
Suivi de la macrofaune benthique

Comparaison statistique d'outils d'identification des macroinvertébrés benthiques

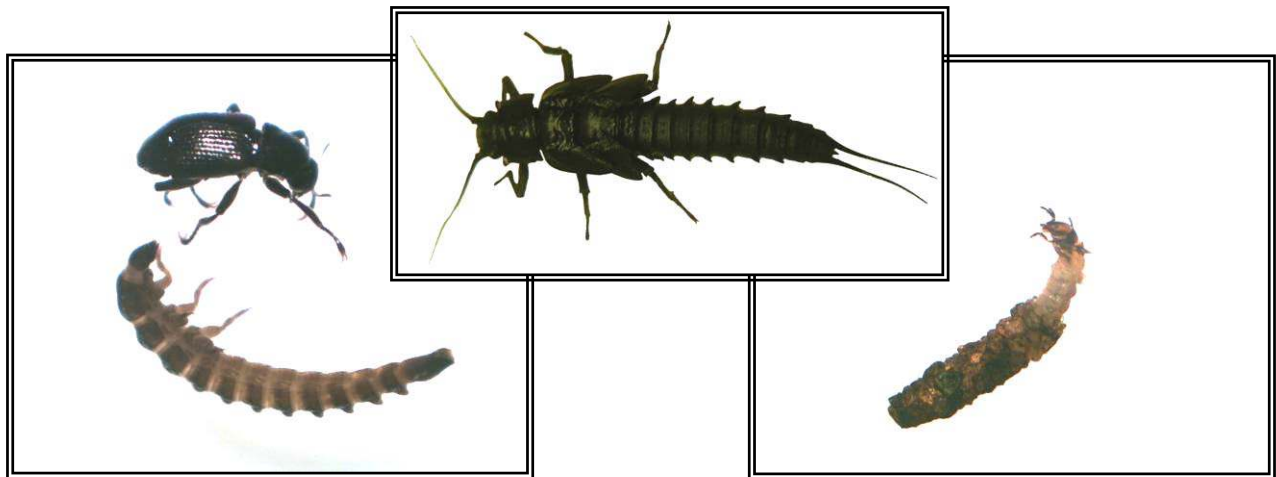


Table des matières

<i>TABLE DES MATIÈRES</i>	<i>III</i>
<i>LISTE DES TABLEAUX</i>	<i>IV</i>
<i>LISTE DES FIGURES</i>	<i>IV</i>
<i>LISTE DES ANNEXES</i>	<i>V</i>
<i>RÉSUMÉ</i>	<i>VI</i>
<i>INTRODUCTION</i>	<i>1</i>
<i>MATÉRIEL ET MÉTHODE</i>	<i>2</i>
<i>Préparation des données</i>	<i>2</i>
<i>Analyse des données</i>	<i>5</i>
<i>RÉSULTATS</i>	<i>9</i>
<i>Variables environnementales</i>	<i>9</i>
<i>Métriques</i>	<i>13</i>
<i>Indice multimétrique</i>	<i>22</i>
<i>Analyses multivariées</i>	<i>24</i>
<i>DISCUSSION</i>	<i>30</i>
<i>CONCLUSION</i>	<i>34</i>
<i>RÉFÉRENCES</i>	<i>35</i>

Liste des tableaux

Tableau 1 : Quatre types de station à l'étude.....	3
Tableau 2 : Critères préliminaires utilisés pour désigner des stations de référence)	4
Tableau 3 : Critères préliminaires utilisés pour désigner des stations impactées	4
Tableau 4 : Liste des métriques et indices à tester	7
Tableau 5 : Indices de discrimination (DE) et coefficients de variation (CV) des différentes métriques pour les trois niveaux d'identification	8

Liste des figures

Figure 1 : Localisation des stations (2003-2004-2005).....	2
Figure 2 : Diagrammes en boîte de l'utilisation du territoire pour le bassin versant en pourcentage pour les quatre types de station	9
Figure 3 : Diagrammes en boîte de l'altitude en mètre et de la superficie drainée en kilomètre carrée pour les quatre types de station	10
Figure 4 : Diagrammes en boîte de l'indice de la qualité de l'habitat (IQH Total) et de l'indice de la qualité de la bande riveraine (IQBR) pour les quatre types de station	11
Figure 5 : Diagrammes en boîte des principales variables physico-chimiques (pH, conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$), turbidité (UNT), azote total (mg/l), phosphore total (mg/l) et alcalinité (mg/l)) pour les trois types de station	12
Figure 6 : Diagrammes en boîte des métriques % EPT (éphémères, plécoptères et trichoptères) et pourcentage d'insectes pour les trois niveaux d'identification et les quatre types de station	13
Figure 7 : Diagrammes en boîte de la métrique pourcentage d'intolérants pour les trois niveaux d'identification et les quatre types de station	14
Figure 8 : Diagrammes en boîte de l'indice biotique d'Hilsenhoff (HBI) pour les trois niveaux d'identification et les quatre types de station. Les cotes sont présentées pour le HBI famille	16
Figure 9 : Diagrammes en boîte des métriques nombre de taxons total et nombre de taxon EPT (éphémères, plécoptères et trichoptères) pour les niveaux d'identification famille et MDDEP et les quatre types de station	18
Figure 10 : Diagrammes en boîte de la métrique nombre de taxons intolérants pour les niveaux d'identification famille et MDDEP et les quatre types de station	19
Figure 11 : Diagrammes en boîte des indices de Shannon-Wiener et Équitabilité pour les niveaux d'identification famille et MDDEP et les quatre types de station	21

Figure 12 : Diagrammes en boîte de l'indice d'intégrité biologique de la Virginie occidentale (WVSCI) pour les trois niveaux d'identification et les quatre types de station23

Figure 13 : Analyse des correspondances pour les données d'abondance au niveau taxonomique de la famille pour les 43 stations25

Figure 14: Analyse des correspondances pour les données d'abondance au niveau taxonomique volontaire du MDDEP pour les 43 stations27

Figure 15 : Analyse des correspondances pour les données d'abondance au niveau taxonomique élémentaire de l'OBBN pour les 43 stations29

Liste des annexes

ANNEXE 1 LISTE DES TAXONS

ANNEXE 2 ANALYSES MULTIVARIÉES DES DONNÉES ENVIRONNEMENTALES

ANNEXE 3 COTES DE TOLÉRANCE UTILISÉES

ANNEXE 4 FORMULES UTILISÉES POUR CALCULER LE DE ET LA PRÉCISION

ANNEXE 5 INDICE D'INTÉGRITÉ BIOLOGIQUE DE LA VIRGINIE OCCIDENTALE POUR LES 43 STATIONS

Résumé

L'objectif de cette étude était d'évaluer la capacité à discriminer entre des stations impactés (agricoles et urbaines) et des stations de référence pour deux niveaux d'identification utilisés par les volontaires en les comparant au niveau d'identification de référence (famille). Pour ce faire, les données de 43 stations du MDDEP ont été utilisées. Les stations ont été séparées *a priori* en stations de référence, agricoles, urbaines et tests par le jugement professionnel et confirmées par la suite par des critères physico-chimiques et d'habitat. Les taxons identifiés généralement au genre ont été ramenés aux trois niveaux d'identification (famille, volontaire MDDEP et élémentaire OBBN).

Les analyses multivariées avec le niveau d'identification OBBN ont permis de distinguer les stations agricoles des stations de référence mais elles n'ont pas permis de distinguer clairement deux des quatre stations urbaines des stations de référence. Très peu de métriques ont pu être calculées et de ce nombre, très peu sont qualifiées de bonnes métriques. Il semble donc difficile d'envisager pouvoir développer un indice multimétrique efficace avec le niveau d'identification OBBN.

Les analyses multivariées avec le niveau d'identification MDDEP permettent de distinguer aussi bien les stations agricoles que les stations urbaines des stations de référence. Presque toutes les métriques peuvent être calculées et il y a autant de métriques qui sont qualifiées de bonnes qu'au niveau d'identification à la famille. L'utilisation d'un indice multimétrique est facilement envisageable. Le niveau d'identification MDDEP semble donc être un compromis intéressant se situant entre les niveaux d'identification OBBN et famille.

Des analyses multivariées de type canonique qui intègrent les variables environnementales dans les analyses permettraient de confirmer ou non les tendances observées dans cette étude.

Introduction

L'étude « Suivi de la macrofaune benthique : comparaison de trois méthodes » réalisé par le CVRB en 2005 suggérait que les deux méthodes volontaires testées (MDDEP et OBBN) permettent de récolter des macroinvertébrés benthiques dans des proportions semblables à la méthode scientifique du ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec (MDDEP). Cependant, elle questionnait la capacité du niveau d'identification élémentaire (27 taxons) de l'Ontario Benthos Biomonitoring Network Protocol Manual pour distinguer les sites de références et les sites impactés à différents degrés (Jones *et al*, 2005; CVRB, 2005).

Pour faire suite à cette étude, Environnement Canada veut savoir si les outils d'identification volontaires permettent de discriminer statistiquement la qualité des sites de référence de celle des sites impactés. Les deux niveaux d'identification volontaires des macroinvertébrés benthiques (MDDEP et OBBN) seront comparés au niveau d'identification de la famille qui servira de référence.

L'objectif de cette étude est donc d'évaluer à l'aide d'analyses statistiques la capacité à discriminer entre des stations de référence et des stations impactés pour deux niveaux d'identification utilisés par les volontaires en les comparant au niveau d'identification de référence (famille).

Matériel et méthode

Préparation des données

Les données du ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec (MDDEP) sont utilisées. Il s'agit de données récoltées en 2003, 2004 et 2005 par le MDDEP à l'aide de leur méthode scientifique. Cette méthode est utilisée dans les petits cours d'eau à écoulement rapide et à substrat grossier et les macroinvertébrés benthiques sont capturés à l'aide d'un filet troubleau 600 microns (20 coups de filet de 30 secondes dans une station de 100 mètres).

Nous disposons de 33 stations d'échantillonnage différentes pour les analyses statistiques (figure 1). Cependant, certaines stations ont été inventoriées plus d'une année. Par conséquent, nous disposons de 43 stations. Il s'agit de stations de référence (témoin), de stations agricoles, de stations tests et de quelques stations urbaines.

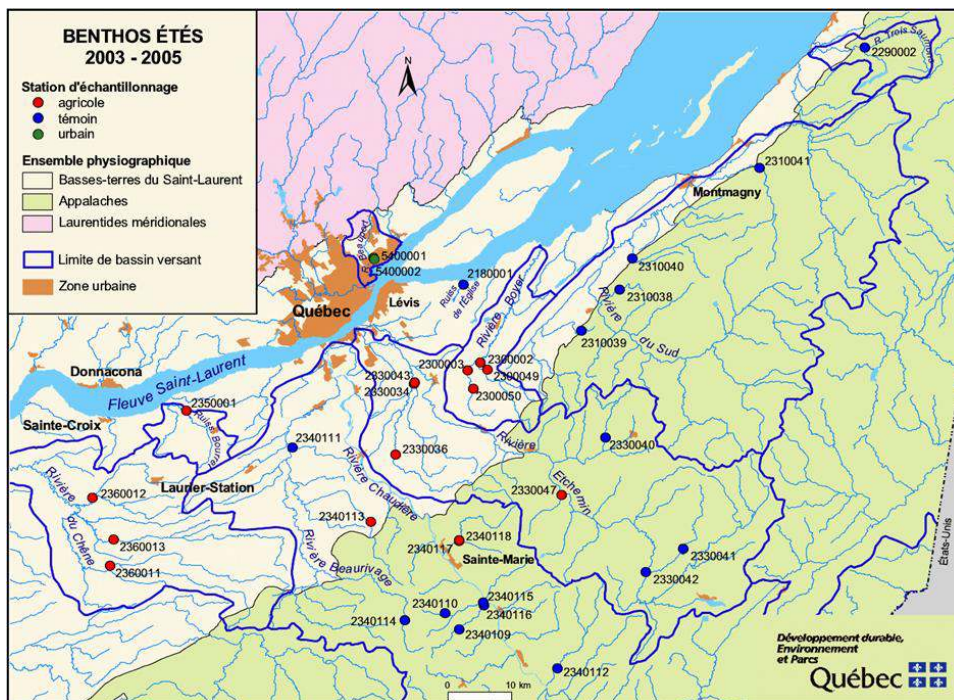


Figure 1 : Localisation des stations (2003-2004-2005) (Source : Direction du suivi de l'état de l'environnement, MDDEP)

Les 43 stations ont été regroupées en quatre types de station (référence, agricole, urbain et test) *a priori* par le jugement professionnel et confirmées par la suite par des critères physico-chimiques et d'habitat recueillis à chaque station. Ces critères ont été retenus à partir d'une revue de littérature. Dans le cas des stations de référence qui vont servir de contrôle expérimental, il s'agit de sélectionner des stations qui représentent les conditions biologiques des lieux où les perturbations anthropiques ont eu des effets minimales (Jones *et al*, 2005). Les stations sont séparées en 18 stations de référence, 12 stations agricoles, quatre stations urbaines et neuf stations tests (tableau 1). Les critères préliminaires utilisés pour désigner les stations de référence se retrouvent au tableau 2. Les données physico-chimiques et de l'habitat ont aussi été prises en compte dans la sélection des stations agricoles (tableau 3). Ces stations étaient bien documentées par le MDDEP. Les stations tests sont des stations intermédiaires qui ne peuvent être qualifiées *a priori*. Suite à des analyses plus poussées des variables de l'habitat et de physico-chimie, certaines de ces stations pourraient devenir des stations de référence pour les basses terres du Saint-Laurent. Il s'agirait dans ce cas des stations les moins perturbées pour les basses terres du Saint-Laurent.

Tableau 1 : Quatre types de station à l'étude

Référence	Agricole	Urbain	Test
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Calway ▪ Des Abénaquis (3 ans) ▪ Lessard 1 et 2 ▪ Beaurivage ▪ Petite rivière Sainte-Marguerite ▪ Des Fleurs ▪ Ruisseau Sans Nom (Etchemin) (3 ans) ▪ Ruisseau Guay ▪ Nadeau ▪ Desbarats ▪ Morigeau ▪ Des Perdrix ▪ Trois Saumons 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Boyer sud 1 (3 ans) et 2 ▪ Boyer nord 1 (3ans) et 2 ▪ Bras d'Henri ▪ Le Bras 2 et 3 ▪ Ruisseau Fourchette 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Beauport 1 (2 ans) et 2 (2 ans) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cugnet ▪ Ruisseau de l'Église ▪ Ruisseau de la Chute ▪ Ruisseau Beaudet ▪ Chassé ▪ Du Chêne ▪ Du Domaine ▪ Henri ▪ Huron

Tableau 2 : Critères préliminaires utilisés pour désigner des stations de référence (adapté de Klemm *et al*, 2003; Stribling *et al*, 1998; Waite *et al*, 2000, Major *et al*, 2000)

Critères	Valeurs
pH	≥ 6 OU pH < 6 et carbone organique dissous (COD) ≥ 8 mg/l
Phosphore total	< 0,02 mg/l
Azote total	< 0,75 mg/l
Indice de l'habitat (IQHT)*	> 75 % (> 150/200 points)
Largeur de la bande riveraine	≥15 m
% urbain dans le bassin versant	≤ 15%
% de forêt dans le bassin versant	> 50 %
Pas de redressement du cours d'eau	
Pas de rejet ponctuel	

* adapté de Barbour *et al*, 1999

Tableau 3 : Critères préliminaires utilisés pour désigner des stations impactées (adapté de Stribling *et al*, 1998)

Critères	Valeurs
pH	≤ 5
Phosphore total	> 0,1 mg/l
Azote total	> 5 mg/l
Indice de l'habitat (IQHT)	< 50 % (> 100/200 points)
% territoire urbain dans le bassin versant	> 50 %

Les macroinvertébrés ont été identifiés généralement jusqu'au niveau taxonomique du genre (CVRB, 2005). Avant d'être transposé au niveau d'identification souhaité (famille, MDDEP et OBBN), le fichier d'abondance taxonomique a subi une raréfaction. En effet, le nombre de macroinvertébrés visé par station était de 200, cependant certaines stations contiennent beaucoup plus de macroinvertébrés. Une raréfaction à 200 macroinvertébrés a donc été appliquée avec le logiciel Ecosim (Gotelli et Entsminger, 2006). Les données ont ensuite été transposées à trois niveaux taxonomiques, soit à la famille, au niveau volontaire du MDDEP et au niveau élémentaire de l'OBBN (annexe 1 :

liste des taxons MDDEP et OBBN). Nous obtenons 77 taxons différents au niveau de la famille, 49 taxons au niveau volontaire du MDDEP sur une possibilité de 73 et 24 taxons au niveau élémentaire de l'OBBN sur une possibilité de 27.

Analyses des données

Les données environnementales permettent de valider le classement des 43 stations dans l'un des quatre types (référence, urbain, agricole et test). Des graphiques de type diagramme en boîte sont utilisés afin de présenter les différentes variables environnementales. Les diagrammes en boîte utilisés présentent la médiane, les valeurs maximales et minimales ainsi que le 25^{ième} et le 75^{ième} percentile. Les variables physico-chimiques n'ont pas été mesurées dans les stations urbaines. Une analyse multivariée (analyse en composantes principales) a été réalisée à titre exploratoire seulement pour les données de l'habitat et pour les données physico-chimiques (annexe 2). Avant de réaliser les analyses multivariées, les données ont été transformées afin qu'elles se rapprochent davantage d'une distribution normale. La transformation logarithmique ($\log_{10}(x + 1)$) a été utilisée sauf pour les données en pourcentage qui ont été transformées avec l'arcsin racine carrée (Roy *et al*, 2005).

Plusieurs métriques ont été calculées à partir des données d'abondance pour les trois niveaux d'identification (tableau 4). Les cotes de tolérance utilisées pour les métriques HBI, % tolérant, % intolérant et nombre de taxons intolérants se retrouvent à l'annexe 3. Les meilleures métriques ont été sélectionnées en calculant un indice de discrimination (DE) entre les stations de référence et les stations agricoles et un coefficient de variation (CV) pour les stations de référence (tableau 5, annexe 4). Le DE est le pourcentage de stations impactées qui se situent dans le 25^{ième} percentile des stations de référence (Barbour *et al*, 1999; Major *et al*, 2001). Un DE élevé indique une meilleure séparation entre les sites de références et les sites impactés pour une métrique. Un CV bas indique une plus grande précision pour une métrique. Les meilleures métriques (DE de 70% et plus, CV de 25 et moins) sont présentées dans la section résultat avec des diagrammes en boîte. Le choix du DE discriminant est basé sur Major *et al*, 2001 et

celui du CV discriminant est arbitraire. Les diagrammes en boîte utilisés présentent la médiane, les valeurs maximales et minimales ainsi que le 25^{ième} et le 75^{ième} percentile.

L'indice multimétrique de la Virginie occidentale (WVSCI) a été calculé pour les trois niveaux d'identification et les quatre types de stations (Craddock, 2005). Cet indice combine le résultat de six métriques (% Taxon dominant, % EPT, Nombre de taxon EPT, % Chironomides, HBI et Nombre de taxon total) afin d'obtenir un indice d'intégrité biologique. L'indice a été calibré pour le Québec en fonction des 18 stations de références. Les six métriques de l'indice ont été calibrées en utilisant le 95^{ième} ou le 5^{ième} percentile comme balise pour obtenir une cote de 100% pour chaque métrique. L'indice WVSCI permet de séparer les stations entre 5 classes, deux classes impactées « pauvre » et « marginal », deux classes non impactées « bon » et « excellent » et une « zone grise » qui fait référence à la marge d'erreur de l'indice où l'on ne peut trancher entre une station impactée et non impactée. Les diagrammes en boîte de l'indice WVSCI sont présentés dans la section résultat pour les trois niveaux d'identification et les quatre types de stations. Les diagrammes en boîte utilisés présentent la médiane, les valeurs maximales et minimales ainsi que le 25^{ième} et le 75^{ième} percentile. La valeur de l'indice WVSCI pour les 43 stations en fonction des trois niveaux d'identification est présenté en annexe 5.

Des analyses multivariées (analyse de correspondance) ont été réalisées avec les 43 stations pour les trois niveaux d'identification avec le logiciel PAST (Hammer *et al.*, 2006). Les données n'ont pas été transformées puisqu'un fractionnement a été réalisé et que le fichier de base a subi une raréfaction à 200 macroinvertébrés (Rosenberg *et al.* 1999).

Tableau 4 : Liste des métriques et indices à tester

	Famille	MDDEP	OBBN
% EPT (éphémères, plécoptères et trichoptères)	✓	✓	✓
% E (Éphémères)	✓	✓	✓
% P (Plécoptères)	✓	✓	✓
% T (Trichoptères)	✓	✓	✓
% Hydropsychidae (sur T)	✓	✓	x
% Baetidae (sur E)	✓	x	x
% Diptères	✓	✓	✓
% Chironomides	✓	✓	✓
% Insectes	✓	✓	✓
% Oligochètes	✓	✓	✓
% Coléoptères	✓	✓	✓
% Gastéropodes	✓	✓	✓
% Taxon dominant	✓	✓	✓
% Tolérants*	✓	✓	✓
% Intolérants**	✓	✓	✓
Nombre taxon	✓	✓ (173)	✓ (127)
Nombre taxon EPT	✓	✓ (124)	✓ (13)
Nombre taxon Diptère	✓	✓ (16)	✓ (16)
EPT/Chironomide	✓	✓	✓
HBI (indice biotique d'Hilsenhoff)	✓ famille	✓ famille	✓ ordre
Shannon-Wiener	✓	✓	✓
Dominance	✓	✓	✓
Équitabilité	✓	✓	✓

E : éphéméroptère, P : plécoptère, T : trichoptère
(/ valeur maximale)

* cote de tolérance ≥ 7

** cote de tolérance ≤ 3 (Klemm *et al*, 2002)

x : métrique ne pouvant être calculée

Tableau 5 : Indices de discrimination (DE) et coefficients de variation (CV) des différentes métriques pour les trois niveaux d'identification

FAMILLE	DE (%)	CV	MDDEP	DE (%)	CV
% EPT	91,67	16,43	% EPT	91,67	16,43
% Éphémère	100,00	33,29	% Éphémère	100,00	33,29
% Plécoptère	100,00	47,14	% Plécoptère	100,00	47,14
% Diptère	100,00	55,28	% Diptère	100,00	55,28
% Chironomides	100,00	73,73	% Chironomides	100,00	73,73
% Insecte	100,00	5,42	% Insecte	100,00	5,42
% Oligochète	100,00	111,60	% Oligochète	100,00	111,60
% Taxon dominant	100,00	25,76	% Taxon dominant	100,00	25,76
Nbre taxon	100,00	10,45	Nbre taxon	91,67	9,54
Nbre taxon EPT	100,00	11,83	Nbre taxon EPT	91,67	7,94
Nbre taxon P	100,00	29,75	Nbre taxon P	100,00	28,39
Nbre taxon T	100,00	18,21	Nbre taxon T	91,67	14,29
EPT/chiro	100,00	80,67	EPT/chiro	100,00	80,67
% Hydropsyche sur T	100,00	53,33	% Hydropsyche sur T	100,00	53,33
% Baetidae sur E	41,67	74,82	% Baetidae sur E	x	x
% Tolérant	91,67	70,12	% Tolérant	91,67	70,51
% Intolérant	100,00	22,65	% Intolérant	100,00	24,27
Nbre taxon intolérant	100,00	17,39	Nbre taxon intolérant	100,00	13,26
HBI	100,00	16,45	HBI	100,00	15,75
Shannon-Wiener	100,00	7,39	Shannon-Wiener	100,00	6,93
Équitabilité	100,00	6,47	Équitabilité	100,00	6,46
Dominance	100,00	26,24	Dominance	100,00	24,78
OBBN	DE (%)	CV			
% EPT	91,67	16,45			
% Éphémère	100,00	33,34			
% Plécoptère	100,00	47,10			
% Diptère	100,00	55,42			
% Chironomides	100,00	73,91			
% Insecte	100,00	5,45			
% Oligochète	100,00	111,64			
% Taxon dominant	50,00	29,23			
Nbre taxon	58,33	13,87			
Nbre taxon EPT	58,33	0,00			
Nbre taxon P	58,33	0,00			
Nbre taxon T	0,00	0,00			
EPT/chiro	100,00	80,67			
% Hydropsyche sur T	x	x			
% Baetidae sur E	x	x			
% Tolérant	91,67	70,31			
% Intolérant	91,67	16,39			
Nbre taxon intolérant	66,67	15,75			
HBI	100,00	19,41			
Shannon-Wiener	58,33	14,14			
Équitabilité	50,00	12,96			
Dominance	58,33	33,02			

x : métrique ne pouvant être calculée

Résultats

Variables environnementales

La figure 2 présente les diagrammes en boîte de l'utilisation du territoire en fonction des quatre types de station. L'utilisation du territoire est majoritairement forestière dans les stations de référence et habituellement agricole dans les stations agricoles. Les stations urbaines sont composées principalement de territoire urbain et forestier. Les stations de références sont dans la norme établit pour l'utilisation du territoire (urbain < 20% et forestier > 50 %, tableau 2).

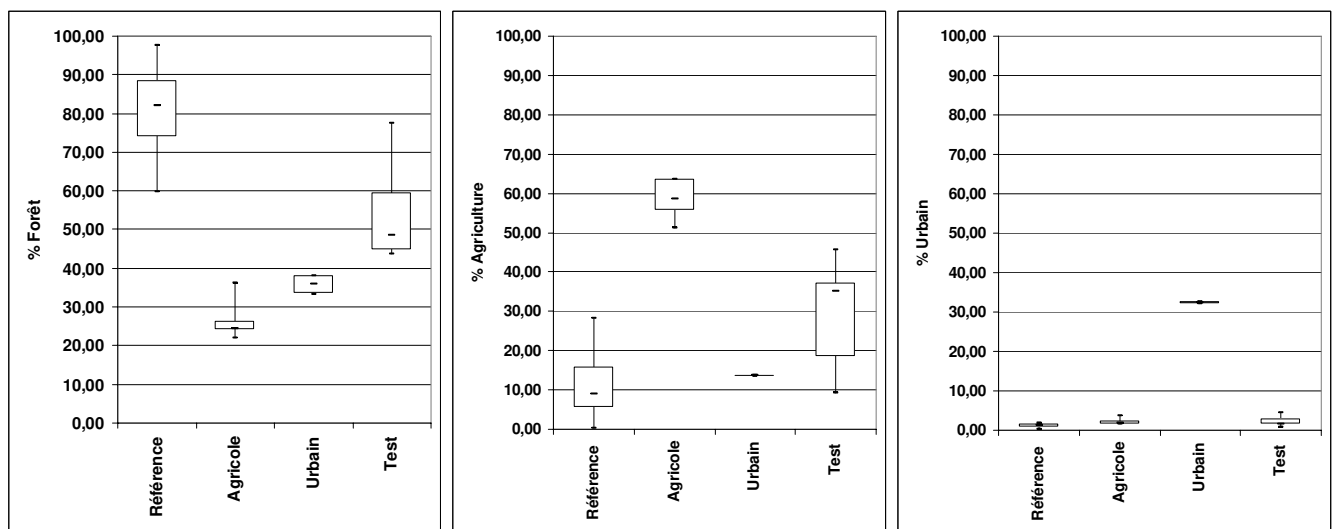


Figure 2 : Diagrammes en boîte de l'utilisation du territoire pour le bassin versant en pourcentage pour les quatre types de station (réfrence n = 19, agricole n = 12, urbain n = 4 et test n = 9)

La figure 3 présente les diagrammes en boîte de l'altitude en mètres et de la superficie drainée en kilomètres carrés pour les quatre types de station. Les stations de référence se situent à une altitude plus élevée que les autres types de station. Cependant, on retrouve une grande variabilité entre les stations de référence pour l'altitude et il y en a donc certaines qui sont en plus basse altitude. Les autres types de stations sont généralement à une altitude inférieure à 200 mètres. Au niveau de la superficie drainée, les stations de référence et agricole sont assez semblables. On retrouve une plus

grande variabilité au niveau des stations test. Il est à noter que l'ordre de Strahler est généralement de 2 ou 3 pour l'ensemble des stations.

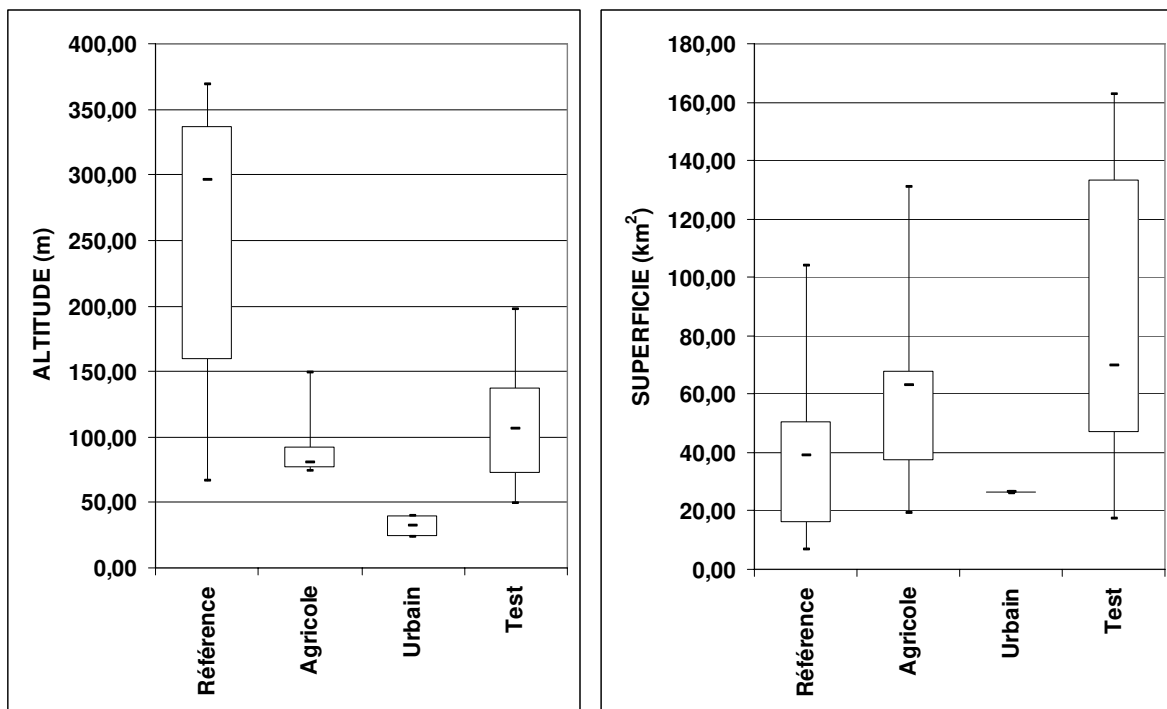


Figure 3 : Diagrammes en boîte de l'altitude et de la superficie drainée pour les quatre types de station (réfrence n = 19, agricole n = 12, urbain n = 4 et test n = 9)

La figure 4 présente les diagrammes en boîte de l'indice de la qualité de l'habitat (IQH Total) et de l'indice de la qualité de la bande riveraine (IQBR) pour les quatre types de station. L'IQH Total est un indice de la qualité générale de l'habitat qui comprend 10 paramètres et dont la valeur maximale est de 200 (adapté de Barbour *et al*, 1999). Les stations de référence ont toutes un indice de qualité de l'habitat supérieur à 150 points sur 200, ce qui est un critère pour être une station de référence (tableau 2). Les autres types de stations ont généralement un IQH Total supérieur à 130/200. Cela signifie que même les stations impactées ont un habitat d'assez bonne qualité puisque supérieur à 100 points sur 200 qui indique une station impactée (tableau 3). L'IQBR est un indice de qualité de la bande riveraine d'une station exprimé sur 100 (Saint-Jacques et Richard, 1998). Les stations de référence ont un IQBR élevé, les stations urbaines et tests ont

également un IQBR élevé. Pour les stations agricoles, il y a beaucoup de variabilité au niveau de l'IQBR mais la qualité des bandes riveraines est moins bonne.

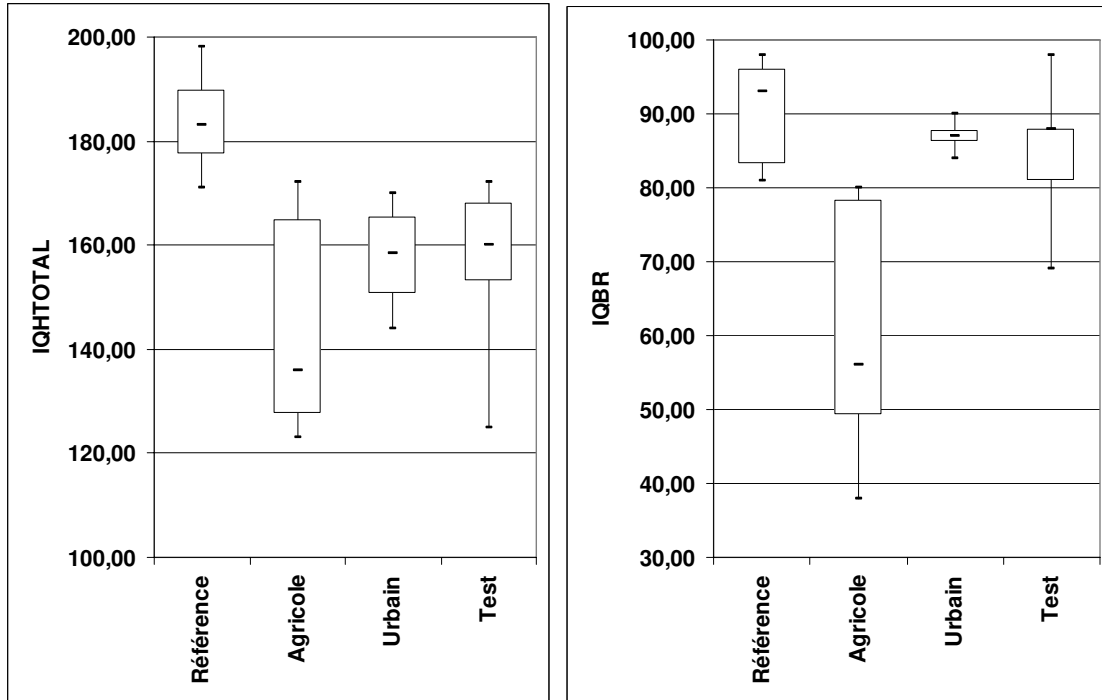


Figure 4 : Diagrammes en boîte de l'indice de la qualité de l'habitat (IQH Total) et de l'indice de la qualité de la bande riveraine (IQBR) pour les quatre types de station (référence n = 19, agricole n = 12, urbain n = 4 et test n = 9)

Les différentes variables physico-chimiques analysées confirment la séparation claire entre les stations de référence et les stations impactées (figure 5).

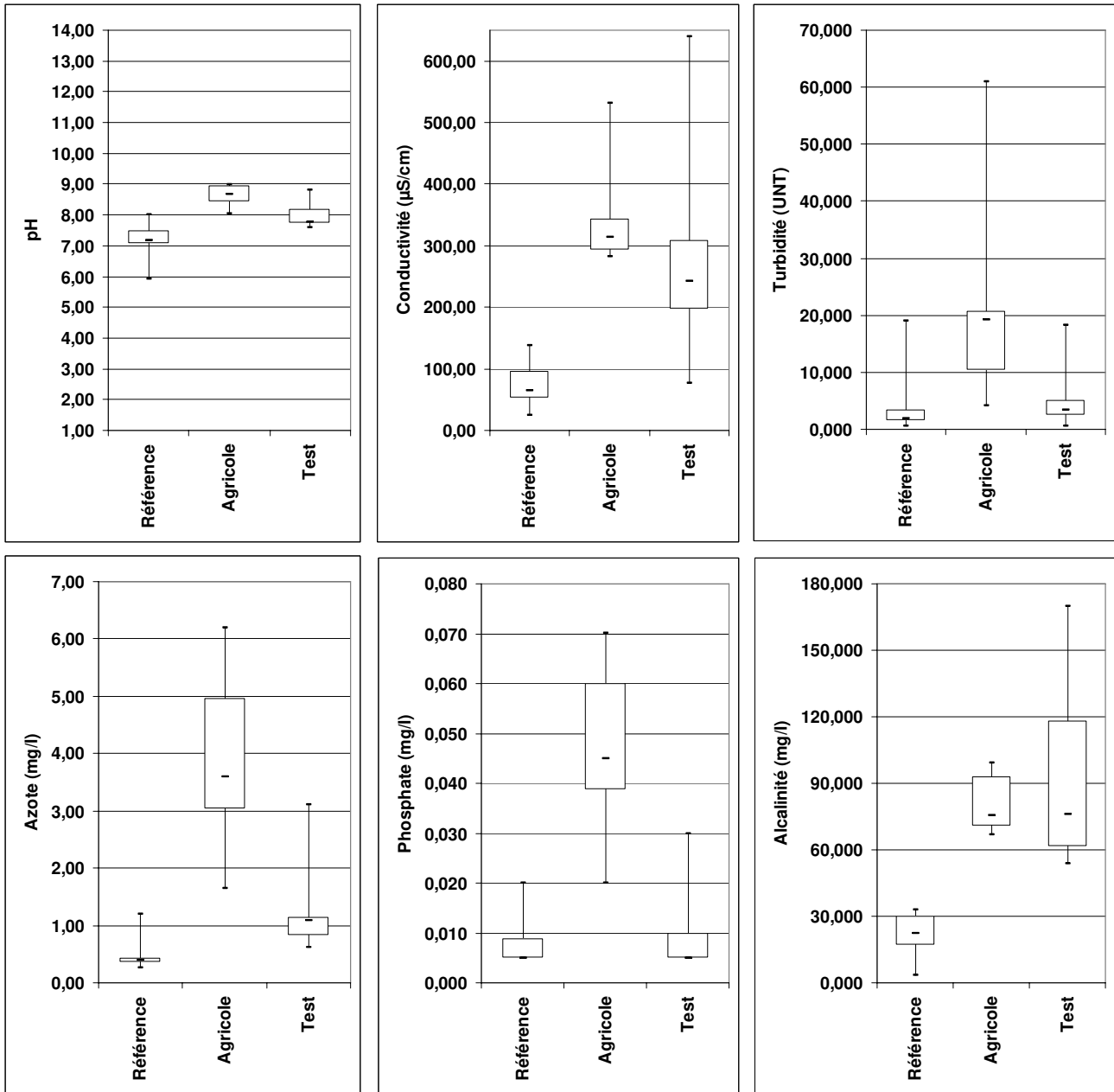


Figure 5 : Diagrammes en boîte des principales variables physico-chimiques (pH, conductivité, turbidité, azote total, phosphore total et alcalinité) pour les trois types de station (référéce n = 19, agricole n = 8 et test n = 9)

Métriques

La figure 6 présente les diagrammes en boîte pour les métriques % EPT et pourcentage d'insecte. Ce sont deux métriques qui devraient diminuer en réponse à une perturbation. Les valeurs obtenues pour ces deux métriques sont similaires pour les trois niveaux d'identification, par conséquent seul le niveau d'identification à la famille est présenté. Les calculs du DE et du CV au tableau 5 indique qu'il s'agit de bonnes métriques et effectivement la distinction entre les stations de référence et les stations agricoles est très nette. La métrique % EPT ne permet pas de bien distinguer les stations urbaines des stations de référence alors que la métrique pourcentage d'insecte permet de faire cette distinction. Dans les deux cas, les stations tests se retrouvent à proximité des stations de référence et elles se distinguent assez facilement des stations agricoles.

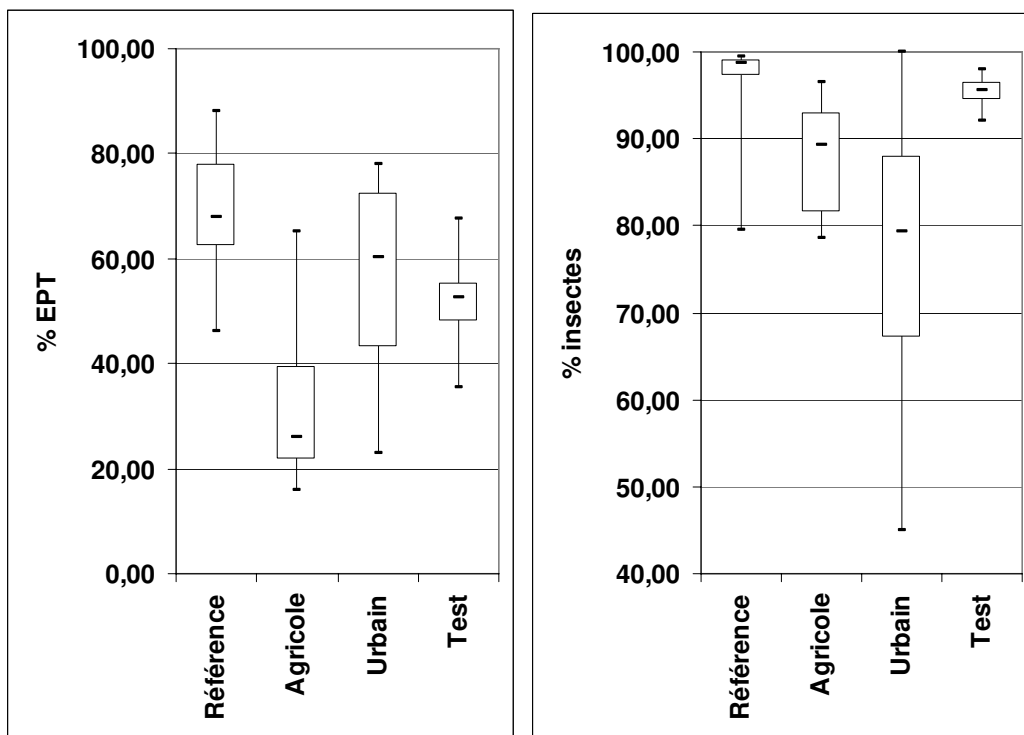


Figure 6 : Diagrammes en boîte des métriques % EPT (éphémères, plécoptères et trichoptères) et pourcentage d'insectes pour les trois niveaux d'identification et les quatre types de station (référence n = 19, agricole n = 12, urbain n = 4 et test n = 9)

La figure 7 présente les diagrammes en boîte pour la métrique pourcentage d'intolérants. Cette métrique devrait diminuer en réponse à une perturbation. Les calculs du DE et du CV au tableau 5 indique qu'il s'agit d'une bonne métrique et effectivement la distinction entre les stations de référence et les stations agricoles est très nette pour les trois niveaux d'identification. Elle permet également de distinguer les stations impactées urbaines pour les niveaux d'identification famille et MDDEP. Pour le niveau d'identification OBBN, les stations urbaines se confondent en partie avec les stations de référence. Les stations tests se retrouvent à proximité des stations de référence et elles se distinguent assez facilement des stations agricoles.

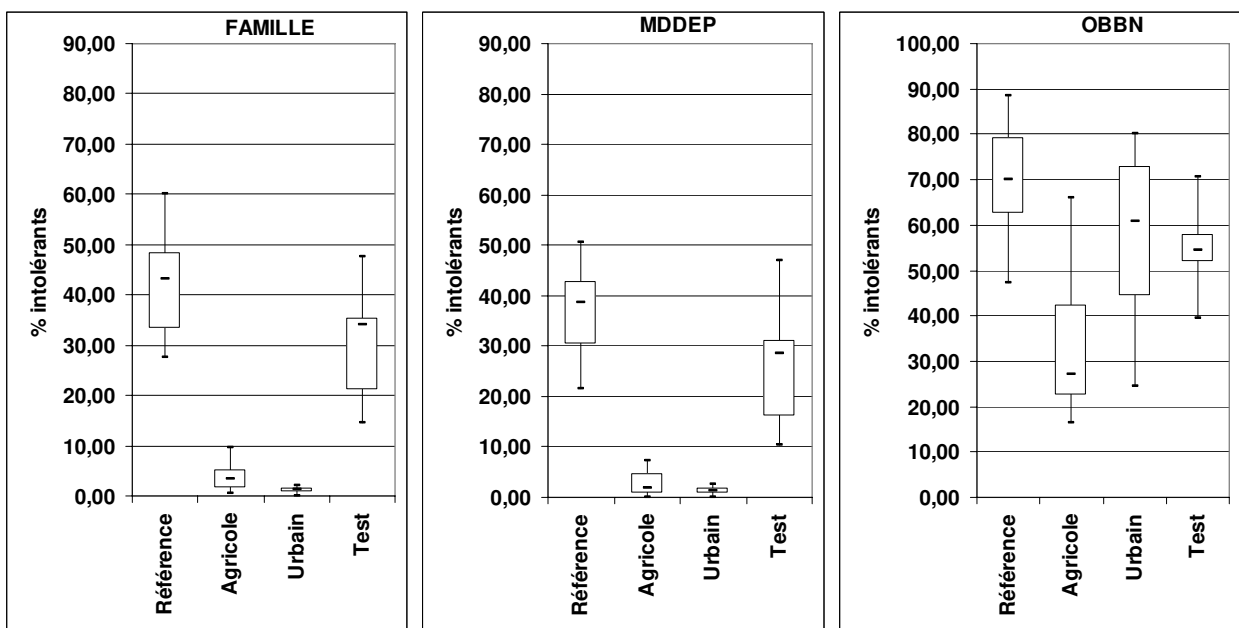


Figure 7 : Diagrammes en boîte de la métrique pourcentage d'intolérants pour les trois niveaux d'identification et les quatre types de station (référence n = 19, agricole n = 12, urbain n = 4 et test n = 9)

La figure 8 présente les diagrammes en boîte pour l'indice biotique d'Hilsenhoff (HBI). C'est un indice où l'abondance est pondérée en fonction de la tolérance à la pollution organique et dont l'échelle se situe entre 0 et 10. Les résultats obtenus au niveau d'identification de la famille sont comparés aux cinq classes de l'indice d'Hilsenhoff à la famille (Hilsenhoff, 1988). Au niveau d'identification à la famille, les stations de

référence se situent dans les classes « excellente » et « très bonne », les stations agricoles se situent dans les classes « légèrement pauvre » et « pauvre », les stations urbaines se situent dans les classes « moyenne » et « légèrement pauvre » et les stations tests se situent dans les classes « très bonne » et « bonne ». Les calculs du DE et du CV au tableau 4 indique qu'il s'agit d'un bon indice et effectivement la distinction entre les stations de référence et les stations agricoles est très nette pour les trois niveaux d'identification. Il permet également de distinguer les stations impactées urbaines pour les trois niveaux d'identification. Les stations tests se retrouvent assez près des stations de référence et elles se distinguent assez facilement des stations agricoles et urbaines à l'exception des stations urbaines pour le niveau d'identification OBBN.

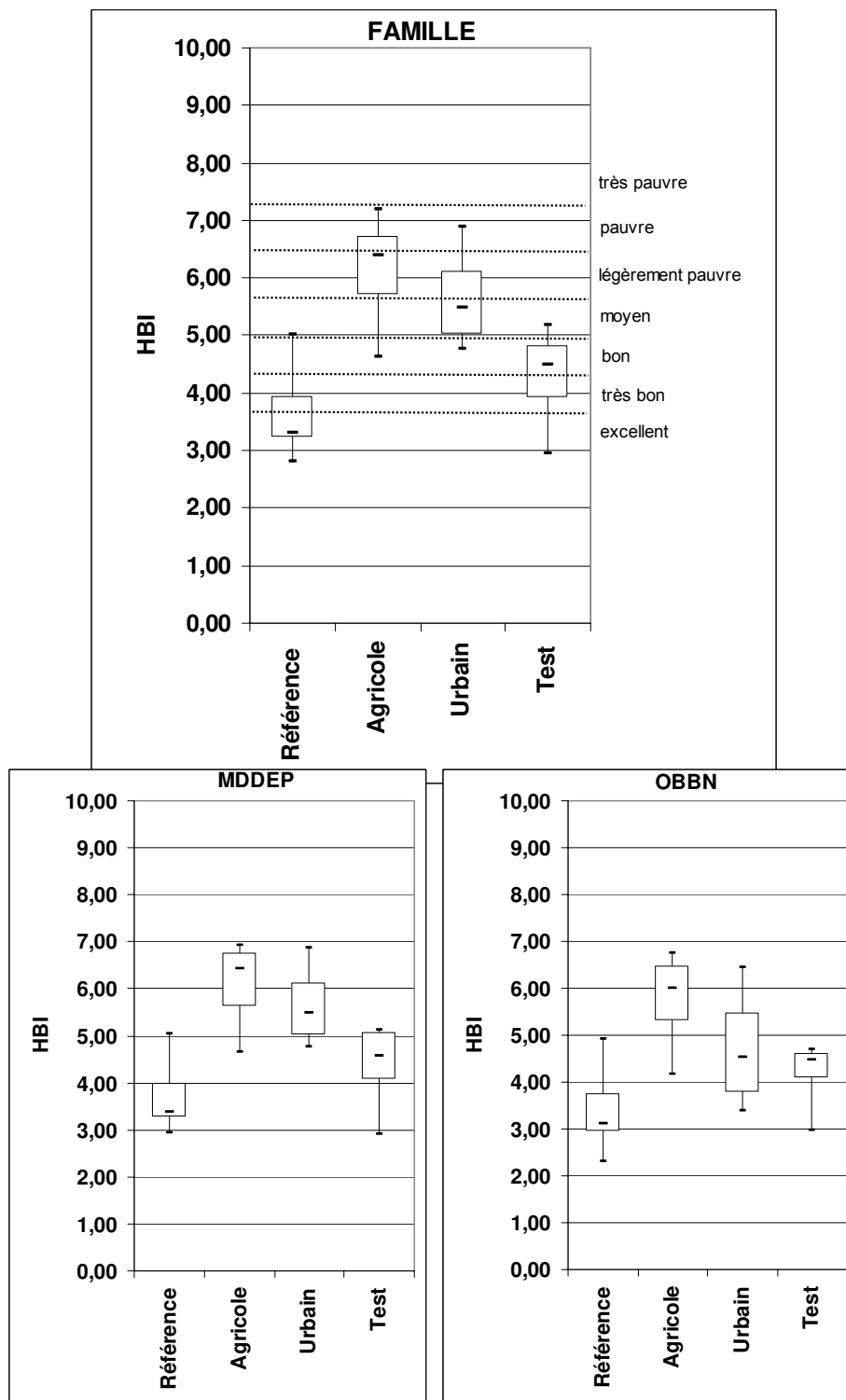


Figure 8 : Diagrammes en boîte de l'indice biotique d'Hilsenhoff (HBI) pour les trois niveaux d'identification et les quatre types de station. Les classes sont présentées pour le HBI famille (référence n = 19, agricole n = 12, urbain n = 4 et test n = 9)

La figure 9 présente les diagrammes en boîte pour les métriques nombre de taxon total et nombre de taxon EPT. Ces métriques devraient diminuer en réponse à une perturbation. Les calculs du DE et du CV au tableau 4 indiquent qu'il s'agit de bonnes métriques pour les niveaux d'identification famille et MDDEP. Effectivement la distinction entre les stations de référence et les stations agricoles et urbaines est très nette pour ces deux niveaux d'identification. Le niveau d'identification OBBN n'est pas présenté puisque ces deux métriques ne sont pas discriminantes à ce niveau d'identification. Il est à noter que les métriques nombre de taxon total varie seulement de zéro à 27 et nombre de taxon EPT varie seulement de zéro à trois pour le niveau d'identification OBBN. Les stations tests se retrouvent assez près des stations de référence et elles se distinguent assez facilement des stations agricoles et urbaines.

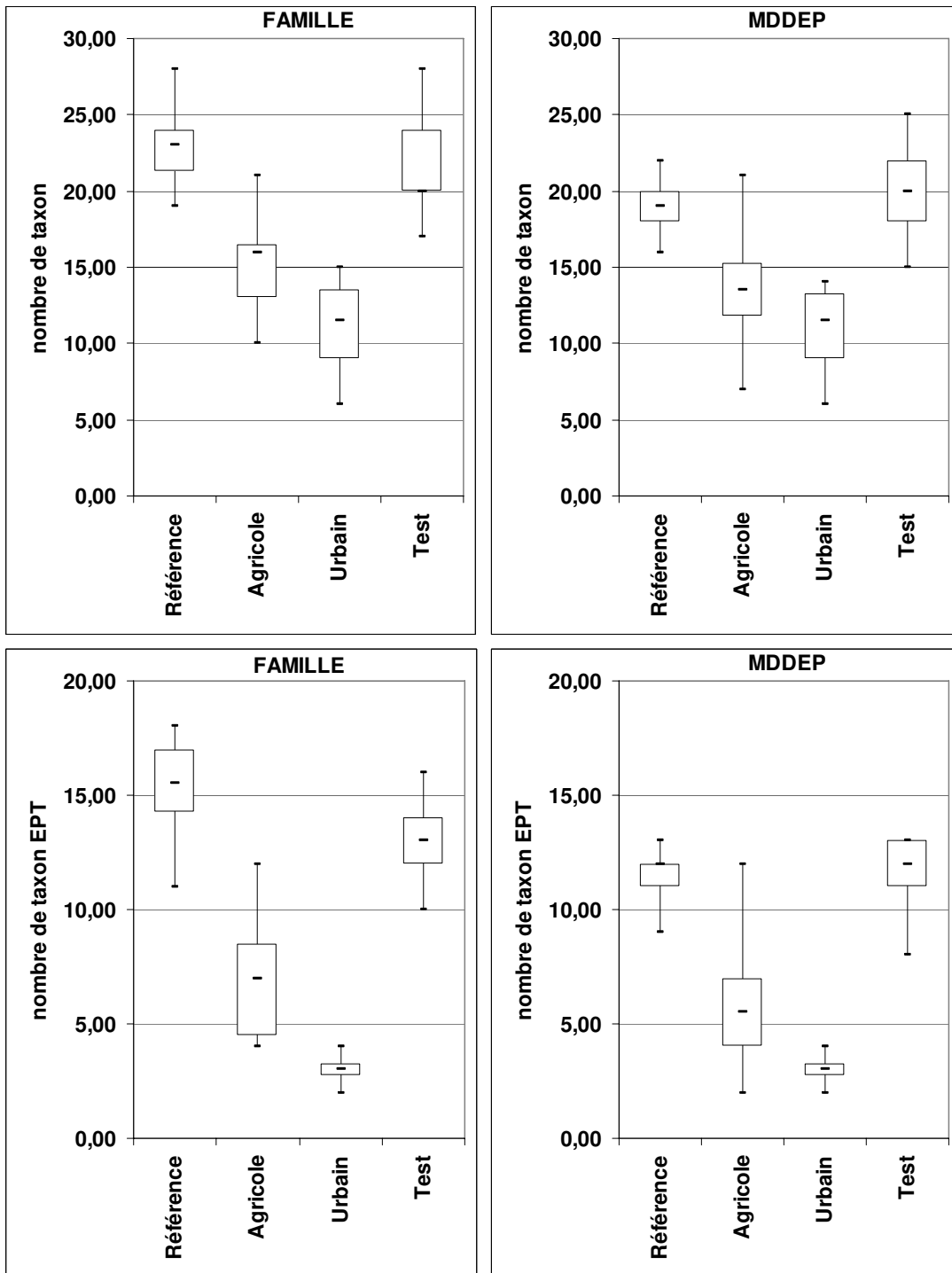


Figure 9 : Diagrammes en boîte des métriques nombre de taxons total et nombre de taxon EPT (éphémères, plécoptères et trichoptères) pour les niveaux d'identification famille et MDDEP et les quatre types de station (référence n = 19, agricole n = 12, urbain n = 4 et test n = 9)

La figure 10 présente les diagrammes en boîte pour la métrique nombre de taxons intolérants. Cette métrique devrait diminuer en réponse à une perturbation. Les calculs du DE et du CV au tableau 4 indiquent qu'il s'agit d'une bonne métrique pour les niveaux d'identification famille et MDDEP. Effectivement la distinction entre les stations de référence et les stations agricoles et urbaines est très nette pour ces deux niveaux d'identification. Le niveau d'identification OBBN n'est pas présenté puisque cette métrique n'est pas discriminante à ce niveau d'identification. Les stations tests se retrouvent assez près des stations de référence et elles se distinguent assez facilement des stations agricoles et urbaines.

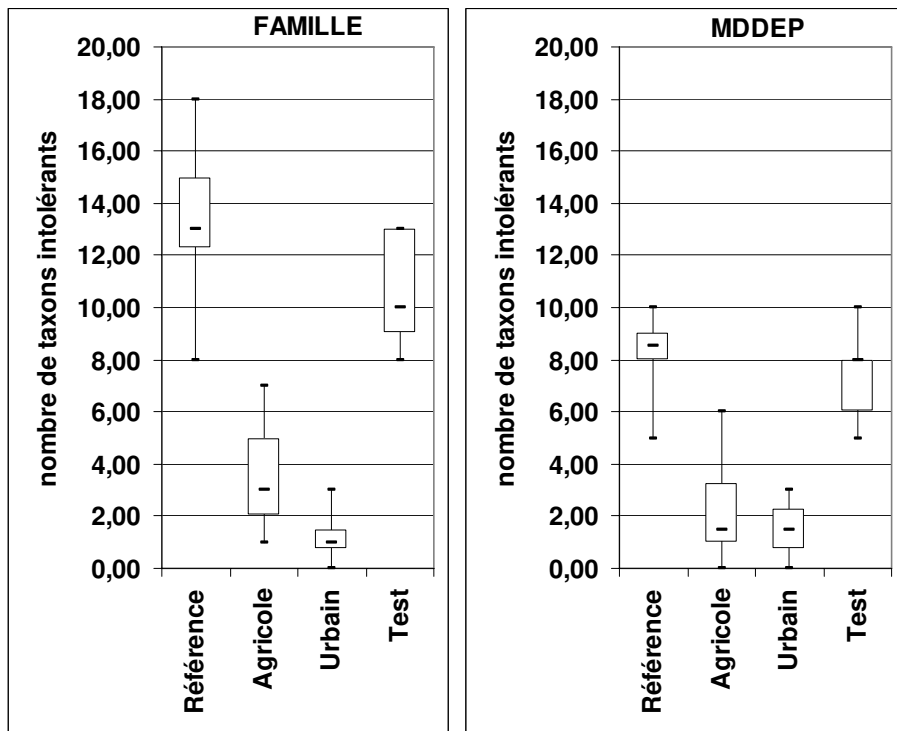


Figure 10 : Diagrammes en boîte de la métrique nombre de taxons intolérants pour les niveaux d'identification famille et MDDEP et les quatre types de station (référence n = 19, agricole n = 12, urbain n = 4 et test n = 9)

La figure 11 présente les diagrammes en boîte pour les indices de Shannon-Wiener et Équitabilité. Ces indices devraient diminuer en réponse à une perturbation. Les calculs du DE et du CV au tableau 4 indiquent qu'il s'agit de bons indices pour les niveaux d'identification famille et MDDEP. Effectivement la distinction entre les stations de référence et les stations agricole et urbain est très nette pour ces deux niveaux d'identification. Le niveau d'identification OBBN n'est pas présenté puisque cet indice n'est pas discriminant à ce niveau d'identification. Les stations tests se retrouvent assez près des stations de référence et elles se distinguent assez facilement des stations agricoles et urbaines.

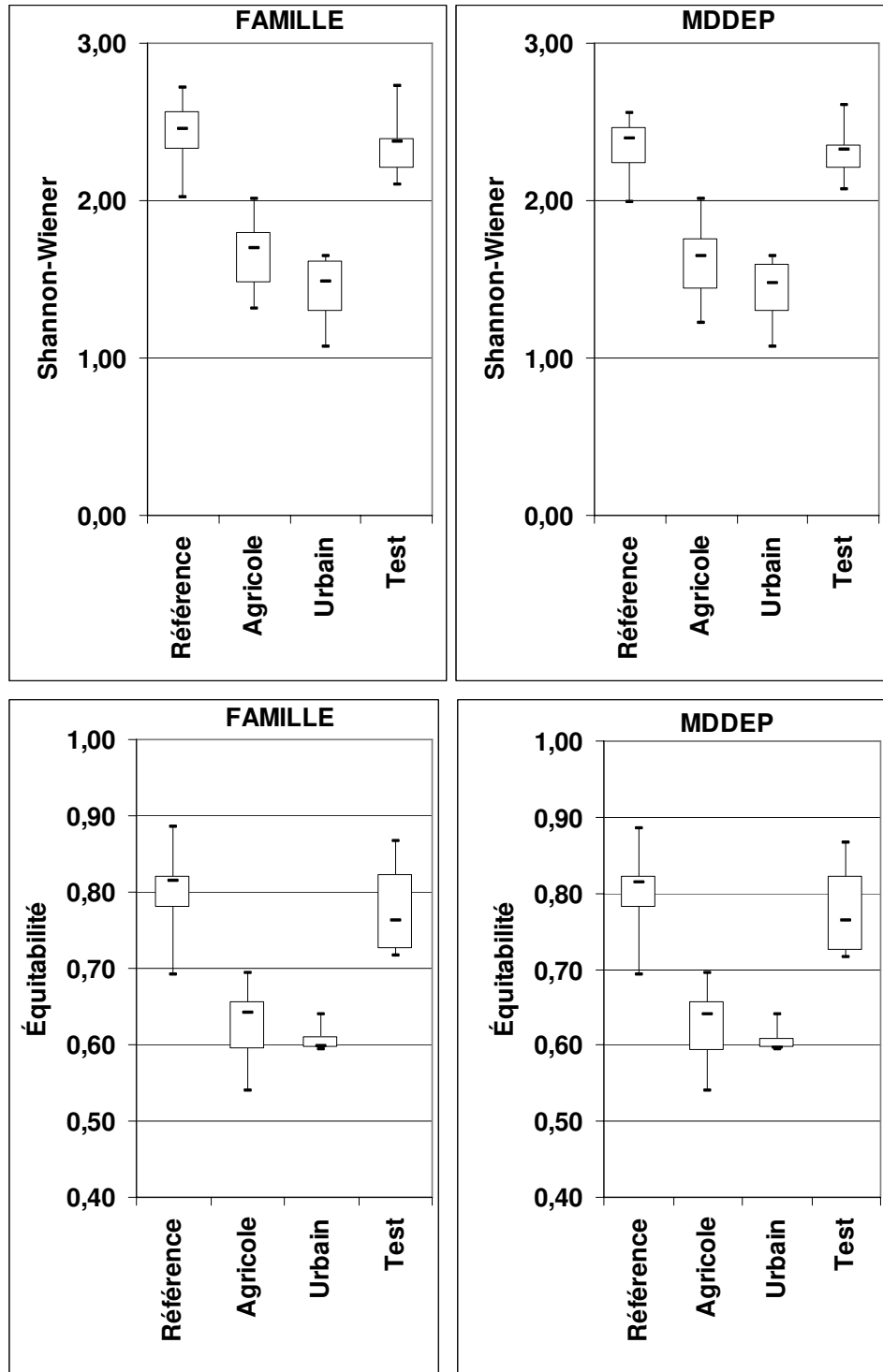


Figure 11 : Diagrammes en boîte des indices de Shannon-Wiener et Équitabilité pour les niveaux d'identification famille et MDDEP et les quatre types de station (référence n = 19, agricole n = 12, urbain n = 4 et test n = 9)

Indice multimétrique

La figure 12 présente les diagrammes en boîte de l'indice d'intégrité biologique de la Virginie occidentale (WVSCI) pour les quatre types de station et les trois niveaux d'identification. Les stations de référence se trouvent dans la classe « excellent » pour les trois niveaux d'identification. Les stations agricoles se retrouvent majoritairement dans la classe « marginal » et « pauvre » pour le niveau d'identification à la famille. L'indice WVSCI indique donc que les stations agricoles sont impactés. L'indice WSCI est très semblable entre le niveau d'identification MDDEP et famille qui sert de référence. Le niveau d'identification OBBN ne parvient pas à catégoriser les stations agricoles dans la classe impactée comme les deux autres niveaux d'identification. Les stations urbaines se retrouvent dans la classe « marginal » au niveau d'identification de la famille. Ce qui indique que ces stations sont impactés. Le niveau d'identification MDDEP se comporte de la même façon que le niveau famille en plaçant cependant quelques stations dans la classe « zone grise ». Le niveau OBBN place plutôt les stations urbaines dans la classe « bon ». Les stations tests se retrouvent majoritairement dans la classe « bon » et quelques unes se trouvent dans la classe « excellent » pour le niveau d'identification à la famille. Le niveau d'identification MDDEP se comporte de la même façon que le niveau de référence (famille). Le niveau d'identification OBBN place les stations tests uniquement dans la classe « excellent ». Le niveau d'identification MDDEP se rapproche beaucoup du niveau famille pour le classement avec l'indice WVSCI. Il surestime un peu la qualité des stations. Le niveau OBBN quant à lui surestime beaucoup la qualité des stations avec cet indice multimétrique.

L'annexe 5 est présentée en complément d'information à la figure 12. Elle présente les valeurs obtenues pour l'indice d'intégrité biologique de la Virginie occidentale (WVSCI) pour chacune des 43 stations pour les trois niveaux d'identification.

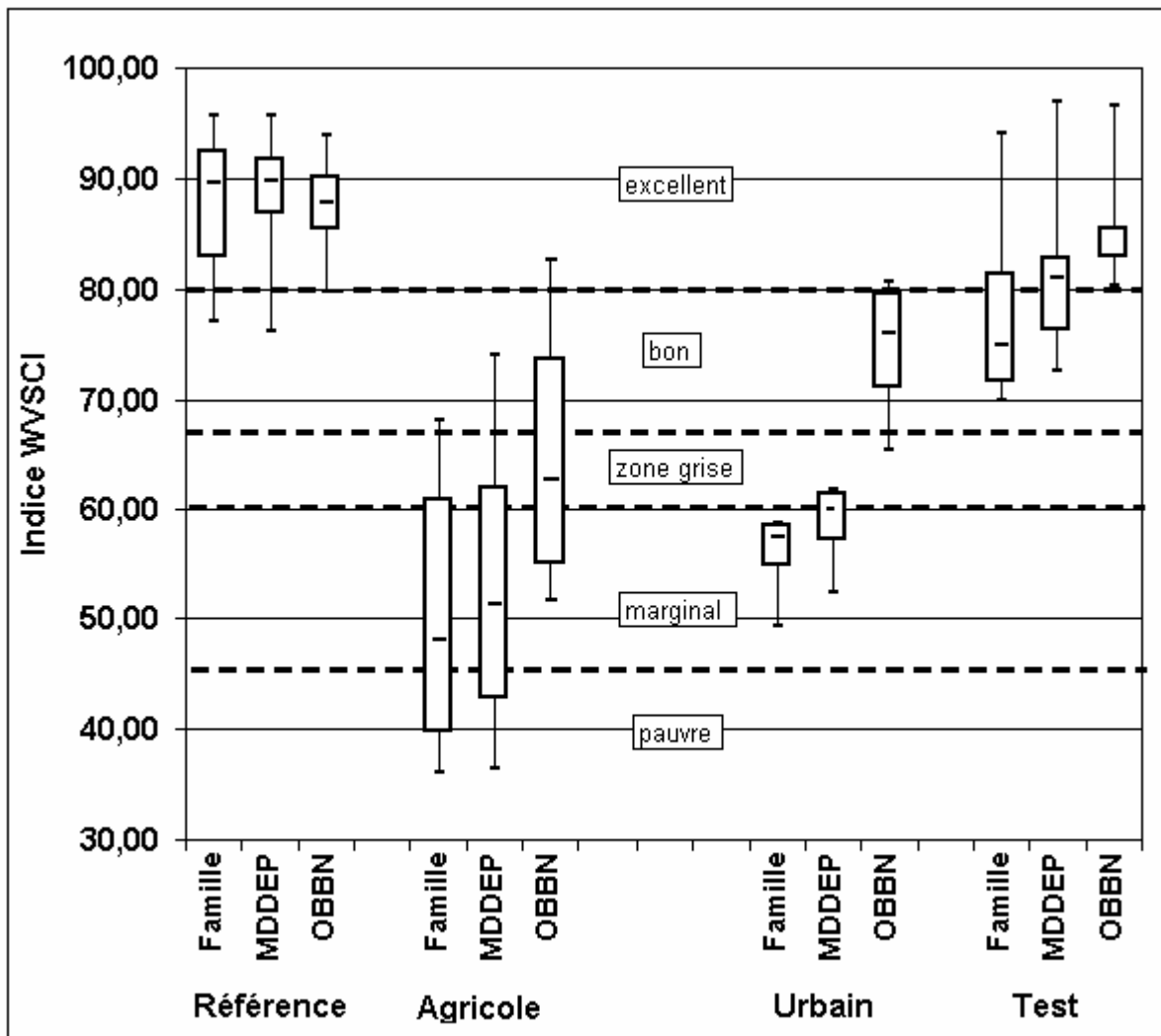
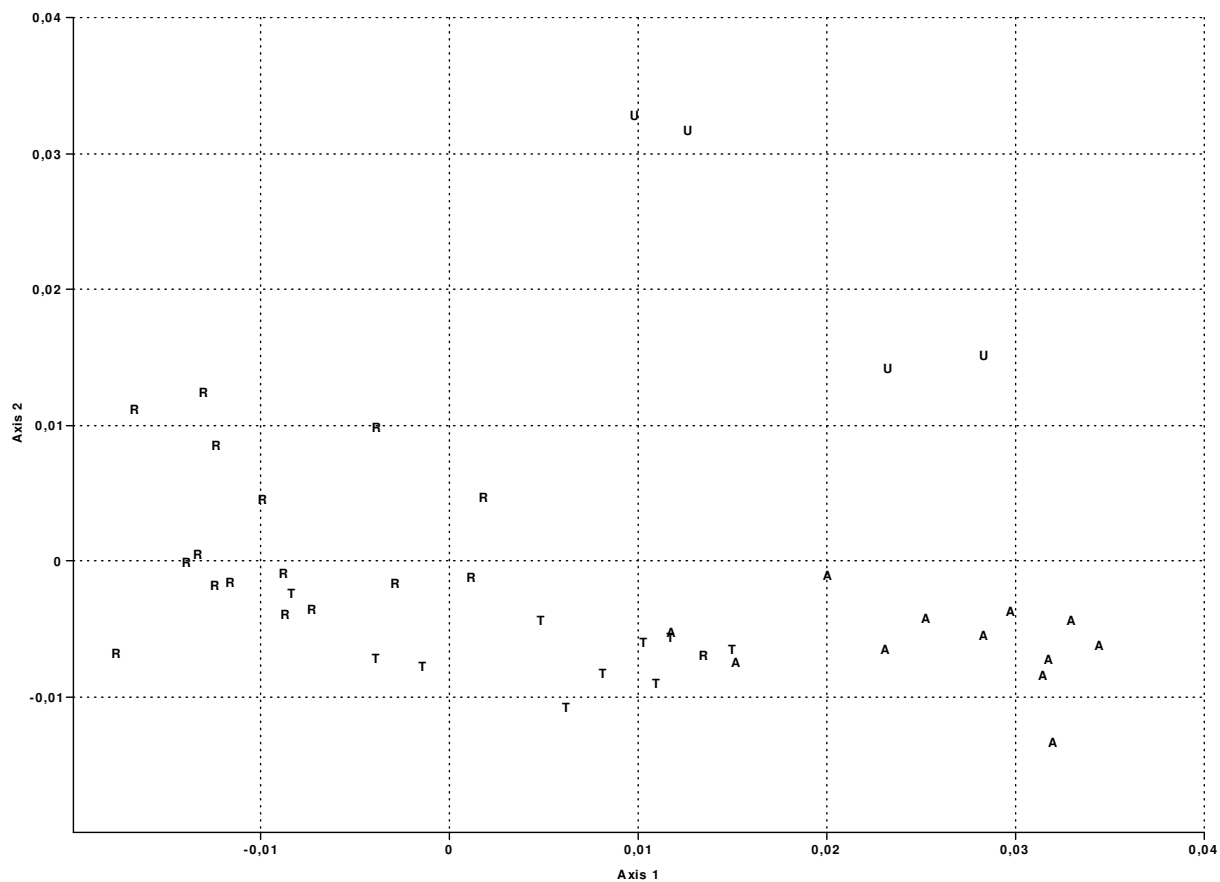


Figure 12 : Diagrammes en boîte de l'indice d'intégrité biologique de la Virginie occidentale (WVSCI) pour les trois niveaux d'identification et les quatre types de station (référence n = 19, agricole n = 12, urbain n = 4 et test n = 9)

Analyses multivariées

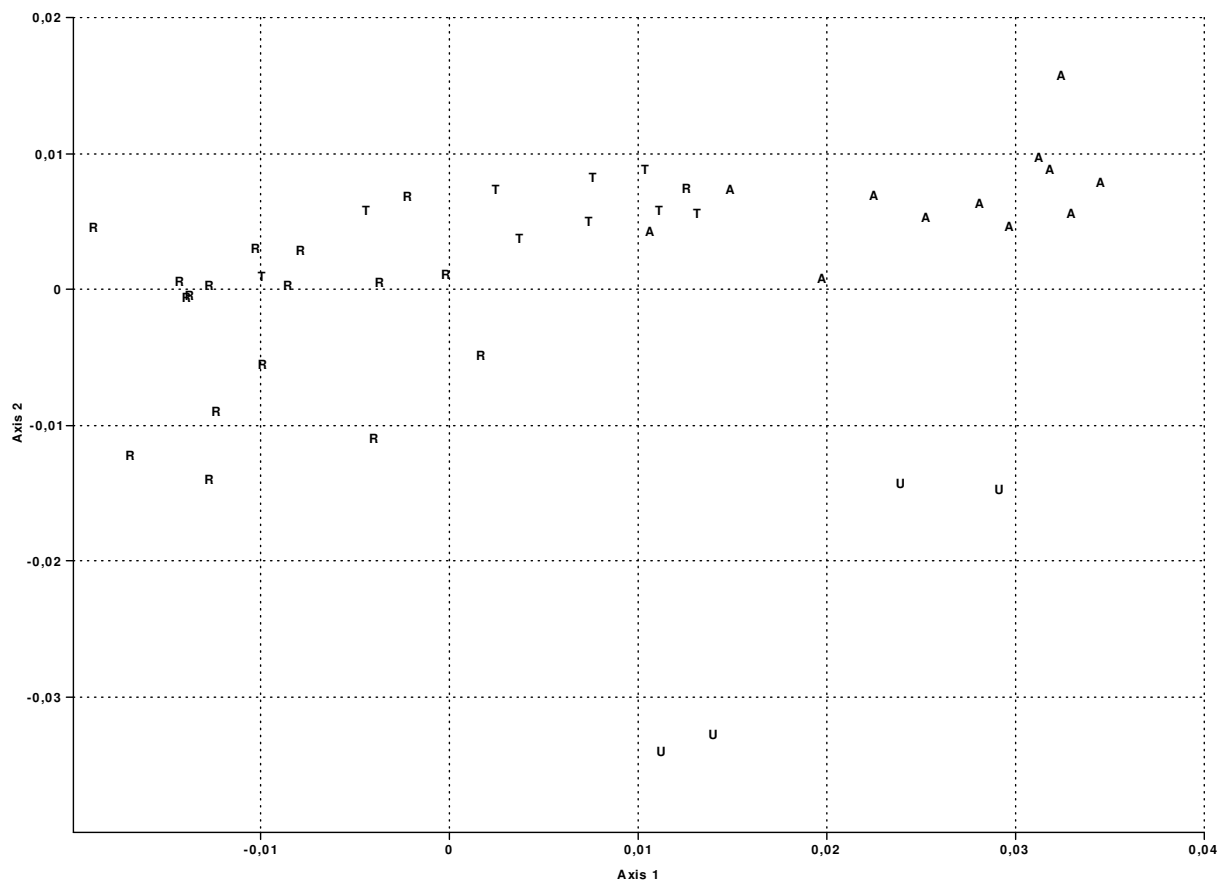
La figure 13 présente l'analyse des correspondances pour les données d'abondance au niveau taxonomique de la famille pour les 43 stations. Les stations de référence (R) sont pour la plupart regroupées et se retrouvent du côté gauche de l'axe vertical. Seulement trois des 18 stations de référence se retrouvent du côté droit de l'axe vertical dont l'une est particulièrement éloignée. Les stations agricoles (A) sont encore plus regroupées et se retrouvent dans la direction opposée aux stations de référence dans le cadran inférieur droit du graphique généralement éloignées de l'axe vertical. Seulement deux des stations agricoles se rapprochent davantage de l'axe vertical. Les stations tests (T) se retrouvent généralement entre les stations de référence et les stations agricoles. Quelques unes de ces stations tests sont directement dans le regroupement des stations de références. Les quatre stations urbaines (U) se comportent différemment des autres stations et on les retrouve seules très éloignées dans le cadran supérieur droit.



Axe	Valeur propre	% d'inertie
1	0,40937	18,976
2	0,26382	12,229
3	0,168318	7,8022
4	0,155313	7,1994

Figure 13 : Analyse des correspondances pour les données d'abondance au niveau taxonomique de la famille pour les 43 stations (référence = R, agricole = A, urbain = U et test = T).

La figure 14 présente l'analyse des correspondances pour les données d'abondance au niveau taxonomique du MDDEP pour les 43 stations. Le graphique est très similaire à la figure 13 (niveau d'identification à la famille). On retrouve les stations de référence (R) généralement regroupées du côté gauche de l'axe vertical avec une seule station vraiment éloignée, les stations agricoles (A) regroupées dans le cadran supérieur droit et les stations tests (T) généralement entre les deux autres types de stations. Les quatre stations urbaines (U) se comportent aussi différemment et elles se retrouvent seules et éloignées dans le cadran inférieur droit.

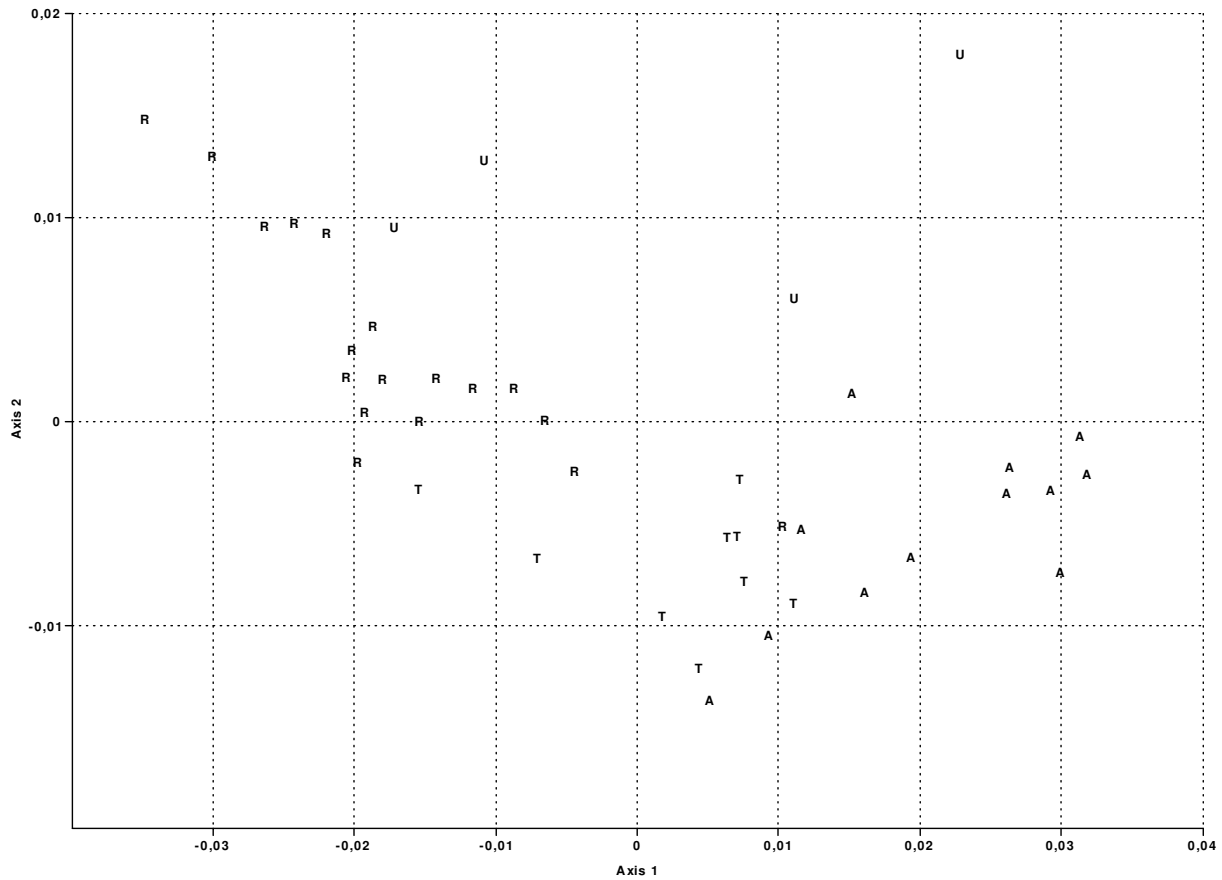


Axe	Valeur propre	% d'inertie
1	0,39591	21,676
2	0,25294	13,848
3	0,160867	8,8073
4	0,14097	7,718

Figure 14: Analyse des correspondances pour les données d'abondance au niveau taxonomique volontaire du MDDEP pour les 43 stations (référence = R, agricole = A, urbain = U et test = T).

La figure 15 présente l'analyse des correspondances pour les données d'abondance au niveau taxonomique de l'OBBN pour les 43 stations. Le graphique a une allure assez semblable aux deux autres graphiques (figure 13 et 14). On retrouve les stations de référence (R) assez regroupées du côté gauche de l'axe vertical avec une seule station vraiment éloignée, les stations agricoles (A) regroupées dans le cadran inférieur droit et les stations tests (T) généralement entre les deux autres types de stations. Cependant, les stations urbaines (U) sont très éloignées, on en retrouve deux qui sont encore isolées dans le cadran supérieur droit mais les deux autres se retrouvent dans le même cadran que la majorité des stations de référence. On peut donc confondre deux des quatre stations urbaines avec les stations de référence.

Les valeurs propres pour les axes un à quatre sont présentées sous chacune des analyses des correspondances (figure 13, 14 et 15). Une valeur propre supérieure à 0,5 dénote généralement une bonne séparation des taxons selon l'axe un (Jongman *et al*, 1995). Aucune des trois analyses des correspondances ne possède une valeur propre supérieure à 0,5 pour l'axe un. Cependant, la valeur propre de l'axe un la plus élevée est obtenue pour le niveau d'identification à la famille (0,40937), ce niveau d'identification permettrait donc une meilleure séparation des taxons. La valeur propre de l'axe un du niveau d'identification MDDEP (0,39591) est à proximité de celle du niveau d'identification à la famille alors que celle du niveau d'identification OBBN (0,31003) est un peu plus éloignée. La séparation des taxons au niveau d'identification OBBN serait donc un peu moins bonne.



Axe	Valeur propre	% d'inertie
1	0.31003	37.337
2	0.13435	16.179
3	0.108519	13.069
4	0.0851508	10.255

Figure 15 : Analyse des correspondances pour les données d'abondance au niveau taxonomique élémentaire de l'OBBN pour les 43 stations (référence = R, agricole = A, urbain = U et test = T).

Discussion

Les données environnementales permettent de confirmer le jugement professionnel *a priori* pour le choix des quatre types de stations (figure 2, 3, 4 et 5). L'utilisation du territoire correspond aux quatre types de station avec des stations de référence en territoire forestier (80 % environ), des stations agricoles en territoire agricole (60 % environ) et des stations urbaines en territoire urbain (30 % environ) et forestier (30 % environ, figure 2). Les stations tests se composent d'un mélange de territoires forestiers et agricoles. Les indices de qualité de l'habitat (IQH Total) et de la qualité de la bande riveraine (IQBR) semblent indiquer que les stations de référence ont un habitat et des bandes riveraines de bonne qualité (figure 4). Même les stations impactées auraient un indice de qualité de l'habitat élevé, ceci s'explique par le fait que ces stations ont été choisies dans l'optique que l'habitat influence le moins possible la composition taxonomique des stations. L'indice de qualité des bandes riveraines est cependant beaucoup plus bas pour les stations agricoles. L'altitude et la superficie sont deux variables environnementales qui présentent certaines différences entre les types de station (figure 3). Plusieurs stations de référence sont effectivement en altitude plus élevée que les stations impactées, ce qui pourrait influencer la distribution taxonomique. Grown *et al* (1997) indiquent toutefois qu'il n'y a pas de problème de comparaison pour les cours d'eau d'altitude de 200 m et moins, ce qui représente une partie des stations de référence. La superficie drainée est semblable entre les types de station, par contre certaines stations tests ont une plus grande superficie drainée. Il faut quand même prendre en considération lorsqu'on observe les données pour l'altitude et la superficie drainée qu'il y a très peu de variation au niveau de l'ordre de Strahler pour les différentes stations (ordre 2 et 3). Les paramètres physico-chimiques mesurés indiquent les différences très nettes entre les stations de référence et les stations agricoles (figure 5). Les stations de références respectent les critères de qualité d'eau (tableau 2).

C'est au niveau d'identification à la famille et MDDEP qu'il a été possible d'obtenir le plus grand nombre de métriques. En effet selon les critères établis (DE de 75% et plus, CV de 25 et moins), 10 à 11 métriques étaient intéressantes pour les niveaux

d'identification à la famille et MDDEP comparativement à quatre pour le niveau d'identification OBBN. Ceci démontre que le niveau d'identification MDDEP se rapproche grandement du niveau d'identification à la famille pour l'utilisation des métriques. D'ailleurs une seule des métriques testées (% Baetidae) ne pouvait pas être calculée au niveau d'identification MDDEP (tableau 4). Il s'avère cependant beaucoup plus difficile de travailler avec les métriques au niveau d'identification OBBN puisque le nombre de métriques pouvant être calculé est très limité et plusieurs des métriques qui sont calculées ne sont pas de bonnes métriques selon le DE et le CV (tableau 5). Certaines métriques calculées au niveau d'identification de l'OBBN sont considérées de bonnes métriques puisqu'elles permettent de distinguer les stations agricoles des stations de référence, par contre elles ne permettent pas de distinguer les stations urbaines des stations de référence (% EPT figure 5 et % intolérants figure 6). Les métriques de diversité taxonomiques (nombre de taxon) sont certainement celles qui limitent le plus le niveau d'identification OBBN. En effet, avec une possibilité de seulement 27 taxons au total dont seulement trois pour les macroinvertébrés sensibles EPT (éphémères, plécoptères et trichoptères), il est impossible d'obtenir de l'information pertinente pour les métriques de diversité taxonomique. Ces métriques sont largement utilisées et elles permettent de distinguer les stations de référence des stations impactées pour les niveau d'identification à la famille et MDDEP (Barbour, 1999 et figure 9 et 10). Deux indices (Shannon-Wiener et Équitabilité) fréquemment utilisés permettent de bien distinguer les stations de référence des stations impactées pour le niveau d'identification à la famille et MDDEP (figure 11). Ces indices peuvent être calculés au niveau d'identification de l'OBBN mais ne sont pas qualifiés de bonnes métriques (tableau 5).

L'indice d'intégrité biotique de la Virginie occidentale (WVSCI) représente un indice multimétrique qui combine la réponse de six métriques en un seul indice. Cet indice a été développé pour la Virginie occidentale, il a cependant été calibré pour le Québec à partir des données des 18 stations de référence pour les trois niveaux d'identification. Ce type d'indice intègre plusieurs caractéristiques de la communauté biologique et mesure la réponse globale de la communauté aux stress environnementaux (Major *et*

al, 2001). Si l'on compare le WVSCI des niveaux d'identification MDDEP et OBBN au niveau d'identification à la famille, on constate que cet indice a des valeurs qui se rapprochent beaucoup au niveau d'identification MDDEP (figure 12). Par contre, l'indice calculé au niveau d'identification OBBN surévalue les stations impactées agricoles et urbaines. Le calcul de l'indice WVSCI au niveau d'identification OBBN ne permet donc pas de distinguer adéquatement les stations impactées des stations de référence. Les métriques de diversité utilisées dans le WVSCI semblent responsables de la mauvaise performance du niveau d'identification OBBN puisque le nombre de taxon total est limité à 27 et le nombre de taxon EPT est limité à trois. Même la possibilité de développer un nouvel indice multimétrique pour le niveau d'identification OBBN est difficilement envisageable puisqu'il faudrait avoir un nombre suffisant de bonnes métriques. Il faudrait en plus que ces bonnes métriques répondent à différents stress environnementaux afin d'obtenir un indice global.

Les analyses des correspondances réalisées sur les fichiers d'abondance taxonomique permettent d'observer certains regroupements des stations qui correspondent assez bien à leur sélection *a priori*. Cependant, des analyses multivariées de type canonique qui intègrent les variables environnementales dans les analyses permettraient de confirmer ou non ces tendances. Les trois analyses des correspondances démontrent une bonne séparation entre les sites de références et les sites agricoles (figure 13, 14 et 15). Elles permettent également d'observer une séparation entre les stations urbaines et les stations de référence pour les niveaux d'identification famille et MDDEP. La séparation entre les stations urbaines et les stations de référence n'est pas aussi claire pour les niveaux d'identification OBBN alors que deux des quatre stations urbaines se confondent avec les stations de référence (figure 15). Feio *et al* (2006) a observé une moins grande sensibilité au niveau d'identification de l'ordre, niveau d'identification se rapprochant de celui de l'OBBN. Feio *et al* (2006) indique qu'il est possible que le niveau d'identification à l'ordre soit insuffisant pour détecter quelques changements dans la composition des communautés de macroinvertébrés benthique parce qu'elles sont trop semblables à ce niveau d'identification pour les taxons les plus représentatifs. Ce manque de sensibilité du niveau d'identification OBBN pour les stations urbaines

pourrait s'expliquer par une caractéristique particulière de ces stations. En effet, on retrouve dans ces stations urbaines beaucoup d'éphémères et de trichoptères, deux taxons sensibles, tout comme dans les stations de référence. Cependant, dans le cas des stations urbaines, il s'agit d'un seul taxon d'éphémère (baetidae) et d'un seul taxon de trichoptère (hydropsyché) alors que dans les stations de référence la diversité d'éphémère et de trichoptère est très importante. Contrairement au niveau d'identification à la famille et MDDEP, le niveau d'identification OBBN ne fait pas de distinction entre les différents taxons d'éphémères et de trichoptères.

Conclusion

Le niveau d'identification élémentaire de l'OBBN est certainement celui qui demande le moins d'effort et dont les risques d'erreur sont les moins importants lors de l'identification par des volontaires. Cependant, les différents résultats semblent démontrer certaines difficultés lors du traitement et l'interprétation des résultats pour ce niveau d'identification. En effet, très peu de métriques peuvent être calculées et de ce nombre, très peu semblent être bonnes. Il est donc difficile d'envisager pouvoir développer un indice multimétrique efficace avec ce niveau d'identification. Les analyses multivariées demeurent le seul traitement des données pouvant mener à des conclusions avec ce niveau d'identification. En effet, elles ont permis de distinguer les stations agricoles des stations de référence. Par contre, elles n'ont pas permis de distinguer clairement deux des quatre stations urbaines des stations de référence.

Le niveau d'identification volontaire du MDDEP est plus difficile et demande plus d'effort de la part des volontaires. Il est cependant beaucoup plus facile que l'identification au niveau de la famille et est réalisable par des volontaires ayant suivi une formation. Les différents résultats démontrent que le niveau d'identification MDDEP se rapproche grandement de celui de la famille qui sert de référence. Il sera donc relativement facile de traiter les données et d'interpréter les résultats. Presque toutes les métriques pouvant être calculées au niveau d'identification à la famille le sont également au niveau d'identification MDDEP et il y a autant de métriques qui sont qualifiées de bonnes. L'utilisation d'un indice multimétrique est facilement envisageable et les analyses multivariées permettent de distinguer aussi bien les stations agricoles que les stations urbaines des stations de référence.

Le niveau d'identification MDDEP semble donc être un compromis intéressant. Il est plus facile à réaliser par des volontaires que le niveau d'identification à la famille et il fournit plus d'outils pour l'interprétation des données que le niveau d'identification OBBN.

Références

Bode, R.W., M.A. Novak and Abele. 1996. Quality assurance work plan for biological stream monitoring in New York State. NYS Department of Environmental Conservation, Albany, NY. 89p.

Barbour, M.T., J. Gerritsen, B.D. Snyder et J.B. Stribling. 1999. Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates, and Fish. Second Edition. EPA 841-B-99-002. U.S. Environmental Protection Agency; Office of Water; Washington, D.C.
[www.epa.gov/owow/monitoring/rbp/wp61pdf/rbp.pdf]

Comité de valorisation de la rivière Beauport. 2005. Suivi de la macrofaune benthique : comparaison de trois méthodes. 46 p. 5 annexes, rapport réalisé pour Environnement Canada.

Craddock, T. 2005. Level three, stream monitoring manual. West Virginia Save Our Streams. [www.dep.state.wv.us/item.cfm?ssid=11&ss1id=202]

Feio, M.J., T.B. Reynoldson and M.A.S. Graça. 2006. The influence of taxonomic level on the performance of a predictive model for water quality assessment. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 63: 367-376.

Gotelli, N.J. and G.L. Entsminger. 2006. EcoSim: Null models software for ecology. Version 7. Acquired Intelligence Inc. & Kesey-Bear. Jericho, VT 05465.
[<http://garyentsminger.com/ecosim.htm>]

Growns, J.E., B.C. Chessman, J.E. Jackson and D.G. Ross. 1997. Rapid assessment of Australian river using macroinvertebrates : cost and efficiency of 6 methods of sample processing. J. N. Am. Benthol. Soc. 1997, 16(3):682-693.

Hammer, Ø., A.T. Harper and P.D. Ryan. 2006. PAST - PALaeontological STATistics, ver. 1.38 [http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm]

Hilsenhoff, W.L. 1988. Rapid field assessment of organic pollution with a family-level biotic index. J. N. Am. Benthol. Soc. 7(1):65-68.

Jones, C., K.M. Somers, B. Craig, and T.B. Reynoldson. 2005. Ontario Benthos Biomonitoring Network Protocol Manual. Ontario Ministry of Environment. Ontario.

Jongman, R.H.G., C.J.F. Ter Braak and O.F.R. Van Tongeren. 1995. Data analysis in community and landscape ecology. Cambridge University Press.

Klemm, D.J., K.A. Blocksom, W.T. Thoeny, F.A. Fulk, A.T. Herlihy, P.R. Kaufmann, and S.M. Cormier. 2002. Methods development and use of macroinvertebrates as indicators of ecological conditions for streams in the Mid-Atlantic Highlands Region. *Environ. Monit. Assess.* 78:169-212.

Klemm, D.J., K.A. Blocksom and R.M. Hugues. 2003. Development and evaluation of a macroinvertebrate biotic index (MBII) for regionally assessing mid-atlantic highlands streams. *Environmental Management* vol. 31, no. 5, pp. 656-669.

Major, E.B., A. Prussian and D. Rinella. 2000. 1999 Alaska biological monitoring and water quality assessment program report. Prepared for the Alaska Department of Environmental Conservation, Anchorage, AK.

Major, E.B., B.K. Jessup, A. Prussian and D. Rinella. 2001. Alaska Stream Condition Index: Biological Index Development for Cook Inlet 1997 – 2000 Summary. Prepared for the Alaska Department of Environmental Conservation, Anchorage, AK.
[http://aquatic.uaa.alaska.edu/pdfs/SouthCentralAK_BioMonitoring_Report_Final.pdf]

Mandaville, S.M. 2002. Benthic macroinvertebrates in freshwaters – taxa tolerance values, metrics, and protocols.

Moisan, J. (en préparation). Identification des principaux macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec. Surveillance volontaire des cours d'eau peu profonds. Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs. Québec.

Rosenberg, D.M., T.B. Reynoldson and V.H. Resh. 1999. Establishing reference conditions for benthic invertebrate monitoring in the Fraser river catchment, British Columbia, Canada.

Roy, A.H., C.L. Faust, M.C. Freeman and J.L. Meyer. 2005. Reach-scale effect of riparian forest cover on urban stream ecosystems. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 62: 2312-2329.

SAINT-JACQUES, N. et Y. RICHARD. 1998. Développement d'un indice de la qualité de la bande riveraine : application à la rivière Chaudière et mise en relation avec l'intégrité biotique du milieu aquatique. Ministère de l'Environnement et de la Faune, éd., *Le bassin de la rivière Chaudière : l'état de l'écosystème aquatique – 1998*, Direction des écosystèmes aquatiques, Québec, Envirodoq no EN980022, p. 6.1-6.41.

Stribling, J.B., B.K. Jessup, J.S. White and D. Boward. 1998. Development of a benthic index of biotic integrity for Maryland stream. Maryland Department of Natural Resources.
[www.dnr.state.md.us/streams/pubs/1998_benthic_ibi.pdf]

Waite, I.R., A.T. Herlihy, D.P. Larsen and D.J. Klemm. 2000. Comparing strengths of geographic and nongeographic classifications of stream benthic macroinvertebrates in the Mid-Atlantic Highlands, USA. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 19(3):429-441.

Annexe 1

Liste des taxons

**A) Liste des taxons pour la surveillance volontaire du MDDEP
(Moisan, en préparation)**

#	Ordre ou autres	Familles
1	Plécoptère	Peltoperlidae
2	Plécoptère	Pteronarcyidae
3	Plécoptère	Perlidae
4	Plécoptère	GROUPE 3.1 (Capniidae, Chloroperlidae, Leuctricidae, Nemouridae, Taeniopterygidae, Perlodidae)
5	Éphémère	Baetiscidae
6	Éphémère	GROUPE 1.1 (Ephemeridae, Polymitarcyidae)
7	Éphémère	Potamanthidae
8	Éphémère	Ephemerellidae
9	Éphémère	Leptophlebiidae
10	Éphémère	GROUPE 1.2 (Caenidae, Tricorydae)
11	Éphémère	Heptageniidae
12	Éphémère	Isonychiidae
13	Éphémère	GROUPE 1.3 (Ameletidae, Baetidae, Siphonuridae, Metrotopididae)
	Éphémère	éphémère non-identifié
14	Trichoptère	Helicopsychidae
15	Trichoptère	Rhyacophilidae
16	Trichoptère	GROUPE 2.1 (Philopotamidae, Polycentropodidae, Psychomyiidae, Dipseudopsidae)
17	Trichoptère	Hydroptilidae
18	Trichoptère	Goeridae
19	Trichoptère	Leptoceridae
20	Trichoptère	Phryganidae
21	Trichoptère	GROUPE 2.2 (Limnephilidae, Apataniidae, Lepidostomatidae, Brachycentridae, Odontoceridae, Uenoidae)
22	Trichoptère	Molannidae
23	Trichoptère	Glossosomatidae
24	Trichoptère	Hydropsychidae
	Trichoptère	trichoptère non-identifié
25	Odonate	Zygoptère
26	Odonate	Anisoptère
27	Hémiptère	Corixidae
28	Hémiptère	Notonectidae
29	Hémiptère	GERROMORPHE (Hydrometridae, Mesoveliidae, Veliidae, Gerridae)
30	Hémiptère	Naucoridae
31	Hémiptère	Belostomatidae
32	Hémiptère	Nepidae
33	Lépidoptère	

34	Mégaloptère	Sialidae
35	Mégaloptère	Corydalidae
36	Diptère	Ceratopogonidae
37	Diptère	Simulidae
38	Diptère	Tipulidae (en partie)
39	Diptère	GROUPE 5.1 (Culicidae, Chaoboridae)
40	Diptère	GROUPE 5.2 (Empididae (en partie), Athericidae)
41	Diptère	Chironomidae
	Diptère	diptère non-identifié
42	Coléoptère (adulte)	Haliplidae
43	Coléoptère (adulte)	Gyrinidae
44	Coléoptère (adulte)	Curculionidae
45	Coléoptère (adulte)	GROUPE 4.2 (Elmidae, Dryopidae, Helophoridae, Hydrochidae)
46	Coléoptère (adulte)	GROUPE 4.1 (Hydrophilidae, Distiscidae, Noteridae)
47	Coléoptère (larve)	Psephenidae
48	Coléoptère (larve)	Elmidae, Lutrochidae
49	Coléoptère (larve)	Haliplidae, Peltodytes
50	Coléoptère (larve)	Gyrinidae
51	Coléoptère (larve)	Dystiscidae
52	Coléoptère (larve)	Hydrophilidae
	Coléoptère	coléoptère non-identifié
53	Écrevisse	
54	Isopode	
55	Amphipode	
56	Ostracode	
57	Cladocère	
58	Copépode	
59	Gastéropode sans opercule	Planorbidae
60	Gastéropode sans opercule	Lymnaeidae
61	Gastéropode sans opercule	Physidae
62	Gastéropode sans opercule	Ancylidae
63	Gastéropode avec opercule	Pleuroceridae, Hydrobiidae, viviparidae, Bithyniidae, Valvatidae
64	Bivalve	Sphaeriidae
65	Bivalve	Margaritiferidae, Unionidae
66	Bivalve	Dreissenidae (Moule zébré)
67	Oligochète	
68	Sangsue	
69	Planaire	
70	Némerte	
71	Nématode	
72	Acarien	
73	Tartigrade	
	Macroinvertébrés non-identifié	

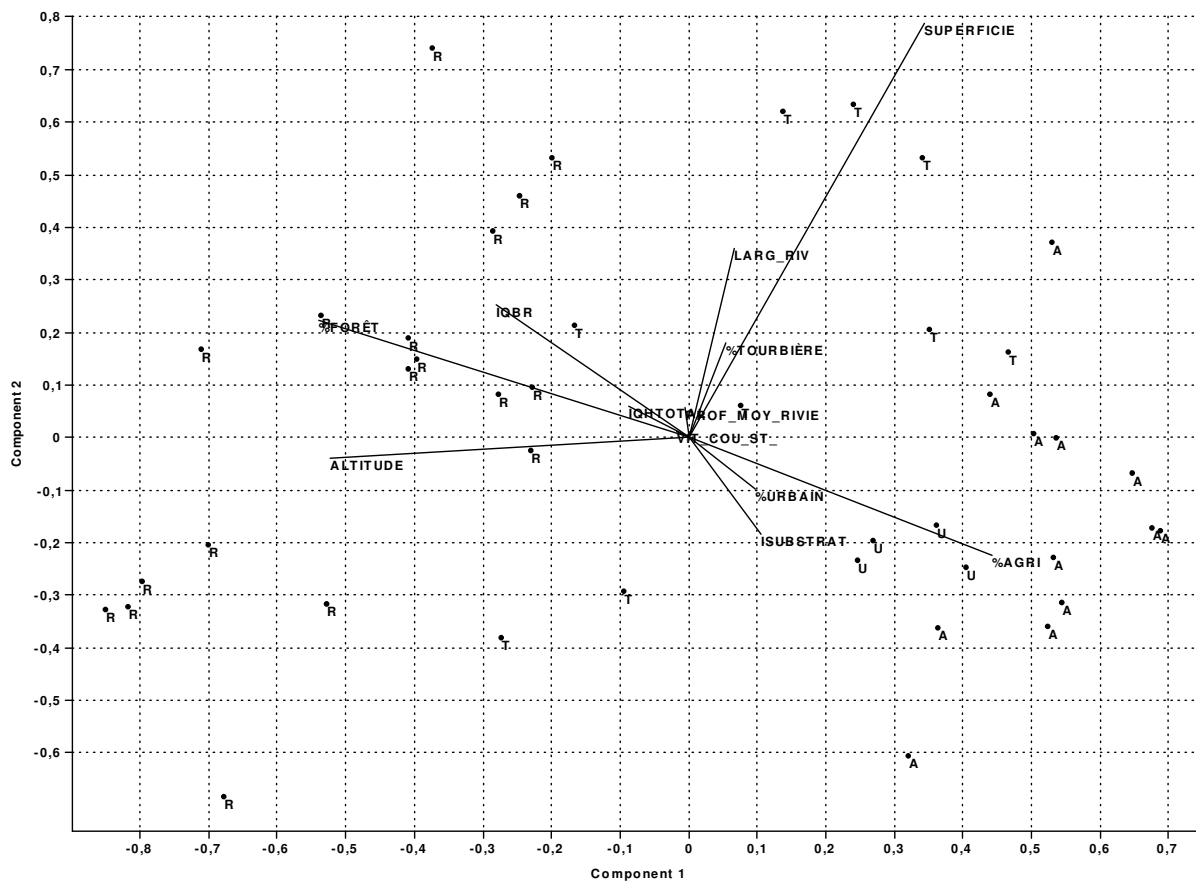
B) Liste des taxons pour le niveau élémentaire de l'OBBN (Jones *et al*, 2005)

#	TAXONS
1	Coelentera
2	Turbellaria
3	Nematoda
4	Oligocheta
5	Hirudinea
6	Isopoda
7	Pelecypoda
8	Amphipoda
9	Decapoda
10	Trombidiformes-Hydracarina
11	Ephemeroptera
12	Anisoptera
13	Zygoptera
14	Plecoptera
15	Hemiptera
16	Megaloptera
17	Trichoptera
18	Lepidoptera
19	Coleoptera
20	Gastropoda
21	Chironomidae
22	Tabanidae
23	Culicidae
24	Ceratopogonidae
25	Tipulidae
26	Simuliidae
27	Misc. Diptera

Annexe 2

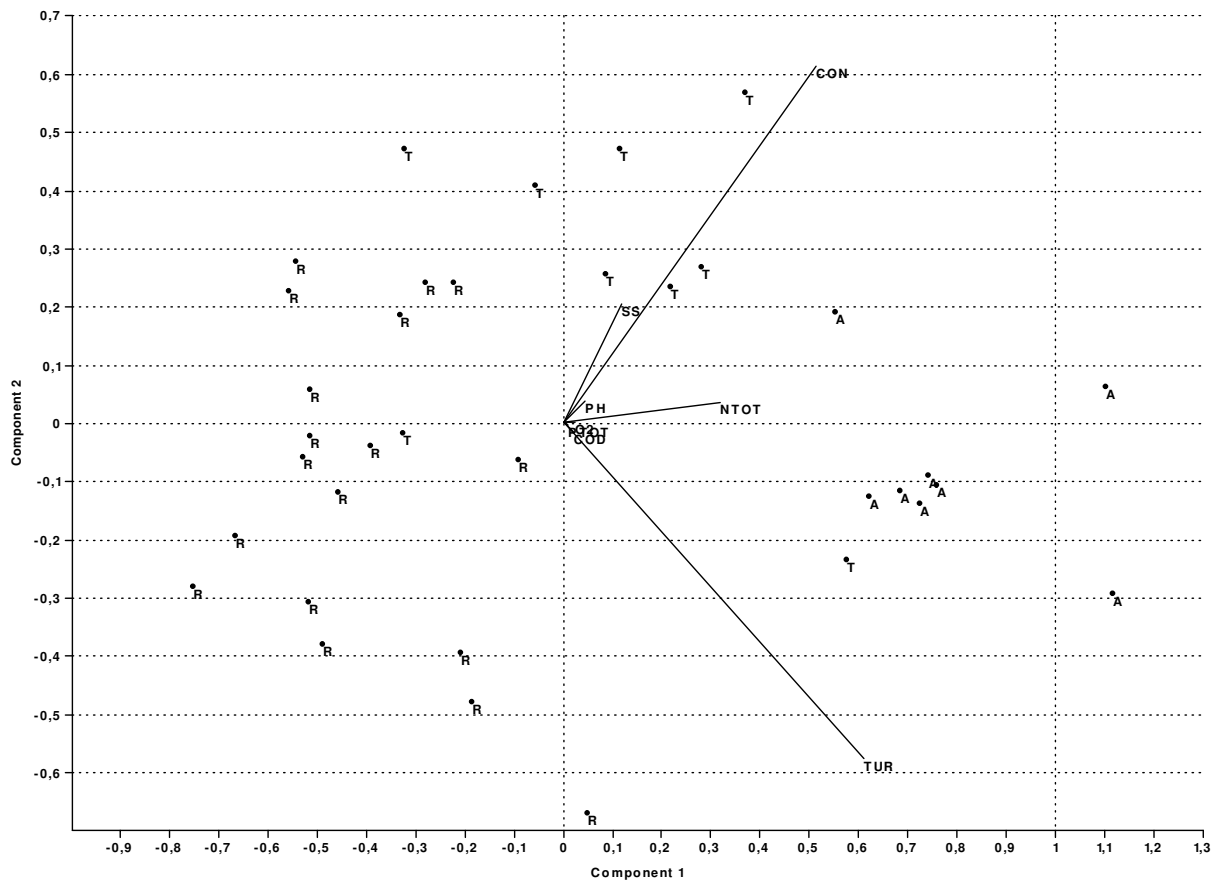
**Analyses multivariées des données
environnementales**

Analyse en composante principale des principales variables de l'habitat pour 43 stations (LARG_RIV = largeur de la rivière, PROF_MOY_RIVIE = profondeur moyenne de la rivière, VIT_COU_ST = vitesse du courant, %FORÊT = % de forêt dans l'utilisation du territoire, %AGRI = % d'agriculture dans l'utilisation du territoire, %TOURBIÈRE = % de tourbière dans l'utilisation du territoire, %URBAIN = % de zone urbaine dans l'utilisation du territoire, IQBR et ISUBSTRAT = indice du substrat de la Virginie occidentale (Craddock, 2005). (référence = R, agricole = A, urbain = U et test = T).



Facteur	Valeur propre	% variance
1	0,22808	46,976
2	0,115597	23,808
3	0,0744676	15,337
4	0,0276154	5,6877
5	0,0167013	3,4398

Analyse en composante principale des principales variables physico-chimiques pour 35 stations (COD = carbone organique dissous, O2 = oxygène dissous, PTOT = phosphore total, NTOT = azote total, pH, TUR = turbidité, SS = matière en suspension, CON = conductivité). Huit stations (4 urbain et 4 agricole) ne font pas partie de l'analyse car elles n'avaient pas un fichier de donnée complet. (référence = R, agricole = A, urbain = U et test = T).



Facteur	Valeur propre	% variance
1	0,286611	62,526
2	0,0844023	18,413
3	0,0475748	10,379
4	0,0267439	5,8343
5	0,0109156	2,3813

Annexe 3

Cotes de tolérance utilisées

Cotes de tolérance utilisées pour les trois niveaux d'identification (Bode *et al*, 1996; Hilsenhoff, 1988; Barbour *et al*, 1999; Mandaville, 2002 et jugement professionnel)

FAMILLE	Tolérance
EPHEMEROPTERA	2
BAETIDAE	4
CAENIDAE	7
EPHEMERIDAE	4
EPHEMERELLIDAE	1
HEPTAGENIIDAE	4
ISONYCHIIDAE	2
LEPTOPHLEBIIDAE	2
TRICORYTHIDAE	4
TRICHOPTERA	3
APATANIIDAE	3
BRACHYCENTRIDAE	1
GLOSSOSOMATIDAE	0
GOERIDAE	3
HELICOPSYCHIDAE	3
HYDROPSYCHIDAE	4
HYDROPTILIDAE	4
LEPIDOSTOMATIDAE	1
LEPTOCERIDAE	4
LIMNPHILIDAE	4
ODONTOCERIDAE	0
PHILOPOTAMIDAE	3
POLYCENTROPODIDAE	6
PSYCHOMYIIDAE	2
RHYACOPHILIDAE	0
PLECOPTERA	1
CAPNIIDAE	1
CHLOROPERLIDAE	1
LEUCTRIDAE	0
PELTOPERLIDAE	0
PERLIDAE	1
PERLODIDAE	2
PTERONARCYIDAE	0
TAENIOPTERYGIDAE	2
DIPTERA	x
ATHERICIDAE	2
CERATOPOGONIDAE	6
CHIRONOMIDAE	8
DIXIDAE	1
EMPIDIDAE	6
PHORIDAE	x
SIMULIIDAE	6
TABANIDAE	6
TIPULIDAE	3
CURCULIONIDAE	5
ELMIDAE	4
PSEPHENIDAE	4
AESHNIDAE	3
GOMPHIDAE	1
MESOVELIIDAE	x
VELIIDAE	6
LEPIDOPTERA	5
COSMOPTERIGIDAE	5
CORYDALIDAE	0
HYALELLIDAE	8
CLADOCERA	8
COPEPODA	8
CAMBARIDAE	6
OSTRACODA	8
ACARI	4
SPHAERIIDAE	8
ANCYLIDAE	6
LYMNAEIDAE	6
PLANORBIDAE	6
HYDROBIIDAE	8
HIRUDINEA	10
OLIGOCHAETA	8
NEMATODA	5
PLATYHELMINTHES	4
NEMERTEA	6
HYDRIDAE	5

MDEP	TOLÉRANCE
EPHEMEROPTERA	2
Groupe 1.3	4
Groupe 1.2	5
Groupe 1.1	4
EPHEMERELLIDAE	1
HEPTAGENIIDAE	4
ISONYCHIIDAE	2
LEPTOPHLEBIIDAE	2
TRICHOPTERA	3
Groupe 2.2	2
GLOSSOSOMATIDAE	0
GOERIDAE	3
HELICOPSYCHIDAE	3
HYDROPSYCHIDAE	4
HYDROPTILIDAE	4
LEPTOCERIDAE	4
Groupe 2.1	4
RHYACOPHILIDAE	0
PLECOPTERA	1
Groupe 3.1	1
PELTOPERLIDAE	0
PERLIDAE	1
PTERONARCYIDAE	0
DIPTERA	5
Groupe 5.2	5
CERATOPOGONIDAE	6
CHIRONOMIDAE	8
SIMULIIDAE	6
TIPULIDAE	3
CURCULIONIDAE	5
ELMIDAE	4
PSEPHENIDAE	4
ANISOPTERA	5
Gerromorphe	x
LEPIDOPTERA	5
CORYDALIDAE	0
AMPHIPODA	7
CLADOCERA	8
COPEPODA	8
DECAPODA	6
OSTRACODA	8
ACARI	4
SPHAERIIDAE	8
ANCYLIDAE	6
LYMNAEIDAE	6
PLANORBIDAE	6
MESOGASTROPODA	7
HIRUDINEA	10
OLIGOCHAETA	8
NEMATODA	5
PLATYHELMINTHES	4
NEMERTEA	6

Taxons OBBN	TOLÉRANCE
EPHEMEROPTERA	2
TRICHOPTERA	3
PLECOPTERA	1
DIPTERA	5
CERATOPOGONIDAE	6
CHIRONOMIDAE	8
SIMULIIDAE	6
TABANIDAE	6
TIPULIDAE	3
COLEOPTERA	4
ANISOPTERA	5
HEMIPTERA	x
LEPIDOPTERA	5
MEGALOPTERA	2
AMPHIPODA	7
DECAPODA	6
ACARI	4
PELECYPODA	8
GASTROPODA	7
HIRUDINEA	10
OLIGOCHAETA	8
NEMATODA	5
PLATYHELMINTHES	4
COELENTERATA	5

Annexe 4

**Formules utilisées pour calculer le DE et
la précision**

Discrimination efficiency (DE)

Formule : $DE = 100 \times (a/b)$

Pour les métriques dont la réponse attendue diminue avec l'augmentation des perturbations (ex : %EPT) :

a = nombre d'échantillon en milieu perturbé dont la valeur est en-dessous du 25^e percentile de la distribution des stations de référence.

b = nombre de stations en milieu perturbés.

Pour les métriques dont la réponse attendue augmente avec l'augmentation des perturbations (ex : %oligochète) :

a = nombre d'échantillon en milieu perturbé dont la valeur est au-dessus du 75^e percentile de la distribution des stations de référence.

Un DE élevé indique une meilleure habileté d'un métrique à discriminer les sites perturbés des sites de référence.

Précision

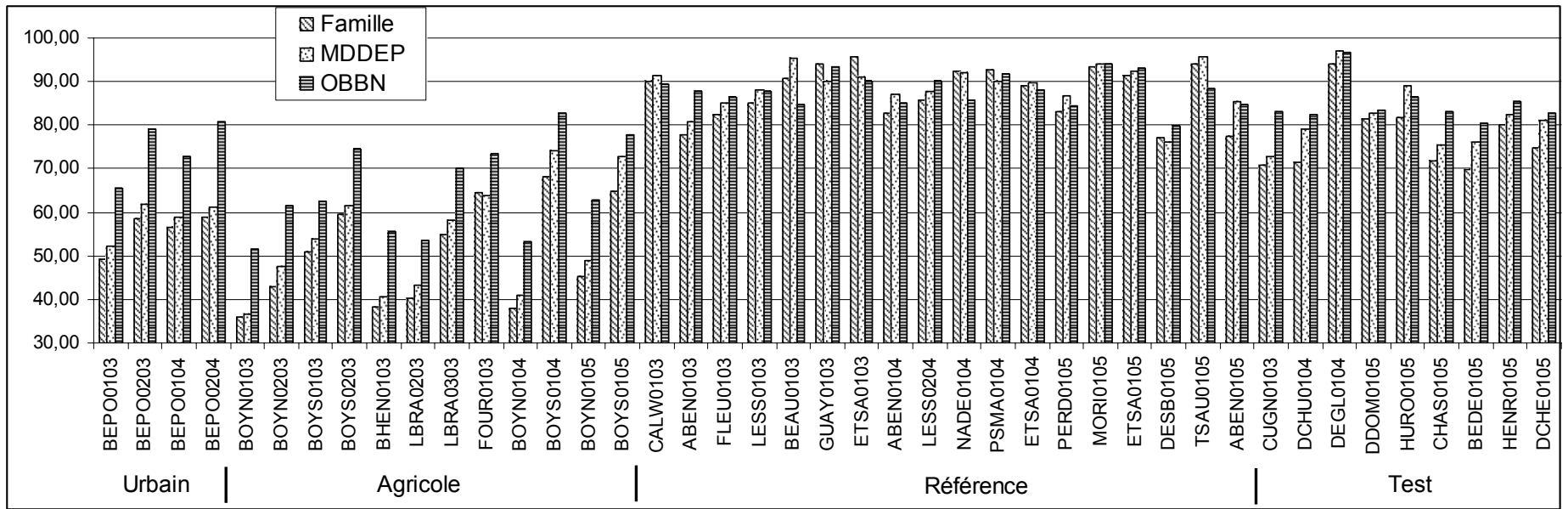
Formule : $CV = \text{Écart-type} / \text{Moyenne} \times 100$

Comparaison des coefficients de variation (CV) des métriques et indices.

Une faible valeur indique une meilleure précision.

Annexe 5

Indice d'intégrité biologique de la
Virginie occidentale pour les 43 stations

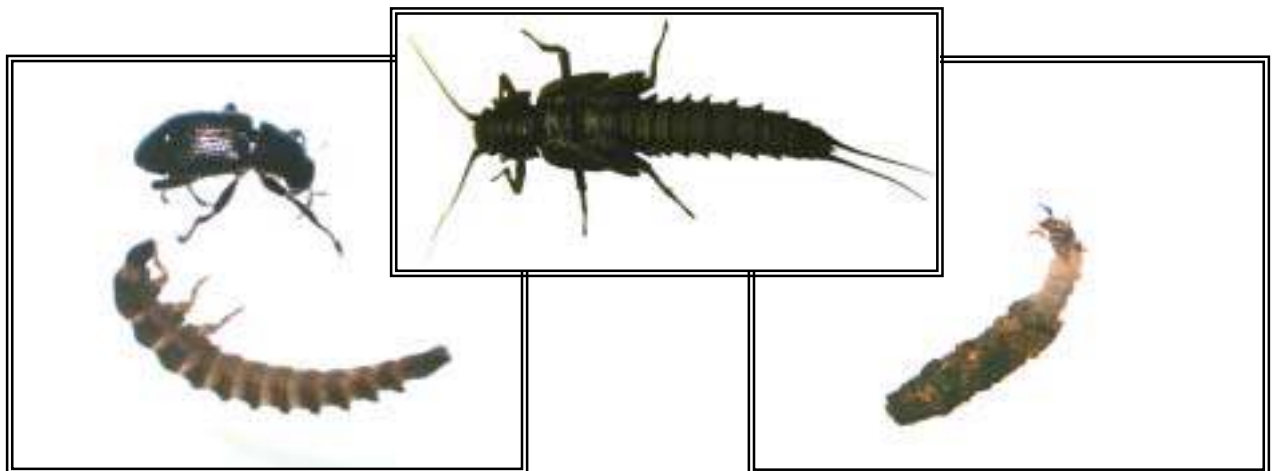


Indice d'intégrité biologique de la Virginie occidentale (WVSCI) pour les 43 stations



Monitoring Benthic Macrofauna

Statistical Comparison of Benthic Macroinvertebrate Identification Tools



Beauport River Enhancement Committee

March 2006

Table of Contents

TABLE OF CONTENTS	III
TABLES	IV
FIGURES	IV
APPENDICES	V
SUMMARY	VI
INTRODUCTION	1
MATERIAL AND METHODS	2
<i>Data Preparation</i>	2
<i>Data Analysis</i>	5
FINDINGS	9
<i>Environmental Variables</i>	9
<i>Metrics</i>	13
<i>Multimetric Index</i>	22
<i>Multivariate Analyses</i>	24
DISCUSSION	30
CONCLUSION	34
REFERENCES	35

Tables

Table 1: Four types of stations being studied	3
Table 2: Preliminary criteria used to designate the control stations.....	4
Table 3: Preliminary criteria used to designate the impacted stations	4
Table 4: List of metrics and indices to test	7
Table 5: Discrimination efficient (DE) indices and coefficients of variation (CV) of various metrics for the three levels of identification.....	8

Figures

Figure 1: Location of stations (2003-2004-2005)	2
Figure 2: Box plots of the land use percentages for the drainage basin for the four types of stations	9
Figure 3: Box plots of the altitude in metres and of the area drained in square kilometres for the four types of stations	10
Figure 4: Box plots of the habitat suitability index (total HSI) and the shoreline strip quality index (SSQI) for the four types of stations	11
Figure 5: Box plots of the main physico-chemical variables (pH, conductivity ($\mu\text{S}/\text{cm}$), turbidity (UNT), total nitrogen (mg/l), total phosphorus (mg/l) and alkalinity (mg/l)) for the three types of station.	12
Figure 6: Box plots of % EPT (Ephemera, Plecoptera and Trichoptera) and percentage of insects metrics for the three identification levels and four types of station	13
Figure 7: Box plots of percentage of intolerant metric for the three identification levels and four types of station	14
Figure 8: Box plots of the Hilsenhoff biotic index (HBI) for the three identification levels and four types of station. Ratings are presented for the HBI family	16
Figure 9: Box plots of total number of taxa and number of EPT (Ephemera, Plecoptera and Trichoptera) taxa metric for the family and MDDEP identification levels and the four types of station	18
Figure 10: Box plots of number of intolerant taxa metric for the family and MDDEP identification levels and the four types of station	19
Figure 11: Box plots of the Shannon-Wiener and Equitability indices for the family and MDDEP identification levels and the four types of station	21

Figure 12: Box plots of the West Virginia Stream Condition Index (WVSCI) for the three identification levels and the four types of station23

Figure 13: Analysis of correspondences for abundance data at the taxonomic level of family for the 43 stations25

Figure 14: Analysis of correspondences for abundance data at the MDDEP volunteer taxonomic level for the 43 stations27

Figure 15: Analysis of correspondences for abundance data at the OBBN coarse-level for the 43 stations29

List of Appendices

APPENDIX 1 LIST OF TAXA

APPENDIX 2 MULTIVARIATE ANALYSES OF ENVIRONMENTAL DATA

APPENDIX 3 TOLERANCE RATINGS USED

APPENDIX 4 FORMULA FOR CALCULATING DE AND ACCURACY

APPENDIX 5 BIOLOGICAL INTEGRITY INDEX FOR WEST VIRGINIA FOR THE 43 STATIONS

Summary

The purpose of this study was to assess the ability to discriminate between impacted stations (agricultural and urban) and control stations for two identification levels used by volunteers by comparing them to a benchmark identification level (family). To do so, data from 43 MDDEP stations were used. The stations were separated *a priori* into control stations, agricultural stations, urban stations and test stations based on professional judgement and as subsequently confirmed by physicochemical and habitat criteria. The taxa, generally identified by genus, were placed in three identification levels (family, MDDEP volunteer and OBBN coarse-level).

The multivariate analyses using the OBBN identification level differentiated the agricultural stations from the control stations, but did not clearly differentiate two of the four urban stations from the control stations. Very few metrics could be calculated, and of that number, very few were considered good metrics. It therefore seems unlikely that an effective, multimetric index could be developed using the OBBN identification level.

The multivariate analyses based on the MDDEP identification level distinguished both agricultural stations and urban stations from the control stations. Almost all of the metrics could be calculated, and there were as many good metrics as there were at the family identification level. Therefore, the use of a multimetric index seems quite reasonable. Accordingly, the MDDEP identification level seems to be a good compromise between the OBBN and family identification levels.

Canonical variate analysis, which incorporates environmental variables, will make it possible to confirm or refute the trends observed in this study.

Introduction

The 2005 BREC study entitled “*Suivi de la macrofaune benthique: comparaison de trois méthodes*,” suggests that the two volunteer methods tested (MDDEP and OBBN) were successful in harvesting benthic macroinvertebrates in percentages similar to the scientific method used by the Quebec *Ministère du Développement durable, de l’Environnement et des Parcs* (MDDEP). However, the study questioned the ability of the coarse-level identification (27 taxa) used in the Ontario Benthos Biomonitoring Network Protocol Manual to distinguish between control sites and impacted sites to different degrees (Jones *et al*, 2005; BREC, 2005).

In follow-up to this study, Environment Canada would like to know whether the volunteer identification tools allow for a statistical differentiation between the quality of control sites and impacted sites. The two volunteer identification levels for benthic macroinvertebrates (MDDEP and OBBN) will be compared in terms of family identification, used as the reference.

Therefore, the purpose of this study is to assess, using statistical analyses, the effectiveness of two identification levels used by volunteers in distinguishing between control stations and impacted stations by comparing them at the benchmark identification level (family).

Materials and Methods

Data Preparation

The data were prepared by the Quebec *Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs* (MDDEP). These data were collected in 2003, 2004 and 2005 by the MDDEP according to its scientific method. This method is used in fast-flowing streams and streams with a coarse substrate. The benthic macroinvertebrates are captured using a 600-micron kick net (20 times, 30 seconds each time, in a 100-metre station).

We have 33 different sampling stations for statistical analyses (Figure 1). However, some stations were inventoried for more than one year, and we therefore have 43 stations. These are control (reference) stations, agricultural stations, test stations and a few urban stations.

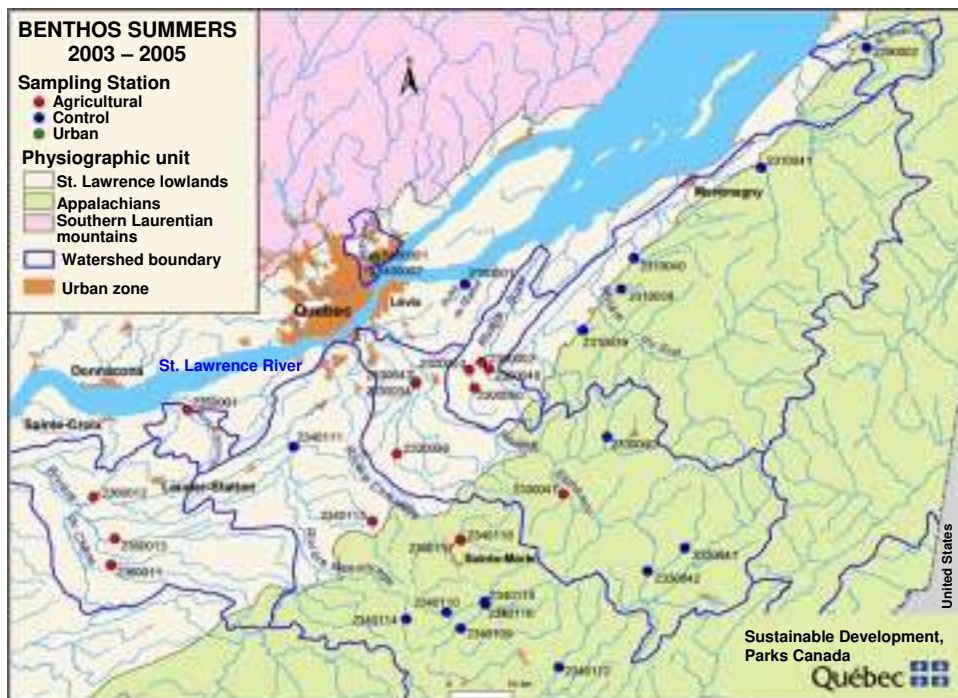


Figure 1: Location of Stations (2003-2004-2005) (Source: *Direction du suivi de l'état de l'environnement*, MDDEP)

The 43 stations were divided into four types (control, agriculture, urban and test stations) *a priori* based on professional judgement and later confirmed by physico-chemical criteria and habitat identified at each station. These criteria were chosen based on a survey of the literature. In the case of stations intended for experimental control purposes, the aim was to select those that were representative of biological conditions at sites where the effects of disturbance caused by human activity was minimal (Jones *et al*, 2005). The stations can be broken down into eighteen control stations, twelve agricultural stations, four urban stations and nine test stations (Table 1). Table 2 shows the preliminary criteria used to designate the control stations. Physico-chemical and habitat data were also considered in the selection of the agricultural stations (Table 3). These stations were well-documented by the MDDEP. Test stations are intermediate stations that cannot be defined *a priori*. Following more advanced analyses of the habitat and physico-chemical variables, some of these stations could become control stations for the St. Lawrence lowlands. These would be the least disturbed stations for the St. Lawrence lowlands.

Table 1: Four types of stations studied

Control	Agricultural	Urban	Test
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Calway ▪ Des Abénaquis (3 years) ▪ Lessard 1 and 2 ▪ Beaurivage ▪ Petite rivière Sainte-Marguerite ▪ Des Fleurs ▪ Ruisseau Sans Nom (Etchemin) (3 years) ▪ Ruisseau Guay ▪ Nadeau ▪ Desbarats ▪ Morigeau ▪ Des Perdrix ▪ Trois Saumons 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Boyer sud 1 (3 years) and 2 ▪ Boyer nord 1 (3 years) and 2 ▪ Bras d'Henri ▪ Le Bras 2 and 3 ▪ Ruisseau Fourchette 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Beauport 1 (2 years) and 2 (2 years) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cugnet ▪ Ruisseau de l'Église ▪ Ruisseau de la Chute ▪ Ruisseau Beudet ▪ Chassé ▪ Du Chêne ▪ Du Domaine ▪ Henri ▪ Huron

Table 2: Preliminary criteria used to designate control stations (adapted from Klemm *et al*, 2003; Stribling *et al*, 1998; Waite *et al*, 2000, Major *et al*, 2000)

Criteria	Values
pH	≥ 6 OR pH < 6 and dissolved organic carbon (DOC) ≥ 8 mg/l
Total phosphorus	< 0.02 mg/l
Total nitrogen	< 0.75 mg/l
Habitat index (THSI)*	> 75% (> 150/200 points)
Width of shoreline	≥15 m
% of watershed urbanized	≤ 15%
% of watershed forested	> 50%
No waterway recovery	
No point-source discharge	

* adapted from Barbour *et al*, 1999

Table 3: Preliminary criteria used to designate impacted stations (adapted from Stribling *et al*, 1998)

Criteria	Values
pH	≤ 5
Total phosphorus	> 0.1 mg/l
Total nitrogen	> 5 mg/l
Habitat index (THSI)	< 50% (> 100/200 points)
% of watershed urbanized	> 50%

Macroinvertebrates are usually identified to the taxonomic level of the genus (BREC, 2005). Before being transposed to the desired identification level (family, MDDEP and OBBN), the taxonomic abundance record was thinned down. Indeed, although the targeted number of macroinvertebrates per station was 200, some stations contained a great deal more. Therefore, the number of macroinvertebrates was limited to 200 using the Ecosim software (Gotelli and Entsminger, 2006). The data were then transposed to three taxonomic levels: family, the MDDEP volunteer level and the OBBN coarse-level (Appendix 1: list of MDDEP and OBBN taxa). We obtained 77 different taxa at the family

level, 49 taxa at the MDDEP volunteer level of a possible 73 and 24 taxa at the OBBN coarse-level of a possible 27.

Data Analysis

Environmental data were used to validate the classification of the 43 stations into one of the four categories (control, urban, agricultural and test). Box plot charts were used to present the different environmental variables. The box plots show the median, maximum and minimum values and the 25th and 75th percentiles. Physico-chemical values were not measured at the urban stations. A multivariate analysis (analysis of primary components) was performed as an exploratory exercise only for habitat data and physico-chemical data (Appendix 2). Before performing the multivariate analyses, the data were transformed to more closely resemble normal distribution. Logarithmic transformation ($\log_{10}(x + 1)$) was used except in the case of percentage data, which was transformed with the arcsin square root (Roy *et al*, 2005).

Many metrics were calculated using abundance data for the three identification levels (Table 4). The tolerance ratings used for the metrics HBI, % tolerant, % intolerant and number of intolerant taxa are listed in Appendix 3. The best metrics were selected by calculating a discrimination efficiency (DE) between control stations and agricultural stations and a coefficient of variation (CV) for the control stations (Table 5, Appendix 4). The DE is the percentage of impacted stations that rank in the 25th percentile for control stations (Barbour *et al*, 1999; Major *et al*, 2001). A high DE indicates a clearer separation between the control sites and the impacted sites for a given metric. A low CV indicates a metric with greater accuracy. The best metrics (DE of 70% or more, CV of 25 or less) are presented in the findings section with box plots. The choice of discriminating DE was based on Major *et al*, 2001 and the discriminating CV was arbitrary. The box plots used show the median, maximum and minimum values, as well as the 25th and 75th percentiles.

The West Virginia Stream Condition Index (WVSCI) has been calculated for the three identification levels and four types of station (Craddock, 2005). This index combines the results of six metrics (% dominant taxon, % EPT, number of EPT taxa, % Chironomides, HBI and total number of taxa) to obtain an index of biological integrity. The index has been calibrated for Quebec based on the 18 control stations. The six metrics included in the index were calibrated using the 95th or 5th percentiles as benchmarks to obtain a score of 100% for each metric. The WVSCI separates the stations into five categories: two "poor" or "marginal" impacted categories; two "good" or "excellent" non-impacted categories; and one "grey area" that makes allowance for the margin of error in the index when it is impossible to decide between an impacted or non-impacted station. The WVSCI box plots are presented in the findings section for the three identification levels and four types of station. The box plots used show the median, maximum and minimum values, as well as the 25th and 75th percentiles. The WVSCI index value for the 43 stations based on the three identification levels is shown in Appendix 5.

Multivariate analyses (correspondence analysis) have been performed for the 43 stations and the three identification levels using PAST software (Hammer *et al*, 2006). The data were not transformed because a fractionation was performed and the master file was downsized to 200 macroinvertebrates (Rosenberg *et al*. 1999).

Table 4: List of metrics and indices for testing

	Family	MDDEP	OBBN
% EPT (Ephemera, Plecoptera and Trichoptera)	✓	✓	✓
% E (Ephemera)	✓	✓	✓
% P (Plecoptera)	✓	✓	✓
% T (Trichoptera)	✓	✓	✓
% Hydropsychidae (on T)	✓	✓	x
% Baetidae (on E)	✓	x	x
% Diptera	✓	✓	✓
% Chironomidae	✓	✓	✓
% Insects	✓	✓	✓
% Oligochaeta	✓	✓	✓
% Coleioptera	✓	✓	✓
% Gastropoda	✓	✓	✓
% Dominant taxon	✓	✓	✓
% Tolerant*	✓	✓	✓
% Intolerant**	✓	✓	✓
Number of taxa	✓	✓ (173)	✓ (127)
Number of EPT taxa	✓	✓ (124)	✓ (13)
Number Dipteran taxa	✓	✓ (16)	✓ (16)
EPT/Chironomidae	✓	✓	✓
HBI (Hilsenhoff biotic index)	✓ family	✓ family	✓ order
Shannon-Wiener	✓	✓	✓
Dominance	✓	✓	✓
Equitability	✓	✓	✓

E: ephemera, P: Plecoptera, T: trichoptera

(/ maximum value)

* tolerance rating ≥ 7

** tolerance ratings ≤ 3 (Klemm *et al*, 2002)

x: metric could not be calculated

Table 5: Discrimination efficiency (DE) and coefficients of variation (CV) of the various metrics for the three identification levels

FAMILY	DE (%)	CV	MDDEP	DE (%)	CV
% EPT	91.67	16.43	% EPT	91.67	16.43
% Ephemera	100.00	33.29	% Ephemera	100.00	33.29
% Plecoptera	100.00	47.14	% Plecoptera	100.00	47.14
% Diptera	100.00	55.28	% Diptera	100.00	55.28
% Chironomidae	100.00	73.73	% Chironomidae	100.00	73.73
% Insect	100.00	5.42	% Insect	100.00	5.42
% Oligochaeta	100.00	111.60	% Oligochaeta	100.00	111.60
% Dominant taxa	100.00	25.76	% Dominant taxa	100.00	25.76
# Taxa	100.00	10.45	# Taxa	91.67	9.54
# Taxa	100.00	11.83	# EPT taxa	91.67	7.94
# Taxa P	100.00	29.75	# Taxa P	100.00	28.39
# Taxa T	100.00	18.21	# Taxa T	91.67	14.29
EPT/chiro	100.00	80.67	EPT/chiro	100.00	80.67
% Hydropsyche on T	100.00	53.33	% Hydropsyche on T	100.00	53.33
% Baetidae on E	41.67	74.82	% Baetidae on E	x	x
% Tolerant	91.67	70.12	% Tolerant	91.67	70.51
% Intolerant	100.00	22.65	% Intolerant	100.00	24.27
# Intolerant taxa	100.00	17.39	# Intolerant taxa	100.00	13.26
HBI	100.00	16.45	HBI	100.00	15.75
Shannon-Wiener	100.00	7.39	Shannon-Wiener	100.00	6.93
Equitability	100.00	6.47	Equitability	100.00	6.46
Dominance	100.00	26.24	Dominance	100.00	24.78

OBBN	DE (%)	CV
% EPT	91.67	16.45
% Ephemera	100.00	33.34
% Plecoptera	100.00	47.10
% Diptera	100.00	55.42
% Chironomidae	100.00	73.91
% Insect	100.00	5.45
% Oligochaeta	100.00	111.64
% Dominant taxa	50.00	29.23
# Taxa	58.33	13.87
# EPT taxa	58.33	0.00
# Taxa P	58.33	0.00
# Taxa T	0.00	0.00
EPT/chiro	100.00	80.67
% Hydropsyche on T	x	x
% Baetidae on E	x	x
% Tolerant	91.67	70.31
% Intolerant	91.67	16.39
# Intolerant taxa	66.67	15.75
HBI	100.00	19.41
Shannon-Wiener	58.33	14.14
Equitability	50.00	12.96
Dominance	58.33	33.02

x: metric could not be calculated

Findings

Environmental Variables

Figure 2 presents the box plots on land use based on the four types of station. Land use is primarily forest at the control stations and agricultural at the agricultural stations. Urban stations consist primarily of urban and forest land. Control stations are within the standard set for land use (urban < 20% and forest > 50%, Table 2).

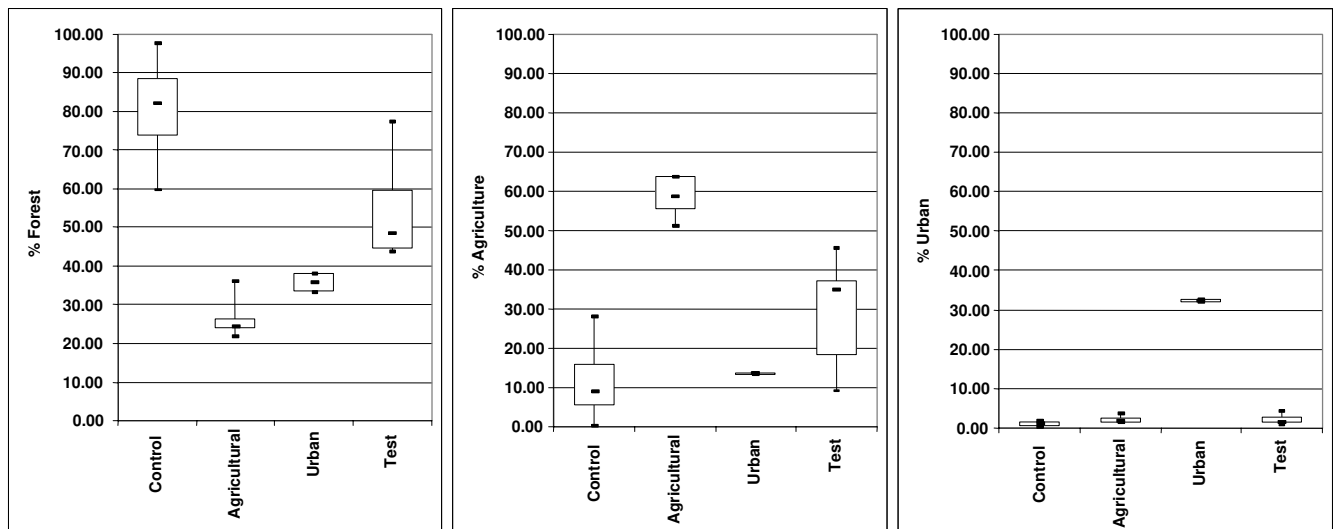


Figure 2: Box plots of the land use percentages for the drainage basin for the four types of stations (control n = 19, agricultural n = 12, urban n = 4 and test n = 9)

Figure 3 shows the box plots for altitude in meters and drainage area in square kilometres for the four types of station. The control stations are located at a higher altitude than the other types of station. However, considerable variation exists between control stations for altitude, and some are therefore at lower altitudes. The other types of station are usually at an altitude of less than 200 meters. In terms of drainage area, the control stations and agricultural stations are fairly similar. Greater variation exists in relation to the test stations. The Strahler order is usually 2 or 3 for all stations.

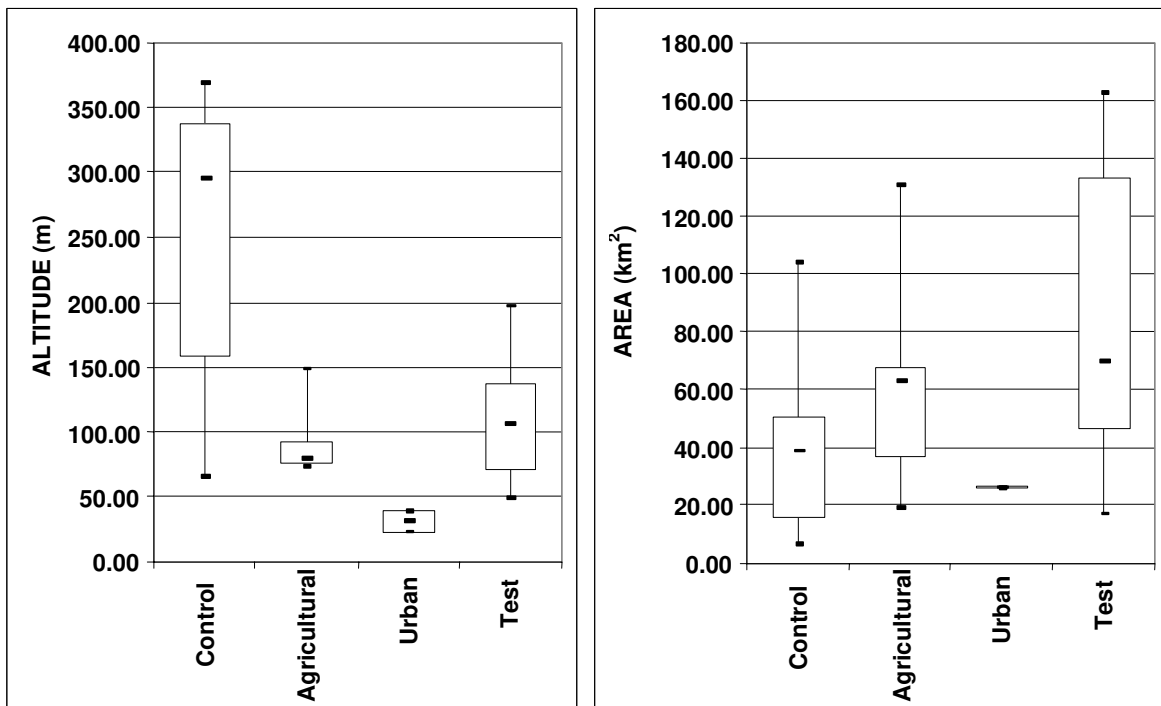


Figure 3: Box plots of altitude and drainage area for the four types of station (control n = 19, agricultural n = 12, urban n = 4 and test n = 9)

Figure 4 presents box plots for the habitat suitability index (Total HSI) and the shoreline quality index (SQI) for the four types of station. Total HSI is a general habitat suitability index including 10 parameters with a maximum value of 200 (adapted from Barbour *et al*, 1999). The control stations all had a habitat suitability index higher than 150 out of 200 points, which meets the control station criteria (Table 2). The other types of station generally had a Total HSI higher than 130/200. This means that even the impacted stations have fairly good habitat quality, since higher than 100 out of 200 points indicates an impacted station (Table 3). The SQI is an index of a station's shoreline quality out of 100 (Saint-Jacques and Richard, 1998). Control stations have a high SQI, and urban and test stations also have a high SQI. At agricultural stations, the SQI can vary a great deal, but shoreline quality is poorer.

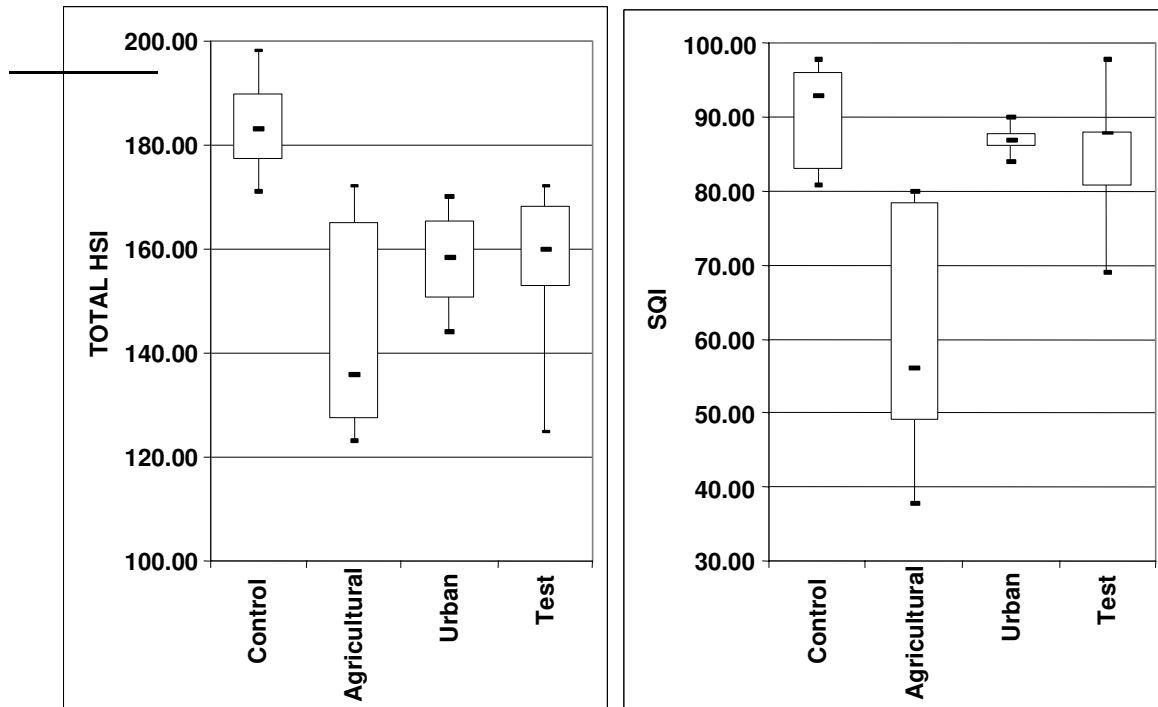


Figure 4: Box plots of habitat suitability index (HSI Total) and shoreline quality index (SQI) for the four types of station (control n = 19, agricultural n = 12, urban n = 4 and test n = 9)

The various physico-chemical variables analyzed confirm a clear separation between the control stations and the impacted stations (Figure 5).

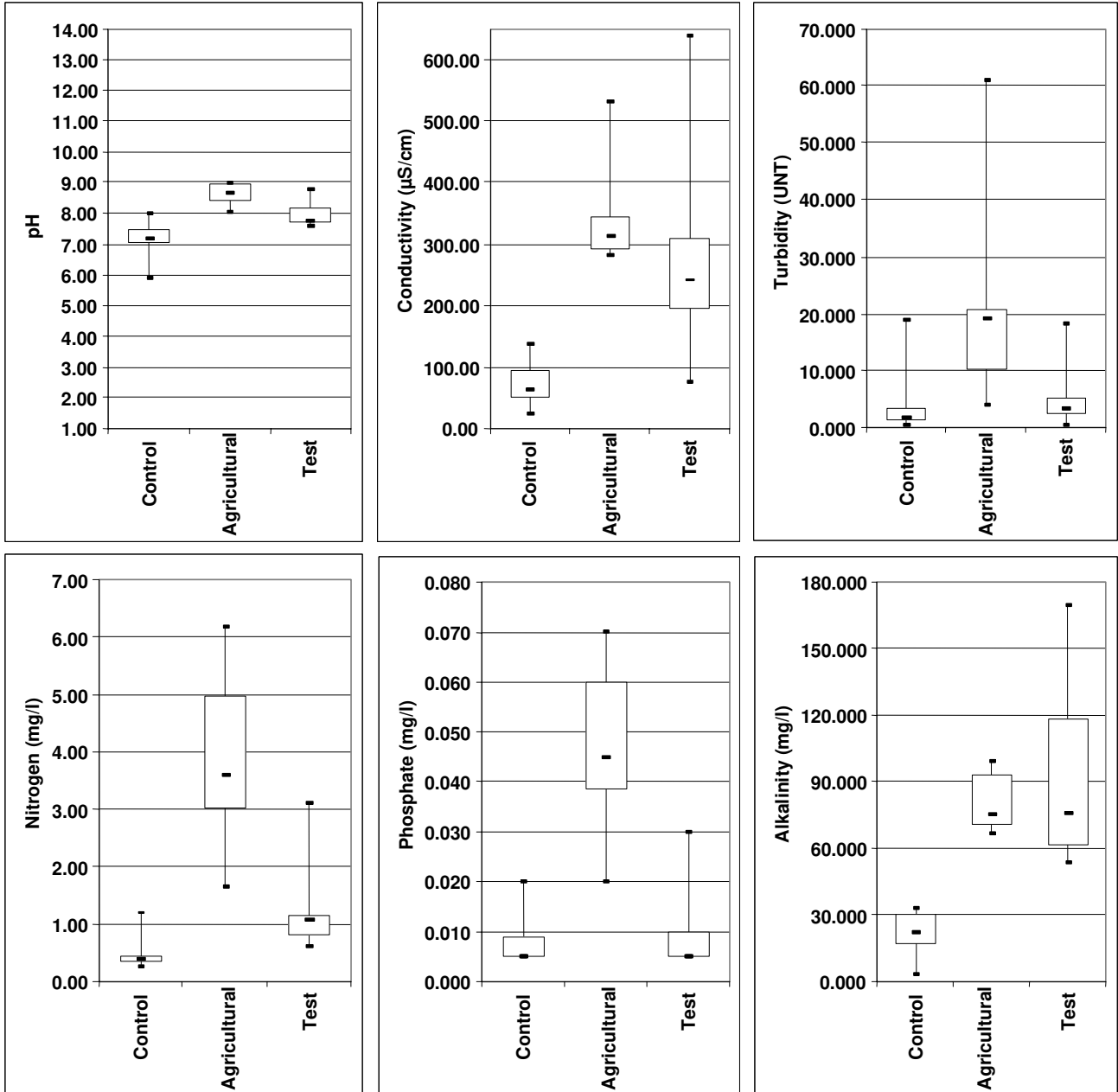


Figure 5: Box plots of the main physico-chemical variables (pH, conductivity, turbidity, total nitrogen, total phosphorus and alkalinity for the three types of station (control n = 19, agricultural n = 8 and test n = 9)

Metrics

Figure 6 shows box plots for the % EPT and percentage of insect metrics. These two metrics should decrease in response to a disturbance. The values for these two metrics are similar at the three levels of identification. Therefore, identification at the family level only is shown. The DE and CV calculations in Table 5 indicate that these are good metrics and that the distinction between control stations and agricultural stations is indeed quite clear. The % EPT metric does not allow for a clear distinction between urban stations and control stations, while the percentage of insects metric does. In both cases, the test stations are located near the control stations and are fairly easy to differentiate from the agricultural stations.

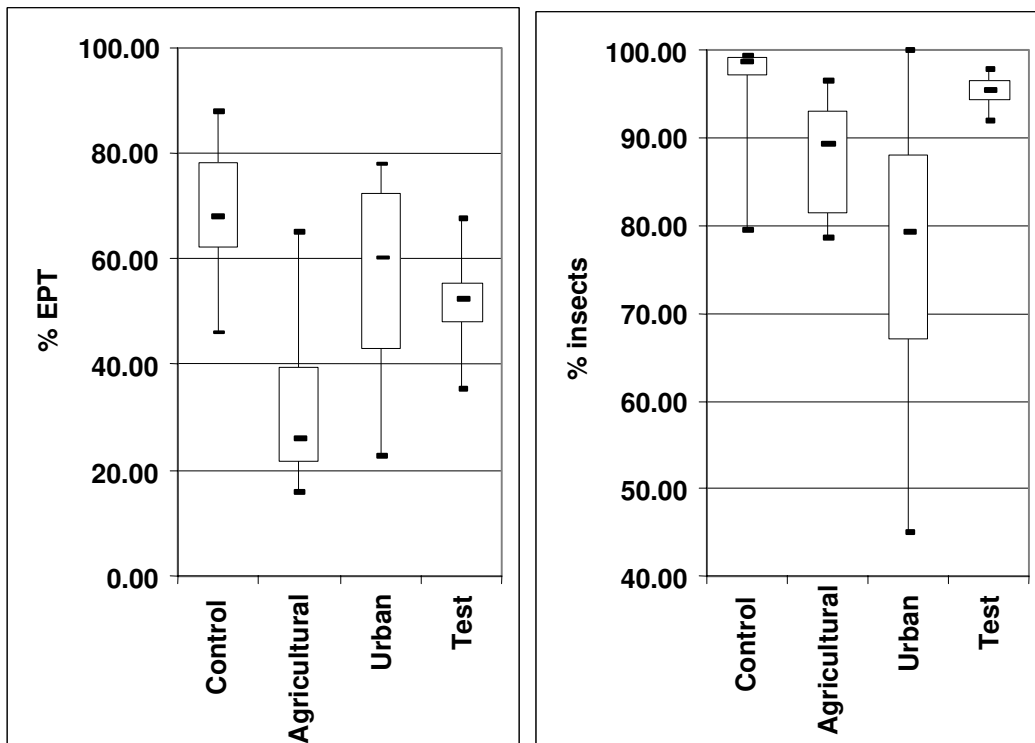


Figure 6: Box plots of % EPT (Ephemera, Plecoptera and Trichoptera) and percentage of insects metrics for the three identification levels and four types of station (control n = 19, agricultural n = 12, urban n = 4 and test n = 9)

Figure 7 presents box plots for the percentage of intolerant metric. This metric should diminish in response to a disturbance. The DE and CV calculations in Table 5 indicate that this is a good metric, and that the distinction between the control stations and agricultural stations is quite clear for the three levels of identification. It also distinguishes impacted urban stations at the family and MDDEP identification levels. As for the OBBN identification level, urban stations are partly mixed up with control stations. The test stations are located near the control stations, and stand out rather clearly from the agricultural stations.

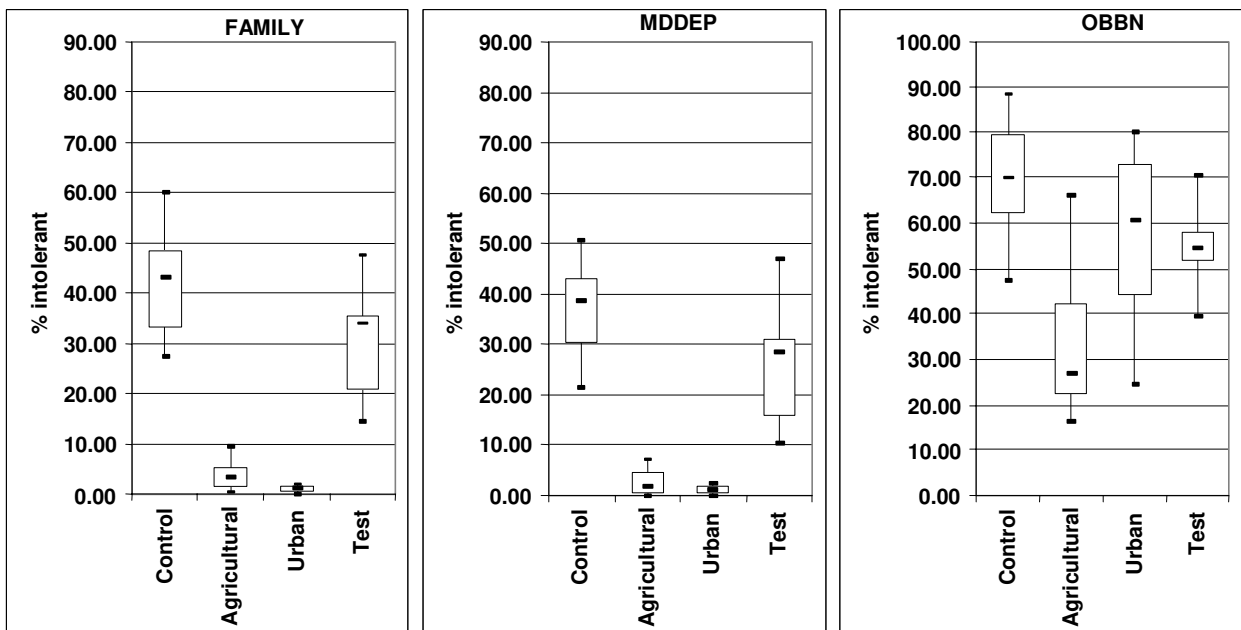


Figure 7: Box plots of percentage of intolerant metric for the three identification levels and four types of station (control n = 19, agricultural n = 12, urban n = 4 and test n = 9)

Figure 8 shows box plots for the Hilsenhoff biotic index (HBI). For this index, abundance is weighted according to tolerance for organic pollution, and the scale is therefore from 0 to 10. The results at the family identification level are completed according to the five classes of the Hilsenhoff index at the family level (Hilsenhoff, 1988). In terms of family identification, the control stations rate in the "excellent" and "very good" range, agricultural stations rank in the "somewhat poor" and "poor" range, urban stations place in the "average" and "somewhat poor" area, and test stations are in the "very good" and

"good" categories. The DE and CV calculations in Table 4 indicate that this is a good index and that the distinction between control stations and agricultural stations is indeed very clear at the three identification levels. It also distinguishes between impacted urban stations at the three identification levels. The test stations are located rather close to the control stations, and stand out fairly well from the agricultural and urban stations, with the exception of urban stations for the OBBN identification level.

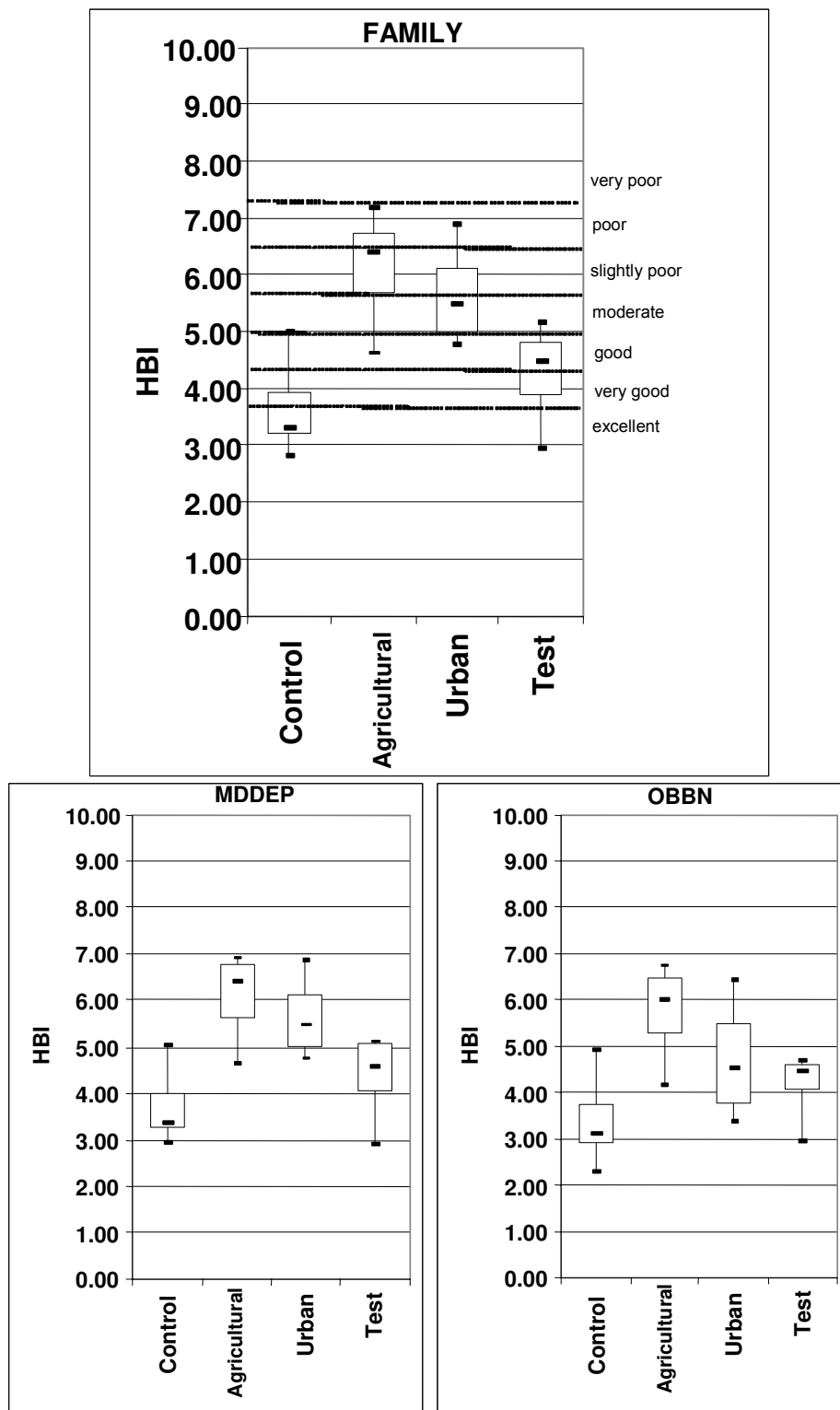


Figure 8: Box plots of the Hilsenhoff biotic index (HBI) for the three identification levels and four types of station. Ratings are presented for the HBI family (control n = 19, agricultural n = 12, urban n = 4 and test n = 9)

Figure 9 shows the box plots for the total number of taxa and number of EPT taxon. These metrics should diminish in response to a disturbance. The DE and CV calculations in Table 5 show that these are good metrics for the family and MDDEP identification levels. Indeed, the distinction between control stations and agricultural and urban stations is quite clear at these two identification levels. The OBBN identification level is not shown because these two metrics are not discriminating at this identification level. The total number of taxa metrics ranges only from 0 to 27, and only from 0 to 3 for the OBBN identification level. The test stations are located fairly close to the control stations and stand out rather clearly from the agricultural and urban stations.

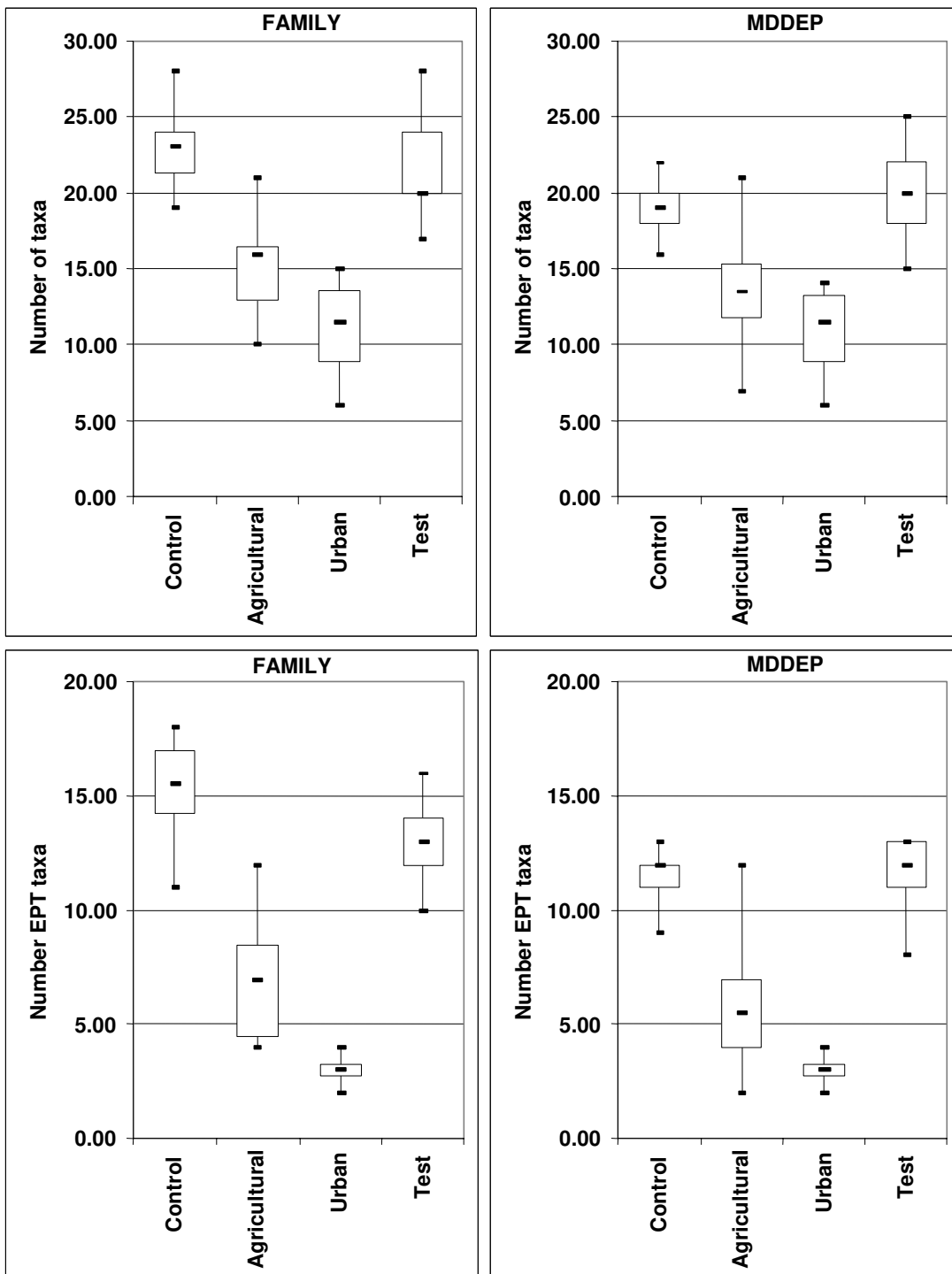


Figure 9: Box plots of total number of taxa and number of EPT (Ephemera, Plecoptera and Trichoptera) taxa metrics for the family and MDDEP identification levels and the four types of station (control n = 19, agricultural n = 12, urban n = 4 and test n = 9)

Figure 10 presents box plots for the number of intolerant taxa metric. This metric should diminish in response to a disturbance. The DE and CV calculations in Table 4 show that this is a good metric for the family and MDDEP identification levels. Indeed, the distinction between control stations and agricultural and urban stations is quite clear at these two identification levels. The OBBN identification level is not shown because this metric is not discriminating at this identification level. The test stations are fairly close to the control stations, and stand out rather clearly from the agricultural and urban stations.

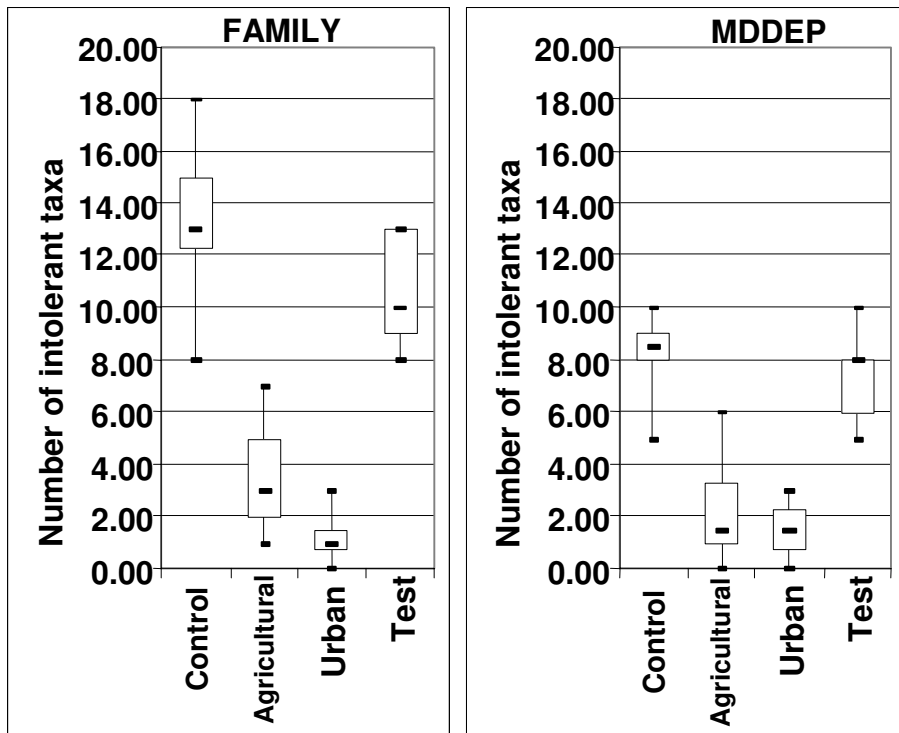


Figure 10: Box plots of number of intolerant taxa metric for the family and MDDEP identification levels and the four types of station (control n = 19, agricultural n = 12, urban n = 4 and test n = 9)

Figure 11 shows the box plots for the Shannon-Wiener and Equitability indices. These indices should diminish in response to a disturbance. The DE and CV calculations in Table 4 show that these are good indicators for the family and MDDEP identification levels. Indeed, the distinction between control stations and agricultural and urban stations is quite clear for these two identification levels. The OBBN identification level is not shown because the index is not discriminating at this identification level. The test stations are fairly close to the control stations, and stand clearly apart from the agricultural and urban stations.

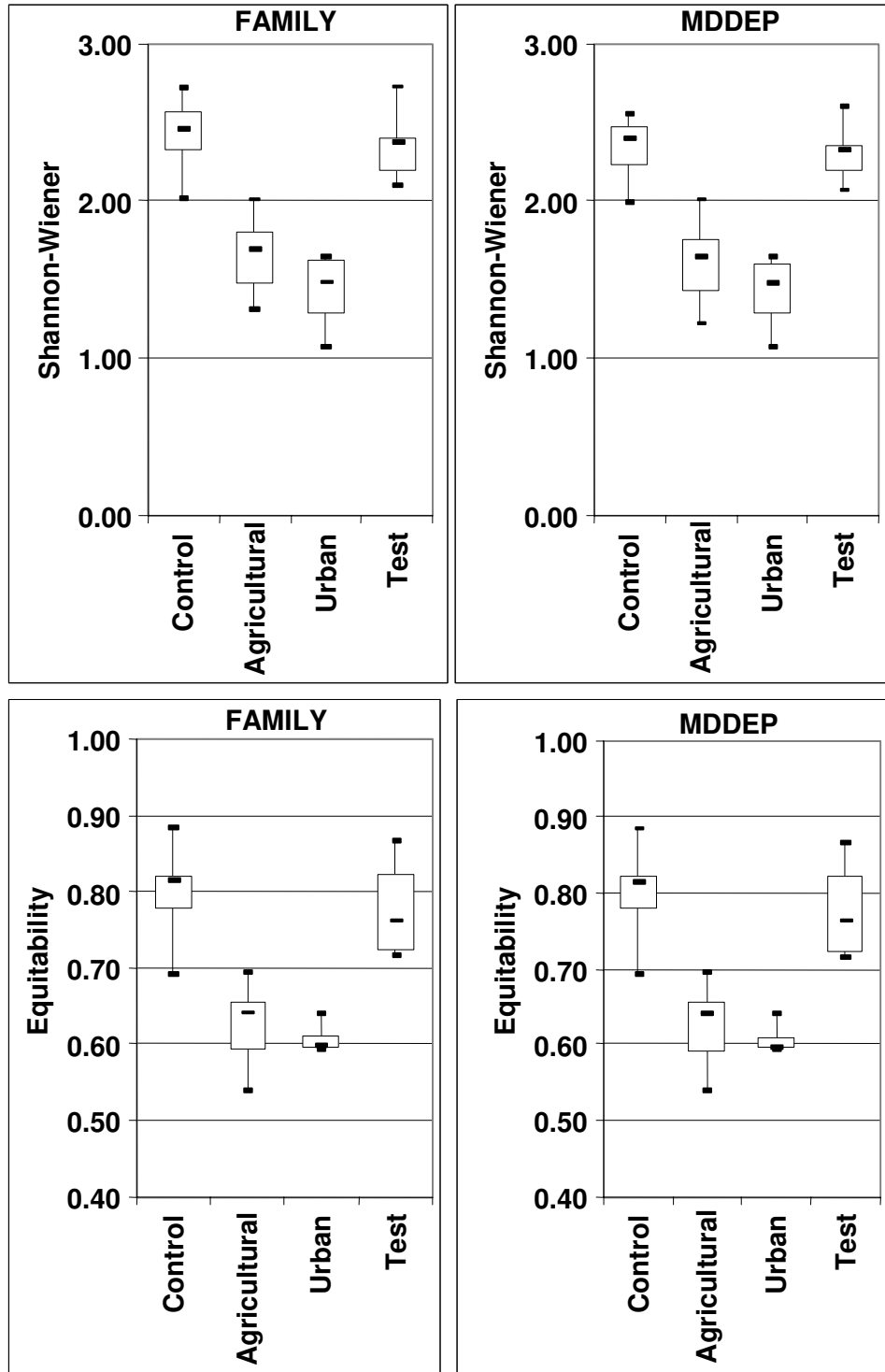


Figure 11: Box plots of the Shannon-Wiener and Equitability indices for the family and MDDEP identification levels and the four types of station (control n = 19, agricultural n = 12, urban n = 4 and test n = 9)

Multimetric Index

Figure 12 shows the box plots of the West Virginia Stream Condition Index (WVSCI) for the four types of station and three levels of identification. The control stations rank in the "excellent" category for the three identification levels. The agricultural stations are primarily in the "marginal" and "poor" categories at the family identification level. The WVSCI indicates that agricultural stations are impacted. The WVSCI is quite similar at the MDDEP and family identification level used as reference. The OBBN identification level was unable to categorize agricultural stations in the impacted class or the two other identification levels. Urban stations are in the "marginal" group at the family identification level. This means that these stations are impacted. The MDDEP identification level behaves in the same ways as the family level, although this places a few stations in the "grey area." The OBBN level places urban stations in the "good" category. Test stations are primarily in the "good" category, and a few in the "excellent" category at the family identification level. The MDDEP identification level behaves in the same ways at the benchmark level (family). The OBBN identification level places the test stations exclusively in the "excellent" category. The MDDEP identification level is quite similar at the family identification level to the WVSCI. It slightly overestimates station quality. The OBBN level greatly overestimates station quality with this multimetric index.

Appendix 5 is presented as supplementary information to Figure 12. It presents the values obtained for the West Virginia Stream Condition Index (WVSCI) for each of the 43 stations at the three identification levels.

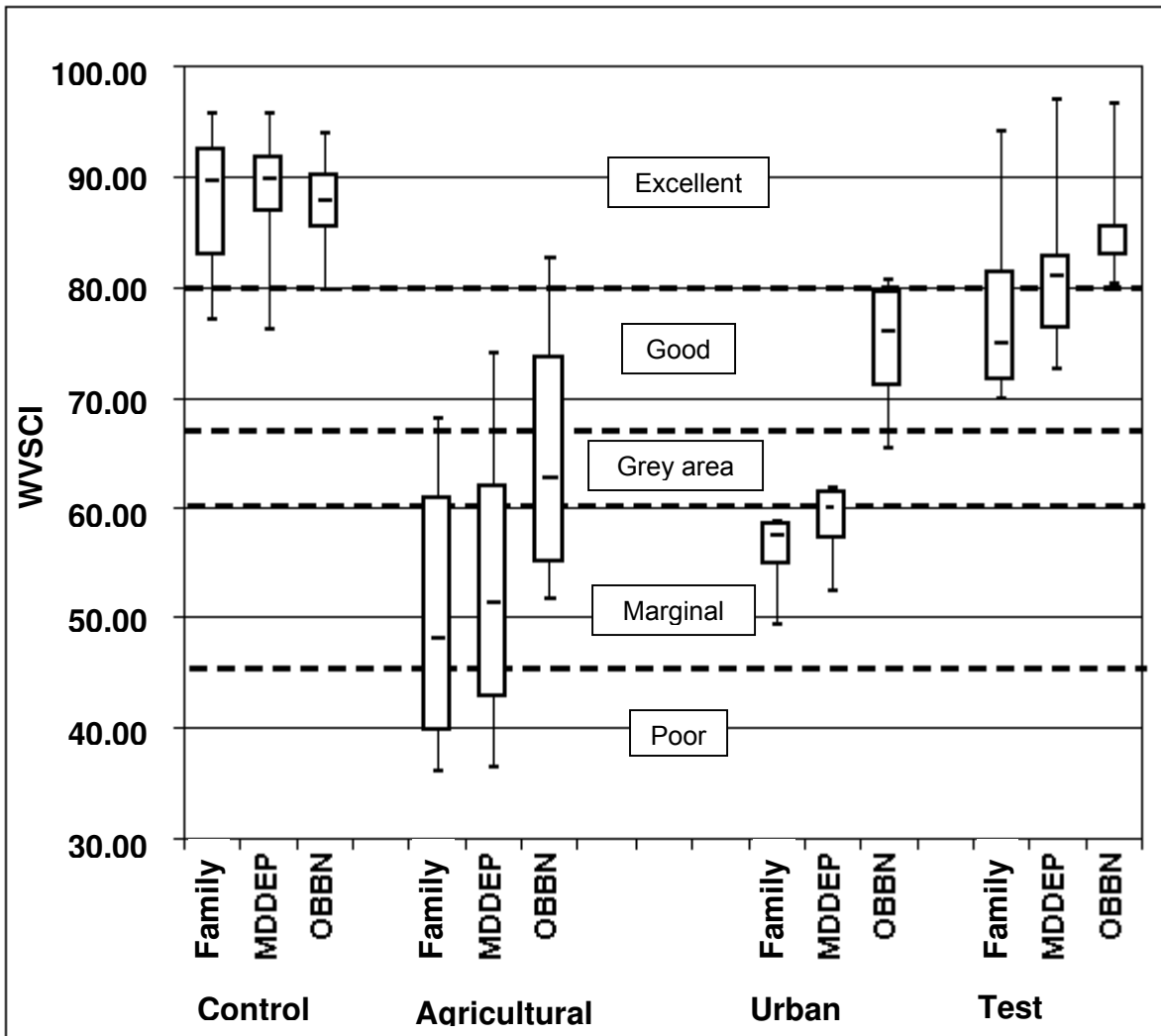
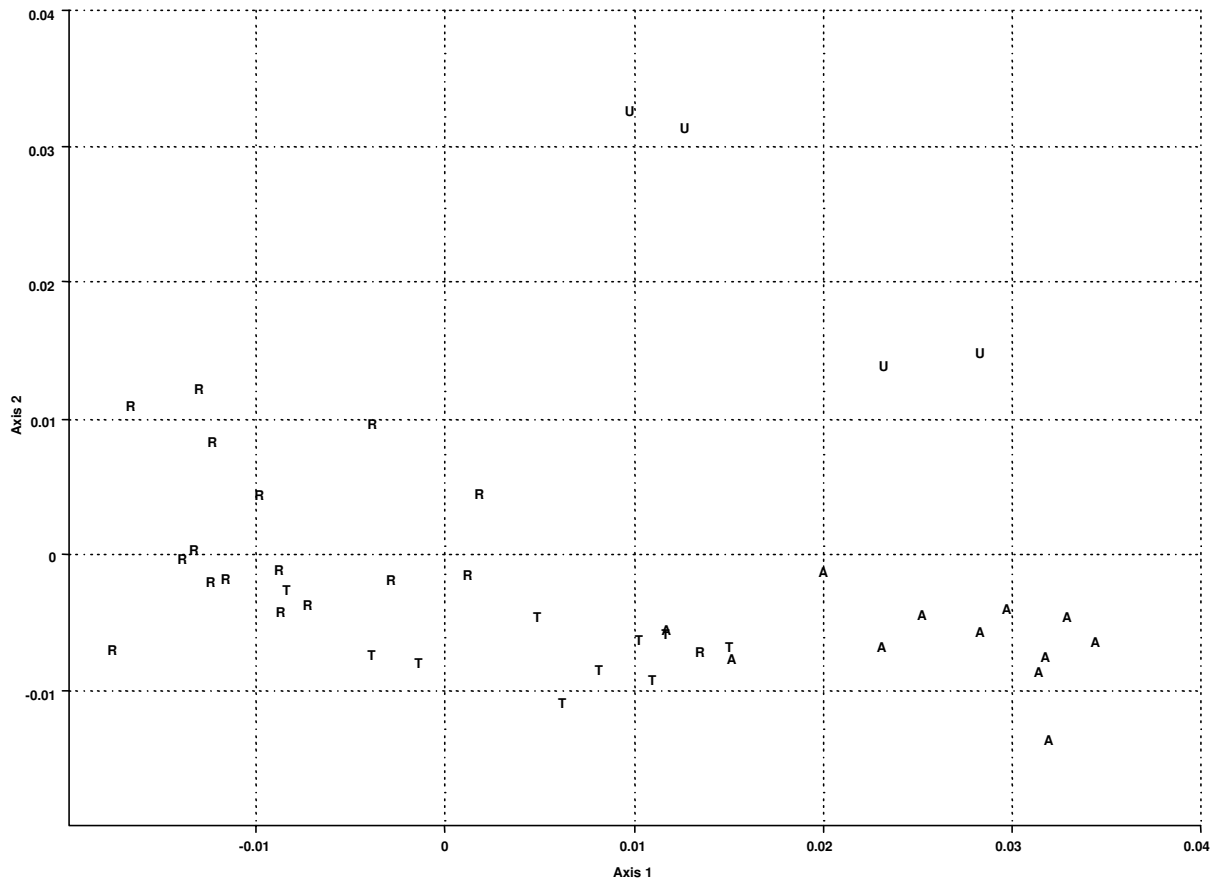


Figure 12: Box plots of the West Virginia Stream Condition Index (WVSCI) for the three identification levels and the four types of station (control n = 19, agricultural n = 12, urban n = 4 and test n = 9)

Multivariate Analyses

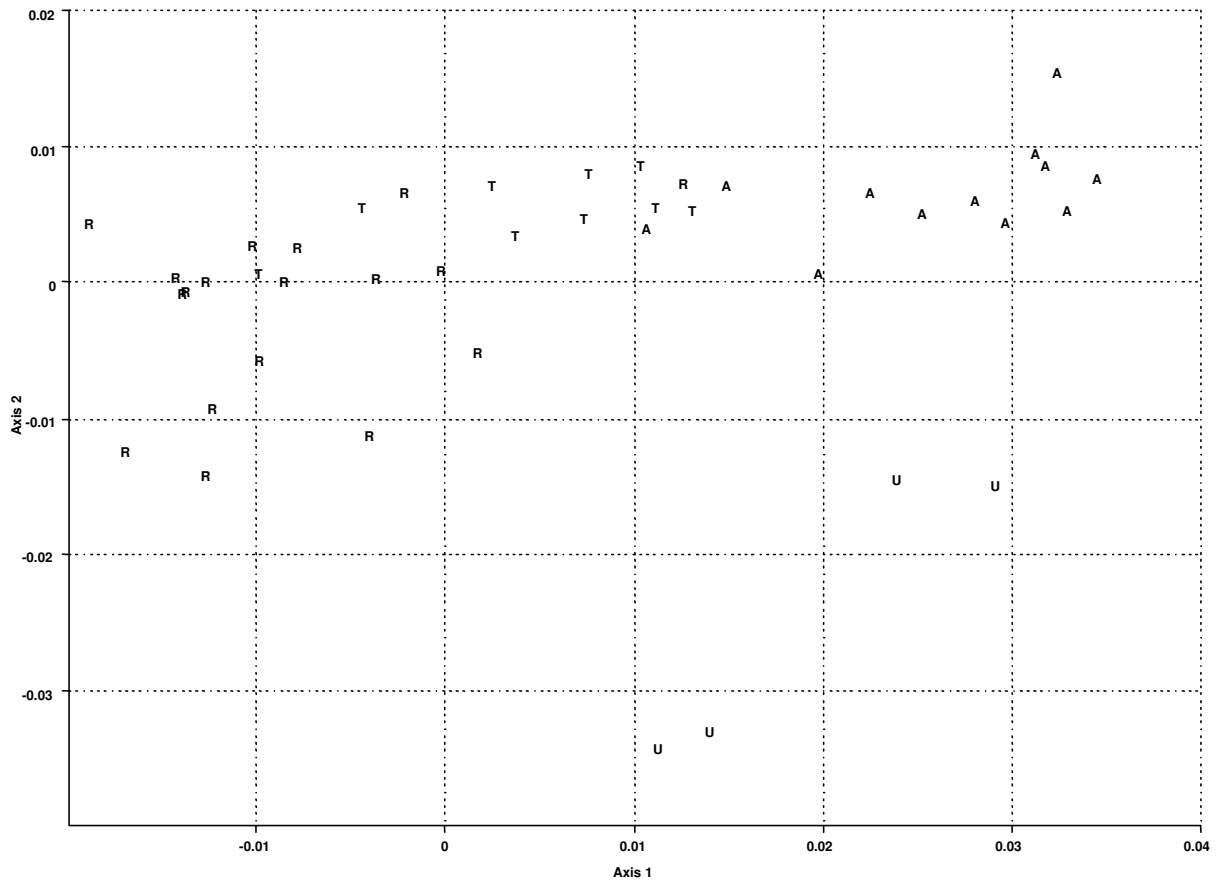
Figure 13 presents the correspondence analyses for abundance data at the taxonomic level of family for the 43 stations. The control stations (R) are mostly grouped together on the left side of the vertical axis. Only three of the 18 control stations are on the right side of the vertical axis, including one that is especially far off. The agricultural stations (A) are still more closely grouped and located in the direction opposite to control stations, in the lower right quadrant of the graph, generally away from the vertical axis. Only the agricultural stations are closer to the vertical axis. The test stations (T) are usually between the control stations and agricultural stations. A few of these test stations are directly among the collection of control stations. The four urban stations (U) behave differently than the other stations and are alone, quite distant in the top right quadrant.



Axis	Proper value	% of inertia
1	0.40937	18.976
2	0.26382	12.229
3	0.168318	7.8022
4	0.155313	7.1994

Figure 13: Analysis of correspondences for abundance data at the taxonomic level of family for the 43 stations (control = R, agricultural = A, urban = U and test = T).

Figure 14 presents a correspondence analysis for abundance data at the MDDEP taxonomic level for the 43 stations. The graph is very similar to Figure 13 (identification at the family level). Control stations (R) are generally grouped together on the left side of the vertical axis, with only one station far from the others, agricultural stations (A) are grouped in the upper right quadrant and test stations (T) generally between the two other types of station. The four urban stations (U) also behave differently and are by themselves and distant in the lower right quadrant.

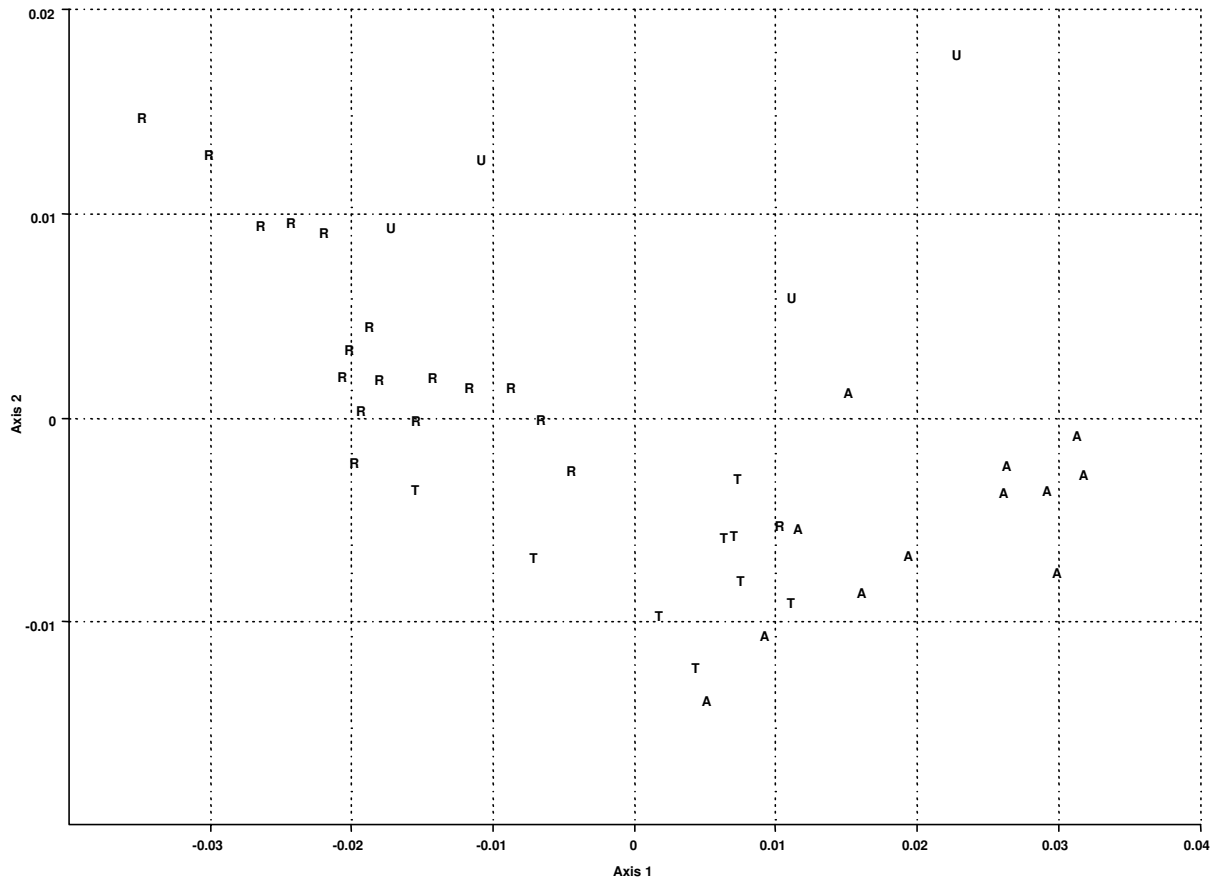


Axis	Proper value	% of inertia
1	0.9591	21,676
2	0.5294	13,848
3	0.60867	8,8073
4	0.4097	7,718

Figure 14: Analysis of correspondences for abundance data at the MDDEP volunteer taxonomic level for the 43 stations (control = R, agricultural = A, urban = U and test = T).

Figure 15 presents the correspondence analysis for abundance data at the OBBN taxonomic level for the 43 stations. The chart appears much the same as the two others (Figures 13 and 14). It includes control stations (R) grouped fairly closed on the left side of the vertical axis, with only one station really distant, agricultural stations (A) grouped in the lower right quadrant and the test stations (T), generally between the two other types of station. However, urban stations (U) are very distant: two are still isolated in the top right quadrant, but the two others are in the same quadrant as most of the control stations. It is therefore easy to confuse two of the urban stations with control stations.

The proper values for axes one to four are presented in each of the correspondence analyses (Figure 13, 14 and 15). A proper value greater than 0.5 generally indicates a positive separation among taxa on axis one (Jongman *et al*, 1995). None of the three correspondence analyses produced a proper value greater than 0.5 on axis one. However, the highest proper value on axis concerning the family identification level (0.40937), this identification level would therefore enable better separation of the taxa. The proper value of axis one at the MDDEP identification level (0.39591) approximates that of the family identification level, while the OBBN at this identification level (0.31003) is a little more remote. The separation of taxa at the OBBN identification level is therefore a little less effective.



Axis	Proper value	% of inertia
1	0.31003	37.337
2	0.13435	16.179
3	0.108519	13.069
4	0.0851508	10.255

Figure 15: Analysis of correspondences for abundance data at the OBBN coarse-level for the 43 stations (control = R, agricultural = A, urban = U and test = T).

Discussion

Environmental data confirm the professional judgement involved in selecting the four types of stations (Figure 2, 3, 4 and 5). Land use corresponds to the four types of station with control stations in forested areas (approximately 80%), agricultural stations in farm areas (approximately 60%) and urban stations in urban areas (approximately 30%) and forested areas (approximately 30%), Figure 2). The test stations consist of a mixture of forest and farmland. Habitat suitability indices (Total HSI) and shoreline quality indices (SQI) seem to show that the control stations have good habitat and shoreline quality (Figure 4). Even the impacted stations have a high habitat suitability index, partly because of the effort to choose habitat with the least possible effect on the taxonomic composition of the stations. The shoreline quality index, however, is much lower for the agricultural stations. Altitude and area are two environmental variables that present certain differences from one type of station to another (Figure 3). Many control stations are at a higher altitude than the impacted stations, which could affect taxonomic distribution. Grouns *et al* (1997), however, state that there is no comparison problem for waterways at altitudes of 200 m or less, which includes some of the control stations. The drained area is similar at each type of station, although some of the test stations covered a larger drainage area. However, we must bear in mind that when we observe data on altitude and drainage area, there is very little variation at the Strahler order level for the various stations (order 2 and 3). The physico-chemical parameters measured indicate very distinct differences between the reference stations and agricultural stations (Figure 5). The control stations meet the water quality criteria (Table 2).

At the family and MDDEP identification levels, a greater number of metrics were obtained. Based on established criteria (DE of 75% or more, CV of 25 or less), 10 to 11 metrics were attractive for family and MDDEP level identification, compared to four at the OBBN identification level. This shows that the MDDEP identification level closely approximates the family identification level in relation to the use of metrics. Moreover, only one of the metrics tested (% Baetidae) could not be calculated for the MDDEP identification level (Table 4). However, it was much more difficult to work with OBBN

identification metrics since the number of metrics was sometimes extremely limited and many of the metrics calculated are not good metrics according to the DE and CV (Table 5). Some metrics calculated using the OBBN identification level are considered good metrics because they can differentiate agricultural stations from control stations. However, they cannot distinguish urban stations from control stations (% EPT, Figure 5 and % intolerants, Figure 6). Taxonomic diversity metrics (number of taxa) are certainly the most limiting for the OBBN identification level. With a possibility of only 27 taxa, including just three that are sensitive EPT (Ephemera, Plecoptera and Trichoptera) macroinvertebrates, we cannot obtain relevant information on taxonomic diversity metrics. These metrics are generally used and distinguish control stations from impacted stations at the family and MDDEP identification levels (Barbour, 1999 and Figure 9 and 10). Two frequently used indices (Shannon-Wiener and Equitability) allow a clear distinction between control stations and impacted stations at the family and MDDEP identification levels (Figure 11). These indices can be calculated at the OBBN identification level, but are not considered good metrics (Table 5).

The West Virginia Stream Condition Index (WVSCI) is a multi-metric index that combines the findings of six metrics into one index. This index was developed for West Virginia, but it has been calibrated for Quebec based on data from 18 control stations for the three identification levels. This type of index incorporates many characteristics of the biological community and measures the community's overall response to environmental stress (Major *et al*, 2001). If we compare the WVSCI to the MDDEP and OBBN identification levels at the level of family, we observe that the values of this index closely approximate the MDDEP identification level (Figure 12). However, calculated using the OBBN identification level, the index overestimates impacted agricultural and urban stations. Therefore, calculation of the WVSCI index to the OBBN identification level does not adequately differentiate impacted stations from control stations. The diversity metrics used by the WVSCI appear responsible for the poor performance of the OBBN identification level since the taxon total is limited to 27 and the number of EPT taxa is limited to three. Even the possibility of developing a new multimetric index for the OBBN identification level seems unrealistic since a sufficient number of good metrics is

required. Furthermore, these good metrics must respond to different environmental stress factors to produce an overall index.

The correspondence analyses performed on taxonomic abundance records reveal certain groups of stations that match their *a priori* selection fairly well. However, canonic variate analyses that incorporate environmental variables in analyses could confirm or refute these trends. The three correspondence analyses reveal a strong separation between reference sites and agricultural sites (Figures 13, 14 and 15). They also reveal a separation between urban stations and control stations for the family and MDDEP identification levels. The separation between urban stations and control stations is not as clear for OBBN identification levels, where two of the four urban stations were mixed in with control stations (Figure 15). Feio *et al* (2006) observed less sensitivity at the order identification level, an identification level more closely resembling the OBBN level. Feio *et al* (2006) indicate that the order identification level may be insufficient for detecting certain changes in benthic macroinvertebrate community composition because they are too similar at this identification level for the most representative taxa. This lack of sensitivity in the OBBN identification level for urban stations could relate to a special characteristic of these stations. Indeed, urban stations include a great deal of ephemera and trichoptera, both sensitive taxa, like the control stations. However, in urban stations, this involves only one taxon of ephemera (baetidae) and only one taxon of trichoptera (hydrosyche) whereas a wide diversity of ephemera and trichoptera are present at the control stations. Contrary to the family and MDDEP identification levels, the OBBN identification level makes no distinction among the various ephemera and trichoptera taxa.

Conclusion

The OBBN coarse-level identification certainly requires the least effort and involves the least risk of error during identification by volunteers. However, the various results seem to indicate some problems in processing and interpreting the results at this identification level. Very few metrics can be calculated, and of this number, very few seem to be good. It therefore seems unrealistic to consider developing an effective multimetric index using this identification level. Multivariate analyses remain the only data processing method that can lead to findings with this identification level. They allow a distinction between agricultural stations and control stations. However, they did not clearly distinguish two of the four urban stations from control stations.

The MDDEP volunteer identification level is more difficult and demands that volunteers make a greater effort. However, it is much easier than family level identification, and can be performed by trained volunteers. The various results show that the MDDEP identification level closely resembles the family identification level, used as a benchmark. Therefore, it is relatively easy to process data and interpret findings. Almost all of the metrics calculable at the family identification level can also be calculated at the MDDEP identification level, and as many of its metrics are good. The use of a multimetric index is quite reasonable, and multivariate analyses can distinguish among agricultural, urban and control stations.

The MDDEP identification level therefore seems an attractive compromise. It is easier to use for volunteers than the family identification level, and it provides more tools for interpreting data than the OBBN identification level.

References

Bode, R.W., M.A. Novak and Abele. 1996. Quality assurance work plan for biological stream monitoring in New York State. NYS Department of Environmental Conservation, Albany, NY. 89p.

Barbour, M.T., J. Gerritsen, B.D. Snyder and J.B. Stribling. 1999. Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates, and Fish. Second Edition. EPA 841-B-99-002. U.S. Environmental Protection Agency; Office of Water; Washington, D.C.
[www.epa.gov/owow/monitoring/rbp/wp61pdf/rbp.pdf]

Beauport River Enhancement Committee. 2005. *Suivi de la macrofaune benthique: comparaison de trois méthodes*. 46 p. 5 appendices performed for Environment Canada.

Craddock, T. 2005. Level three, stream monitoring manual. West Virginia Save Our Streams. [www.dep.state.wv.us/item.cfm?ssid=11&ss1id=202]

Feio, M.J., T.B. Reynoldson and M.A.S. Graça. 2006. The influence of taxonomic levels on the performance of a predictive model for water quality assessment. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 63: 367-376.

Gotelli, N.J. and G.L. Entsminger. 2006. EcoSim: Null models software for ecology. Version 7. Acquired Intelligence Inc. & Kesey-Bear. Jericho, VT 05465.
[<http://garyentsminger.com/ecosim.htm>]

Growns, J.E., B.C. Chessman, J.E. Jackson and D.G. Ross. 1997. Rapid assessment of Australian rivers using macroinvertebrates: cost and efficiency of 6 methods of sample processing. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 1997, 16(3):682-693.

Hammer, Ø., A.T. Harper and P.D. Ryan. 2006. PAST - Paleontological Statistics, ver. 1.38 [http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm]

Hilsenhoff, W.L. 1988. Rapid field assessment of organic pollution with a family-level biotic index. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 7(1):65-68.

Jones, C., K.M. Somers, B. Craig, and T.B. Reynoldson. 2005. Ontario Benthos Biomonitoring Network Protocol Manual. Ontario Ministry of Environment. Ontario.

Jongman, R.H.G., C.J.F. Ter Braak and O.F.R. Van Tongeren. 1995. Data analysis in community and landscape ecology. Cambridge University Press.

Klemm, D.J., K.A. Blocksom, W.T. Thoeny, F.A. Fulk, A.T. Herlihy, P.R. Kaufmann, and S.M. Cormier. 2002. Methods development and use of macroinvertebrates as indicators of ecological conditions for streams in the Mid-Atlantic Highlands Region. *Environ. Monit. Assess.* 78:169-212.

Klemm, D.J., K.A. Blocksom and R.M. Hugues. 2003. Development and evaluation of a macroinvertebrate biotic index (MBII) for regionally assessing Mid-Atlantic Highlands streams. *Environmental Management* vol. 31, no. 5, pp. 656-669.

Major, E.B., A. Prussian and D. Rinella. 2000. 1999. Alaska biological monitoring and water quality assessment program report. Prepared for the Alaska Department of Environmental Conservation, Anchorage, AK.

Major, E.B., B.K. Jessup, A. Prussian and D. Rinella. 2001. Alaska Stream Condition Index: Biological Index Development for Cook Inlet 1997 – 2000 Summary. Prepared for the Alaska Department of Environmental Conservation, Anchorage, AK.
[http://aquatic.uaa.alaska.edu/pdfs/SouthCentralAK_BioMonitoring_Report_Final.pdf]

Mandaville, S.M. 2002. Benthic macroinvertebrates in freshwaters – taxa tolerance values, metrics, and protocols.

Moisan, J. (in progress). Identification des principaux macroinvertebrates benthiques d'eau douce du Québec. Surveillance volontaire des cours d'eau peu profonds. Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs. Québec.

Rosenberg, D.M., T.B. Reynoldson and V.H. Resh. 1999. Establishing reference conditions for benthic invertebrate monitoring in the Fraser River catchment, British Columbia, Canada.

Roy, A.H., C.L. Faust, M.C. Freeman and J.L. Meyer. 2005. Reach-scale effect of riparian forest cover on urban stream ecosystems. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 62: 2312-2329.

SAINT-JACQUES, N. et Y. RICHARD. 1998. Développement d'un indice de la qualité de la bande riveraine : application à la rivière Chaudière et mise en relation avec l'intégrité biotique du milieu aquatique. Ministère de l'Environnement et de la Faune, éd., *Le bassin de la rivière Chaudière: l'état de l'écosystème aquatique – 1998*, Direction des écosystèmes aquatiques, Québec, Envirodoq no EN980022, p. 6.1-6.41.

Stribling, J.B., B.K. Jessup, J.S. White and D. Boward. 1998. Development of a benthic index of biotic integrity for Maryland stream. Maryland Department of Natural Resources.
[www.dnr.state.md.us/streams/pubs/1998_benthic_ibi.pdf]

Waite, I.R., A.T. Herlihy, D.P. Larsen and D.J. Klemm. 2000. Comparing strengths of geographic and nongeographic classifications of stream benthic macroinvertebrates in the Mid-Atlantic Highlands, USA. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 19(3):429-441.

Appendix 1

List of Taxa

A) MDDEP list of taxa for volunteer monitoring (Moisan, in progress)

#	Order or other	Families
1	Plecoptera	Peltoperlidae
2	Plecoptera	Pteronarcyidae
3	Plecoptera	Perlidae
4	Plecoptera	GROUP 3.1 (Capniidae, Chloroperlidae, Leuctricidae, Nemouridae, Taeniopterygidae, Perlodidae)
5	Ephemera	Baetiscidae
6	Ephemera	GROUP 1.1 (Ephemeridae, Polymitarcyidae)
7	Ephemera	Potamanthidae
8	Ephemera	Ephemerellidae
9	Ephemera	Leptophlebiidae
10	Ephemera	GROUP 1.2 (Caenidae, Tricorydae)
11	Ephemera	Heptageniidae
12	Ephemera	Isonychiidae
13	Ephemera	GROUP 1.3 (Ameletidae, Baetidae, Siphonuridae, Metrotopididae)
	Ephemera	Unidentified ephemera
14	Trichoptera	Helicopsychidae
15	Trichoptera	Rhyacophilidae
16	Trichoptera	GROUP 2.1 (Philopotamidae, Polycentropodidae, Psychomyiidae, Dipseudopsidae)
17	Trichoptera	Hydroptilidae
18	Trichoptera	Goeridae
19	Trichoptera	Leptoceridae
20	Trichoptera	Phryganidae
21	Trichoptera	GROUP 2.2 (Limnephilidae, Apataniidae, Lepidostomatidae, Brachycentridae, Odontoceridae, Uenoidae)
22	Trichoptera	Molannidae
23	Trichoptera	Glossosomatidae
24	Trichoptera	Hydropsychidae
	Trichoptera	Trichopteranon-identified
25	Odonata	Zygoptera
26	Odonata	Anisoptera
27	Hemiptera	Corixidae
28	Hemiptera	Notonectidae
29	Hemiptera	GERROMORPHA (Hydrometridae, Mesoveliidae, Veliidae, Gerridae)
30	Hemiptera	Naucoridae
31	Hemiptera	Belostomatidae
32	Hemiptera	Nepidae
33	Lepidoptera	
34	Megaloptera	Sialidae

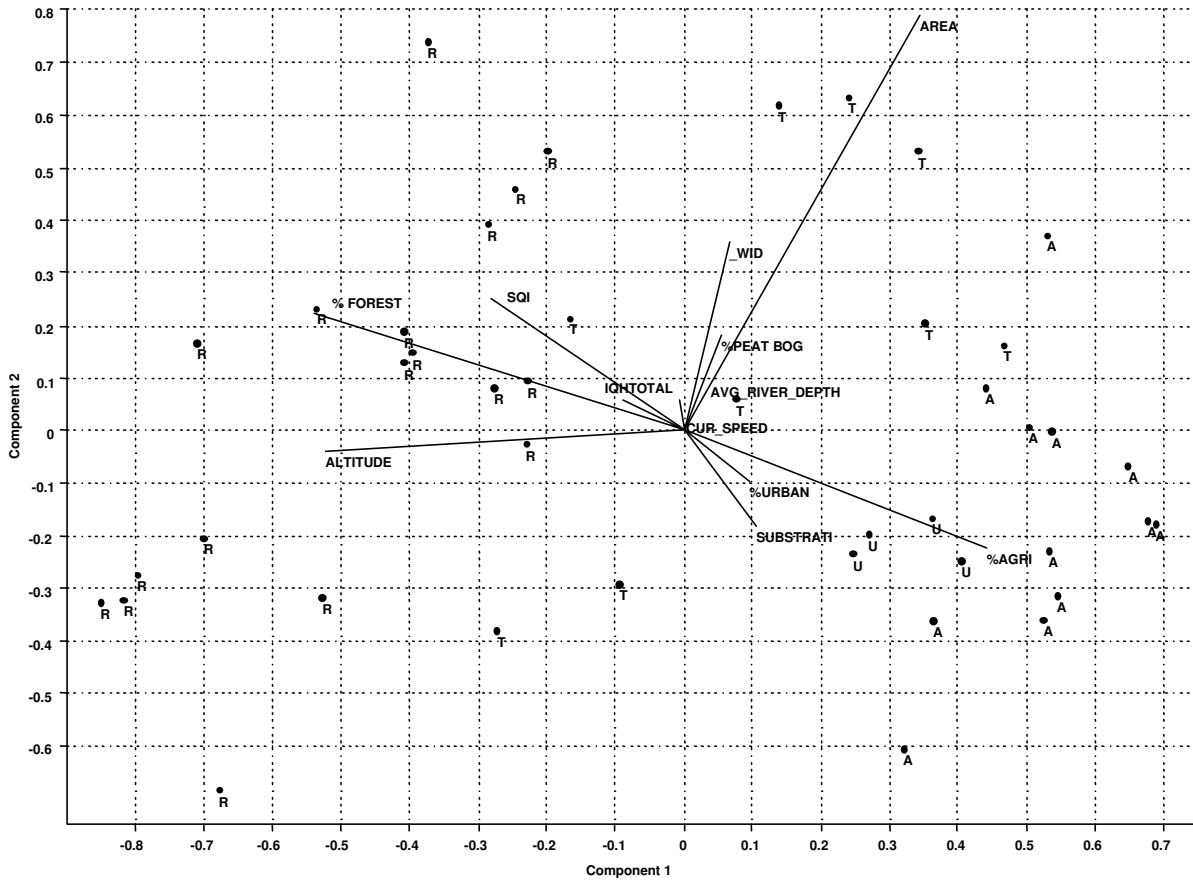
35	Megaloptera	Corydalidae
36	Diptera	Ceratopogonidae
37	Diptera	Simuliidae
38	Diptera	Tipulidae (partly)
39	Diptera	GROUP 5.1 (Culicidae, Chaoboridae)
40	Diptera	GROUP 5.2 (Empididae (partly), Athericidae)
41	Diptera	Chironomidae
	Diptera	Unidentified Diptera
42	Coleoptera (adult)	Haliplidae
43	Coleoptera (adult)	Gyrinidae
44	Coleoptera (adult)	Curculionidae
45	Coleoptera (adult)	GROUP 4.2 (Elmidae, Dryopidae, Helophoridae, Hydrochidae)
46	Coleoptera (adult)	GROUP 4.1 (Hydrophilidae, Distiscidae, Noteridae)
47	Coleoptera (larva)	Psephenidae
48	Coleoptera (larva)	Elmidae, Lutrochidae
49	Coleoptera (larva)	Haliplidae, Peltodytes
50	Coleoptera (larva)	Gyrinidae
51	Coleoptera (larva)	Dystiscidae
52	Coleoptera (larva)	Hydrophilidae
	Coleoptera	Unidentified Coleoptera
53	Crayfish	
54	Isopoda	
55	Amphipoda	
56	Ostracod	
57	Cladocera	
58	Copepoda	
59	Gastropoda without operculum	Planorbidae
60	Gastropoda without operculum	Lymnaeidae
61	Gastropoda without operculum	Physidae
62	Gastropoda without operculum	Ancylidae
63	Gastropoda with operculum	Pleuroceridae, Hydrobiidae, Viviparidae, Bithyniidae, Valvatidae
64	Pelecypoda	Sphaeriidae
65	Pelecypoda	Margariferidae, Unionidae
66	Pelecypoda	Dreissenidae (Zebra Mussel)
67	Oligochaeta	
68	Leech	
69	Planarian	
70	Nemerta	
71	Nematode	
72	Acari	
73	Tartigrade	
	Unidentified macroinvertebrates	

B) List of OBBN coarse-level taxa (Jones *et al*, 2005)

#	TAXA
1	Coelentera
2	Turbellaria
3	Nematoda
4	Oligocheta
5	Hirudinea
6	Isopoda
7	Pelecypoda
8	Amphipoda
9	Decapoda
10	Trombidiforms-Hydracarina
11	Ephemeroptera
12	Anisoptera
13	Zygoptera
14	Plecoptera
15	Hemiptera
16	Megaloptera
17	Trichoptera
18	Lepidoptera
19	Coleoptera
20	Gastropoda
21	Chironomidae
22	Tabanidae
23	Culicidae
24	Ceratopogonidae
25	Tipulidae
26	Simuliidae
27	Other Dipterans

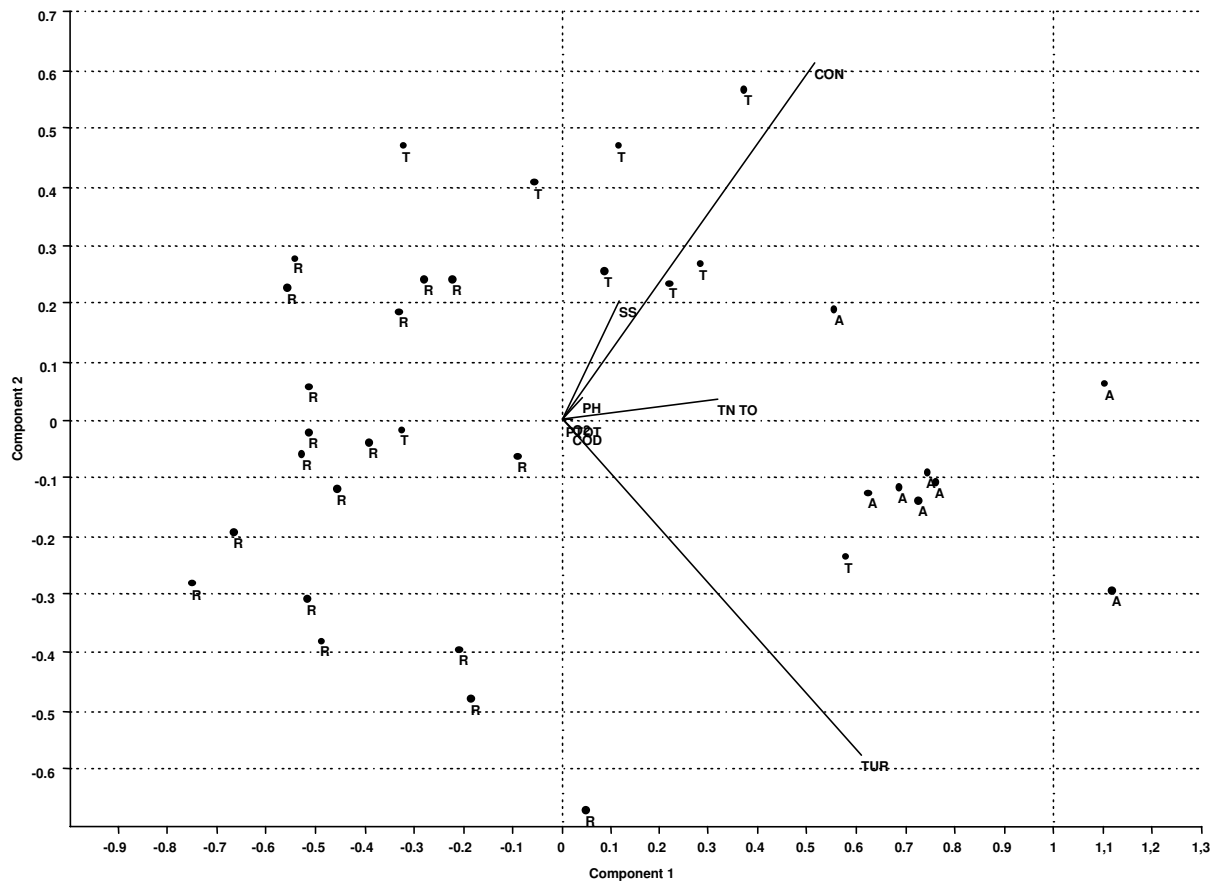
Appendix 2
Multivariate Analyses of
Environmental Data

Principal component analysis of the principal habitat variables for the 43 stations ((RIV_WID = river width, AVG_RIVER_DEP = average river depth, CUR_SPEED = current speed, % FOREST = % of forest land use, %AGRI = % agriculture land use, %PEAT BOG = % of peat bog land use, %URBAN = % urban area land use, SQI and SUBSTRATI= West Virginia substrate index (Craddock, 2005). (Control = R, agricultural = A, urban = U and test = T).



Factor	Proper value	% variance
1	0.22808	46.976
2	0.115597	23.808
3	0.0744676	15.337
4	0.0276154	5.6877
5	0.0167013	3.4398

Principal component analysis of the principal physico-chemical variables for 35 stations (DOC = dissolved organic carbon, O2 = dissolved oxygen. TOTN = Total phosphorus, TOTN = total nitrogen, pH, TUR = turbidity, SS = suspended solids, CON = conductivity). Eight stations (four urban and four agricultural) do not belong to the analysis because they did not have a complete record (control = R, agricultural = A, urban = U and test = T).



Factor	Proper value	% variance
1	0.286611	62.526
2	0.0844023	18.413
3	0.0475748	10.379
4	0.0267439	5.8343
5	0.0109156	2.3813

Appendix 3

Tolerance Ratings Used

Tolerance ratings used for the three identification levels (Bode *et al*, 1996; Hilsenhoff, 1988; Barbour *et al*, 1999; Mandaville, 2002 and professional judgement)

FAMILY	Tolerance
EPHEMEROPTERA	2
BAETIDAE	4
CAENIDAE	7
EPHEMERIDAE	4
EPHEMERELLIDAE	1
HEPTAGENIIDAE	4
ISONYCHIIDAE	2
LEPTOPHLEBIIDAE	2
TRICORYTHIDAE	4
TRICHOPTERA	3
APATANIIDAE	3
BRACHYCENTRIDAE	1
GLOSSOSOMATIDAE	0
GOERIDAE	3
HELICOPSYCHIDAE	3
HYDROPSYCHIDAE	4
HYDROPTILIDAE	4
LEPIDOSTOMATIDAE	1
LEPTOCERIDAE	4
LIMNEPHILIDAE	4
ODONTOCERIDAE	0
PHILOPOTAMIDAE	3
POLYCENTROPODIDAE	6
PSYCHOMYIIDAE	2
RHYACOPHILIDAE	0
PLECOPTERA	1
CAPNIIDAE	1
CHLOROPERLIDAE	1
LEUCTRIDAE	0
PELTOPERLIDAE	0
PERLIDAE	1
PERLODIDAE	2
PTERONARCYIDAE	0
TAENIOPTERYGIDAE	2
DIPTERA	x
ATHERICIDAE	2
CERATOPOGONIDAE	6
CHIRONOMIDAE	8
DIXIDAE	1
EMPIDIDAE	6
PHORIDAE	x
SIMULIIDAE	6
TABANIDAE	6
TIPULIDAE	3
CURCULIONIDAE	5
ELMIDAE	4
PSEPHENIDAE	4
AESHNIDAE	3
GOMPHIDAE	1
MESOVELIIDAE	x
VELIIDAE	6
LEPIDOPTERA	5
COSMOPTERIGIDAE	5
CORYDALIDAE	0
HYALELLIDAE	8
CLADOCERA	8
COPEPODA	8
CAMBARIDAE	6
OSTRACODA	8
ACARI	4
SPHAERIIDAE	8
ANCYLIDAE	6
LYMNAEIDAE	6
PLANORBIDAE	6
HYDROBIIDAE	8
HIRUDINEA	10
OLIGOCHAETA	8
NEMATODA	5
PLATYHELMINTHES	4
NEMERTEA	6
HYDRIDAE	5

MDDEP	Tolerance
EPHEMEROPTERA	2
Group 1.3	4
Group 1.2	5
Group 1.1	4
EPHEMERELLIDAE	1
HEPTAGENIIDAE	4
ISONYCHIIDAE	2
LEPTOPHLEBIIDAE	2
TRICHOPTERA	3
Group 2.2	2
GLOSSOSOMATIDAE	0
GOERIDAE	3
HELICOPSYCHIDAE	3
HYDROPSYCHIDAE	4
HYDROPTILIDAE	4
LEPTOCERIDAE	4
Group 2.1	4
RHYACOPHILIDAE	0
PLECOPTERA	1
Group 3.1	1
PELTOPERLIDAE	0
PERLIDAE	1
PTERONARCYIDAE	0
DIPTERA	5
Group 5.2	5
CERATOPOGONIDAE	6
CHIRONOMIDAE	8
SIMULIIDAE	6
TIPULIDAE	3
CURCULIONIDAE	5
ELMIDAE	4
PSEPHENIDAE	4
ANISOPTERA	5
Gerrormorphe	x
LEPIDOPTERA	5
CORYDALIDAE	0
AMPHIPODA	7
CLADOCERA	8
COPEPODA	8
DECAPODA	6
OSTRACODA	8
ACARI	4
SPHAERIIDAE	8
ANCYLIDAE	6
LYMNAEIDAE	6
PLANORBIDAE	6
MESOGASTROPODA	7
HIRUDINEA	10
OLIGOCHAETA	8
NEMATODA	5
PLATYHELMINTHES	4
NEMERTEA	6

OBBN Taxa	Tolerance
EPHEMEROPTERA	2
TRICHOPTERA	3
PLECOPTERA	1
DIPTERA	5
CERATOPOGONIDAE	6
CHIRONOMIDAE	8
SIMULIIDAE	6
TABANIDAE	6
TIPULIDAE	3
COLEOPTERA	4
ANISOPTERA	5
HEMPTERA	x
LEPIDOPTERA	5
MEGALOPTERA	2
AMPHIPODA	7
DECAPODA	6
ACARI	4
PELECYPODA	8
GASTROPODA	7
HIRUDINEA	10
OLIGOCHAETA	8
NEMATODA	5
PLATYHELMINTHES	4
COELENTERATA	5

Appendix 4
Formulas Used to Calculate DE and
Accuracy

Discrimination efficiency (DE)

Formula: $DE = 100 \times (a/b)$

For metrics with an expected response that diminishes as disturbances increase (for example: % EPT):

a = number of samples in disturbed environments with a value above the 25th percentile of control station distribution.

b = number of stations in disturbed environments.

For metrics with an expected response that increases as disturbances increase (ex: % Oligochaeta):

a = number of samples in disturbed environments with a value above the 75th percentile of control station distribution.

A high DE indicates that a metric can more effectively differentiate disturbed sites from the control sites.

Accuracy

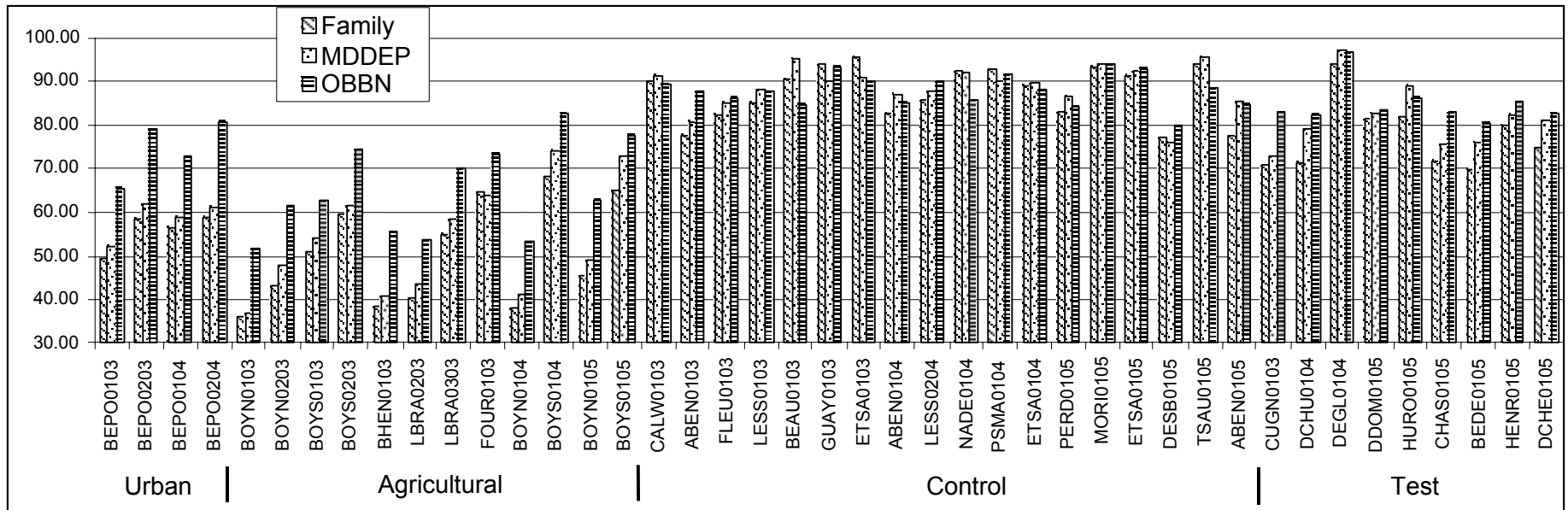
Formula: $CV = \text{Standard deviation} / \text{Average} \times 100$

Comparison of coefficients of variation (CV) of metrics and indices.

A low value indicates greater accuracy.

Appendix 5

**West Virginia Stream Condition Index
(WVSCI) of Biological Integrity for the
43 Stations**



West Virginia Stream Condition Index (WVSCI) of biological integrity for the 43 stations