
Suivi de la macrofaune benthique

Comparaison statistique d'outils d'identification des macroinvertébrés benthiques

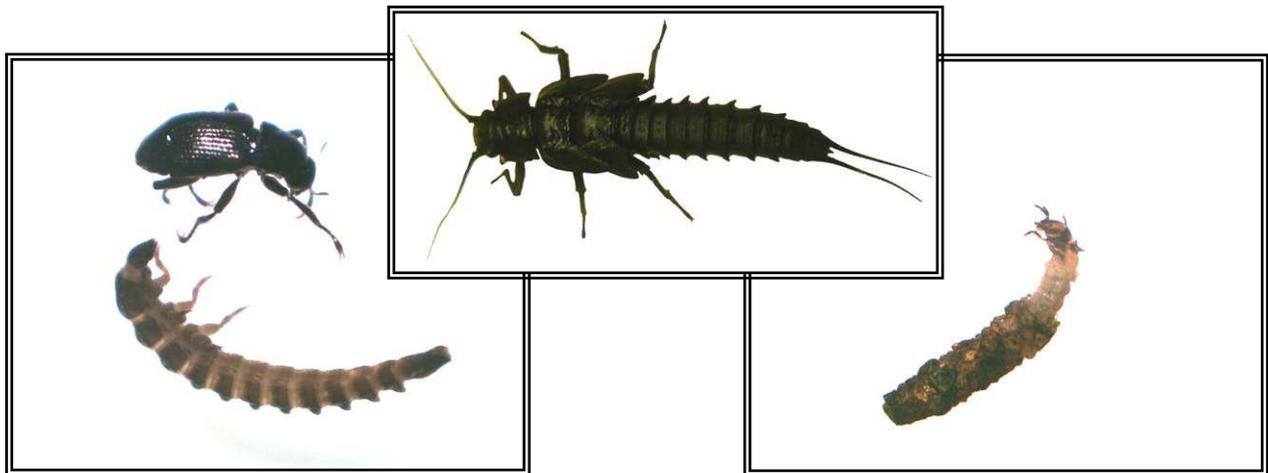


Table des matières

<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

<i>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</i>	23
<i>Figure 13 : Analyse des correspondances pour les données d'abondance au niveau taxonomique de la famille pour les 43 stations</i>	25
<i>Figure 14: Analyse des correspondances pour les données d'abondance au niveau taxonomique volontaire du MDDEP pour les 43 stations</i>	27
<i>Figure 15 : Analyse des correspondances pour les données d'abondance au niveau taxonomique élémentaire de l'OBBN pour les 43 stations</i>	29

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.

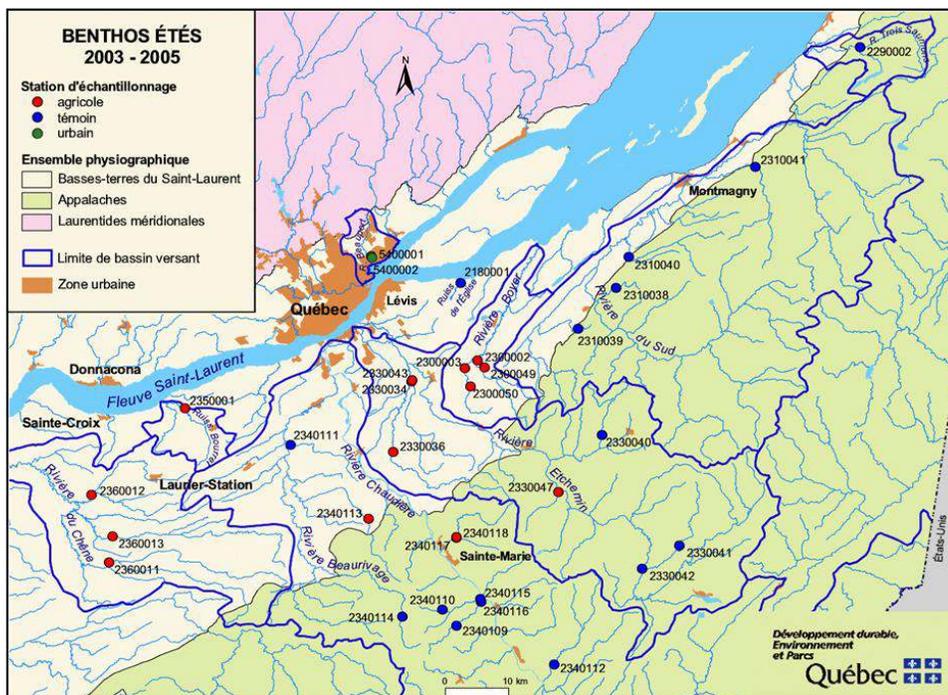


Figure 1 : Localisation des stations (2003-2004-2005) (Source : Direction du suivi de l'état de l'environnement, MDDEP)

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).

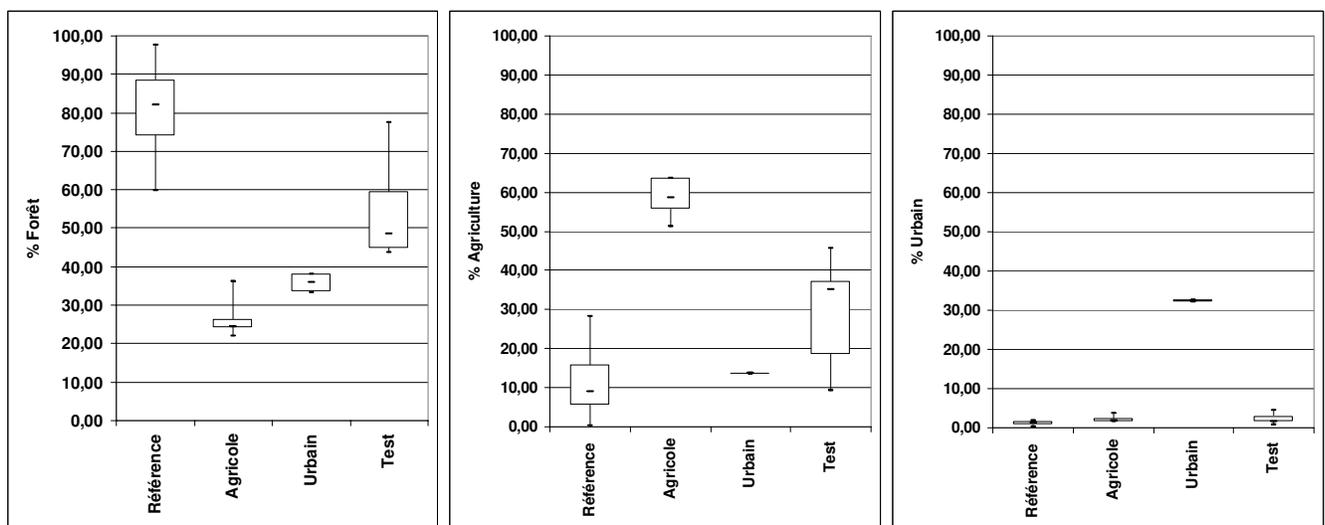


Figure 2 : Diagrammes en boîte de l'utilisation du territoire pour le bassin versant en pourcentage pour les quatre types de station (réfrence n = 19, agricole n = 12, urbain n = 4 et test n = 9)

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.

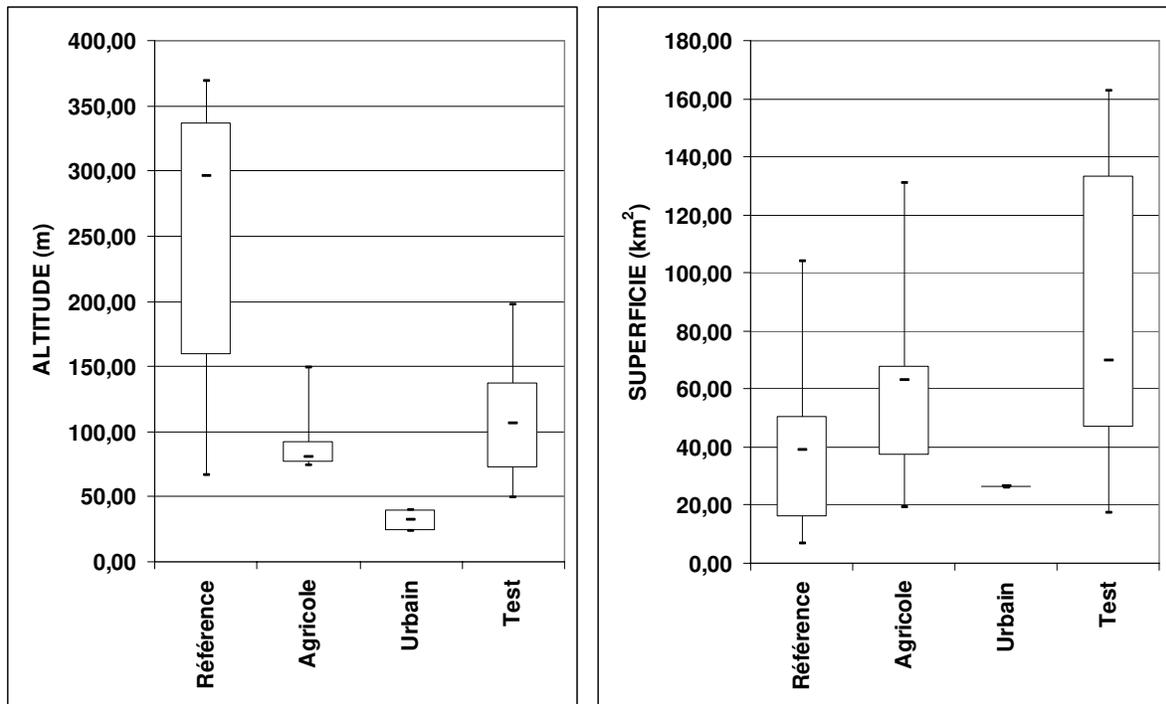


Figure 3 : Diagrammes en boîte de l'altitude et de la superficie drainée pour les quatre types de station (réfrence n = 19, agricole n = 12, urbain n = 4 et test n = 9)

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.

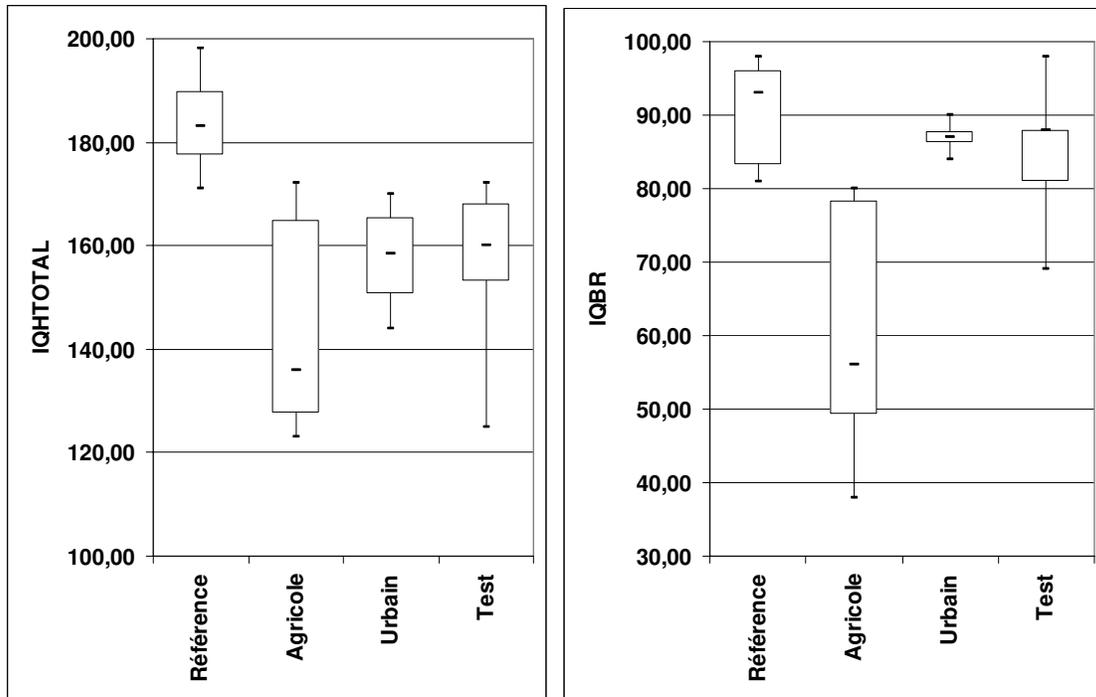


Figure 4 : Diagrammes en boîte de l'indice de la qualité de l'habitat (IQH Total) et de l'indice de la qualité de la bande riveraine (IQBR) pour les quatre types de station (référéce n = 19, agricole n = 12, urbain n = 4 et test n = 9)

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

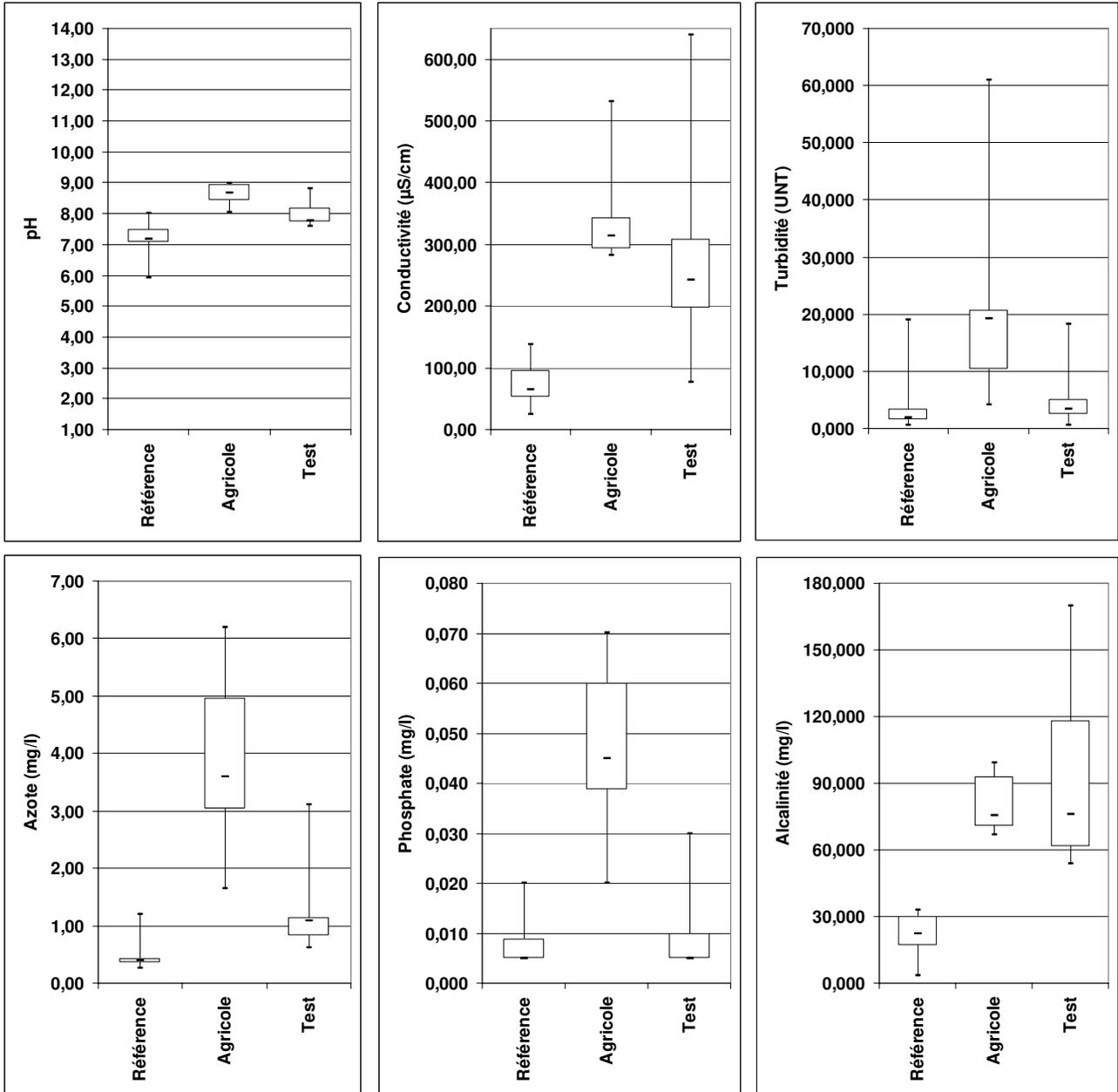


Figure 5 : Diagrammes en boîte des principales variables physico-chimiques (pH, conductivité, turbidité, azote total, phosphore total et alcalinité) pour les trois types de station (référéce n = 19, agricole n = 8 et test n = 9)

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.

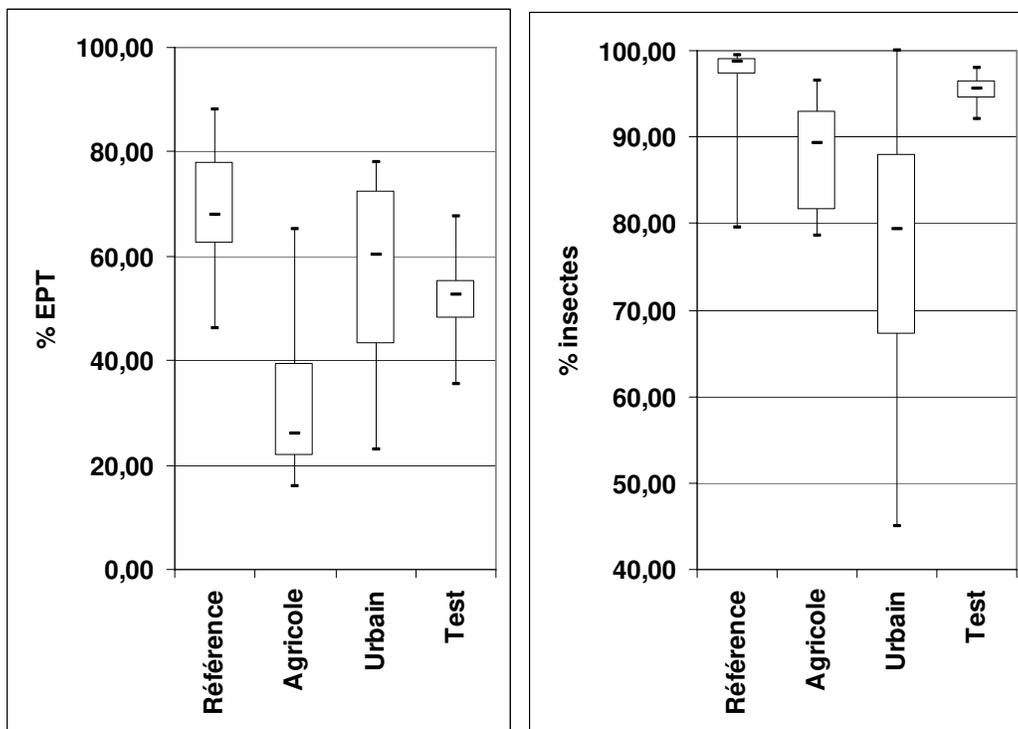


Figure 6 : Diagrammes en boîte des métriques % EPT (éphémères, plécoptères et trichoptères) et pourcentage d'insectes pour les trois niveaux d'identification et les quatre types de station (référence n = 19, agricole n = 12, urbain n = 4 et test n = 9)

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.

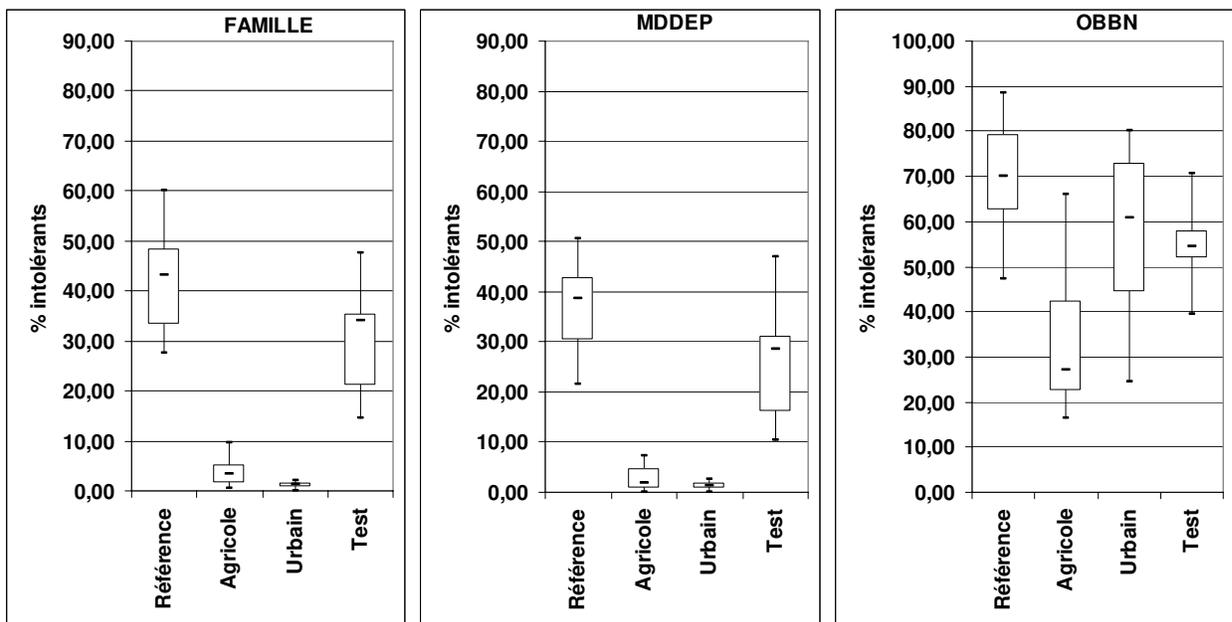


Figure 7 : Diagrammes en boîte de la métrique pourcentage d'intolérants pour les trois niveaux d'identification et les quatre types de station (référence n = 19, agricole n = 12, urbain n = 4 et test n = 9)

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.

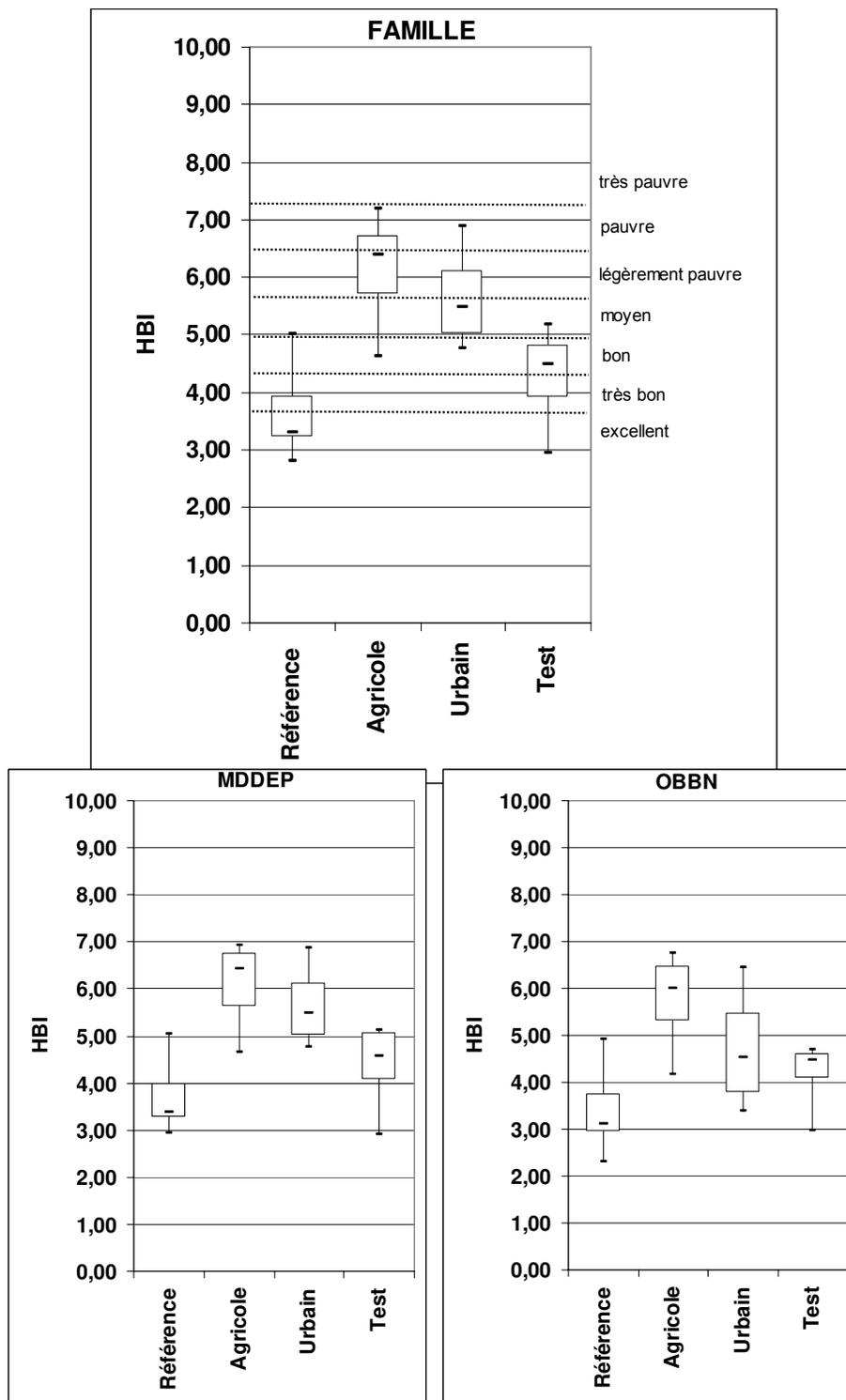


Figure 8 : Diagrammes en boîte de l'indice biotique d'Hilsenhoff (HBI) pour les trois niveaux d'identification et les quatre types de station. Les classes sont présentées pour le HBI famille (référence n = 19, agricole n = 12, urbain n = 4 et test n = 9)

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.

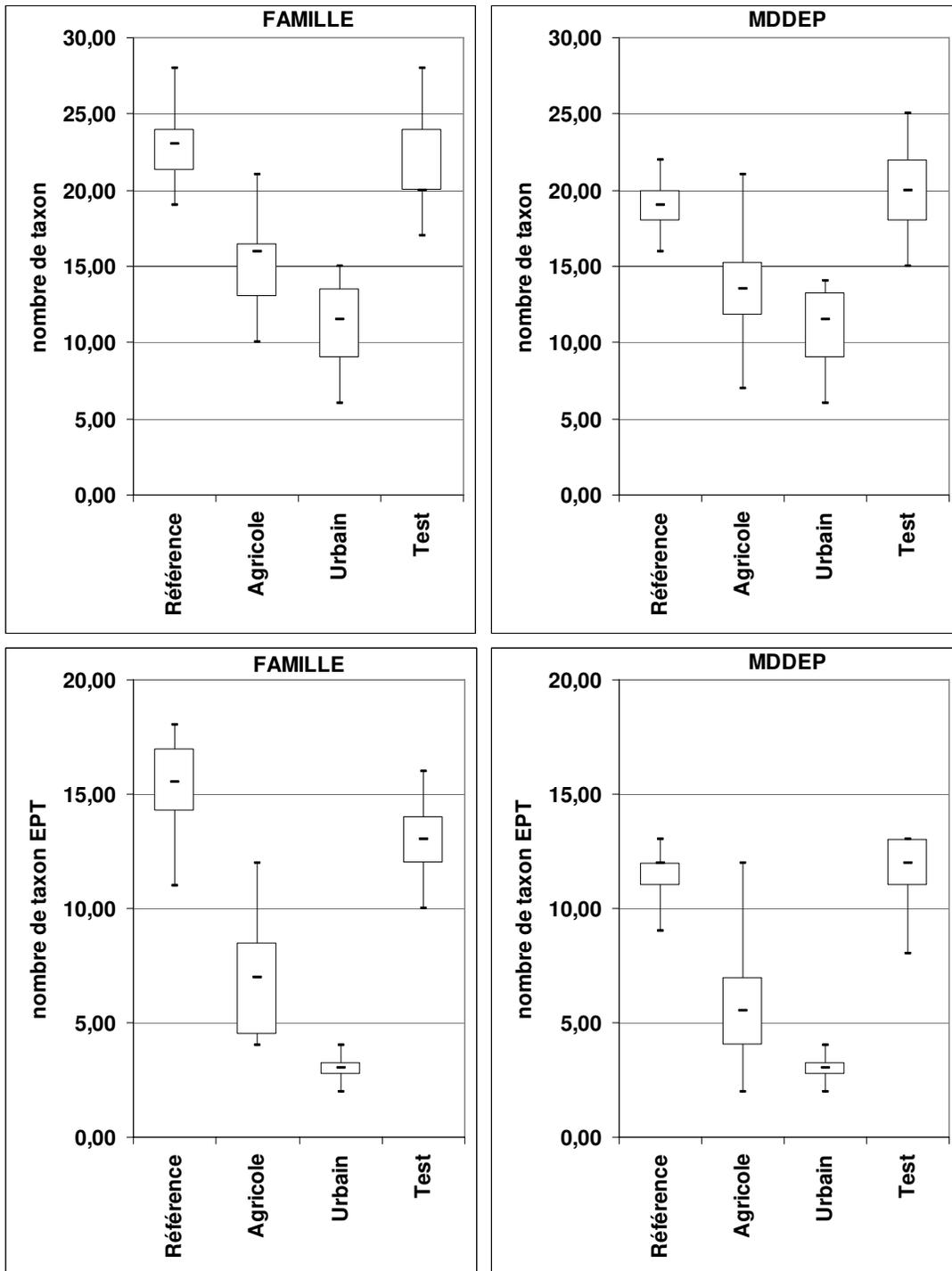


Figure 9 : Diagrammes en boîte des métriques nombre de taxons total et nombre de taxon EPT (éphémères, plécoptères et trichoptères) pour les niveaux d'identification famille et MDDEP et les quatre types de station (référence n = 19, agricole n = 12, urbain n = 4 et test n = 9)

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.

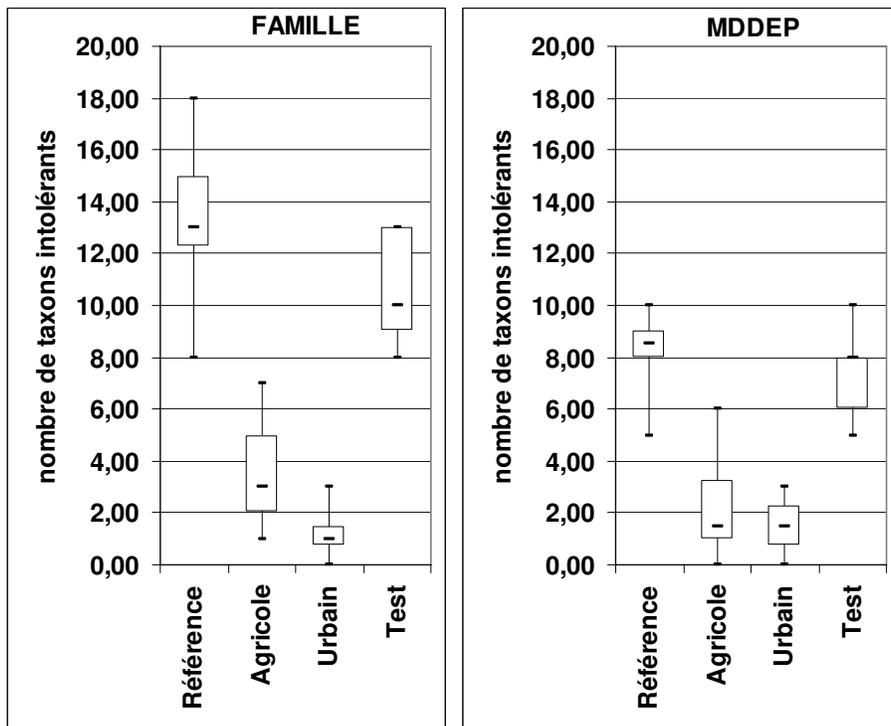


Figure 10 : Diagrammes en boîte de la métrique nombre de taxons intolérants pour les niveaux d'identification famille et MDDEP et les quatre types de station (référence n = 19, agricole n = 12, urbain n = 4 et test n = 9)

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.

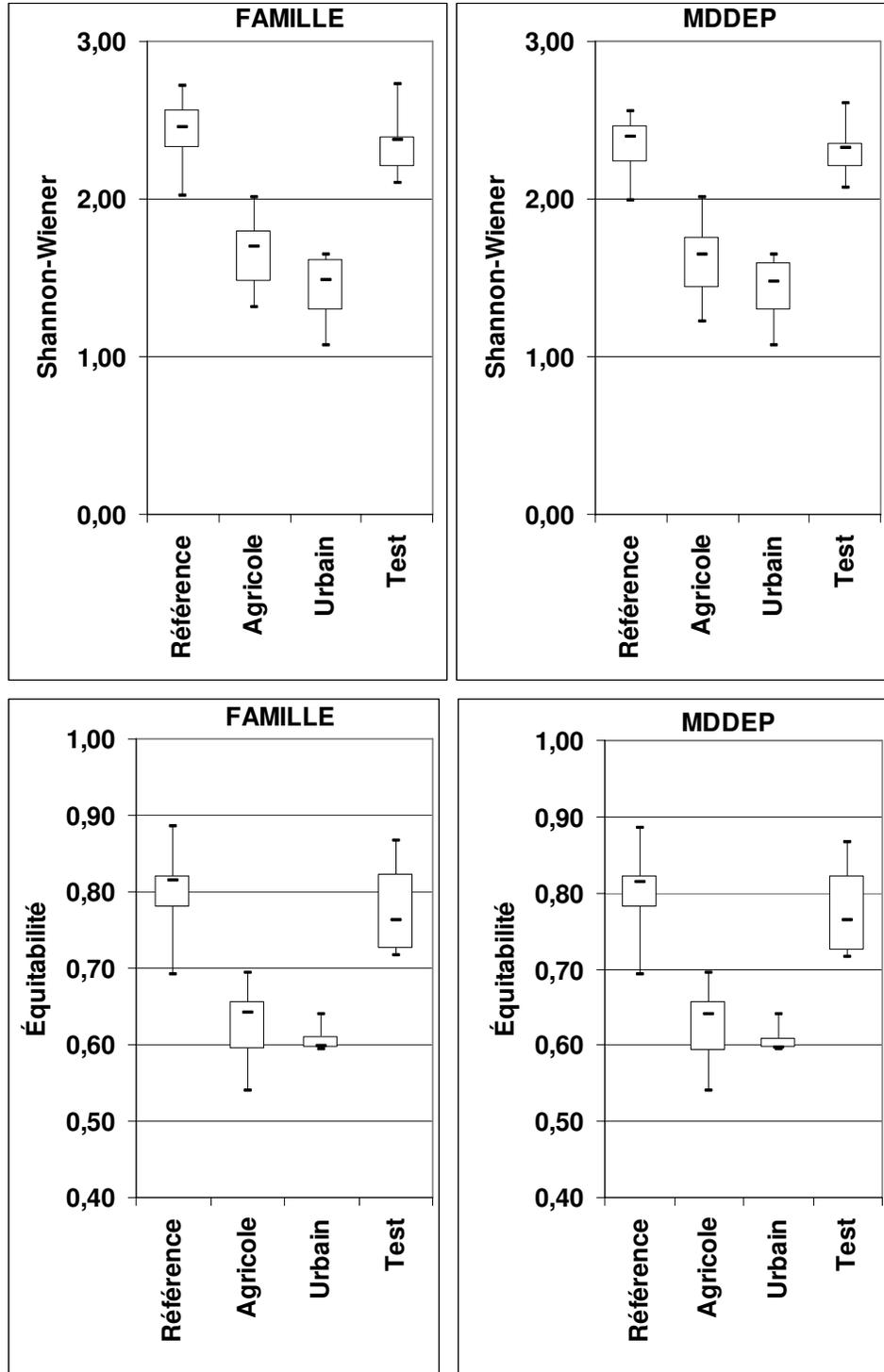


Figure 11 : Diagrammes en boîte des indices de Shannon-Wiener et Équitabilité pour les niveaux d'identification famille et MDDEP et les quatre types de station (référence n = 19, agricole n = 12, urbain n = 4 et test n = 9)

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 impactées. 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 impactées. 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.

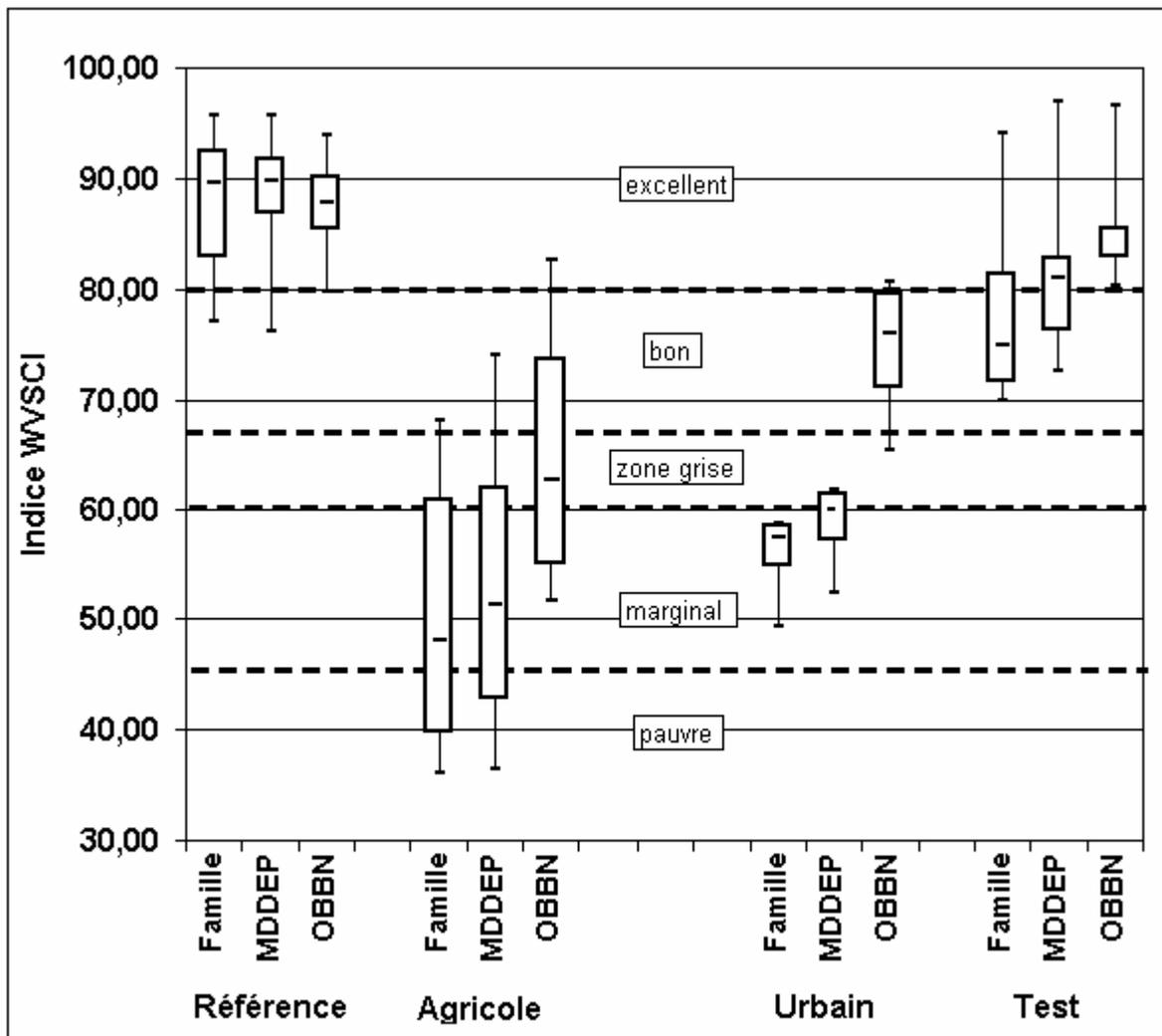
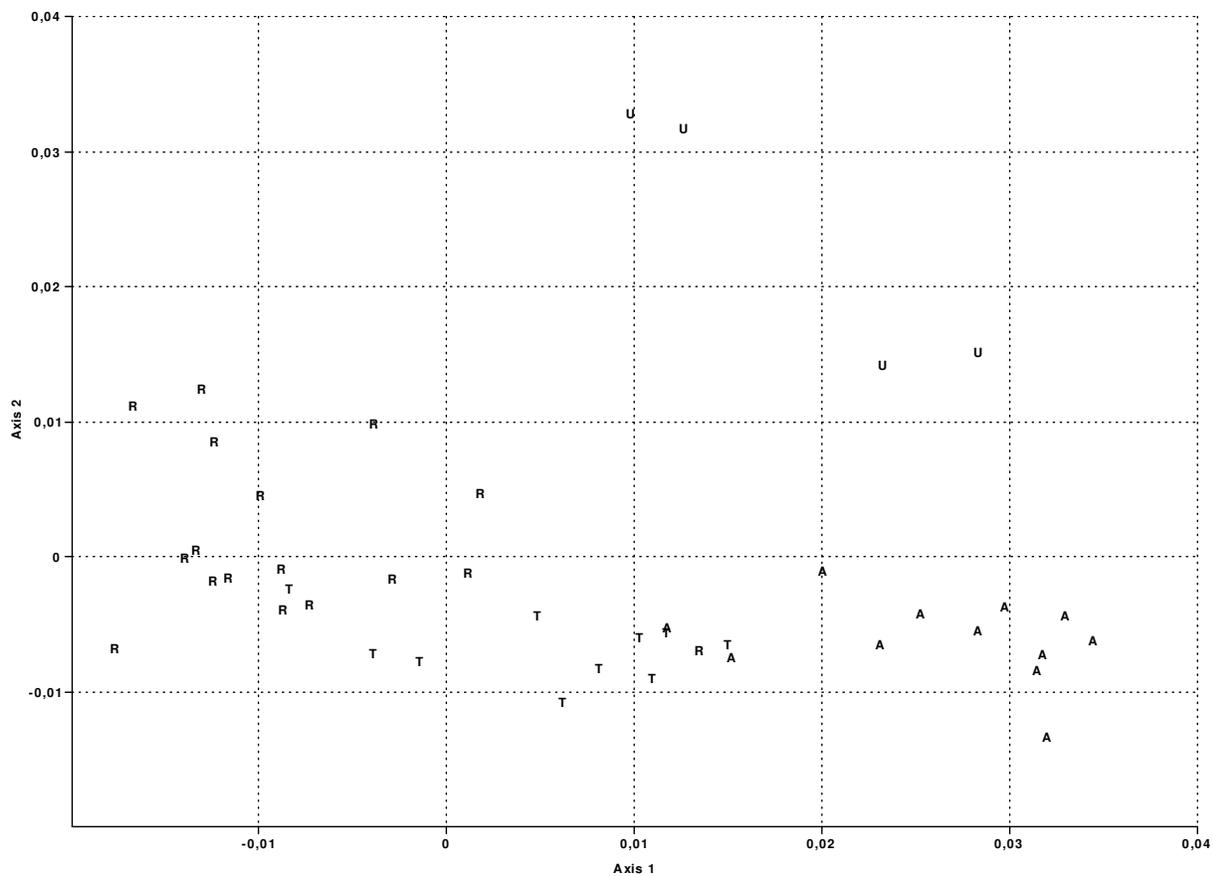


Figure 12 : Diagrammes en boîte de l'indice d'intégrité biologique de la Virginie occidentale (WVSCI) pour les trois niveaux d'identification et les quatre types de station (référence n = 19, agricole n = 12, urbain n = 4 et test n = 9)

Analyses multivariées

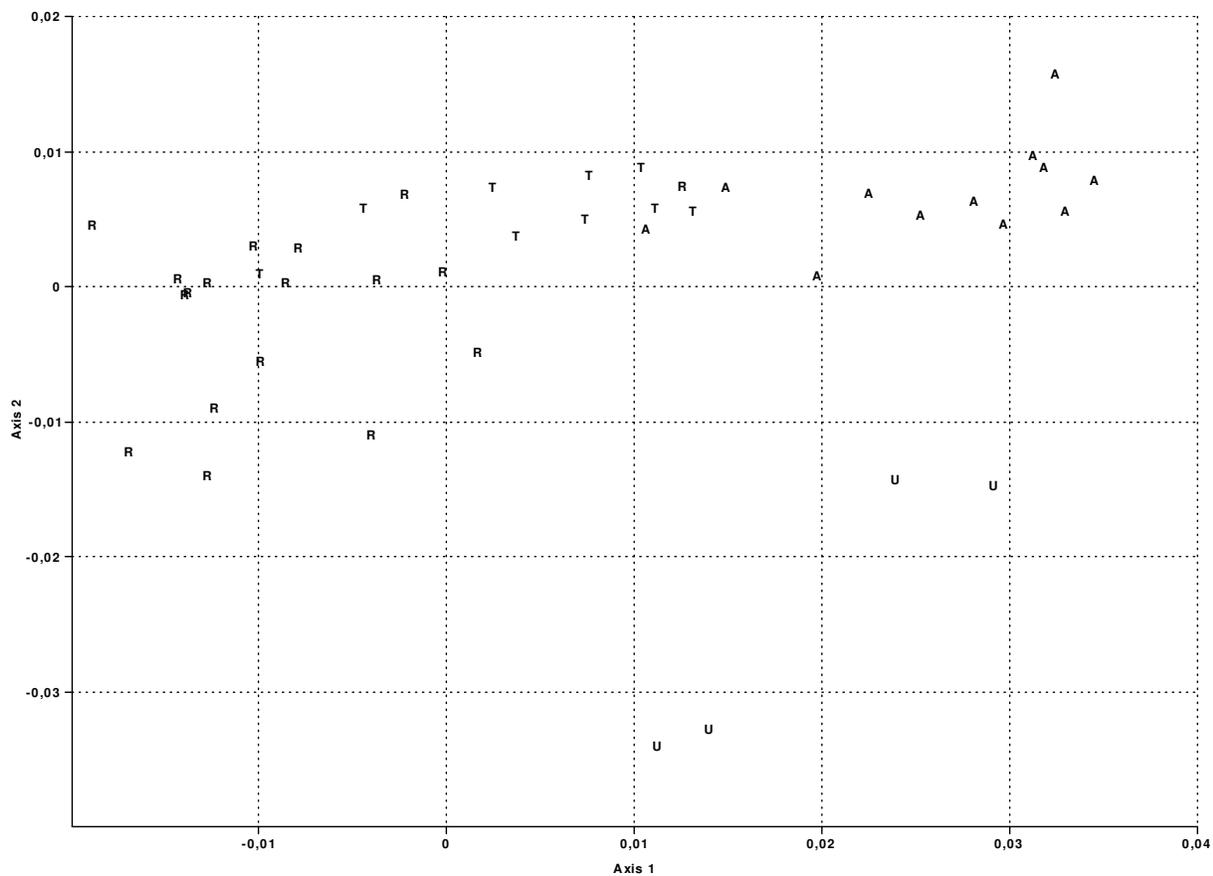
La figure 13 présente l'analyse des correspondances pour les données d'abondance au niveau taxonomique de la famille pour les 43 stations. Les stations de référence (R) sont pour la plupart regroupées et se retrouvent du côté gauche de l'axe vertical. Seulement trois des 18 stations de référence se retrouvent 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.

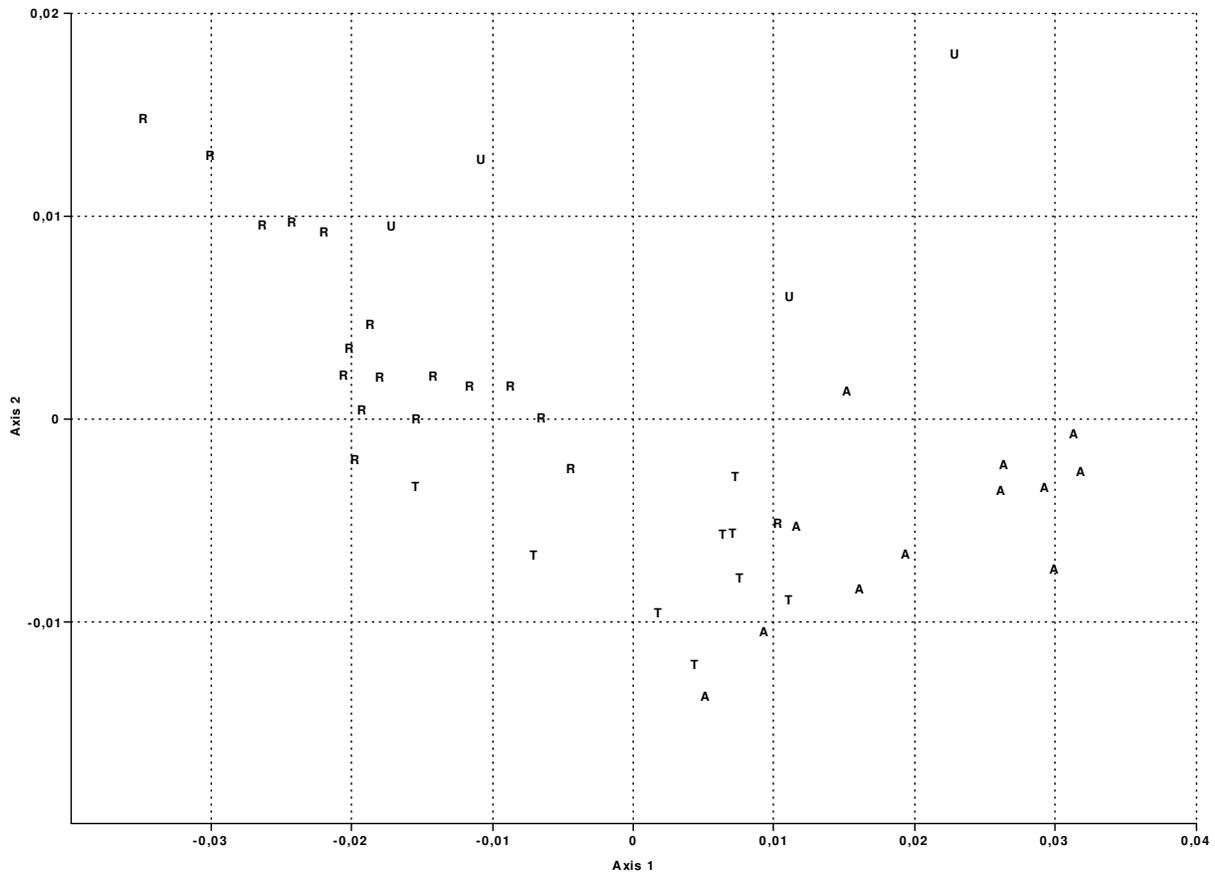


Axe	Valeur propre	% d'inertie
1	0,39591	21,676
2	0,25294	13,848
3	0,160867	8,8073
4	0,14097	7,718

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. Gowns *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	

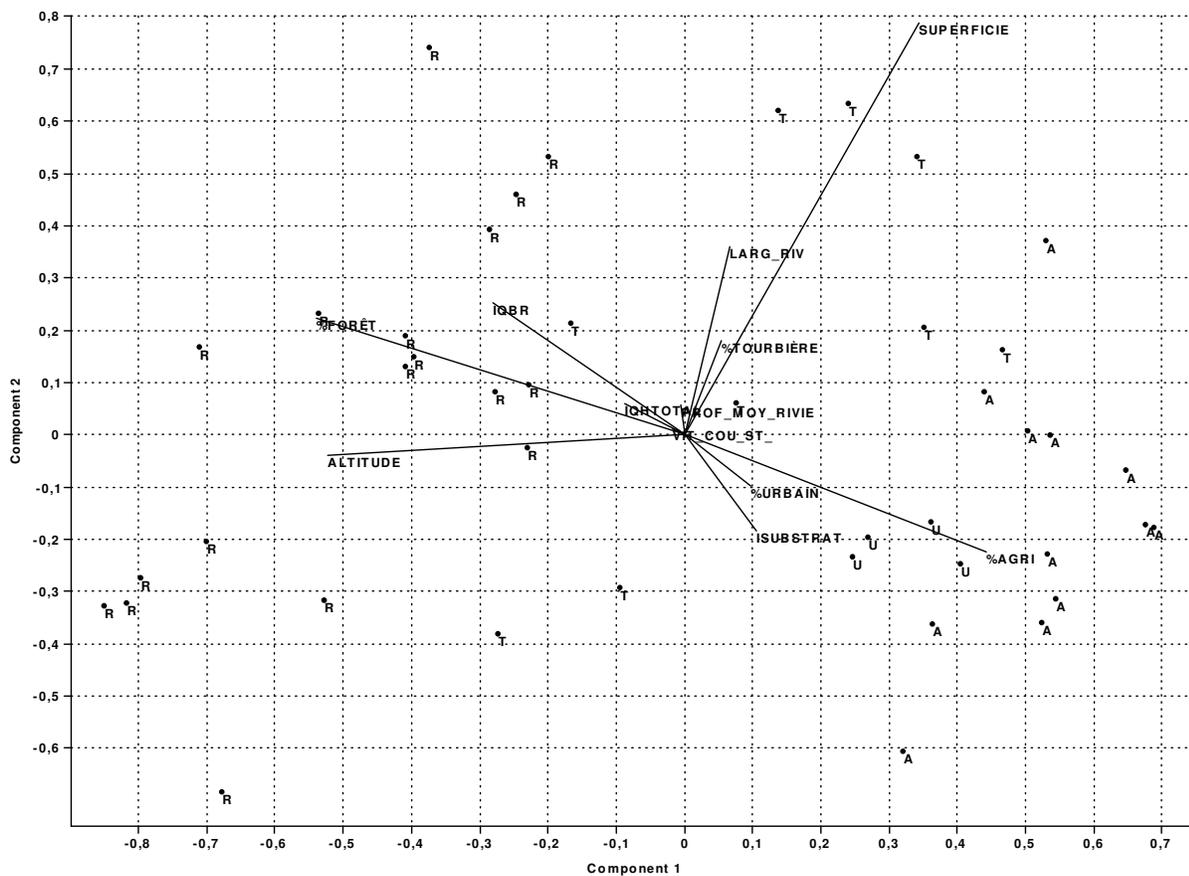
B) Liste des taxons pour le niveau élémentaire de l'OBBN (Jones *et al*, 2005)

#	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

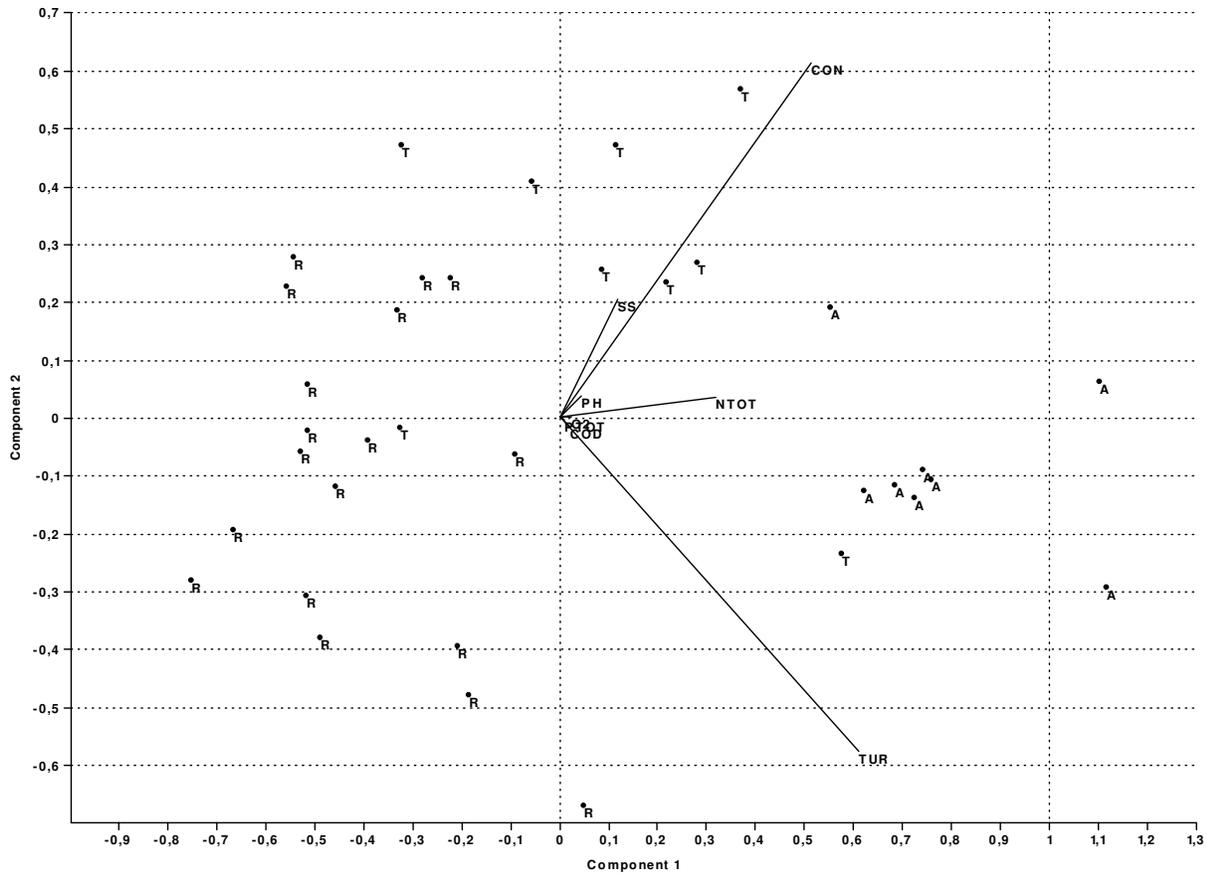
**Analyses multivariées des données
environnementales**

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
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

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

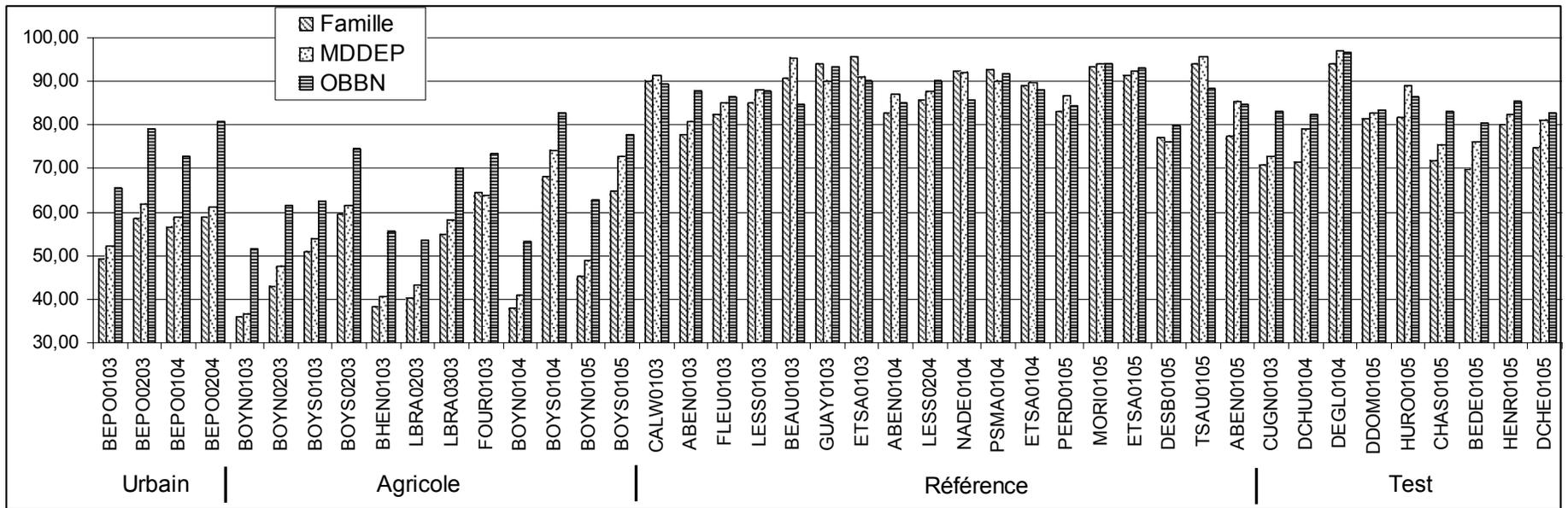
Formule : $CV = \text{Écart-type} / \text{Moyenne} \times 100$

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