9 6.00			16.69	123.63	5.79		0.0.	13.05	123.99	5.25		0.00	12.16	124.90	4.30		0.00
Prairies 12.78 2 8 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9	Prairies																	_				_								_			
Pentemax 120.7 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00	distance	127.88		-0.05	0.06	2.14	127.88				127.88				127.8	8			2.14	127.88				2.14	127.88				2.14	127.88			
Printer 123.18 2.48 3.1 1 2.0 18.77 19.27 2.37 3.2 19.5 2.13 17.64 17.0 2.37 2.37 2.3 17.64 17.0 2.3 2.13 17.0 2.3 2.13 17.0 2.13 2.13 17.0 2.13 2.13 17.0 2.13 2.13 17.0 2.13 2.13 17.0 2.13 2.13 17.0 2.13 2.13 17.0 2.13 2.13 17.0 2.13 2.13 17.0 2.13 2.13 2.13 17.0 2.13 2.13 2.13 17.0 2.13 2.13 2.13 2.13 2.13 2.13 2.13 2.13	Prairies	120.70	0.00		_	24.18	116.90	0.00		31 77	115.94	0.00		- 33	56 116.6	2 0.53			32.29	118.90	1.06	-		27.87	119.66	0.92			26.33	121.83	1.23		- 21
+ distance 12.70 2.00 2.53 1.23 24.18 118.83 193 2.58 1.03 31.90 117.68 1.74 2.78 1.78 2.70 0.00 0.06		122 10	2.49			10 77	110 27	2 27			11764	1 70			26 117 (7 0.09	_		21 /5	110 22	1 /0	_		27.01	120.42	1 60			24.76	122.40	1 90		
Preiries 12.70 2.00 2.53 1.23 2.18 11.88 1.93 1.28 11.88 1.93 2.58 1.03 31.90 1.76 1.76 2.75 2		123.16	2.40			10.77	113.27	2.37			117.04	1.70			30 117.0	7 0.36			31.43	115.55	1.43			27.01	120.42	1.00			24.70	122.43	1.05		
+ distance Hentemax 123.94 0.00 0.01 0.05 1.230 122.97 0.00 0.06 0.00 14.63 122.11 0.00 0.04 16.01 127.32 5.11 127.32 5.	Prairies	122.70	2.00			24.18	118.83	1.93		1.03 31.90	117.68	1.74			04 118.1	4 2.05			33.19	120.57	2.73			28.52	121.45	2.71			26.77	123.81	3.21		
Pente max 123,94 0.00 0.11 0.05 12.30 122.97 0.00 0.04 14.63 122.21 0.00 0.04 16.41 122.09 0.00 0.04 16.69 123.63 0.00 0.09 0.04 13.05 123.99 0.00 0.09 0.04 12.16 124.90 0.00 0.09 0.05 9.91	+ pente max			-0.08	0.05				-0.06	0.04			-0.05	0.04			-0.04	0.04				-0.04	0.04				-0.04	0.05				-0.04	0.05
Infras	+ distance															_																	
distance 127.88																											_						
Infras			3.28					5.05				5.11									2.35					2.89					3.20		
+ pente max 125.0 1.44 -0.11 0.05 1.54 1.45	Infras		1.42		4 60			1.00		4.40		0.75		2 77			4.07				0.70		2 04			1.52					1.00		2.02
+ distance	+ pente max			-0.11	0.05				-0.10	0.04			-0.09	0.04	23 122.6		-0.09	0.04	19.89	124.33		-0.08	0.04	10.12			-0.08	0.05	13.32	120.83		-0.09	0.05
Infras 127.02 3.08 1.89 5.47 14.52 125.18 2.21 -1.68 5.04 18.76 124.99 2.18 2.57 4.34 2.52 124.51 2.42 2.42 3.27 4.15 2.02 126.24 2.61 2.95 3.37 16.34 127.35 3.36 1.50 3.94 13.73 127.99 3.09 -1.05 4.61 12.17	Infras	129.10	5.16			4.23	129.80	6.83			129.17	6.96			128.6	0 6.51			5.57	127.92	4.29			7.33	128.81	4.82			5.00	129.79	4.89		
+ pente max -0.11 0.06 -0.11 0.06 -0.11 0.04 -0.11 0.04 -0.10 0.04 -0.09 0.04 -0.09 0.04 -0.09 0.07 -0.08 0.07 -0.09 0.04 -0.09 0.07 -0.09 0.04 -0.09 0.07 -0.09		127.02	2.00			14 53	125 10	2 21			124.20	2.10			E2 1245	1 2 42			20.20	126.24	2.61			16 24	127.25	2 26			12 72	127.00	2.00		
+ distance -0.04 0.07 -0.08 0.07 -0.08 0.07 -0.08 0.07 -0.05 0.05 -0.05 0.07 -0.05 0.05 -0.05 0.07 -0.05 0.05 -0.05 0.07 -0.05 0.05 -0.05 0.05 -0.05 0.05 -0.05 0.05 -0.05 0.05 -0.05 0.05 -0.05 0.05 -0.		127.02	3.08			14.52	125.18	2.21			124.39	2.18			52 124.5	2.42			20.26	120.24	2.01			10.34	127.35	3.30			13./3	127.99	3.09		
Penter max 123.94 5.39 -0.11 0.05 12.30 122.97 4.21 -0.10 0.04 14.63 122.21 4.13 -0.10 0.04 16.41 122.09 3.26 -0.10 0.04 16.69 123.63 4.06 -0.09 0.04 13.05 123.99 3.92 -0.09 0.04 12.16 124.90 3.15 -0.09 0.05 9.91 distance 127.88 -0.05 0.06 2.14 127.88 -0.05 0.06 2.14 127.88 -0.05 0.06 2.14 127.88 -0.05 0.06 2.14 127.88 end 18.55 0.00 -2.31 0.09 2.449 119.61 0.85 -2.19 0.72 2.22 18.89 0.81 -2.26 0.69 23.76 0.69 23.76 0.69 23.76 0.69 23.76 0.76 0																																	
Forets 118.55 0.00 -2.31 0.69 24.49 119.61 0.85 -2.19 0.70 22.23 118.89 0.81 -2.26 0.69 23.76 118.92 0.09 -2.16 0.66 23.72 119.57 0.00 -2.05 0.66 22.33 120.07 0.00 -2.05 0.68 21.23 121.75 0.00 -2.01 0.72 18.83 Forets 119.28 0.73 -1.97 0.76 27.10 118.76 0.00 -1.80 0.72 28.15 118.08 0.00 -1.81 0.73 29.49 118.83 0.00 -1.68 0.74 28.01 120.55 1.02 -1.69 0.76 24.40 121.01 0.94 -1.69 0.77 23.51 122.39 0.64 -1.70 0.81 20.55 1.02 -1.02 0.05 0.05 22.33 120.07 0.00 -2.05 0.68 21.23 121.75 0.00 -2.01 0.72 18.83 0.00 -1.81 0.73 29.49 118.83 0.00 -1.81 0.74 28.01 120.55 1.02 -1.69 0.76 24.40 121.01 0.94 -1.69 0.77 23.51 122.39 0.64 -1.70 0.81 20.55 1.02 0.05 0.05 22.33 120.07 0.00 -2.05 0.68 21.23 121.75 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0	Pente max	123.94	5.39					4.21			122.21	4.13	_		41 122.0	9 3.26	_	0.04	16.69	123.63	4.06		_	13.05	123.99	3.92	-	_	12.16	124.90	3.15	_	
Forets 119 28 0.73 -1.97 0.76 27 10 118 76 0.00 -1.80 0.72 28 15 118 08 0.00 -1.81 0.73 29 49 118 83 0.00 -1.68 0.74 28 11 120 59 1.02 -1.69 0.76 24 40 121 01 0.94 -1.69 0.77 23 51 122 39 0.64 -1.70 0.81 20 52	distance			_									_				_											_					
	Forets	118.55	0.00			24.49	119.61	0.85			118.89	0.81			76 118.9	2 0.09			23.72	119.57	0.00			22.33	120.07	0.00			21.23	121.75			
	+ pente max	119.28	0.73			27.10	118.76	0.00			118.08	0.00			49 118.8	0.00			28.01	120.59	1.02			24.40	121.01	0.94			23.51	122.39	0.64		

Paramètre de Shields

																	Dis	stance																	
			0-10					10-20					20-50				5	50-100				1	100-140				1	140-200				2	00-250		
	_	DAIC	В	SE B	%VE	AIC	DAIC	В	SE B	%VE	AIC	DAIC	В	SE B	%VE	AIC	DAIC	В	SE B	%VE	AIC	DAIC	В	SE B	%VE		DAIC	В	SE B	%VE	_	DAIC	В		%VE
Pente max	82.82	8.39	0.03	0.03	2.70	83.34	8.91	0.02	0.02	1.30	83.22	8.79	0.02	0.02	1.63	81.33	6.90	0.03	0.02	6.66	79.57	5.37	0.04	0.00	11.10	78.38	5.20	0.05	0.00	13.99	81.85	7.42	0.04		5.31
distance Culture	74.43 83.47	9.04	0.09 -2.28	0.03 3.99	0.95	74.43 83.59	9.16	0.09 -1.26	0.03 2.74	0.61	74.43 83.67	9.24	-0.98	0.03 2.69	0.39	74.43 82.31	7.88	0.09 -2.94	0.03 2.45	22.94 4.07	74.43 81.32	7.12	0.09 -3.75	0.03 2.41	6.68	74.43 81.57	1.25 8.39	0.09 -3.38	0.03 2.29	6.04	74.43 80.84	6.41	0.09 -3.53		7.93
Culture			-1.23	4.21				-0.81	2.88				-0.42	2.84				-1.82	2.62				-2.23	2.55				-2.12	2.28	0.04			-2.92	2 17	
+ pente ma	84.73	10.30	0.03	0.03	2.95	85.25	10.82	0.01	0.03	1.55	85.20	10.77	0.02	0.02	1.69	82.81	8.38	0.03	0.02	8.00	80.75	6.55	0.04	0.02	13.12	79.45	6.27	0.05	0.02	16.19	81.91	7.48	0.02	0.03	10.26
Culture	75.66	1.23	-2.99	3.54	24.57	75.83	1.40	-1.81	2.44	24.21	76.27	1.84	-0.90	2.40	23.28	76.10	1.67	-1.26	2.29	23.64	76.16	1.96	-1.20		23.52	76.11	2.93	-1.21		23.63	75.65	1.22	-1.70	_	24.58
+ distance			0.09	0.03				0.09	0.03				0.09	0.03				0.09	0.03				0.09	0.03				0.09	0.03				0.08	0.03	
Culture	76.97	2.54	-2.09	3.74	26.01	76.72	2.29	-1.13	2.53	26.51	77.09	2.66	-0.12		25.75	75.28	0.85	0.20	2.41	29.38	74.20	0.00	0.62		31.48	73.18	0.00	-0.01		33.39	75.72	1.29	-0.81	-	28.52
+ pente ma	Х		0.02	0.03				0.02	0.02				0.02	0.02				0.03	0.02				0.04	0.02				0.05	0.02				0.03	0.02	
+ distance	02.02	42.25	0.09	0.03	2.70	02.24	42.24	0.10	0.03	4.20	02.22	42.72	0.10	0.03	4.63	04.22	40.05	0.09	0.03		70.57	0.62	0.09	0.03	44.40	70.20	7.24	0.09	0.03	42.00	04.05	0.67	0.09	0.03	F 24
Pente max distance	82.82 74.43	4.86	0.03	0.03	2.70	83.34 74.43	13.21 4.30	0.02	0.02	1.30 22.94	74.43	12.73 3.94	0.02	0.02	1.63 22.94	81.33 74.43	10.85 3.95	0.03	0.02	6.66 22.94	79.57 74.43	8.62 3.48	0.04		11.10 22.94	78.38 74.43	7.34 3.39	0.05		13.99 22.94	81.85 74.43	9.67 2.25	0.04		5.31 22.94
Coniferes	69.94		1.36	0.34	31.98	70.41	0.28	1.36		31.08	70.58	0.09	1.37		30.75	70.59	0.11	1.37	0.35	30.73	71.42	0.47	1.35		29.12	72.55	1.51	1.32		26.85	73.86	1.68	1.25		24.14
Coniferes			1.39	0.37	1			1.37	0.36	1			1.37	0.37				1.31	0.38				1.21	0.40				1.12	0.40		1		1.20	0.42	
+ pente ma	71.87	2.30	-0.01	0.03	32.10	72.40	2.27	0.00	0.02	31.10	72.58	2.09	0.00	0.02	30.75	72.30	1.82	0.01	0.02	31.28	72.59	1.64	0.02	0.02	30.73	72.85	1.81	0.03	0.02	30.23	75.75	3.57	0.01	0.03	24.37
Coniferes	69.57	0.00	1.04	0.40	36.31	70.13	0.00	1.03	0.41	35.30	70.49	0.00	1.03	0.42	34.66	70.48	0.00	1.03	0.42	34.68	70.95	0.00	0.99	0.42	33.82	71.65	0.61	0.93	0.43	32.52	72.18	0.00	0.86	0.42	31.52
+ distance			0.05	0.03				0.05	0.03				0.05	0.03				0.05	0.03				0.05	0.03				0.05	0.03				0.06	0.03	
Coniferes	71.57	2.00	1.03	0.44	36.31	71.99	1.86	0.97	0.44	35.56	72.32	1.83	0.97	0.46	34.97	71.61	1.13	0.86	0.47	36.24	71.42	0.47	0.75		36.58	71.04	0.00	0.64		37.24	73.51	1.33	0.70	_	32.79
+ pente ma	Х		0.00	0.03				0.01	0.02				0.01	0.02				0.02	0.02				0.02	0.02				0.03	0.02				0.02	0.02	
+ distance	02.02	0.20	0.05	0.03	2.70	02.24	0.01	0.05	0.03	1 20	02.22	0.70	0.05	0.03	1.02	01 22	C 00	0.05	0.03	C CC	70.57	F 47	0.06	0.03	11 10	70.20	F 2F	0.06	0.03	12.00	01.05	7.42	0.07	0.03	F 21
Pente max distance	82.82 74.43	0.00	0.03	0.03	2.70	83.34 74.43	8.91 0.00	0.02	0.02	1.30	83.22 74.43	8.79 0.00	0.02	0.02	1.63	81.33 74.43	0.00	0.03	0.02	6.66 22.94	79.57 74.43	0.33	0.04		11.10 22.94	78.38 74.43	1.30	0.05		13.99 22.94	74.43	7.42 0.00	0.04		5.31
Feuillus	83.00	_	-0.90	1.03	2.21	83.32	8.89	-0.79	1.15	1.36	83.80	9.37	-0.11	1.15	0.03	83.31	8.88	0.80	1.16	1.37	82.68	8.58	1.23		3.09		9.97	0.03	1.17	1.96	83.42	8.99	0.72		1.07
Feuillus			-1.04	1.03				-1.02	1.19				-0.53	1.26				0.13	1.24				0.41	1.24				0.28	1.16				0.35	1.22	
+ pente ma	83.74	9.31	0.03	0.03	5.58	84.53	10.10	0.02	0.03	3.48	85.03	10.60	0.02	0.02	2.15	83.32	8.89	0.03	0.02	6.69	81.45	7.35	0.04	0.02	11.40	80.32	7.19	0.05	0.02	17.10	83.76	9.33	0.03	0.03	5.54
Feuillus	75.87	1.44	-0.66	0.92	24.12	76.00	1.57	-0.64	1.02	23.86	76.43	2.00	0.00		22.94	75.92	1.49	0.71	1.03	24.03	75.21	1.11	1.12		25.50	75.77	2.64	0.81	1.05	24.33	76.13	1.70	0.56		23.58
+ distance			0.09	0.03				0.09	0.03				0.09	0.03				0.09	0.03				0.09	0.03				0.09	0.03				0.09	0.03	
Feuillus	76.52	2.09	-0.79	0.93	26.93	75.98	1.55	-0.97	1.04	28.00	76.84	2.41	-0.52		26.26	75.29	0.86	0.04	1.10	29.37	74.10	0.00	0.42		31.66	73.13	0.00	0.22		33.49	75.86	1.43	0.18		28.25
+ pente ma	х		0.03	0.03				0.03	0.02				0.03	0.02				0.03	0.02				0.04	0.02				0.05	0.02				0.03	0.02	
+ distance	02.02	0.54	0.09	0.03	2.70	02.24	0.04	0.10	0.03	4.20	02.22	0.70	0.10	0.03	4.62	04.22	6.00	0.09	0.03		70.57	44.54	0.09	0.03	44.40	70.20	44.00	0.09	0.03	42.00	04.05	42.50	0.09	0.03	5.24
Pente max distance	82.82 74.43		0.03	0.03	2.70	83.34 74.43	8.91 0.00	0.02	0.02	1.30 22.94	83.22 74.43	8.79 0.00	0.02	0.02	1.63 22.94	81.33 74.43	0.00	0.03	0.02	6.66 22.94	79.57 74.43	9.37	0.04		11.10 22.94	78.38 74.43	11.92	0.05	0.02	13.99	81.85 74.43	12.50 5.08	0.09	_	5.31 22.94
Haies			-2.88	0.03	21.76	77.47	3.04	-7.51		16.13	82.56	8.13	-4.38	4.01	3.40	77.95		-11.43	4.66	15.01	65.25	0.19	-19.01		40.28			-21.69		38.24	71.56	2.21	-16.67		28.83
Haies			-2.86	1.01				-7.50	33.11				-3.99	4.10	-			-10.36	4.72				-18.24	4.51				-19.64	5.22				-15.93	4 74	
+ pente ma	76.97	3.69	0.00	0.03	21.77	79.47	5.04	0.00	0.02	16.13	84.20	9.77	0.01	0.02	4.37	78.42	3.99	0.02	0.02	18.56	67.10	2.04	0.01	0.02	40.54	67.52	1.06	0.02	0.02	39.84	73.24	3.89	0.01	0.02	29.47
Haies	73.28	0.00	-1.84	1.06	29.38	75.44	1.01	-3.37	3.51	25.03	76.06	1.63	2.51	4.30	23.73	75.45	1.02	-5.12	5.37	25.01	65.06	0.00	-15.78	4.51	43.81	66.76	0.30	-17.83	5.59	41.09	69.35	0.00	-12.67	4.73	36.70
+ distance			0.06	0.03				0.07	0.04				0.10	0.04				0.07	0.04				0.04	0.03				0.04	0.03				0.06	0.03	
Haies	75.08	1.80	-1.66	1.16	29.78	76.68	2.25	-1.92		26.59	76.20	1.77	3.94		27.57	74.88	0.45	-3.28	5.40	30.18	66.60	1.54	-14.22		44.53	67.27	0.81	-14.74		43.48	70.54	1.19	-11.33	5.01	38.11
+ pente ma	Х		0.01	0.03				0.02	0.02				0.03	0.02				0.03	0.02				0.01	0.02				0.02	0.02				0.02	0.02	
+ distance	02.02	0.76	0.07	0.03	2.70	02.24	42.27	0.08	0.04	4.20	02.22	4475	0.11	0.04	4.63	04.22	44.07	0.08	0.03		70.57	7.47	0.05	0.03	44.40	70.20	7.00	0.04	0.03	42.00	04.05	44.44	0.06	0.03	F 24
Pente max	82.82		0.03	0.03	2.70	83.34		0.02	0.02	1.30		14.75	0.02	0.02	1.63 22.94	81.33 74.43	-	0.03	0.02	6.66 22.94	79.57	7.47	0.04		11.10 22.94		7.83	0.05	0.02	22.94		11.11	0.04		5.31 22.94
distance Prairies	74.43 76.81		0.09 -1.60	0.03	17.68	74.43 72.63	3.36 1.56	0.09	0.03	22.94 26.70	74.43 79.14	5.96 10.67	-1.74		33.46	70.32	5.07 0.96	-1.75	0.03		74.43 74.21	2.33	-1.54		23.41	74.43 72.76	3.88 2.21	0.09 -1.67	0.00	26.43	74.43 73.05	3.69 2.31	-1.69	0.00	25.83
Prairies			-1.55	0.63				-1.60	0.47				-1.84	0.46				-1.78	0.52				-1.34	0.55				-1.41	0.53				-1.68	0.56	
+ pente ma	78.73	5.67	0.01	0.03	17.85	74.55	3.48	-0.01	0.02	26.86	70.72	2.25	-0.01	0.02	34.24	72.31	2.95	0.00	0.02	31.26	75.53	3.43	0.02	0.02	24.84	73.38	2.83	0.03	0.02	29.20	75.05	4.31	0.00	0.03	25.83
Prairies	73.06	0.00	-1.07	0.60	29.83	71.07	0.00	-1.12	0.49	33.59	68.47	0.00	-1.36	0.78	38.23	69.36	0.00	-1.33	0.50	36.68	72.10	0.00	-1.06	0.52	31.66	70.74	0.19	-1.22	0.51	34.21	70.74	0.00	-1.24	0.52	34.21
+ distance			0.07	0.03				0.06	0.03				0.05	0.03				0.05	0.03				0.06	0.03				0.06	0.03				0.06	0.03	
Prairies	74.76	1.70	-0.97	0.63	30.40	72.95	1.88	-1.05	0.54	33.81	70.45	1.98	-1.39		38.26	71.15	1.79	-1.19	0.60	37.05	72.58	0.48	-0.73		34.49	70.55	0.00	-0.88		38.08	72.43	1.69	-1.08		34.77
+ pente ma	х		0.01	0.03				0.01	0.02				0.00	0.02				0.01	0.02				0.03	0.02				0.03	0.02				0.01	0.03	
+ distance	02.02	0.20	0.07	0.03	2.70	02.21	0.04	0.06	0.03	4.20	02.22	0.70	0.05	0.03	4.60	04.32	0.45	0.06	0.03	6.66	70.57	40.57	0.07	0.03	44.46	70.20	F 20	0.07	0.03	42.00	04.05	7.42	0.07	0.03	F 24
Pente max distance	82.82 74.43	0.00	0.03	0.03	2.70	83.34 74.43	8.91 0.00	0.02	0.02	1.30 22.94	83.22 74.43	8.79 0.00	0.02	0.02	1.63 22.94	81.33 74.43	8.15 1.25	0.03	0.02	6.66 22.94	79.57 74.43	10.57 5.43	0.04		11.10 22.94	78.38 74.43	5.38 1.43	0.05	_	13.99 22.94	81.85 74.43	7.42 0.00	0.04		5.31 22.94
Infras	81.45		-3.80	2.50	6.34	83.17		-1.95	2.49	1.77	82.31	7.88	-2.61	2.17	4.09	75.86	2.68	-5.37	1.85	1.98	71.64	2.64	-5.27		28.69	78.26		-3.98	1.67		81.16		-3.30		7.09
Infras			-3.40	2.56				-2.04	2.52				-2.53	2.17				-5.04	1.85	1			-4.72	1.42				-2.99	1.73				-2.78	2 11	
+ pente ma	83.00	8.57	0.02	0.03	7.50	84.62	10.19	0.02	0.02	3.24	83.79	9.36	0.02	0.02	5.44	76.04	2.86	0.03	0.02	23.76	71.70	2.70	0.03	0.02	32.42	77.27	4.27	0.04	0.02	21.12	82.00	7.57	0.03	0.03	10.05
Infras	76.41	1.98	-0.31	2.65	22.98	75.69	1.26	2.12	2.57	24.50	76.39	1.96	0.41	2.24	23.02	73.70	0.52	-3.30	2.05	28.56	69.35	0.35	-4.00	1.50	36.69	75.18	2.18	-1.96	1.82	25.56	76.39	1.96	-0.39		23.02
+ distance			0.09	0.03				0.11	0.03				0.10	0.03				0.07	0.03				0.06	0.03				0.08	0.03				0.09	0.03	
Infras	77.29	2.86	0.41	2.74	25.34	76.15	1.72	2.16	2.55	27.66	76.99	2.56	0.68	2.24	25.96	73.18	0	-2.83	2.04	33.38	69.00	0	-3.41	1.52	40.70	73.00	0	-0.75	1.85	33.73	75.82	1.39	0.55		28.32
+ pente ma	х		0.03	0.03				0.03	0.02				0.02	0.02				0.03	0.02				0.03	0.02				0.04	0.02				0.04	0.02	
+ distance			0.09	0.03				0.11	0.03				0.10	0.03				0.07	0.03				0.06	0.03				0.08	0.03				0.10	0.03	

Profondeur de sédiments

																	D	istance																	$\overline{}$
			0-10					10-20					20-50				5	0-100					100-140				1	140-200					200-250		
	AIC	DAIC	В	SE B	%VE	AIC	DAIC	В	SE B	%VE	AIC	DAIC	В	SE B	%VE	AIC	DAIC	В	SE B	%VE	AIC	DAIC	В	SE B	%VE	AIC	DAIC	В	SE B	%VE	AIC	DAIC	В	SE B	%VE
Pente max	74.67		-0.03	0.03	3.12	75.63	4.93	-0.01	0.02	0.51	75.62	4.92	-0.01	0.02	0.53	75.34	4.64	-0.01	0.02	1.30	75.08	4.38	-0.02	0.02	2.01		4.79	-0.01	0.02	0.89	75.82		0.00	0.02	0.00
pente	70.70		-0.12		13.24	70.70	0.00	-0.12		13.24	70.70	0.00	-0.12		13.24	70.70	0.00	-0.12		13.24	70.70		-0.12		13.24	70.70	0.00	-0.12	0.05				-0.12		13.24
Culture	75.69	4.99	-1.23 -2.58	3.58	0.34	75.69	4.99	-0.84 -1.22	2.46	0.34	75.79	5.09	-0.37 -0.74	2.41	0.07	75.57	4.87	1.07 0.61	2.23	0.67	75.15	4.45	1.76	2.21	1.84	74.72	4.02	2.14 1.96	2.08	3.00	73.93	3.23	2.53	1.87	5.11
+ pente ma	76.16	5.46	-0.03	0.03	4.50	77.39	6.69	-0.01	0.02	1.17	77.53	6.83	-0.74	0.02	0.78	77.28	6.58	-0.01	0.02	1.49	76.79	6.09	-0.01	0.02	2.79	76.63	5.93	-0.01	0.02	3.23	75.74	5.04	0.01	0.02	5.59
Culture	72.40	1.70	-1.80	3.39	13.97	72.40	1.70	-1.22	2.33	13.96	72.58	1.88	-0.77		13.54	72.70	2.00	0.08		13.24	72.63	1.93	0.56	2.18	13.41	72.48	1.78	0.94		13.78	72.12	1.42	1.39		14.63
+ pente			-0.12	0.05				-0.12	0.05				-0.12	0.05				-0.12	0.06				-0.12	0.06				-0.11	0.06				-0.11	0.06	
Culture		2.92	-2.67		15.81	74.37	3.67	-1.33	2.45	14.03	74.50	3.80	-0.95		13.73	74.68	3.98	-0.01		13.28	74.62	3.92	0.47		13.45	74.46	3.76	1.00		13.82	73.93	3.23	1.63	2.01	15.08
+ pente ma	X		-0.02	0.03				0.00	0.02				-0.01	0.02				0.00	0.02				0.00	0.02				0.00	0.02				0.01	0.02	
+ pente	74.67	2.07	-0.11	0.06	2 12	75 62	4.93	-0.12 -0.01	0.06	0.51	75.62	4.92	-0.12	0.06	0.53	75.34	4.64	-0.12	0.06	1 20	75.08	4.47	-0.12	0.06	2.01	75.49	4.79	-0.12 -0.01	0.06	0.89	75.82	5.12	-0.11 0.00	0.06	0.00
Pente max	70.70		-0.03		3.12 13.24	75.63 70.70	0.00	-0.01	0.02	0.51 13.24	70.70	0.00	-0.01		13.24	70.70	0.00	-0.01		1.30	70.70		-0.02		13.24	70.70	0.00	-0.01		13.24	70.70		-0.12	0.02	
Coniferes	72.65	0.00	-0.62	0.35	8.41	72.62	1.92	-0.64	0.36	8.50	72.38	1.68	-0.67	0.36	9.09	71.55	0.85	-0.74		11.17	70.61	0.00	-0.82		13.46		0.35	-0.80		12.40	72.61		-0.67	0.37	8.52
Coniferes	74.39	2 60	-0.56	0.38	9.07	74.61	3 91	-0.63	0.37	8.50	74.38	3.68	-0.66	0.38	9.09	73.55	2.85	-0.74	0.39	11.17	72.61	2.00	-0.83	0.40	13.47	72.95	2.25	-0.85	0.40	12.64	74.06	3.36	-0.78	0.41	9.90
+ pente ma		$\overline{}$	-0.01	0.03	9.07	74.01	3.91	0.00	0.02	8.30	74.30	3.00	0.00	0.02	9.09	75.55	\perp	0.00	0.02	11.17	72.01	2.00	0.00	0.02	15.47	72.93	2.23	0.01	0.02	12.04	74.00	3.30	0.02	0.02	9.90
Coniferes	72.21	1.51	-0.28		14.41	72.15	1.45	-0.30	0.42	14.56	72.04	1.34	-0.33	0.42	14.81	71.60	0.90	-0.43	0.42	15.85	70.92	0.31	-0.54	0.42	17.43	71.08	0.38	-0.51		17.06	71.91	1.21	-0.35	0.41	15.12
+ pente	72.00	2.26	-0.10	0.06		7444	2.44	-0.10	0.06	44.50	74.04	2.24	-0.09 -0.33	0.06	44.04	72.50	2.00	-0.09 -0.44	0.06	45.00	72.00	2.27	-0.08	0.06	47.54	72.00	2.40	-0.08 -0.57	0.06	47.50	72.50	2.00	-0.10 -0.45	0.06	45.04
+ pente ma	73.96	3.26	-0.22 -0.01	0.44		74.14	3.44	0.00	0.43	14.58	74.04	3.34	0.00	0.44	14.81	73.58	2.88	0.00	0.44	15.89	72.88	2.21	0.00	0.44	17.51	72.88	2.18	0.01	0.45	17.52	73.58	2.88	0.01	0.45	15.91
+ pente	î .		-0.10	0.03				-0.10	0.02				-0.09	0.02				-0.09	0.02				-0.08	0.02				-0.09	0.02				-0.09	0.02	
Pente max	74.67	6.08	-0.03	0.03	3.12	75.63	6.74	-0.01	0.02	0.51	75.62	6.06	-0.01	0.02	0.53	75.34	4.64	-0.01	0.02	1.30	75.08	4.38	-0.02	0.02	2.01	75.49	5.60	-0.01	0.02	0.89	75.82	5.46	0.00	0.02	0.00
pente	70.70	2.11	-0.12	0.05	13.24	70.70	1.81	-0.12	0.05	13.24	70.70	1.14	-0.12	0.05	13.24	70.70	0.00	-0.12	0.05	13.24	70.70	0.00	-0.12	0.05	13.24	70.70	0.81	-0.12	0.05	13.24	70.70	0.34	-0.12	0.05	13.24
Feuillus	74.35	5.76	-1.09	0.91	4.00	74.27	5.38	-1.24	1.01	4.20	74.04	4.48	-1.32	1.00	4.82	74.11	3.41	-1.31	1.02	4.63	74.14	3.44	-1.34	1.05	4.55	73.41	3.52	-1.57	1.02	6.46	73.99	3.63	-1.39	1.05	4.93
Feuillus	75.45	6.86	-0.98	0.92	6.36	76.25	7.36	-1.20	1.06	4.26	76.03	6.47	-1.36	1.11	4.84	76.07	5.37	-1.23	1.12	4.73	75.97	5.27	-1.17	1.15	5.00	75.38	5.49	-1.52	1.08	6.53	75.88	5.52	-1.48	1.10	5.23
+ pente ma Feuillus	68.59	0.00	-0.02	0.03	22.60	68.89	0.00	-1.83	0.02	21.96	69.56	0.00	0.00 -1.63	0.02	20.48	70.74	0.04	0.00	0.02	17.83	70.85	0.15	-0.01 -1.31	0.02	17.58	69.89	0.00	0.00 -1.58	0.02	19.77	70.36	0.00	0.01 -1.47	0.02	18.71
+ pente	00.59	0.00	-0.15	0.05	22.00	00.09	0.00	-0.14	0.95	21.90	09.30	0.00	-0.13	0.94	20.46	70.74	0.04	-0.12	0.96	17.03	70.63	0.13	-0.12	0.99	17.36	09.09	0.00	-0.12	0.96	19.77	70.30	0.00	-0.12	0.98	10.71
Feuillus	70.48	1.89	-1.67		22.85	70.55	1.66	-1.99	1.01	22.70	71.14	1.58	-1.90	1.04	21.41	72.52	1.82	-1.50	1.06	18.35	72.73	2.03	-1.45	1.09	17.87	71.60	1.71	-1.72		20.40	71.99	1.63	-1.62		19.54
+ pente ma	х		-0.01	0.03				0.01	0.02				0.01	0.02				0.01	0.02				0.01	0.02				0.01	0.02				0.01	0.02	
+ pente			-0.15	0.06				-0.15	0.06				-0.14	0.05				-0.13	0.06				-0.13	0.06				-0.13	0.05				-0.13	0.05	
Pente max	74.67		-0.03	0.03	3.12	75.63	5.50	-0.01		0.51	75.62	4.92	-0.01	0.02	0.53	75.34		-0.01	0.02	1.30	75.08		-0.02	0.02	2.01		5.78	-0.01	0.02	0.89	75.82		0.00	0.02	0.00
pente Haies	70.70 67.83		-0.12 2.47	0.05	13.24	70.70 70.13	0.57	-0.12 6.40	0.05 2.65	13.24	70.70 74.65	0.00 3.95	-0.12 3.79	0.05 3.59	13.24 3.17	70.70 73.33	0.00 2.63	-0.12 6.82	0.05 4.37	13.24 6.67	70.70	0.00 1.37	-0.12 8.43	0.05 4.37	9.89	70.70 69.71		-0.12 12.40	0.05 4.95		70.70 72.41		-0.12 8.34	0.05 4.55	13.24 8.84
Haies			2.47	0.85				6.58	2.80		74.05		3.63	3.69				6.48	4.51				8.44	4.37				13.54	5.51				9.07	4.80	
+ pente ma	69.79	1.96	-0.01	0.03	19.98	72.07	1.94	0.01	0.02	14.74	76.58	5.88	-0.01	0.02	3.36	75.16	4.46	-0.01	0.02	7.12	74.07	3.37	0.00	0.02	9.89	71.45	1.74	0.01	0.02	16.21	74.11	3.41	0.01	0.02	9.78
Haies	68.87	1.04	1.95	1.01	21.99	70.16	0.03	4.57	2.94	19.16	72.30	1.60	2.13	3.52	14.19	72.08	1.38	3.52	4.64	14.73	71.78	1.08	4.63	5.01	15.43	70.45	0.74	8.73	5.98	18.51	71.88	1.18	4.46	5.11	15.20
+ pente			-0.06	0.06				-0.08	0.06				-0.11	0.05				-0.10	0.06				-0.09	0.06				-0.07	0.06				-0.10	0.06	
Haies	70.84	3.01	1.90		22.06	72.03	1.90	4.80	3.06	19.44	74.30	3.60	2.10	3.61	14.21	74.07	3.37	3.50		14.74	73.74	3.04	4.91	5.46	15.48	72.12	2.41	9.90		19.25	73.66	2.96	5.13	5.39	15.71
+ pente ma	X		-0.06	0.03				-0.08	0.02				-0.00	0.02				0.00	0.02				-0.09	0.02				-0.07	0.02				-0.09	0.02	
+ pente Pente max	74.67	4.38	-0.03	0.08	3.12	75.63	7.17	-0.08	0.00	0.51	75.62	7.64	-0.11	0.06	0.53	75.34	7.09	-0.01	0.00	1.30	75.08	6.01	-0.09	0.06	2.01	75.49	7.30	-0.07	0.00	0.89	75.82	5.61	0.00	0.00	0.00
pente	70.70		-0.12		13.24	70.70	2.24	-0.12	0.05	13.24	70.70	2.72	-0.12		13.24	70.70	2.45	-0.12	0.05	13.24	70.70		-0.12		13.24		2.51	-0.12		13.24	70.70	_	-0.12		13.24
Prairies	71.96	1.67	1.08	0.55		68.50		1.16		18.40	67.98	0.00	1.19		19.55	68.25	0.00	1.22		18.94	69.12	_	1.18	0.45		68.28		1.27	0.45		70.88		1.07		12.82
Prairies	73.66	3.37	0.99	0.59	10.89	70.35	1.89	1.21	0.44	18.74	69.59	1.61	1.29	0.45	20.43	69.73	1.48	1.39	0.05	20.13	70.97	1.90	1.27	0.51	17.31	69.78	1.59	1.42	0.50	19.99	71.60	1.39	1.32	0.53	15.85
+ pente ma			-0.01	0.03				0.01	0.02				0.01	0.02				0.01	0.02				0.01	0.02				0.02	0.02				0.03	0.02	
Prairies	70.29	0.00	0.83		18.85	68.46	0.00	0.91	0.45	22.88	68.52	0.54	0.94	0.46	22.75	68.76	0.51	0.95	0.49	22.23	69.07	0.00	0.90	0.48	21.57	68.19	0.00	1.01		23.47	70.21	0.00	0.77		19.04
+ pente Prairies	72.21	1 92	-0.10 0.79	0.05	19.05	70.19	1.73	-0.07 0.97	0.06	23.45	70.18	2.20	-0.07 1.03	0.06	23.48	70.13	1.88	-0.07 1.12	0.06	23.59	70.69	1.62	-0.08 1.02	0.06	22.39	69.34	1 15	-0.08 1.18	0.06	25.24	71.17	0.96	-0.09 1.01	0.06	21 35
+ pente ma		1.52	-0.01	0.03	15.05	70.13	1.73	0.01	0.02	23.43	70.10	2.20	0.01	0.02	23.40	70.13	1.00	0.02	0.02	23.33	70.03	1.02	0.01	0.02	22.33	03.34	1.13	0.02	0.02	23.24	/1.1/	0.50	0.02	0.02	21.33
+ pente	· ·		-0.10	0.06				-0.08	0.06				-0.07	0.06				-0.07	0.06				-0.08	0.06				-0.08	0.02				-0.08	0.06	
Pente max	74.67	3.97	-0.03	0.03	3.12	75.63	5.58	-0.01	0.02	0.51	75.62	4.92	-0.01	0.02	0.53	75.34	4.64	-0.01	0.02	1.30	75.08	4.38	-0.02	0.02	2.01	75.49	4.79	-0.01	0.02	0.89	75.82	5.12	0.00	0.02	0.00
pente	70.70		-0.12		13.24	70.70	0.65	-0.12		13.24	70.70	0.00	-0.12		13.24	70.70	0.00	-0.12		13.24	70.70		-0.12		13.24		0.00	-0.12		13.24	70.70		-0.12		13.24
Infras	75.80	5.10	0.32	2.31	0.05	75.40	5.35	-1.41	2.24	1.15	75.77	5.07	0.42	1.98	0.13	74.93	4.23	1.68	1.83	2.42	72.93	2.23	2.44	1.45	7.69	74.66	3.96	1.68		3.15	75.14	4.44	1.51	1.88	1.86
+ pente ma	76.66	5.96	-0.26 -0.03	2.38 0.03	3.15	77.24	7.19	-1.34 -0.01	0.02	1.59	77.59	6.89	-0.01	2.01 0.02	0.63	76.61	5.91	1.54 -0.01	0.02	3.29	74.75	4.05	-0.01	1.53 0.02	8.15	76.61	5.91	1.55 -0.01	1.72 0.02	3.28	77.10	6.40	1.60 0.00	1.97 0.02	1.95
Infras	71.83	1.13	-2.14	2.39	15.30	70.05	0.00	-3.47	2.19	19.40	72.26	1.56	-1.27	2.00	14.29	72.61	1.91	-0.60	2.07	13.46	72.31	1.61	1.01	1.68	14.17	72.70	2.00	-0.01		13.24	72.70	2.00	-0.14	1.96	13.25
+ pente	1.05	1.15	-0.14	0.06	25.50	. 0.03	0.00	-0.15	0.06	_50		1.50	-0.14	0.06	125	, 2.01	1.51	-0.13	0.06			1.02	-0.10	0.06	/	. 2.7.0		-0.12	0.06			2.00	-0.12	0.06	_5.25
Infras	73.10	2.40	-2.48	2.43	17.27	72.02	1.97	-3.52	2.24	19.48	74.23	3.53	-1.27	2.03	14.36	74.59	3.89	-0.60	2.10	13.50	74.30	3.60	0.98	1.73	14.20	74.70	4.00	-0.02	1.84	13.24	74.66	3.96	-0.06		13.33
+ pente ma	x		-0.02	0.03				0.00	0.02				0.00	0.02				0.00	0.02				0.00	0.02				0.00	0.02				0.00	0.02	
+ pente			-0.14	0.06				-0.15	0.06				-0.13	0.06				-0.13	0.07				-0.10	0.07				-0.12	0.06				-0.12	0.06	

A l'échelle du tronçon de 2 km

Contribution conductivité

		AIC	DAIC	В	SE B	%VE
distance		64.43		0.07	0.06	7.46
ouvrage amont		66.06		0.00	0.00	0.35
ouvrage amont		66.03		0.00	0.00	9.14
+dist				0.10	0.07	
ouvrage aval		63.62		0.00	0.00	0.23
ouvrage aval		64.28		0.00	0.00	6.39
+dist				0.07	0.06	
ouvrage aval + amont	ouvrage aval	65.44		0.00	0.00	1.10
_	+ouvrage amo	nt		0.00	0.00	
ouvrage aval + amont	ouvrage aval	66.03		0.00	0.00	7.51
	+ouvrage amoi	nt		0.00	0.00	
	+dist			0.09	0.09	
amngt berges		46.81		0.02	0.10	0.35
amngt berges		47.82		0.03	0.10	7.62
+dist				0.12	0.14	
total amngt		45.93		0.08	0.09	6.82
total amngt		46.90		0.08	0.09	13.93
+dist				0.12	0.13	
piétinement		46.12		0.02	0.02	5.51
piétinement		47.84		0.01	0.03	7.50
+ dist				0.08	0.18	

Limons

	AIC	DAIC	В	SE B	%VE
distance	127.88		-0.05	0.06	2.14
ouvrage amont	121.32		0.00	0.00	2.41
ouvrage amont	123.20		0.00	0.00	2.76
+dist			-0.03	0.08	
ouvrage aval	120.72		0.00	0.00	1.37
ouvrage aval	121.92		0.00	0.00	3.66
+dist			-0.05	0.06	
amngt berges	54.18		-0.08	0.09	5.73
amngt berges	54.89		-0.06	0.09	13.99
+dist			0.16	0.16	
total amngt	54.49		-0.06	0.09	3.61
total amngt	55.00		-0.06	0.09	13.34
+dist			0.18	0.16	
piétinement	66.63		0.02	0.03	4.54
piétinement	59.44		0.00	0.03	13.82
+dist			0.23	0.20	

Profondeur sédiment

	AIC	DAIC	В	SE B	%VE
pente	70.70		-0.12	0.05	13.24
ouvrage amont	72.38		0.00	0.00	0.72
ouvrage amont	68.24		0.00	0.00	17.13
+ pente			-0.13	0.05	
ouvrage aval	71.69		0.00	0.00	2.71
ouvrage aval	70.97		0.00	0.00	10.20
+ pente			-0.12	0.07	
amngt berges	29.69		-0.05	0.04	12.61
amngt berges	21.22		-0.05	0.04	15.52
+ pente			-0.15	0.25	
total amngt	30.08		-0.04	0.04	10.14
total amngt	31.83		-0.04	0.04	11.75
+ pente			-0.12	0.27	
piétinement	38.72		0.00	0.01	22.57
piétinement	40.56		0.00	0.01	1.29
+ pente			-0.11	0.31	

Paramètre de Shields

	AIC	DAIC	В	SE B	%VE
distance	74.43		0.09	0.03	22.94
ouvrage amont	74.65		0.00	0.00	4.96
ouvrage amont	70.31		0.00	0.00	21.12
+ dist			0.09	0.04	
ouvrage aval	80.72		0.00	0.00	1.20
ouvrage aval	72.64		0.00	0.00	26.55
+ dist			0.10	0.03	
amngt berges	24.49		0.07	0.03	28.70
amngt berges	26.49		0.07	0.03	28.72
+ dist			0.00	0.06	
total amngt	23.68		0.07	0.03	32.71
total amngt	25.59		0.07	0.03	33.15
+ dist			-0.02	0.06	
piétinement	27.89		-0.01	0.01	13.35
piétinement	29.55		-0.02	0.01	15.30
+ dist			0.04	0.08	

A l'échelle du point de relevé

Effet de la ripisylve sur							
			AIC	DAIC	В	SE B	%VE
Contribution à la conductivité	ripisylve		66.06		0.00	0.01	0.37
	distance		64.43		0.07	0.06	7.46
	ripisylve		66.39		0.00	0.01	7.65
	+ distance				0.07	0.06	
Limon	ripisylve		292.14		-0.24	0.08	19.30
	distance		297.75		-0.93	0.65	5.65
	ripisylve		293.01		-0.22	0.09	21.78
	+ distance				-0.63	0.91	
Shields	ripisylve		106.60		0.02	0.01	15.48
	distance		103.22		0.14	0.04	23.04
	ripisylve		100.50		0.01	0.01	32.50
	+ distance				0.12	0.04	
Disponibilité sédimentaire	ripisylve		70.20		-0.01	0.00	14.43
	Pente		70.70		-0.12	0.05	13.24
	ripisylve		69.76		-0.01	0.00	20.04
	+ pente				-0.09	0.06	
	ripisylve	С	67.32		3.34	0.48	25.28
	y=ax²+bx+c	b			0.02	0.02	
		а			0.00	0.00	

Annexe 3. Fiche de relevé utilisée pour la caractérisation de l'habitat de la Moule perlière

Fiche relevés habitats Mulette - Monts de la Madeleine

LPB (cm)	H1 Cc	onduc	13 H4	H5] 	Lor	ng mesu			e (%)				Dist	t (m)			
2 cm 1 2					I			Fau /			J			Courant Dist (m) Durée (s)				
2 cm 1 2	3					Eau / Sédiment Conduc Temp]		
2 cm 1 2	3							R	edox			_						
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17		19	20
4 cm 1 2	-	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17		19	20
8 cm 1 2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
P max			ļ	<u> </u>				<u> </u>	<u> </u>		ļ	<u> </u>	<u> </u>	<u> </u>				
	Profil en long							1			o I .			•				
	CLE L	FOD M		CLO						ł		Colmatage						
Long (m)	CLE I	FOD IVI	OU FOA	CLO	PLL	PLC	RAD	RAP	CAS	CHU	ł	1	2	3	4	5		
Long (III)			ı					<u> </u>	<u> </u>		-		<u> </u>			<u> </u>	l	
	Substrat								1				Ripisylve					
			vase/végét/	limon	sable	gravier		galets	ets bloc/rocher		1		ABS	ISO	ESP	BOS	SEMC	CONT
L	Prop (9	%)									J	G						
_												D						
Remarques :																		