



L'étude précédente réalisée sur l'Allier a montré que le seuil, composé d'un assemblage de plusieurs biotopes, abrite une faune bien diversifiée et de nombreux taxons polluo-sensibles aux deux saisons d'échantillonnage. Ces premiers résultats ont conduit à concentrer l'échantillonnage sur cette géoforme, celle-ci est choisie comme unité de base d'un protocole d'échantillonnage simplifié, permettant de bio-évaluer la qualité de l'eau sur des UG communes aux cours d'eau à charge de fond graveleuse. De plus, dans l'UG seuil étudiée, il est apparu que la collecte des organismes était optimisée dans les habitats caractérisés par des vitesses comprises entre 30 et 120 cm.s^{-1} , par des profondeurs comprises entre 16 et 50 cm et par des tailles de particules > 64 mm.

Dans le cadre des études de bio-évaluation de la qualité de l'eau à partir de la macrofaune benthique, l'objectif de ce chapitre est de vérifier s'il est possible de réduire l'échantillonnage à un seul seuil géomorphologique sans perte d'information taxonomique. Il s'agit donc de s'assurer que le choix du seuil n'a pas d'effet sur la qualité des informations qu'il fournit, que ce soient les variables physiques étudiées ou les peuplements de macroinvertébrés. Cette étude se subdivise en deux étapes successives, au cours desquelles nous avons étudié des groupes de 3 seuils consécutifs dans des successions seuils-mouilles de l'Allier et de la Loire. Sur l'Allier, une gravière sépare le premier seuil

des suivants et introduit donc une perturbation géomorphologique profonde, en interrompant totalement le transit de la charge de fond et en créant une vaste étendue lentique au milieu des faciès hydrauliques fluviatiles (voir chap. 2 p.35). Sur la Loire, les trois seuils de chaque station se succèdent sans qu'une différenciation géomorphologique soit notable, ni que des rejets diffus ou concentrés n'interviennent. La question est donc de savoir si : i) en présence d'une perturbation d'origine anthropique, l'étude conduite sur un seuil permet de détecter un changement géomorphologique et/ou du peuplement des macroinvertébrés et, ii) en l'absence de perturbation de l'environnement, si les trois seuils successifs sont physiquement et biologiquement similaires, auquel cas, le choix d'un seuil plutôt qu'un autre importe peu.

La démarche de validation de l'hypothèse est la suivante :

a) Evaluation de la variabilité physique entre trois seuils successifs.

Dans le cas d'un tronçon géomorphologiquement perturbé, il s'agit de vérifier s'il est possible de discriminer les habitats des trois UG seuils et si l'impact est perçu sur ces UG. Dans le cas de plusieurs tronçons non perturbés, la démarche est de savoir si les trois seuils diffèrent du point de vue de leurs caractéristiques hydrodynamiques.

b) Evaluation de la variabilité biologique entre trois seuils successifs.

Dans le cas d'un tronçon géomorphologiquement perturbé, nous rechercherons si la perturbation sédimentaire a une influence sur les macroinvertébrés. Dans le cas de plusieurs tronçons non perturbés, nous examinerons si les communautés de macroinvertébrés sont similaires d'une unité à l'autre et si elles diffèrent davantage d'une position à l'autre du *continuum* qu'entre les trois seuils successifs d'un même tronçon.

I. Cas de l'Allier : variabilité inter-seuils en situation perturbée

L'efficacité des invertébrés pour détecter des perturbations organiques est connue depuis longtemps (Woodiwiss, 1964) et nous retiendrons les travaux plus récents de Kownacki (1995), Charvet *et al.* (1998), Barbour *et al.* (1999), Harrel & Smith (2002), etc. En revanche, les données de la littérature montrent que ces organismes sont nettement moins affectés par les variations de concentration de la fraction minérale de la suspension (MES). Peu de choses ont été écrites dans le cas où des perturbations géomorphologiques majeures existent entre deux UG comme - la réduction de la fréquence de mise en mouvement de la charge provoquant la constitution d'un pavage et le colmatage du substrat - le blocage de la charge de fond entraînant un déficit sédimentaire sur les géoformes

localisées en aval du point de piégeage - l'émergence du bedrock situé sous l'accumulation alluviale par incision du chenal, etc. (Lefebvre *et al.*, 2004, 2005). Toutes ces modifications peuvent générer des changements de la nature et de la distribution spatiale des habitats, notamment en relation avec la taille des grains qui les constituent, avec leur habitabilité ou encore leur perméabilité (effets du colmatage).

Dans le cadre de nos recherches, nous avons choisi d'examiner cette question sur un secteur affecté par une interruption totale du transport solide de la charge de fond. Une telle modification se produit notamment en cas de capture d'un chenal par une gravière. Les rares études portant sur ce phénomène concernent essentiellement les dommages occasionnés, en amont comme en aval, par l'érosion de berges, l'affouillement des piles de ponts ou des digues (Peiry *et al.*, 1994 ; Kondolf, 1997). Mais aucune étude n'a permis de tester les effets d'une interruption du charriage sur les communautés benthiques.

Les trois seuils successifs du site atelier de la rivière Allier se présentent de la manière suivante : le seuil amont, objet de l'étude précédente est le seuil qui témoigne de la situation non perturbée (seuil 1). Les seuils 2 et 3, localisés en aval de la zone de capture du chenal par la gravière, traduisent une situation d'impact et son éventuel gradient d'atténuation (voir Fig. 6, p. 36) (Beauger, 2008).

A. Impact de la gravière sur la granulométrie des seuils et leurs caractéristiques physiques

La base des données obtenues au printemps et en été 2003 est composée respectivement de 35 et 43 échantillons. Rappelons qu'aux points d'échantillonnage, les caractéristiques physiques suivantes ont été recueillies : vitesse d'écoulement, profondeur et composition du substrat {médiane issue d'analyses granulométriques détaillées réalisées au printemps (analogues en été), classe granulométrique dominante estimée visuellement en été} (voir chap. 2, p. 43).

L'analyse granulométrique approfondie effectuée à partir des photographies du lit de la rivière permet de souligner l'impact de la gravière sur le seuil situé immédiatement en aval (seuil 2). En effet, alors que les particules de taille [64-128[mm dominant en amont de la gravière, c'est la classe de taille [32-64[mm qui domine en aval immédiat, le seuil 3 étant caractérisé par des particules de taille intermédiaire, ce qui suggère un retour rapide aux caractéristiques de l'amont (Fig. 22 A).

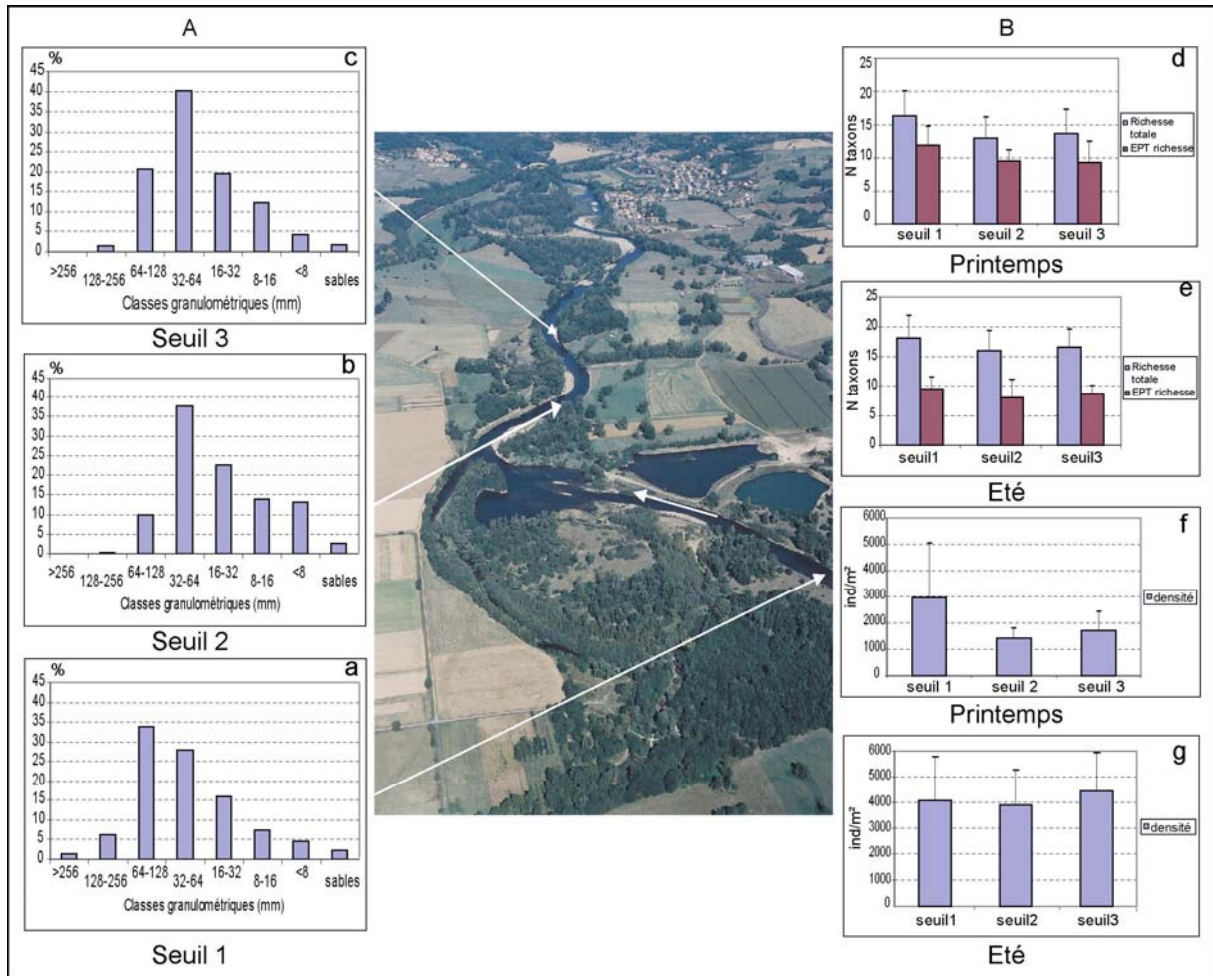


Figure 22 : A : distribution de la taille des particules au printemps au niveau du seuil 1(a), du seuil 2 (b) et du seuil 3 (c).

B : richesse taxonomique en macroinvertébrés totaux et richesse en EPT au printemps (d) et en été (e). Densité des macroinvertébrés mesurée successivement au printemps (f) et en été (g).

Afin de compléter cette analyse, les vitesses d'écoulement, les profondeurs et les médianes granulométriques ont été analysées à l'aide d'une ACP simple et d'une analyse inter-groupes, de manière à détecter d'éventuelles différences physiques entre les trois seuils. L'analyse inter-seuils confirme l'incidence de la gravière sur le transport solide ($p = 0$ avec 23% de la variabilité totale), (Tab. 26). Le paramètre le plus discriminant correspond aux médianes (Fig. 23). Ces dernières sont respectivement de 28,6 mm ($\pm 7,4$) pour le seuil 1, de 16,6 mm ($\pm 4,7$) pour le seuil 2 et de 20,7 mm ($\pm 3,9$) pour le seuil 3.

En revanche, une analyse similaire, conduite en remplaçant les valeurs médianes par la classe granulométrique dominante obtenue visuellement, n'a pas permis de constater que les trois seuils diffèrent significativement au printemps comme en été (Tab. 26). Ce résultat indique que vraisemblablement l'estimation visuelle de la granulométrie dominante est moins robuste qu'une véritable analyse granulométrique.

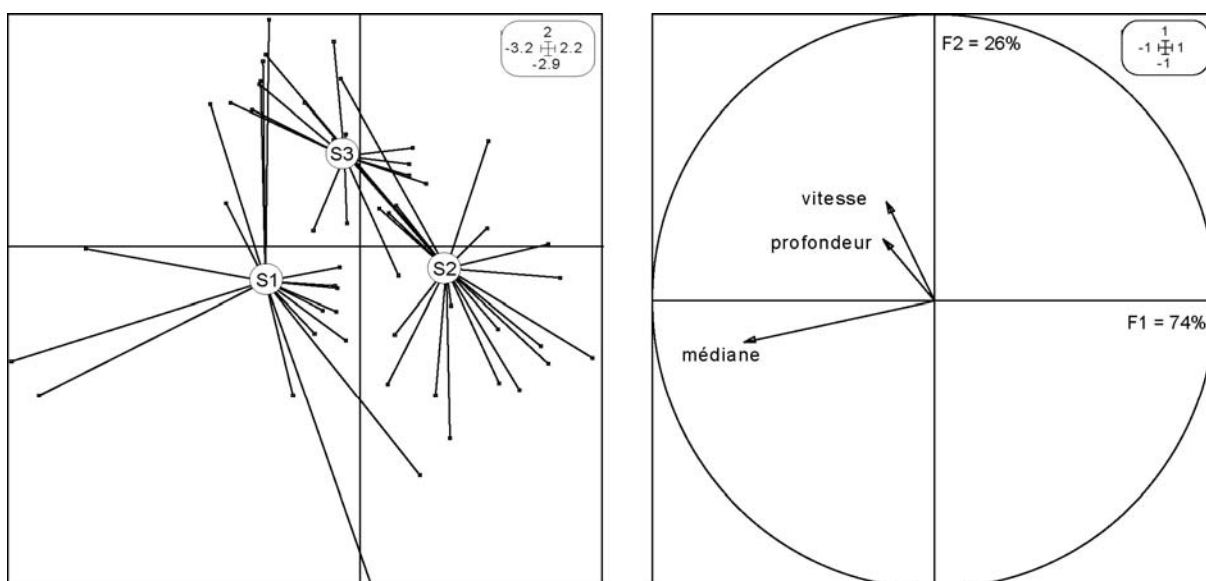


Figure 23 : Premier plan factoriel des variables et des centres d'inertie des prélèvements réalisés sur les trois seuils du site atelier Allier dans l'analyse inter-UG.

Tableau 26 : Synthèse des résultats des analyses inter-groupes réalisées sur les seuils de l'Allier.

Analyse inter-seuils	Printemps		Été	
	Pourcentage de variabilité expliquée	Significativité P < 0,05	Pourcentage de variabilité expliquée	Significativité P < 0,05
Variables physiques (incluant la médiane)	23	0	-	NS
Variables physiques (incluant la classe de granulométrie dominante)	-	NS	-	NS
Variables faunistiques	-	NS	16	0
TBEP	-	NS	10	0

B. Sensibilité des macroinvertébrés à la perturbation

L'analyse des variables physiques ayant montré des différences significatives entre ces trois seuils basées pour l'essentiel sur le critère granulométrique, nous avons recherché si la faune enregistrerait cette différence en termes de richesse totale, richesse en EPT et densité. Ces trois variables diminuent de l'amont à l'aval de la gravière aux 2 saisons (Fig. 22 B). Cependant, c'est au printemps que la différenciation entre les seuils est la plus marquée, la diminution de la richesse en EPT et celle de la densité étant statistiquement significatives (ANOVA à un facteur, $p < 0,05$).

Une AFC simple et une analyse inter-groupes ont permis d'étudier la variabilité faunistique (taxons présentant des abondances relatives > 1%) sur les trois seuils successifs. Au **printemps**, l'analyse ne révèle pas de différence taxonomique significative entre l'amont et l'aval de la gravière (cf. Tab. 26). En revanche, en **été**, les seuils sont discriminés par leurs macroinvertébrés ($p = 0$ avec 16% de la variabilité totale) : le seuil 1 est caractérisé par des taxons tels que *Elmis*, *A. fluviatilis*, Chironomini et Tanytarsini (Fig. 24 B) ; le seuil 2 est caractérisé par *Oulimnius* et le seuil 3 par *Blepharicera*. A cette saison, certains taxons non pris en compte dans l'analyse ($N < 1\%$), tels que *Potamanthus luteus* sont présents sur le seuil 2, contrairement à *Rhyacophila* s.s ou *Limnius*.

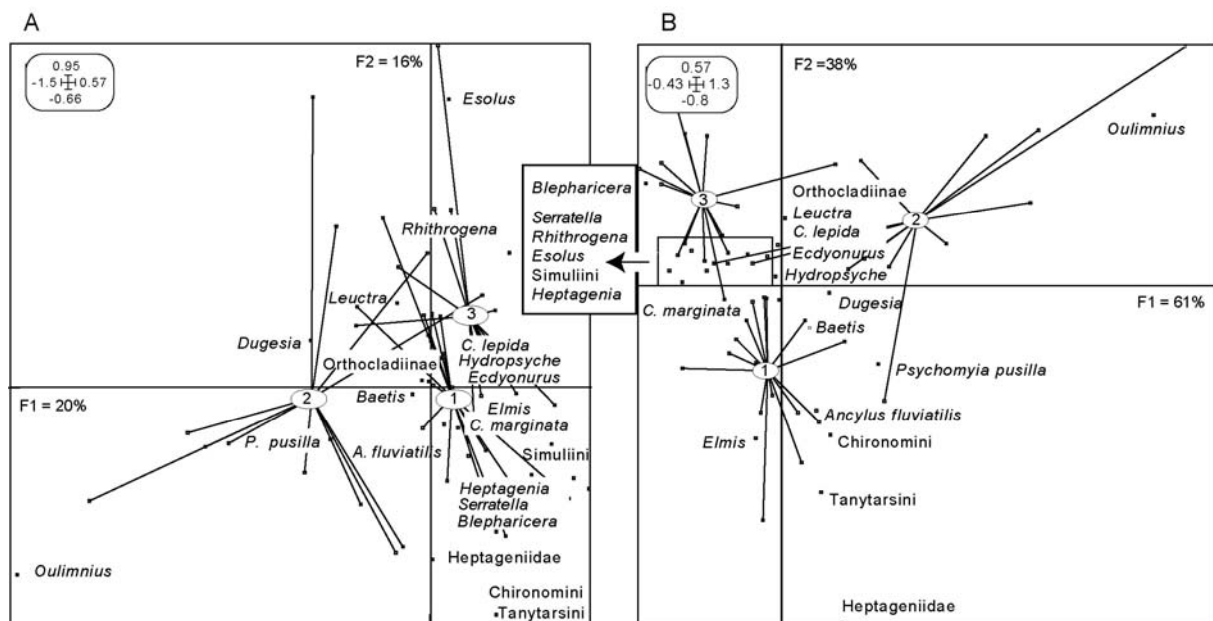


Figure 24 : Situation estivale. A : premier plan factoriel des centres d'inertie des prélèvements réalisés sur les trois seuils du site atelier Allier et des taxons dans l'AFC simple. B : premier plan factoriel des centres d'inertie des prélèvements réalisés sur les trois seuils et des taxons dans l'analyse inter-seuils.

En ne retenant que les taxons les plus polluo-sensibles, il apparaît au **printemps** que les Plécoptères des genres *Protonemura*, *Dinocras* ou *Isoperla* sont absents des 2 seuils situés en aval de la gravière. En revanche, en **été**, *Perla*, *Isoperla* ou *Perlodes* sont présents majoritairement sur les seuils 1 et 3 et en moindres proportions sur le seuil 2.

Les TBEP choisis pour estimer la richesse du milieu en nutriments (« degré de trophie ») et en matière organique (« valeur saprobiale »), ainsi que les « modes d'alimentation » fournissent un intéressant complément d'information sur le fonctionnement du milieu. Des Analyses des Correspondances Floues et des analyses inter-groupes ont été faites sur ces trois catégories de TBEP

pour le printemps et l'été. Elles révèlent que les seuils ne sont discriminés qu'en été et avec seulement 10% de la variabilité totale. Le seuil 1 présente une tendance à la mésotrophie et à la β - α -mésosaprobie, alors que le seuil 2 est à tendance oligotrophe et xéno- à oligosaprobe (Fig. 25 A & B), le seuil 3 se trouvant en position intermédiaire. Les modes d'alimentation indiquent que le seuil 1 abrite essentiellement des racleurs-brouteurs, des filtreurs et des prédateurs, alors qu'en aval (seuils 2 et 3), les racleurs – brouteurs ainsi que les broyeurs sont beaucoup mieux représentés (Fig. 25 C).

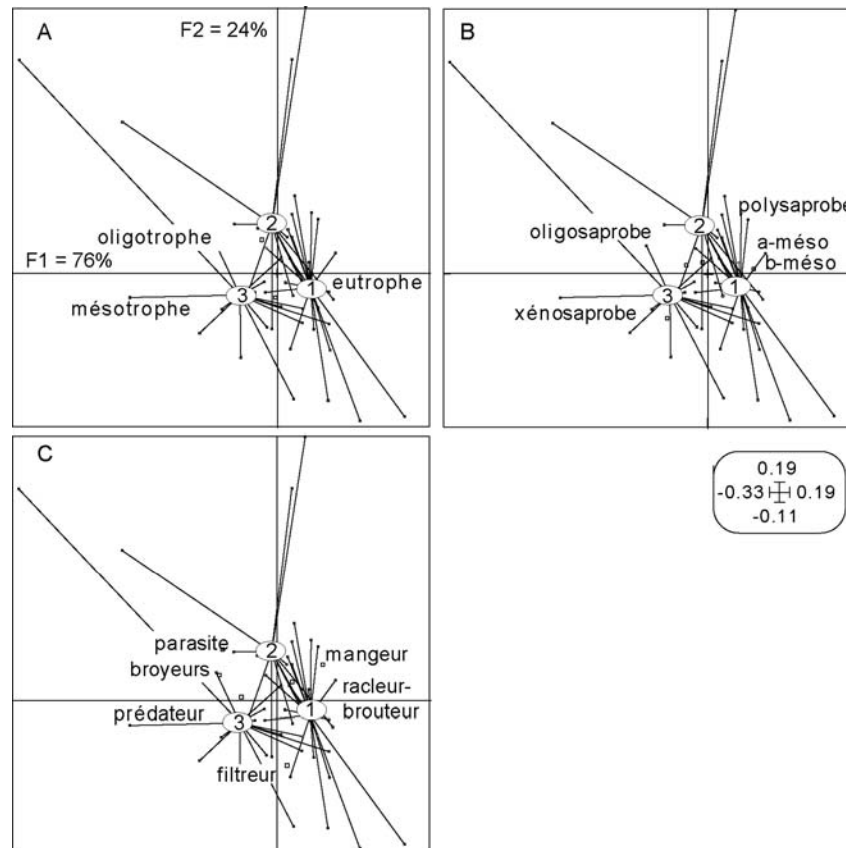


Figure 25 : Analyse des Correspondances Floues réalisée sur le tableau des Traits Biologiques Ecologiques et Physiologiques : A = degré de trophie ; B = valeur saprobiale ; C = mode d'alimentation. Positions des 3 seuils (disque) au centre de gravité des relevés (petits carrés) en fonction des modalités selon le plan factoriel F1-F2 en été.

L'étude entreprise sur les seuils de l'Allier montre que du point de vue physique, la granulométrie est le seul critère déterminant de la différenciation entre seuils (seuil 2 atypique). En effet, les autres variables physiques indiquent que du point de vue hydraulique tous les seuils se ressemblent, indépendamment de la présence de la gravière. Ce résultat souligne que ce type d'UG présente des conditions hydrauliques qui se reproduisent d'un seuil à l'autre, même dans un contexte d'impact géomorphologique fort. L'étude faunistique ne permet de discriminer les seuils de façon significative qu'en été (richesse en EPT, densité, listes taxonomiques et TBEP). Les raisons possibles de ces observations seront discutées ci-après.

II. Cas de la Loire : variabilité inter-seuils en situation non perturbée

La seconde étude a été réalisée sur trois stations de la Loire supérieure (stations 2, 5 et 7, voir Fig. 9 cf. chapitre 2 p. 40) constituées de 3 seuils consécutifs, de manière à tester la variabilité spatiale de la distribution des organismes. Elle a été conduite en septembre 2004 durant une période hydrologiquement stable ; les débits des 10 jours précédant l'échantillonnage étaient respectivement de $0,40 \pm 0,08 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ à la station 2, de $2,66 \pm 0,55 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ à la station 5 et de $4,83 \pm 1,18 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ à proximité de la station 7. Sur ces trois stations du *continuum* amont-aval, que leurs positions respectives devraient normalement différencier, des analyses ont été effectuées sur les données physiques et biologiques de façon à mesurer la variabilité inter-seuils.

A. Variabilité physique des seuils de la Loire

L'étude physique inter-seuils a été réalisée sur les variables suivantes : vitesse d'écoulement, profondeur (mesurées aux différents points de prélèvement sur chacun des 3 seuils des stations 2, 5 et 7) et granulométrie (estimée visuellement). Rappelons que l'échantillonnage a été conduit par type de biotope, sur la base de triplicats réalisés sur les différentes classes de granulométrie.

Ces variables physiques ont d'abord été analysées à l'aide d'une ACP simple associée à une analyse inter-stations. L'analyse inter-groupes effectuée sur l'ensemble des données révèle que ces stations présentent des différences hydrodynamiques significatives ($p=0$), la part de la variabilité totale prise en compte n'étant que de 12% (Tab. 27). Ce résultat traduit très probablement que les conditions hydrauliques de l'écoulement et les substrats de la rivière changent, en lien avec la position sur le *continuum* fluvial.

Tableau 27 : Synthèse des résultats des analyses inter-stations réalisées sur les seuils de Loire.

Analyse inter-stations	Pourcentage de variabilité expliquée	Significativité $p < 0,05$
Variables physiques (incluant la classe granulométrique dominante)	12	0
Variables faunistiques	37	0

En considérant chaque station prise individuellement, une seconde série d'ACP associées à des analyses inter-seuils a été mise en place afin de détecter s'il existe des différences significatives entre

les trois seuils d'une même station. Il n'en existe aucune entre les trois seuils des stations 2 et 7. En revanche, la station 5 présente des écarts faiblement significatifs (Tab. 28) : le seuil 5a, situé en amont d'une longue zone lenticule et caractérisé par une granulométrie un peu plus grossière, diffère sensiblement des deux autres.

Tableau 28 : Synthèse des résultats des analyses inter-seuils réalisées sur les seuils de la Loire.

Analyse inter-seuil	Paramètres physiques		Variables faunistiques	
	Pourcentage de variabilité expliquée	Significativité P < 0,05	Pourcentage de variabilité expliquée	Significativité p < 0,05
Inter-seuils 2	-	NS	-	NS
Inter-seuils 5	18	0,02	22	0,01
Inter-seuils 7	-	NS	-	NS

B. Variabilité faunistique des seuils de la Loire

L'analyse des richesses totale et en EPT montre que les variations de ces richesses taxonomiques sont moins contrastées que celle des densités moyennes (Fig. 26), cette dernière pouvant parfois présenter une forte hétérogénéité d'un seuil à l'autre (ex. seuil 5c). Si nous ne considérons que les taxons polluo-sensibles, peu de différences apparaissent entre trois seuils consécutifs, certains taxons pouvant être communs à chacun des seuils d'une même station. *Perla* est collecté sur les 3 seuils des stations 2 et 5, *Perlodes* et *Arcynopteryx compacta* sont collectés sur les 3 seuils de la station 2, de même *Taeniopteryx* à la station 5 et *Oligoplectrum maculatum* à la station 7 (Tab. 29).

Les listes taxonomiques (N > 1%) des 3 seuils des stations 2, 5 et 7 ont été analysées à l'aide d'une AFC simple associée à une analyse inter-groupes de manière à détecter d'éventuelles différences biologiques entre les trois stations. L'analyse inter-groupes discrimine efficacement les trois stations (p = 0 avec 37% de la variabilité totale) (cf. Tab. 27). Sur la cartographie factorielle, les trois seuils d'une même station sont regroupés et indiquent que leur faune est semblable à identique, comme l'illustrent la superposition des seuils a et b de la station 2 et celle des seuils a et c de la station 7 (Fig. 27 A).

Une série d'analyses supplémentaires a été réalisée indépendamment de la position stationnelle au sein du *continuum* de façon à détecter la variabilité faunistique inter-seuils. L'analyse inter-groupes est faiblement significative uniquement pour la station 5, venant ainsi confirmer les résultats obtenus à partir des variables physiques (cf. Tab. 28). *Polycentropus*, *Epeorus*, *Ecdyonurus* et *Blepharicera* sont caractéristiques du seuil 5a, *P. pusilla* et les Orthocladiinae du seuil 5b et enfin, *Torleya major*, *Dugesia*,

Esolus, les Simuliini et les Tanytarsini du seuil 5c (Fig. 27 B). En revanche, les taxons indicateurs nécessaires à l'estimation de la qualité de l'eau demeurent présents quel que soit le seuil.

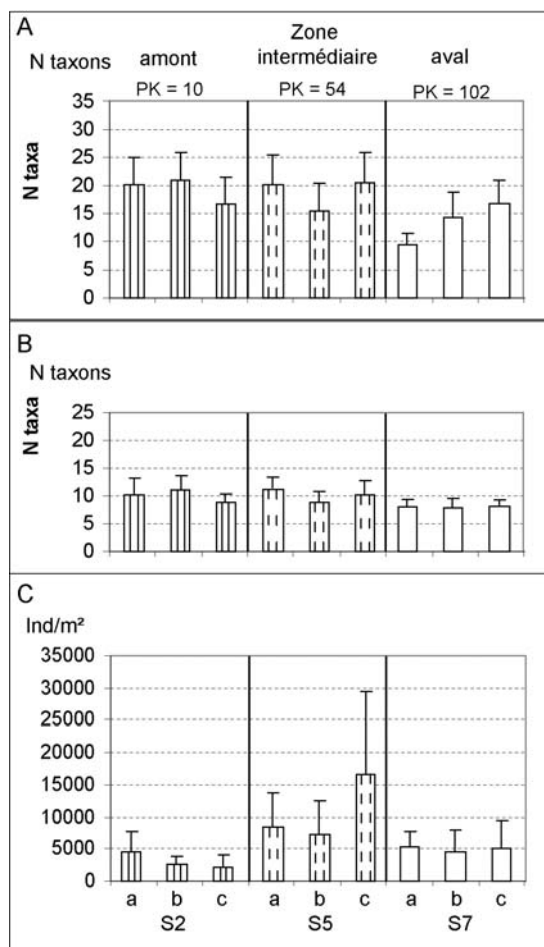


Figure 26 : Richesse taxonomique totale (A), richesse taxonomique en EPT (B) et densité (ind.m²) (C) (moyenne ± écart-type) de la communauté de macroinvertébrés collectés sur les différents seuils (a, b, c) des stations 2, 5 et 7 échantillonnées sur la Loire.

Les trois seuils consécutifs sont représentés par le même figuré.

PK : distance kilométrique par rapport à la source de la Loire.

Tableau 29 : Taxons indicateurs présents sur les trois seuils d'une station de la Loire (les taxons figurant en gras sont communs à différents seuils).

Seuil	Taxons
2a	<i>Chloroperla</i> , <i>Perla</i> , autres Perlidae, <i>Perlodes</i> , <i>Arcynopteryx compacta</i> ,
2b	<i>Chloroperla</i> , <i>Perla</i> , autres Perlidae, <i>Isoperla</i> , <i>Perlodes</i> ,
2c	<i>Chloroperla</i> , <i>Perla</i> , <i>Perlodes</i> .
5a	<i>Perla</i> , <i>Dinocras</i> , <i>Taeniopteryx</i> ,
5b	<i>Perla</i> , <i>Taeniopteryx</i> ,
5c	<i>Perla</i> , <i>Taeniopteryx</i> ,
7a	<i>Oligopteryx maculatum</i> ,
7b	<i>O. maculatum</i> , <i>Chimarra marginata</i> ,
7c	<i>O. maculatum</i> , <i>C. marginata</i> .

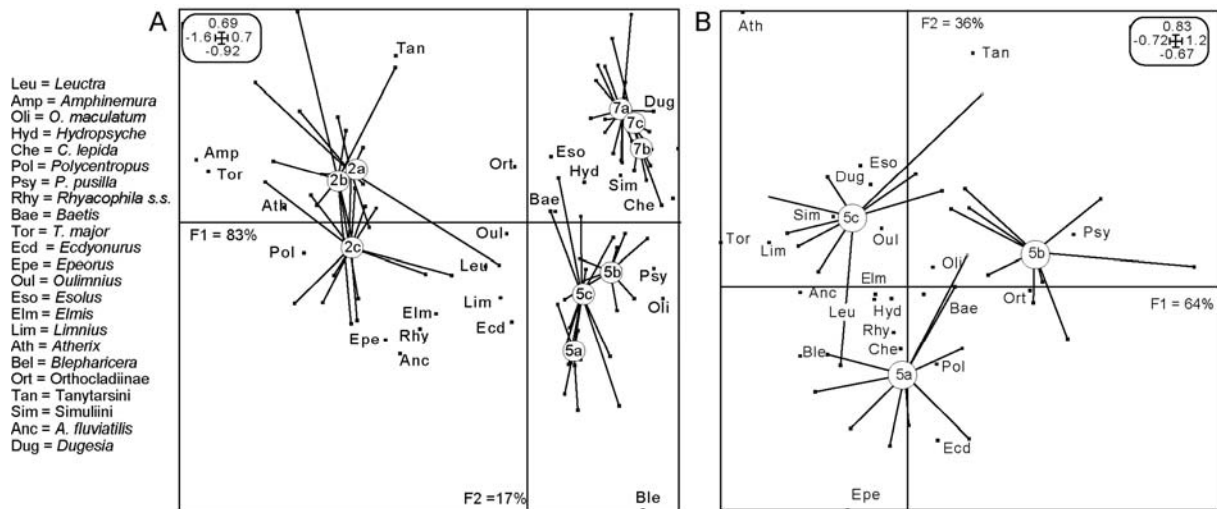


Figure 27 : A : premier plan factoriel des centres d'inertie des prélèvements réalisés sur les 9 seuils des 3 stations et des taxons dans l'analyse inter-stations. B : premier plan factoriel des centres d'inertie des prélèvements réalisés sur les trois seuils de la station 5 et des taxons dans l'analyse inter-seuils.

Une fois la question de la position de la station sur le *continuum* éliminée, les résultats de ces séries d'analyses indiquent que du point de vue physique, les conditions de granulométrie et d'hydrodynamique sont généralement identiques d'un seuil à l'autre. Ceci n'exclut pas une certaine vigilance de l'opérateur lors de la sélection du site, de façon à éviter d'éventuels cas particuliers (*i.e.* station 5). Du point de vue biologique, les peuplements macrobentiques ne diffèrent pas significativement d'un seuil à l'autre. Les particularités détectées lors de l'analyse physique de la station 5 sont confirmées par l'étude faunistique. Cependant, en se concentrant sur les taxons polluo-sensibles, la qualité de la bio-évaluation n'est pas altérée quel que soit le seuil retenu au sein de la station.

III. Discussion et conclusion

Dans le but d'analyser les communautés de macroinvertébrés d'un secteur de rivière, avec une attention particulière pour les taxons polluo-sensibles nécessaires aux études de bio-évaluation de la qualité de l'eau, nous discuterons successivement de l'impact de la capture de la rivière par la gravière sur les habitats du site atelier Allier et sur la macrofaune benthique associée. Puis, nous verrons s'il est possible de limiter l'effort d'échantillonnage à un seul seuil en nous basant sur les résultats obtenus sur les trois stations de la Loire.

Sur l'Allier, les résultats faunistiques indiquent une différence significative uniquement pour le seuil localisé en aval immédiat de la gravière et seulement en été. Plusieurs explications peuvent être avancées. Elles tiennent à 3 facteurs possibles dont il est difficile de déterminer les contributions respectives : 1) effet physique de nature granulométrique ; 2) effet décantateur du plan d'eau de la gravière qui, en période de très faible débit, retient temporairement une partie de la matière organique

en suspension ; 3) saisonnalité renforcée par l'artificialisation des écoulements, les lâchers du réservoir de Naussac venant compléter les débits d'origine naturelle.

1) La gravière qui a capturé le chenal constitue un piège infranchissable pour les graviers et galets. Les travaux réalisés pour quantifier les transports solides de l'Allier ont ainsi montré le piégeage d'un volume annuel moyen de 2600 à 2900 m³.an⁻¹ de gravier depuis 1991 (Simont, 2003), dont environ 6500 m³ pour la seule année 2004 au cours de laquelle une crue de fréquence vingtennale s'est produite (Peiry, 2004). Cette rupture de la continuité sédimentaire semble avoir été enregistrée par le milieu physique : la diminution de la granulométrie du substrat au droit du seuil 2 principalement, provient très probablement de la dominance d'un processus de recharge par érosion des berges (fort recul latéral de la rive gauche), leur granulométrie étant plus fine que celle de la charge charriée au fond du cours d'eau. L'absence d'apports grossiers amont induit donc un mécanisme d'affinement différentiel de la granulométrie du seuil 2 et dans une moindre mesure du seuil 3.

La granulométrie est connue pour influencer la composition du peuplement (Wohl *et al.*, 1995) et les macroinvertébrés échantillonnés sur les UG seuils de l'Allier ont enregistré ces changements du milieu physique (de manière statistiquement significative en été) qui conduisent à une uniformisation des habitats (Tab. 30). Ceci s'est traduit par une baisse de la richesse et de la densité de la communauté macrobenthique, ainsi que par une légère perte de certains taxons polluo-sensibles au niveau du seuil 2 (Beauger, 2008). Celle-ci est liée à la diminution de la proportion des substrats > 128 mm qui, en offrant des vides nombreux et de grande taille, sont connus pour abriter de nombreux taxons. De tels vides favorisent notamment la construction des filets de soies permettant la collecte de nourriture par *Hydropsyche* et *Cheumatopsyche lepida* (Cummins & Klug, 1979) et leur diminution explique la baisse de densité de ces taxons au niveau du seuil 2 (Beauger *et al.*, 2006).

2) De surcroît, l'ancienne gravière au courant très lent agit comme un bassin de décantation temporaire pour les matières en suspension, qu'elles soient organiques ou minérales, avec des conséquences indirectes sur les peuplements d'invertébrés. Ceci peut expliquer la diminution de la richesse et de la densité des macroinvertébrés benthiques en aval (particulièrement marquée au printemps) et de la variabilité taxonomique (significative en été), par manque de nourriture. Au regard des modes d'alimentation, en amont de la gravière les filtreurs reflètent la présence de matières nutritives en suspension dans l'eau. En aval immédiat, la diminution de la densité de taxons filtreurs tels que *Hydropsyche*, *C. lepida* ou encore celle des Simuliini témoigne de l'impact de la gravière sur les matières nutritives en suspension, provenant de l'écoulement. En conséquence, une productivité moindre peut aussi expliquer la diminution des *Rhyacophila s.s.*, dans la mesure où leurs proies

potentielles sont en densité trop faible (Cushing & Allan, 2001). A l'inverse des organismes dont l'alimentation dépend de la nourriture circulante, les taxons racleurs-broueteurs tels que *Oulimnius*, etc., qui sont relativement denses, se nourrissent du biofilm algal qui recouvre visiblement les sédiments à cet endroit. Il en est de même pour les broyeurs tels que *Leuctra* ou *P. luteus* qui ont à leur disposition les apports de la ripisylve (Tachet *et al.*, 2000 ; Cushing & Allan, 2001). Cependant, ces différences observées d'un seuil à l'autre n'ont pas remanié profondément la diversité faunistique caractéristique de ces secteurs encore riches en taxons polluo-sensibles.

Les TBEP « degré de trophie » et « valeur saprobiale » reflètent bien cette modification des teneurs en matières nutritives (de manière statistiquement significative en été). Le passage d'une eau de tendance mésotrophe (seuil 1) à tendance oligotrophe (seuil 2) indique qu'il s'est produit dans la gravière une diminution de la quantité de substances organiques issues de la photosynthèse, voire une sédimentation, avant un retour proche de la « normale amont » (seuil 3). La valeur saprobiale illustre ce phénomène de rétention des matières nutritives dans la gravière, le seuil 2 présentant de surcroît une eau xéno- à oligosaprobe, alors que le seuil 1 est plutôt β - α -mésosaprobe.

Tableau 30 : Principaux résultats de l'étude portant sur les successions de trois seuils sur l'Allier et la Loire.

HYPOTHESES	CONCLUSION	
	Printemps	Eté
Variabilité physique des trois seuils de l'Allier (vitesse d'écoulement, profondeur, médiane)	OUI	-
Variabilité faunistique des trois seuils de l'Allier	NON	OUI
Variabilité physique des trois seuils de la Loire (vitesse d'écoulement, profondeur, substrat)		
Station 2	NON	
Station 5	OUI	
Station 7	NON	
Variabilité faunistique des trois seuils de la Loire		
Station 2	NON	
Station 5	OUI	
Station 7	NON	

3) Les différences faunistiques observées entre le printemps et l'été ne sont certainement pas étrangères au soutien d'étiage du barrage de Naussac (effet de dilution des rejets urbains et diffus) couplé à la modification physico-chimique de l'eau entre le printemps et l'été (température, oxygénation, éléments nutritifs – voir chapitre 3, p. 69). A cela s'ajoutent les émergences liées aux cycles de vie des différents taxons, celles des sténothermes d'eaux chaudes étant favorisées.

Ainsi, ces résultats illustrent, d'une part, le pouvoir de résilience des organismes, la restructuration du peuplement s'étant réalisée en moins d'un kilomètre. D'autre part, ils confirment la pertinence du protocole d'échantillonnage proposé, l'UG seuil permettant de distinguer, par le biais des macroinvertébrés, la variabilité faunistique liée à une modification du potentiel d'accueil de la rivière, provoquée par une perturbation physique. Si, dans cet exemple, la qualité faunistique du peuplement n'a pas été profondément modifiée, cela sous-entend qu'en cas de perturbation physique (plus récente, plus brutale etc.), les macroinvertébrés benthiques peuvent parfaitement réagir, et dans de tels cas le choix d'un seul seuil doit être remis en question.

Dans le cas de **la Loire**, où les seuils sélectionnés se succèdent sans perturbation externe, les résultats concernant les peuplements de macroinvertébrés, toujours obtenus en période de stabilité hydrologique, démontrent qu'il n'existe pas de différence significative entre les seuils d'une même station, ce qui est concordant avec les résultats de Downes *et al.* (1993) et de Parsons *et al.* (2003).

L'observation de la géomorphologie locale exprime les spécificités physiques des stations et traduit la variabilité naturelle de la distribution des organismes, telle que nous l'avons constatée.

- A la station 2, la présence - absence de tel ou tel taxon singularise les trois seuils étudiés, mais de manière non significative statistiquement. Elle reflète simplement l'hétérogénéité naturelle du milieu.

- A la station 5, l'hétérogénéité de densité du seuil 5c est liée au fait que les substrats minéraux sur lesquels l'échantillonnage a été réalisé étaient partiellement couverts de macrophytes. Ceux-ci sont connus pour abriter de grandes densités de macroinvertébrés (Grubaugh *et al.*, 1996), susceptibles de dériver à proximité (ce qui – outre l'hétérogénéité de distribution classiquement observée - remet en cause le caractère discriminant que l'on pourrait attribuer à la densité). Les différences faunistiques du seuil 5b sont liées à la présence d'une zone lenticule dont le substrat, très grossier et colmaté, se trouve en aval d'une zone de surcreusement (située au niveau des piles d'un pont situé en amont de ce seuil).

- A la station 7, la rupture locale dans le profil en long (« nickpoint » selon Kondolf, 1997) en relation avec le processus d'incision de la Loire dans un secteur anciennement affecté par des extractions alluvionnaires, se traduit par la présence de quelques taxons spécifiques au niveau du seuil 7b.

Mais si cette légère variabilité entre les seuils d'une même station est parfois statistiquement significative (station 5), la communauté benthique de macroinvertébrés offre une diversité analogue en matière de taxons polluo-sensibles.

Les résultats obtenus aux trois stations échelonnées d'amont en aval sur la Loire, ont révélé des différences faunistiques significatives. En effet, au regard de l'évolution naturelle des réseaux trophiques sur le *continuum*, la variabilité inter-stations est demeurée supérieure à la variabilité inter-seuils d'une même station. Dès lors, quel que soit le seuil retenu à l'intérieur d'une station, les changements faunistiques observés à ces trois stations ne sont pas imputables au choix des seuils caractérisant chacune d'elles, mais sont liés aux processus d'évolution du fonctionnement amont-aval de la rivière.

L'ensemble de ces résultats confirme tout l'intérêt de réduire l'échantillonnage de la macrofaune benthique à des unités communes aux divers cours d'eau à charge de fond graveleuse. Les UG seuils sont des structures pérennes (si elles se déplacent, c'est progressivement dans le temps), facilement reconnaissables *in situ* (car au sommet des profils sinusoïdaux) et plus accessibles que les UG mouilles. Dès le départ, nous avons cherché à nous placer dans des conditions d'état de référence, ce qui fait que le degré des perturbations physiques observées n'a pas modifié profondément l'organisation de ces communautés. Les observations ont permis de souligner la sensibilité des macroinvertébrés aux conditions locales. Cependant, les perturbations n'ont pas remis en cause le développement des taxons polluo-sensibles nécessaires à estimer la qualité de l'eau. Ainsi, avant de conclure à une amélioration (ou une détérioration) de la qualité de l'eau, une grande attention doit être portée aux conditions hydro-écologiques locales, ainsi qu'aux perturbations ambiantes, susceptibles de remettre en cause la structure des macroinvertébrés benthiques. De ce fait, comme nous venons de le démontrer, si pour une station donnée, le protocole d'échantillonnage peut être réduit à un seuil, il convient avant tout d'observer sur le terrain les spécificités des géoformes, ce qui nécessite à l'évidence une bonne connaissance des processus de fonctionnement du secteur de rivière concerné.

Nous retiendrons de cette étude que le protocole de collecte sur un seuil donné s'avère efficace pour étudier les communautés de macroinvertébrés ; il permet à lui seul d'évaluer la qualité de l'eau d'une rivière à successions seuils – mouilles. L'un des intérêts de ce type de résultat est de ne pas avoir – en particulier dans le cas des rivières larges - à cartographier une station d'étude dont la longueur doit correspondre à 10 fois sa largeur, ce qui économise beaucoup de temps sur le terrain (coût).

Cependant, à notre connaissance, quel que soit le protocole d'échantillonnage adopté par les auteurs, il n'est pas fait statistiquement référence au choix du nombre nécessaire et suffisant d'échantillons permettant d'obtenir des résultats représentatifs. C'est pourquoi nous nous proposons dans la suite de ce travail, de définir quel effort d'échantillonnage il convient de développer sur un seuil, avant d'en tester, dans un second temps, la robustesse du protocole sur un linéaire de cours d'eau.