



UNIVERSITÉ DE METZ

**L.B.F.E.**

*Laboratoire "Biodiversité et  
Fonctionnement des Ecosystèmes"  
Equipe de Domoécologie*

**PROGRAMME DE RECHERCHE DE LA  
COMMISSION INTERNATIONALE POUR  
LA PROTECTION DE LA MEUSE (C.I.P.M.)**

**Biomonitoring international de la Meuse :  
analyse spatio-temporelle des peuplements  
macroinvertébrés benthiques sur la période  
1998-2001**

*International biomonitoring of the Meuse  
River: spatio-temporal analysis of benthic  
macroinvertebrate communities  
(1998-2001)*

**Rapport final**

*Final report*

**Décembre 2003**

**P. USSEGLIO-POLATERA & J.N. BEISEL**

Campus Bridoux  
Avenue Général Delestraint  
F-57075 Metz  
France

**Note importante :**

Les analyses décrites et commentées dans le première version de ce rapport (avril 2003) avaient été réalisées sur la base des listes faunistiques initialement fournies par la Commission Internationale de Protection de la Meuse (CIPM) en Décembre 2002.

Des erreurs ont cependant été détectées dans l'identification des Crustacés Amphipodes par Mr. J.P. Vanden Bossche dès l'année 2000. Sous contrat du Centre de Recherche de la Nature, des Forêts et du Bois de la Région Wallonne, l'équipe du Professeur G. Josens ayant fait les identifications, a débuté fin 2002 la révision des échantillons français et wallons des campagnes CIPM de 1998, 2000 et 2001. Les résultats de cette révision, qui n'a concerné que les échantillons obtenus par substrats artificiels, nous ont été communiqués fin avril 2003, après remise de notre rapport d'expertise.

Afin d'évaluer l'impact potentiel de ces erreurs d'identification sur les résultats de l'analyse, nous avons cependant refait, sur la base des listes faunistiques corrigées, la plupart des traitements statistiques présentés dans la première version de ce rapport. Les résultats de ces nouvelles analyses sont présentées dans cette seconde version (décembre 2003) de notre rapport.

De manière générale, nous pouvons considérer que l'essentiel des observations et conclusions émises en avril 2003, reste valide. La correction des listes faunistiques ne modifie en effet que de manière très marginale les résultats des analyses statistiques effectuées.

## SOMMAIRE

<b>I - CONTEXTE .....</b>	<b>p. 5</b>
<b>II - PLAN D'ECHANTILLONNAGE .....</b>	<b>p. 7</b>
<b>III - BILAN DES DONNEES FAUNISTIQUES .....</b>	<b>p. 9</b>
1. <b>Protocole d'échantillonnage .....</b>	<b>p. 9</b>
2. <b>Niveau systématique de détermination .....</b>	<b>p. 11</b>
3. <b>Estimation des abondances taxonomiques .....</b>	<b>p. 12</b>
4. <b>Tableau faunistique harmonisé .....</b>	<b>p. 12</b>
<b>IV - METHODES D'ANALYSE .....</b>	<b>p. 22</b>
1. <b>Structure faunistique des peuplements macroinvertébrés benthiques .....</b>	<b>p. 22</b>
1.1 <b>Analyse exploratoire globale .....</b>	<b>p. 22</b>
1.2 <b>Indices de structure .....</b>	<b>p. 23</b>
1.3 <b>Evaluation de la qualité biologique de la Meuse par utilisation d'indices biologiques normalisés .....</b>	<b>p. 23</b>
2. <b>Analyse des peuplements macroinvertébrés benthiques en termes de combinaisons de traits biologiques et écologiques .....</b>	<b>p. 23</b>
2.1 <b>Justification de la méthode .....</b>	<b>p. 23</b>
2.2 <b>Codage de l'information biologique et écologique .....</b>	<b>p. 26</b>
2.3 <b>Chaque taxon est caractérisé par un ensemble de profils biologiques et écologiques .....</b>	<b>p. 28</b>
3. <b>Confrontation de la structure faunistique et de l'organisation des traits biologiques et écologiques des communautés stationnelles .....</b>	<b>p. 30</b>

<b>4. Diversité taxonomique et diversité bio-écologique .....</b>	<b>p. 30</b>
<b>5. Bilan général et définition de groupes faunistiques indicateurs .....</b>	<b>p. 31</b>
<b>6. Analyse et hiérarchisation des principaux effets spatiaux et temporels .....</b>	<b>p. 31</b>
<b>V - RESULTATS: DISCUSSION .....</b>	<b>p. 33</b>
<b>1. Structure faunistique .....</b>	<b>p. 33</b>
1.1 Analyse du tableau faunistique stationnel .....	p. 33
1.2 Indices de structure .....	p. 41
1.3 Indices biotiques .....	p. 56
1.3.1 I.B.G.A. ....	p. 56
1.3.2 Comparaison des résultats fournis par l' I.B.G.A., le B.M.W.P. et l' A.S.P.T. ....	p. 60
<b>2. Structure faunistique et organisation des traits biologiques et écologiques des peuplements macrobenthiques .....</b>	<b>p. 60</b>
2.1 Organisation des traits biologiques et écologiques des taxons constitutifs du peuplement benthique .....	p. 63
2.1.1 Organisation des traits biologiques .....	p. 63
2.1.2 Organisation des traits écologiques .....	p. 64
2.2 Confrontation de la structure faunistique stationnelle l'organisation des traits biologiques de leur communauté ...	p. 66
2.3 Confrontation de la structure faunistique stationnelle l'organisation des traits écologiques de leur communauté ..	p. 71
<b>3. Diversité bio/écologique vs Diversité taxonomique .....</b>	<b>p. 74</b>
3.1 Approche indicielle .....	p. 74
3.2 Distribution des taxons ^ l'intérieur de groupes fonctionnels homogènes en termes de combinaisons de traits bio- écologiques .....	p. 78
<b>VI – CONCLUSION .....</b>	<b>p. 82</b>
<b>1. Structure faunistique du peuplement macrobenthique .....</b>	<b>p. 82</b>

1.1 Synthèse des différentes approches indicielles .....	p. 83
1.2 Essai de hiérarchisation des principaux facteurs de variation des listes faunistiques : la décomposition de l'inertie totale du tableau harmonisé des données brutes ...	p. 87
1.3 Prise en compte des différences inter-stationnelles : l'analyse "inter-stations" .....	p. 88
1.4 Prise en compte des différences mésohabitationnelles : l'analyse "inter-habitats" .....	p. 91
<b>2. Structure faunistique et caractéristiques bio/écologiques du peuplement macrobenthique .....</b>	<b>p. 94</b>
<b>3. Recommandations pour un futur biomonitoring de la Meuse .....</b>	
3.1 Protocole d'échantillonnage et d'acquisition des données ...	p. 98
3.2 Fréquence et Périodes d'échantillonnage .....	p. 99
3.3 Méthodes d'échantillonnage .....	p. 100
3.4 Evaluation de la qualité biologique de la rivière .....	p. 100
3.5 Suivi à long terme et espèces invasives .....	p. 106
<b>VII - REFERENCES .....</b>	<b>p. 106</b>
<b>ANNEXES .....</b>	<b>p. 113</b>

## **BIOMONITORING INTERNATIONAL DE LA MEUSE : ANALYSE SPATIO-TEMPORELLE DES PEUPELEMENTS MACROINVERTEBRES BENTHIQUES SUR LA PERIODE 1998 – 2001**

### **I. CONTEXTE**

En août 1998, une première campagne d'échantillonnage coordonné et standardisé des peuplements macroinvertébrés benthiques de la Meuse a été réalisée, à l'initiative de la Commission Internationale pour la protection de la Meuse (C.I.P.M.), dans le cadre de son réseau de mesures « homogène » de la qualité des eaux. Pour la première fois la Meuse était échantillonnée sur la totalité de son cours de manière simultanée par quatre équipes de recherche.

Les principaux objectifs affichés par la C.I.P.M. étaient alors :

- (1) d'évaluer la qualité biologique de la Meuse sur la totalité de son profil longitudinal par une méthode d'appréciation uniforme, dans des conditions d'étiage,
- (2) de discuter les résultats de cette appréciation au regard des caractéristiques abiotiques connues des différentes stations échantillonnées,
- (3) d'identifier un panel de taxons à forte signification écologique, typiques du bassin meusien, dont la présence et/ou le développement auraient pu être considérés comme indicateurs de conditions écologiques particulières,
- (4) d'optimiser le suivi écologique de la Meuse via le monitoring de la faune des macroinvertébrés benthiques, en dégagant des résultats de la campagne de 1998 un certain nombre d'informations valorisables en termes de choix (i) de la stratégie d'échantillonnage à employer, (ii) des biotopes à prospecter en priorité, (iii) du niveau d'identification des organismes à atteindre, (iv) des méthodes de présentation, d'analyse et d'interprétation des données brutes à utiliser.

Cette première campagne d'échantillonnage a permis d'initier, par ailleurs, la mise en place d'une première base de données sur les biocénoses macrobenthiques meusiennes.

A la suite des résultats et conclusions de cette première campagne, il a été décidé par la CIPM de poursuivre le suivi des peuplements macrobenthiques de la Meuse. Deux campagnes furent successivement programmées en août septembre 2000, puis mai-juin 2001.

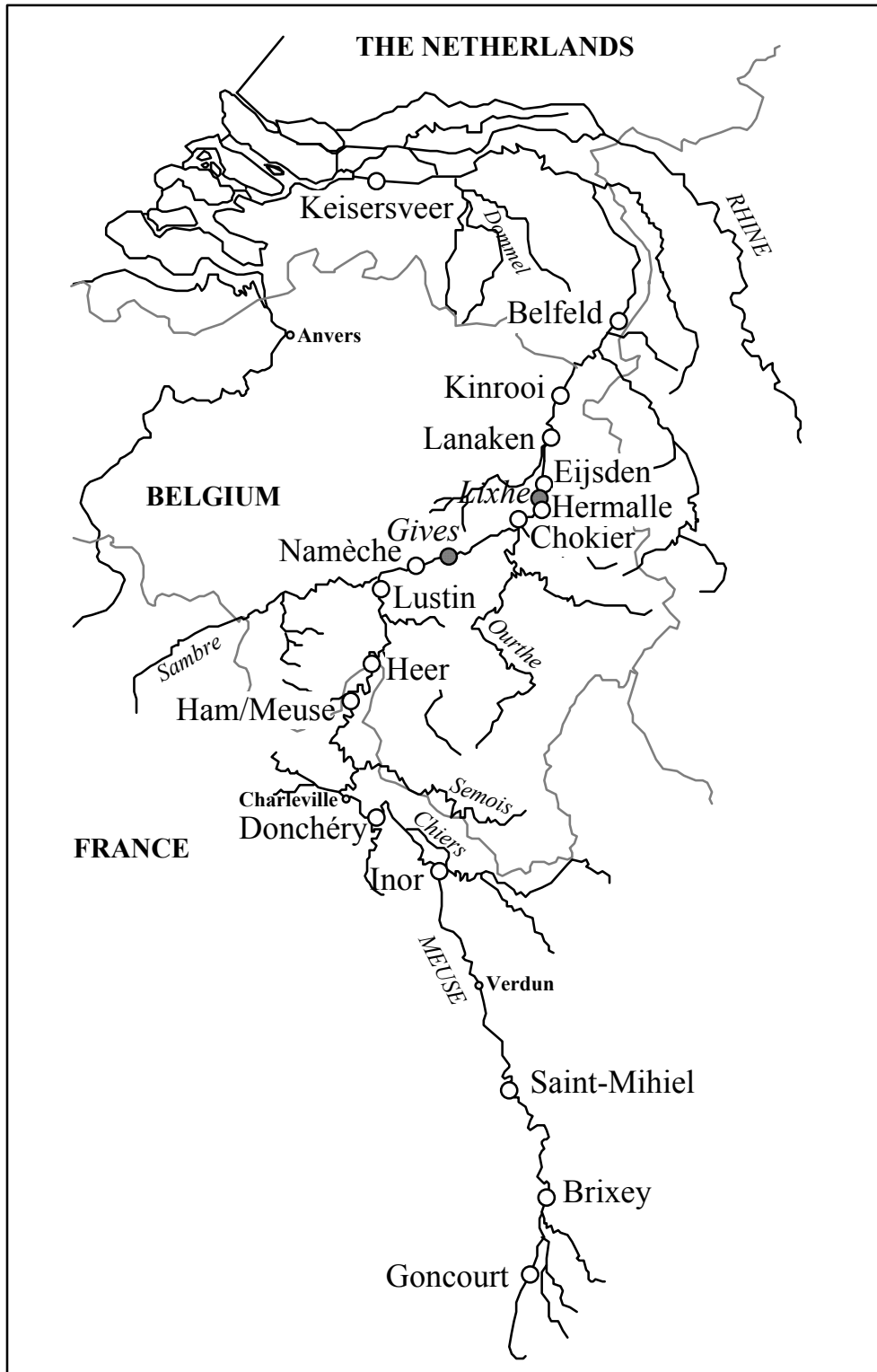


Figure 1 : Localisation des stations d'échantillonnage

*Figure 1 : Location of sampling sites*

Le présent rapport présente les résultats de différentes analyses réalisées, compte tenu des objectifs préalablement fixés et conformément à la proposition d'étude initialement établie.

Il vise principalement (1) à évaluer la qualité biologique de la rivière Meuse le long de son profil longitudinal, et à (2) à harmoniser les données de façon à pouvoir les intégrer dans une base des connaissances faunistiques sur cette rivière.

Conformément à la demande du CIPM, la stratégie d'analyse utilisée a été identique à celle utilisée lors de l'expertise des données 1998.

Trois thèmes ont été abordés lors de la réalisation de cette analyse. Ils correspondent aux trois objectifs explicitement définis :

1 - évaluer simultanément la qualité biologique de la Meuse sur la totalité de son cours par une méthode d'appréciation uniforme, dans des conditions d'étiage,

2 - discuter les résultats de cette appréciation au regard des caractéristiques abiotiques connues et/ou mesurées sur les différentes stations échantillonnées,

3 - identifier un certain nombre de taxons à forte signification écologique, typiques du bassin de la Meuse, dont la présence et/ou le développement pourraient être indicateurs de conditions écologiques particulières. Cette identification a été confrontée à la première sélection de taxons effectuée à l'issue de la campagne de 1998.

## II. PLAN D'ECHANTILLONNAGE

Seize stations (numérotées selon leur ordre le long du gradient longitudinal amont-aval) ont été échantillonnées en 1998 (**Figure 1**) :

- six stations de la Meuse française (1-Goncourt, 2-Brixey, 3-Saint Mihiel, 4-Inor, 5-Donchéry et 6-Ham-sur-Meuse)
- cinq stations de la Meuse belge wallonne (7-Heer, 8-Lustin, 9-Namèche, 10-Chokier et 11-Hermalle)



Tableau I - Plan d'échantillonnage : Nombre de relevés réalisés par les trois méthodes d'échantillonnage utilisées (Filet; Dragage; Substrats artificiels) dans les 16 stations prospectées au cours des trois campagnes d'échantillonnage (1998, 2000, 2001) X = station non échantillonnée

Table I : Sampling design: number of samples performed using three practical methods (hand net; dredging; artificial substrates) within 16 study sites in 1998, 2000 and 2001. X = unsampled site

N°	Country	Study-site	1998				2000				2001			
			L	P	A	T	L	P	A	T	L	P	A	T
1	F	Goncourt	8	3	3	14	3	1	1	5	3	1	1	5
2	F	Brixey	8	3	3	14	3	1	1	5	3	1	1	5
3	F	Saint-Mihiel	8	3	3	14	3	1	1	5	3	1	1	5
4	F	Inor	8	3	2	13	3	1	1	5	3	1	1	5
5	F	Donchéry	8	3	3	14	3	1	1	5	3	1	1	5
6	F	Ham-sur-Meuse	8	3	0	11	3	1	1	5	3	1	1	5
7	B (W)	Heer	2	1	2	5	3	1	2	6	X	X	X	0
8	B (W)	Lustin	3	1	2	6	3	1	3	7	3	1	3	7
9	B (W)	Namèche	2	1	2	5	X	X	X	0	X	X	X	0
9	B (W)	Gives	X	X	X	X	3	1	3	7	2	1	3	6
10	B (W)	Chokier	3	1	2	6	2	1	3	6	X	X	X	0
11	B (W)	Hermalle	3	1	2	6	X	X	X	0	X	X	X	0
11	B (W)	Lixhe	X	X	X	X	3	0	1	4	X	X	X	0
12	NL	Eijsden	2	1	2	5	2	1	3	6	2	1	2	5
13	B (F)	Lanaken	0	1	1	2	3	1	1	5	3	1	1	5
14	B (F)	Kinrooi	3	1	4	8	3	1	1	5	3	1	1	5
15	NL	Belfeld	2	1	2	5	2	1	3	6	2	1	2	5
16	NL	Keizersveer	2	1	2	5	2	1	3	6	1	1	2	4
<b>Total</b>			70	28	35	133	44	15	29	88	34	13	20	67

**L = Littoral samples**  
**P = Profundal samples**  
**A = Artificial substrates**  
**T = Total**

- deux stations de la Meuse belge dans sa partie flamande (13-Lanaken et 14-Kinrooi),
- trois stations de la Meuse néerlandaise (12-Eijsden, 15-Belfeld et 16-Keizersveer).

Au cours des deux campagnes suivantes, le plan d'échantillonnage est identique à celui de 1998, excepté sur le secteur de la Meuse wallonne. En effet, lors de la campagne d'été 2000, les stations de Gives et Lixhe (Meuse wallonne) remplacent respectivement les stations de Namèche (st. 7) et Hermalle (st. 11).

Au cours du printemps 2001, seuls deux sites ont été échantillonnés sur ce secteur (contre 5 en 1998 et 2000) : les stations de Lustin (st. 8) et Gives (st. 9).

### III. BILAN DES DONNEES FAUNISTIQUES

#### 1. Protocole d'échantillonnage

Lors de la campagne 1998, une certaine hétérogénéité était observée dans le protocole d'échantillonnage appliqué par les différentes équipes ayant assuré le travail de terrain, de sorte que le nombre de prélèvements réalisé variait de 2 (faible nombre lié à des conditions hydrologiques particulièrement difficiles dans la station de Lanaken lors de l'échantillonnage) à 14 suivant les stations. Plus précisément, le nombre d'échantillons était compris entre 11 et 14 dans le secteur français par suite de l'application du protocole IBGA, et de 5 à 8 (si l'on excepte Lanaken) sur le secteur plus aval par suite de l'application des recommandations d'harmonisation de la CIPM (cf. Tableau I, p. 10, Usseglio-Polatera et Beisel, 1999).

La C.I.P.M. recommandait le prélèvement, dans chaque station, de sept échantillons conditionnés séparément : **trois prélèvements littoraux** [1 - pierres littorales, 2 - substrat littoral, 3 - végétaux immergés] réalisés au filet, **trois substrats artificiels** et **un échantillon du substrat profond** (obtenu par dragage), selon le protocole expérimental proposé par RIZA (1998).

Lors des campagnes 2000 et 2001, toutes les équipes ont globalement respecté les recommandations de la CIPM, de sorte que **l'effort d'échantillonnage** consenti le long du profil longitudinal paraît **beaucoup plus homogène**.



Entre 4 et 7 listes faunistiques élémentaires (toutes méthodes d'échantillonnage confondues) ont été fournies, pour chaque site, par les différentes équipes (cf. **Tableau I**). Un nombre de listes élémentaires inférieur au nombre attendu est essentiellement lié (1) au regroupement des prélèvements par substrat artificiel en un relevé unique (secteur français), ou (2) à l'absence fréquente, si non permanente, de macrophytes sur la plupart des stations du secteur le plus aval de la Meuse (les sites de Chokier, Eisjden, Belfeld et Keizersveer notamment).

L'échantillonnage faunistique a donc abouti à l'établissement de respectivement 133, 88 et 67 listes faunistiques élémentaires au cours des campagnes 1998, 2000 et 2001 (**Tableau I**).

## 2. Niveau systématique d'identification

Le cahier des charges initial souhaitait par ailleurs que les macroinvertébrés recueillis soient identifiés le plus précisément possible. Le niveau spécifique était recommandé pour la quasi-totalité des groupes faunistiques (sauf Actinedida), lorsque le stade de développement le permettait (larves âgées, adultes aquatiques).

La simple juxtaposition des 288 listes faunistiques aboutit à l'établissement d'une liste faunistique constituée de 509 taxons différents (**Annexe I**), mais toutefois **non complètement disjonctifs**. Le **Tableau II** fait le bilan des niveaux taxonomiques observés pour les principaux groupes de macroinvertébrés benthiques dans les seize stations échantillonnées, pour les trois campagnes d'échantillonnage. La simple observation de ce tableau montre que l'hétérogénéité intra- et inter-relevés du niveau d'identification systématique est largement aussi importante au cours des campagnes de 2000 et 2001 qu'au cours de la campagne 1998.

Pour un même groupe faunistique, à l'intérieur d'une même station, le niveau de détermination varie fréquemment de l'espèce à la famille (Diptera, Odonata, Trichoptera, Crustacea notamment), à l'ordre (Hydracarina), voire à la classe (Oligochètes et parfois Crustacés). Ainsi, dans un relevé donné quelques individus d'un groupe systématique peuvent être identifiés au niveau spécifique alors que de nombreux autres du même groupe ne sont identifiés qu'au niveau systématique de la classe.

Cette hétérogénéité est particulièrement délicate à gérer compte tenu de l'objectif majeur affiché, à savoir **l'évaluation simultanée** de la qualité biologique de la Meuse sur la **totalité** de son cours par une méthode d'**appréciation uniforme**. L'analyse simultanée des listes faunistiques stationnelles sur l'ensemble de la rivière Meuse a alors imposé la constitution d'une liste faunistique homogène, commune à l'ensemble des 288 relevés, et donc des regroupements systématiques - plus ou moins drastiques - selon le principe du "plus petit dénominateur commun". L'harmonisation des listes élémentaires a visé à conserver le maximum de taxons dont le niveau de détermination pouvait être considéré comme commun à l'ensemble des relevés, pour obtenir une liste faunistique complètement disjonctive susceptible d'assurer une comparaison cohérente des données stationnelles, tout en minimisant la perte d'information écologique.

### **3. Estimation des abondances taxonomiques**

Au cours des campagnes 2000 et 2001, les effectifs "vrais" (i.e., résultant du comptage de tous les individus de l'échantillon) ont été fournis, contrairement à la campagne de 1998 dont les résultats, sur certaines stations, pouvaient être exprimés en classes d'abondances. Nous avons alors montré (cf. Usseglio-Polatera et Beisel, 1999) la "toxicité" du système de classes utilisé. Cette harmonisation de la méthode d'évaluation des abondances faunistiques est un caractère très positif qui ne peut que faciliter les comparaisons interstationnelles entre communautés benthiques prélevées sur le profil longitudinal de la Meuse.

### **4. Tableau faunistique harmonisé**

Compte tenu de l'hétérogénéité d'identification systématique et d'expression des abondances numériques, la liste faunistique - non disjonctive - de 507 taxons a été réduite à 190 taxons.

Le **Tableau III** fournit cette liste faunistique et les abondances respectives des 190 taxons dans les 45 relevés réalisés dans les 16 stations prospectées (toutes méthodes d'échantillonnage confondues).





Biomonitoring de la Meuse : analyse spatio-temporelle des peuplements macro-invertébrés (1998-2001)  
 Université de Metz - LBFE - Equipe de Démécologie  
 Usseglio-Polatera, P. & Beisel, J-N. (Décembre, 2003)

Tableau III : (suite)

Table III : (continued)

NI	Faunal group	Taxa		Site I	Cote I	Year														
		Family	Sub-Family/Tribu/Genuu/Species			1998	1998	1998	1998	1998	1998	1998	1998	1998	1998	1998	1998	1998	1998	
158		Planorbidae	Physa	24	12	0	61	27	18	4	0	0	2	201	6	0	2	0	0	
159			Amnisus	6	0	0	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
160		Amnicor	208	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
161		Planorbidae	Gyradus	420	22	1	78	14	8	1	4	0	0	4	0	1	0	0	0	
162			Hyporbus	2	0	0	28	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
163			Menetus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
164			Planorbis	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
165			Sagittomphalus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
166			Sagittaria	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
167		Valvatidae	Valvata	261	27	1	116	88	34	0	0	48	2	0	876	27	1	10	10	
168		Milvparidae	Milvparus	0	0	2	0	26	0	0	2	1	0	0	0	0	0	1	0	
169		Polychaeta	Ampharetidae	Hypena	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	
170		Hirudinea	Erpobdellidae	Erpobdella	287	82	41	47	108	22	16	20	2	8	128	22	10	107	11	0
171	Hirudinea	Glossiphoniidae	Estrocodella	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
172			Glossiphonia	81	2	28	11	22	7	2	2	1	7	122	122	8	11	2	0	
173			Haemantara	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
174			Helobdella	128	22	22	22	160	1	22	18	0	10	20	0	18	2	0	0	
175			Herodiasis	2	0	0	0	0	0	0	6	1	0	1	2	1	1	0	0	
176			Theromyzon	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	
177	Casprobulia	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
178	Micricolidae	Micricola	22	2	7	4	2	2	1	2	0	0	0	0	0	2	0	0		
179	Hirudidae	Hirudidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1		
180	Oligochaeta	Oligochaeta	2671	224	224	4108	1886	202	2	228	22	282	810	262	8	78	188	28		
181	Turbellaria	Dendrocoelidae	Dendrocoelum	0	0	14	0	0	0	0	0	2	0	22	0	28	0	1		
182	Turbellaria	Planariidae	Dugesia	1	26	141	287	248	22	0	20	0	42	226	788	142	22	1	0	
183			Phagocata	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
184			Planaria	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2	16	120	0	0	0	
185	Nematomorpha	Nematomorpha	Polycelis	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	22	0	0		
186			Nematomorpha	2	1	22	2	41	4	0	1	0	1	0	0	102	0	0		
187	Bryozoa	Cribatellidae	Cribatella	0	4	11	44	182	14	82	82	21	21	0	0	0	0	0		
188	Coelenterata	Hydridae	Hydra	680	207	28	202	1228	28	0	0	0	0	268	2240	404	84	8		
189	Porifera	Spongillidae	Condriophora	0	0	0	668	28	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0		
190			Spongillidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		







Biomonitoring de la Meuse : analyse spatio-temporelle des peuplements macro-invertébrés (1998-2001)  
 Université de Metz - LBFE - Equipe de Démécologie  
 Usseglio-Polatera, P. & Beisel, J-N. (Décembre, 2003)

Tableau III (suite)

Table III : (continued)

N°	Faunal group	Taxa	Sub-Family/Tribu/Genus/Species	Site	Senneval	Blancy	St-Amand	Ill	Demichy	Ham	Nez	Lucilin	Orva	Chailar	Leze	Badon	Lesailly	Orny	Maillet	Neufmarché
				Date	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
152		Phryganeidae	Phryganea	0	0	8	8	10	0	0	0	0	0	0	0	18	1	0	0	0
153			Amisus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
154			Amisus	43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	0	0	0	0
155		Planorbidae	Gyraulus	41	0	8	8	6	0	0	0	3	18	3	26	13	0	13	0	0
156			Hyporhyssa	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
157			Planorbis	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0
158			Planorbis	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
159			Sagittaria	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
160			Sagittaria	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
161		Malvaceae	Malva	48	0	0	128	18	1	2	0	1	86	0	127	37	1	18	20	0
162		Milvaceae	Milvulus	0	0	1	2	17	0	0	0	3	0	0	1	0	0	0	0	0
163	Polychaeta	Ampeliscidae	Hypena	0	0	0	0	0	0	1	0	47	1	0	17	0	0	107	1	23
164	Hirudinea	Erpobdellidae	Erpobdella	73	8	2	1	44	1	23	8	2	13	1	383	18	23	17	8	0
165			Erpobdella	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
166			Glossiphonia	6	1	1	0	23	0	4	7	0	0	0	144	6	2	1	0	0
167			Hamontia	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
168			Halobdella	20	4	0	0	12	0	23	1	1	1	0	88	0	3	1	0	0
169			Hamontia	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22	0	0	2	0	0
170			Theromyzon	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
171			Caspiobdella	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
172		Pisicoidae	Pisicola	3	4	6	0	4	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
173		Hirudidae	Hirudidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
174	Oligochaeta		Oligochaeta	388	182	182	276	1617	143	122	472	626	440	48	3288	47	34	348	37	0
175	Turbellaria	Dendrocoelidae	Dendrocoelum	0	0	0	0	0	1	2	1	0	2	0	17	0	8	0	0	0
176		Dugesidae	Dugesia	62	60	36	27	84	184	28	0	0	10	0	200	68	16	3	1	0
177		Planariidae	Planaria	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
178			Polycelis	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
179	Nematomorpha		Nematomorpha	3	4	1	0	6	4	1	4	1	3	0	0	0	0	0	0	0
180	Bryozoa	Cristatellidae	Cristatella	1	8	7	2	3	8	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
181	Coelenterata	Hydridae	Hydra	78	48	38	43	66	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
182		Cnididae	Cnidophora	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
183	Porifera	Spongillidae	Spongillidae	69034	12	31	17	62	1468	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0





Biomonitoring de la Meuse : analyse spatio-temporelle des peuplements macro-invertébrés (1998-2001)  
 Université de Metz - LBFE - Equipe de Démécologie  
 Usseglio-Polatera, P. & Beisel, J-N. (Décembre, 2003)

Tableau III (suite)

Table III : (continued)

				Sites	Consmant	Erbevy	Saint-Hubert	Neuf	Doncelevy	Hann	Ludon	Chese	Beaumont	Lamignon	Hierroch	Barbail	Kellerauval
				Dates	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001
Taxa																	
N <sub>i</sub>	Faunal groups	Family	Sub-Family/Tribu/Genus/Species														
158		Physidae	<i>Physa</i>	0	4	0	3	0	1	0	0	0	0	0	1	2	0
159			<i>Anisus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
160			<i>Arminiger</i>	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
161			<i>Gyraulus</i>	6	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
162		Planorbidae	<i>Hippeutis</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
163			<i>Menetus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
164			<i>Planorbis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
165			<i>Bathyomphalus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
166			<i>Segmentina</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
167		Valvatidae	<i>Valvata</i>	0	1	0	0	1	0	60	7	102	6	0	0	0	0
168		Viviparidae	<i>Viviparus</i>	0	0	0	0	0	7	6	0	0	0	0	0	0	0
169	<b>Polychaeta</b>	Ampharetidae	<i>Hypania</i>	0	0	0	0	0	0	0	627	222	1	7	784	272	
170	<b>Hirudinea</b>	Erpobdellidae	<i>Erpobdella</i>	10	6	1	0	3	0	84	13	106	21	26	30	2	
171			<i>Batrachobdella</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
172		Glossiphoniidae	<i>Glossiphonia</i>	0	1	24	3	20	0	21	1	72	3	22	2	6	
173			<i>Haementeria</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
174			<i>Helobdella</i>	1	2	1	0	7	3	2	24	30	2	1	2	0	
175			<i>Hemiclepsis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
176			<i>Theromyzon</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
177			<i>Caspiobdella</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
178		Piscicolidae	<i>Piscicola</i>	12	6	2	2	2	2	4	2	1	1	1	2	0	
179		Hirudidae	Hirudidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
180	<b>Oligochaeta</b>	Oligochaeta	Oligochaeta	2062	4012	1301	2232	4310	3744	4	340	10002	66	24	1602	2212	
181	<b>Turbellaria</b>	Dendrocoelidae	<i>Dendrocoelum</i>	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	2	
182		Dugesidae	<i>Dugesia</i>	3	3	3	1	26	2	12	1	72	2	3	0	3	
183		Planariidae	<i>Phagocata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
184			<i>Planaria</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
185			<i>Polycelis</i>	0	0	1	1	2	0	0	0	2	0	0	6	0	
186	<b>Nematomorpha</b>	Nematomorpha	Nematomorpha	10	10	20	11	04	3	0	0	0	0	0	0	0	
187	<b>Bryozoa</b>	Cristatellidae	<i>Cristatella</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
188	<b>Coelenterata</b>	Hydridae	<i>Hydra</i>	4	30	20	02	22	2	0	0	0	0	0	0	0	
189		Clavidae	<i>Cordylophora</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
190	<b>Porifera</b>	Spongillidae	Spongillidae	3200	73	34	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

## IV. METHODES D'ANALYSE

Le protocole d'étude proposé envisageait d'associer l'estimation des indices biocénétiques classiquement utilisés en routine à une procédure d'analyse diagnostique précise de la structure et de l'organisation des communautés de macroinvertébrés benthiques capables de justifier clairement les valeurs obtenues. Il était précisé que compte tenu du niveau de détermination proposé par les instructions d'échantillonnage (niveau le plus souvent spécifique), les données faunistiques pouvaient générer un ensemble d'informations écologiques susceptibles de produire des éléments supplémentaires d'appréciation de la qualité du cours d'eau, en complément des indicateurs synthétiques usuels.

### 1. Structure faunistique des peuplements macroinvertébrés benthiques

#### 1.1 Analyse exploratoire globale

Une analyse préliminaire vise à **comparer la structure faunistique des différentes stations, sur la base de l'ensemble des relevés faunistiques effectués**, toutes méthodes d'échantillonnage confondues.

L'exploitation des données faunistiques est réalisée **au niveau systématique le plus précis** possible, après harmonisation des niveaux d'identification sur le profil longitudinal (cf. **Tableau III**).

Les taxons considérés comme « **rare**s » (i.e. présents dans un seul relevé sur les 3 campagnes) ne seront pas pris en compte dans l'analyse globale. Le tableau traité (*dans sa version corrigée*) est alors de format [146 taxons x 45 relevés]. Une Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) est appliquée à ce tableau dans lequel les abondances sont exprimées sous forme logarithmique [ $x \rightarrow \log(x + 1)$ ].

Cette analyse est complétée par un suivi de l'évolution longitudinale des fréquences relatives des grands groupes faunistiques (1-**EPT** pour Ephemeroptera-Plecoptera-Trichoptera ; 2-**CHO** pour Coleoptera-Heteroptera-Odonata ; 3-**Diptera**, 4-**Worms** pour Turbellaria, Oligochaeta, Hirudinea, Polychaeta et Nematomorpha ; 5-**Crustacea**, 6-**Gasteropoda**, 7-**Bivalvia** et 8-**Other groups** pour Hydracarina, Arachnida, Bryozoa et Hydrozoa).

Les espèces considérées comme « invasives » sont également suivies de manière globale sur le profil longitudinal de la Meuse au cours des 3 campagnes (i.e., toutes méthodes d'échantillonnage confondues).

## 1.2 Indices de structure

L'analyse globale de la structure faunistique du peuplement benthique des 16 stations est complétée par une **analyse de la structure numérique** des communautés. Une combinaison d'indices susceptible de restituer un certain nombre d'informations (stabilité, complexité de la mosaïque d'habitats, diversité des niches écologiques proposées, potentialités trophiques) sur l'habitat dans lequel la communauté faunistique étudiée se développe a été utilisée. La richesse numérique (Q), la richesse spécifique (S), la diversité taxonomique (indice de Shannon et Weaver : H') et l'équitabilité faunistique (indice de Pielou : J') ont été évaluées.

Cette analyse est réalisée :

- (1) à l'échelle **stationnelle**, toutes méthodes d'échantillonnage confondues, pour chaque campagne.
- (2) à l'échelle stationnelle, **par méthode d'échantillonnage** en analysant séparément les assemblages faunistiques issus :
  - des prélèvements de rives sur substrat littoral (1), sur les pierres/cailloux littoraux (2), sur les végétaux immergés (3),
  - des dragages (4),
  - des substrats artificiels (5).

## 1.3 Evaluation de la qualité biologique de la Meuse par utilisation d'indices biologiques normalisés

L'évaluation de la qualité biologique de la Meuse sera évaluée le long de son profil longitudinal par application du protocole d'évaluation prévu par l'IBGA (adaptation de la norme française AFNOR NF T 90 350 de 1992, aux grandes rivières). Même si le protocole d'échantillonnage adopté par la CIPM lors des 3 campagnes ne correspond pas strictement au protocole d'échantillonnage recommandé pour l'IBGA (en termes de nombre de prélèvements élémentaires notamment), il associe néanmoins les trois techniques de prélèvement prévues par ce protocole (dragages, substrats artificiels et échantillonnage des rives au filet Surber ou Haveneau).



Nous considérerons par ailleurs que tous les substrats types littoraux présents sur une station ont été échantillonnés, que les organismes prélevés aient été réunis dans un échantillon unique ou aient fait l'objet d'un prélèvement, d'un tri et d'une identification taxonomique indépendants.

Il conviendra cependant d'analyser avec prudence les estimations obtenues pour les stations où, pour des raisons techniques, une fraction de la communauté benthique n'a été que partiellement échantillonnée.

Les valeurs de l'« I.B.G.A. » seront comparées aux valeurs fournies par deux autres méthodes indicelles de bioévaluation de la qualité d'un cours d'eau basées sur les macroinvertébrés benthiques : le « Biological Monitoring Working Party » score (B.M.W.P.) et l'« Average Score Per Taxon » (A.S.P.T.).

Le calcul du B.M.W.P. est établi à partir d'une liste de taxons indicateurs regroupés suivant des tolérances équivalentes à la pollution, les organismes les plus polluo-tolérants présentant les scores les moins élevés. Le score final est obtenu en effectuant la somme des scores correspondant aux taxons indicateurs. Le score moyen par taxon (A.S.P.T.) peut être calculé en divisant le score final par le nombre total de taxons ayant participé au calcul de ce score. L'utilisation de l'A.S.P.T. est recommandée dans la mesure où cet indice dépend moins de la taille de l'échantillon, et est moins sensible aux variations saisonnières que le B.M.W.P.

## **2. Analyse des peuplements macroinvertébrés benthiques en termes de combinaisons de traits biologiques et écologiques**

Une analyse des peuplements macroinvertébrés benthiques en termes de combinaisons de traits biologiques et écologiques sera réalisée.

### **2.1 Justification de la méthode**

Le peuplement macroinvertébré perçoit et réagit à la variabilité des conditions environnementales dans un hydrosystème. Ce seront donc les organismes qui présentent les caractéristiques biologiques et les stratégies écologiques les plus appropriées à chaque type d'habitat de la mosaïque fluviale qui seront sélectionnés. Il paraît donc raisonnable d'affirmer que les organismes qui présenteront les combinaisons de caractéristiques biologiques et/ou écologiques les plus adaptées aux caractéristiques d'un habitat donné seront plus particulièrement rencontrés dans cet habitat.

Biomonitoring de la Meuse : analyse spatio-temporelle des peuplements macro-invertébrés (1998-2001)  
 Université de Metz - LBFE - Equipe de Démécologie  
 Usseglio-Polatera, P. & Beisel, J-N. (Décembre, 2003)

Tableau IV : Traits biologiques des macroinvertébrés benthiques et leurs modalités, utilisés dans cette étude.

Table IV : Biological traits and modalities (= categories) of benthic macroinvertebrates used in this study.

No.	Traits	No.	Modalities
1	Maximal size	1	≤ 0.5 cm
		2	> 0.5-1 cm
		3	> 1-2 cm
		4	> 2-4 cm
		5	> 4-8 cm
		6	> 8 cm
2	Life cycle duration	1	≤ 1 year
		2	> 1 year
3	Potential number of reproduction cycles per year	1	< 1
		2	1
		3	> 1
4	Aquatic stages	1	egg
		2	larva
		3	pupa
		4	adult
5	Reproduction technique	1	ovoviviparity
		2	isolated eggs, free
		3	isolated eggs, cemented
		4	clutches, cemented or fixed
		5	clutches, free
		6	eggs or clutches, in vegetation (endophytic)
		7	clutches, terrestrial
		8	asexual reproduction
6	Dispersal	1	aquatic passive
		2	aquatic active
		3	aerial passive
		4	aerial active
7	Resistance form	1	eggs, statoblasts, gemmules
		2	cocoons
		3	cells against desiccation
		4	diapause or dormancy
		5	none
8	Respiration	1	tégument
		2	gill
		3	plastron
		4	spiracle (aerial)
9	Locomotion and substrate relation	1	flier
		2	surface swimmer
		3	swimmer
		4	crawler
		5	burrower (epibenthic)
		6	interstitial (endobenthic)
		7	temporarily attached
		8	permanently attached
10	Food	1	fine sediment + microorganisms
		2	detritus < 1mm
		3	plant detritus > 1mm
		4	living microphytes
		5	living macrophytes
		6	dead animal > 1mm
		7	living macroinvertebrates
		8	living macroinvertebrates

Dans les systèmes d'eaux courantes, la structure et la dynamique des peuplements sont principalement gouvernées par des processus autécologiques (Townsend & Hildrew, 1994). Des relevés faunistiques sont donc susceptibles de restituer un ensemble d'informations claires non seulement (1) sur l'organisation et la diversité fonctionnelle des communautés benthiques, mais également (2) sur les propriétés de l'environnement colonisé (en termes de potentialités trophiques, niveau de stabilité, degré d'hétérogénéité spatiale, nature des perturbations éventuellement subies...) et sur leurs modifications éventuelles, compte tenu des combinaisons de traits biologiques et écologiques observées chez les organismes autochtones.

## 2.2 Codage de l'information biologique et écologique

Les connaissances autécologiques actuelles sur 21 traits biologiques et écologiques ont été synthétisées pour la plupart des taxons macrobenthiques (au niveau espèce, genre, ou famille) présents dans les cours d'eaux d'Europe Occidentale. Elles ont été résumées par utilisation de la **technique du « codage flou »** qui consiste à attribuer, à chaque taxon, une note d'affinité variant de 0 (affinité nulle) à 5 (affinité très forte) pour les différentes modalités qui définissent chaque trait (cf. Usseglio-Polatera, 1991, Bournaud *et al.*, 1992, Richoux, 1994 ; Tachet *et al.*, 1994, Usseglio-Polatera, 1994, Usseglio-Polatera *et al.*, 1994, Tachet *et al.*, 2000, Usseglio-Polatera *et al.*, 2000a).

**11 traits biologiques** et **10 traits écologiques** sont définis. Sont considérées comme variables 'biologiques', les variables qui correspondent à des caractéristiques morphologiques, physiologiques ou éthologiques du taxon (**Tableau IV**). Sont considérées comme 'variables écologiques', les variables qui décrivent les relations du taxon avec son biotope (**Tableau V**). Chaque variable s'exprime en différentes modalités « ordinales » ou « nominales ».

Une base de données, adaptée à la liste faunistique harmonisée retenue, a été constituée compilant et codant pour chaque taxon :

- (1) l'information connue sur certains **aspects de son cycle biologique** ('stades aquatiques', 'durée du cycle biologique', 'nombre annuel potentiel de générations', 'taille maximale potentielle'),
- (2) une évaluation de ses **aptitudes à la résistance et/ou à la résilience** à travers certains de ses traits biologiques ('potentiel de dissémination', 'mode de locomotion et relation au substrat', 'formes de résistance'),

Biomonitoring de la Meuse : analyse spatio-temporelle des peuplements macro-invertébrés (1998-2001)  
 Université de Metz - LBFE - Equipe de Démocécologie  
 Usseglio-Polatera, P. & Beisel, J-N. (Décembre, 2003)

Tableau V : Traits écologiques des macroinvertébrés benthiques et leurs modalités, utilisés dans cette étude.

Table V : Ecological traits and modalities (= categories) of benthic macroinvertebrates used in this study.

No.	Traits	No.	Modalities
1	Transversal distribution	1	river channel
		2	banks, connected side-arms
		3	ponds, pools, disconnected side-arms
		4	marshes, peat bogs
		5	temporary waters
		6	lakes
		7	groundwaters
2	Longitudinal distribution <sup>1</sup>	1	crenon
		2	epirithron
		3	metarithron
		4	hyporithron
		5	epipotamon
		6	metapotamon
		7	estuary
		8	outside river system
3	Altitude	1	lowlands (< 1000 m)
		2	mountain level (1000 - 2000 m)
		3	alpine level (> 2000 m)
4	Substrate (preference)	1	flags/boulders/cobbles/pebbles
		2	gravel
		3	sand
		4	silt
		5	macrophytes
		6	microphytes
		7	twigs/roots
		8	organic detritus/litter
		9	mud
5	Current velocity (preference)	1	null
		2	slow (< 25 cm.s <sup>-1</sup> )
		3	moderate (25 - 50 cm.s <sup>-1</sup> )
		4	fast (> 50 cm.s <sup>-1</sup> )
6	Trophic status (preference)	1	oligotrophic
		2	mesotrophic
		3	eutrophic
7	Salinity (preference)	1	freshwater
		2	brackish water
8	Temperature (preference)	1	cold (< 15 °C) - psychrophilic
		2	warm (> 15 °C) - thermophilic
		3	eurythermic
9	Saprobity	1	xenosaprobic
		2	oligosaprobic
		3	β-mesosaprobic
		4	α-mesosaprobic
		5	polysaprobic
10	pH (preference)	1	≤ 4
		2	> 4.4 - 5
		3	> 4.5 - 5
		4	≥ 5.5 - 6
		5	≥ 5.5 - 6
		6	> 6

<sup>1</sup>Illies & Botosaneanu (1963)

<sup>2</sup>Illies (1978)

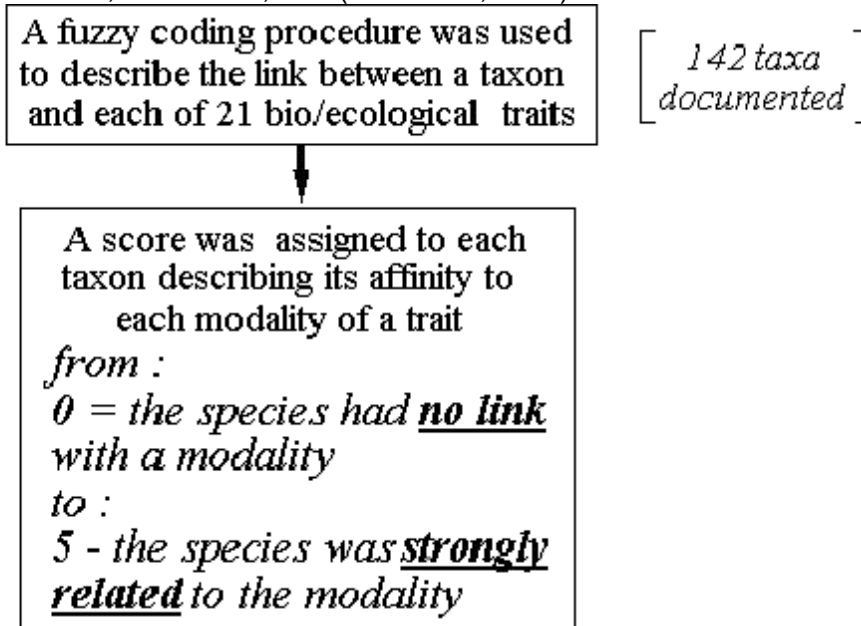
- (3) une description de **caractéristiques physiologiques et comportementales** plus générales ('technique de reproduction', 'nourriture', 'mode d'alimentation', 'mode de respiration').
- (4) une caractérisation de sa **répartition spatiale**, à plusieurs échelles d'observation ('distribution longitudinale', 'distribution transversale' et 'distribution altitudinale'),
- (5) ses **préférences en matière d'habitat**, pour le 'substrat', la 'vitesse du courant', la 'température', le 'pH' (i.e. sa sensibilité à l'acidification), et le degré de 'salinité',
- (6) une évaluation de son **degré de sensibilité aux perturbations** à travers sa 'valeur saprobiale' et du 'statut trophique' des eaux qu'il colonise.

Compte tenu des regroupements imposés par l'harmonisation systématique des données recueillies sur le terrain, le codage de cette information est réalisé au **niveau générique** pour l'ensemble des groupes faunistiques au moins déterminés à ce niveau systématique. Le **niveau famille** est retenu pour les autres groupes taxonomiques, à l'exception des Oligochètes qui seront traités en tant que tels (puisque traités au niveau de la « Classe » dans l'analyse faunistique).

### 2.3 Chaque taxon est caractérisé par un ensemble de profils biologiques et écologiques

Pour chaque taxon et pour chaque variable, un profil biologique et/ou écologique est donc obtenu (**Figure 2**). Ce profil peut être assimilé à une distribution de fréquences des affinités du taxon considéré pour les différentes modalités de la variable envisagée [soit, par exemple, **0/0/7,7%/23,1%/7,7%/7,7%/15,4%/30,8%/7,7%** pour un code initial de **0/0/1/3/1 /1/2/4/1**, caractérisant le genre *Agrypnia* (Trichoptera), pour la variable préférée en matière de 'substrat']. Un ensemble de 11 profils biologiques et 10 profils écologiques est donc obtenu pour chacun des 143 taxons intégrés à l'analyse des traits d'histoire de vie.

L'analyse des tableaux de profils [143 taxons x 59 modalités de 11 variables biologiques] et [143 taxons x 49 modalités de 10 variables écologiques] permet alors d'obtenir une typologie des caractéristiques biologiques et écologiques des taxons inventoriés sur l'ensemble des stations échantillonnées sur le profil longitudinal de la Meuse. Elle illustrera ainsi de manière synthétique l'information biologique et écologique connue sur le peuplement macrobenthique meusien actuel.



*Example :*

Trait	Modalities = Categories								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>Substrate</b> <i>(preferendum)</i>	flags boulders cobble pebbles	gravel	sand	silt	macrophytes	microphytes	branches roots	organic debris litter	mud
<b>Hydroptila</b> <i>(Affinity scores)</i>	2	2	1	0	5	2	1	1	1

***ecological profile of Hydroptila for the variable 'substrate':***

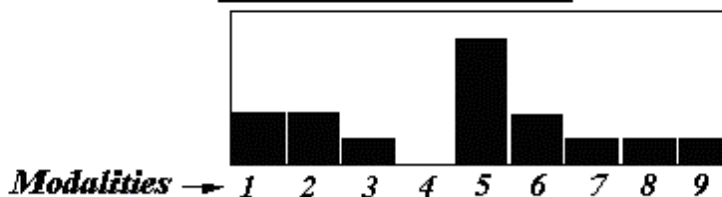


Figure 2 : Description de la procédure de codage utilisée pour résumer l'information autécologique d'origine bibliographique sur 142 taxons de macroinvertébrés benthiques

*Figure 2 : Fuzzy coding procedure used to synthesize autecological information from literature for 142 benthic macroinvertebrate taxa.*

### **3. Confrontation de la structure faunistique et de l'organisation des traits biologiques et écologiques des communautés stationnelles**

La structure faunistique des relevés et l'organisation simultanée des combinaisons de traits biologiques et écologiques observées dans les assemblages benthiques correspondants ont été confrontées sur la base du niveau de résolution taxonomique commun à chacun de ces deux tableaux.

Les confrontations de la structure faunistique à l'organisation des traits biologiques d'une part, à l'organisation des traits écologiques d'autre part ont été menées de manière séparée.

Elles devraient permettre d'apporter un certain nombre d'éléments de réponse à des questions telles que :

1 - Les structures faunistiques et la dynamique spatio-temporelle observées correspondent-elles à des communautés macrobenthiques présentant des combinaisons de traits biologiques et/ou écologiques particulières ?

2 - Peut-on utiliser ces combinaisons de traits biologiques et de stratégies écologiques en termes de bioindication et d'analyse du fonctionnement des biocénoses meusiennes ? Ces combinaisons de traits biologiques et écologiques sont-elles, par exemple, révélatrices d'un certain niveau de diversité et/ou de stabilité ou d'instabilité (donc de perturbation) environnementale des stations inventoriées ?

3 - Si un certain niveau de perturbation est identifié, peut-on, d'après les caractéristiques des différentes composantes des peuplements, préciser la nature éventuelle de ce (ou ces) facteurs(s) de perturbation ?

Cette analyse permettra en particulier de dégager une certaine évaluation de la diversité fonctionnelle des communautés stationnelles, ou encore les tendances manifestées par les taxons constitutifs de ces communautés, en termes de sensibilité ou de capacité à résister à certains types de stress. Elle permettra de comparer cette diversité fonctionnelle dans les différentes stations.

### **4. Diversité taxonomique et diversité bio-écologique**

La « biodiversité » *sensu lato* d'un écosystème est le plus souvent évaluée sur des critères purement « taxonomiques » (cf. l'indice de diversité de Shannon et Weaver, 1949). Elle ne préjuge pas de la diversité des traits biologiques et

écologiques des organismes qui vivent simultanément dans le même « habitat ». Or, on peut supposer que la diversité des combinaisons de traits bio/écologiques dans une communauté est **directement liée** à la diversité des niches écologiques offertes par l'écosystème. Il paraît donc judicieux d'essayer d'évaluer cette diversité en traits.

Une solution consiste à essayer de définir des groupes d'organismes (non taxonomiques) homogènes quant à leurs combinaisons de traits biologiques (option 1), écologiques (option 2) ou bio-écologiques (option 3), puis d'étudier la distribution des assemblages faunistiques stationnels à l'intérieur de ces différents groupes, suivant la procédure décrite par Usseglio-Polatera *et al.* (2000b, 2001).

La démarche sera appliquée aux 16 stations du profil longitudinal de la Marne pour les 3 campagnes d'échantillonnage.

## **5. Bilan général et définition de groupes faunistiques indicateurs**

Un bilan général de la qualité biologique de la Meuse est envisagé.

Une identification de groupes faunistiques indicateurs, mis en évidence sur la base de combinaisons de traits biologiques et écologiques communs et/ou de profils de répartition longitudinale similaires (i.e., dans des situations environnementales comparables) est recherchée.

Une classification (distance euclidienne + agglomération hiérarchique suivant la méthode de Ward, 1963) des taxons répertoriés sur la Meuse au cours des 3 années de suivi est réalisée sur la base de leurs distributions d'abondances. Elle a permis d'individualiser un certain nombre de groupes d'organismes.

Les profils d'abondance des taxons de chacun de ces groupes, le long du profil longitudinal, sont cartographiés.

Les principaux résultats obtenus en termes de qualité biologique de la Meuse sont résumés.

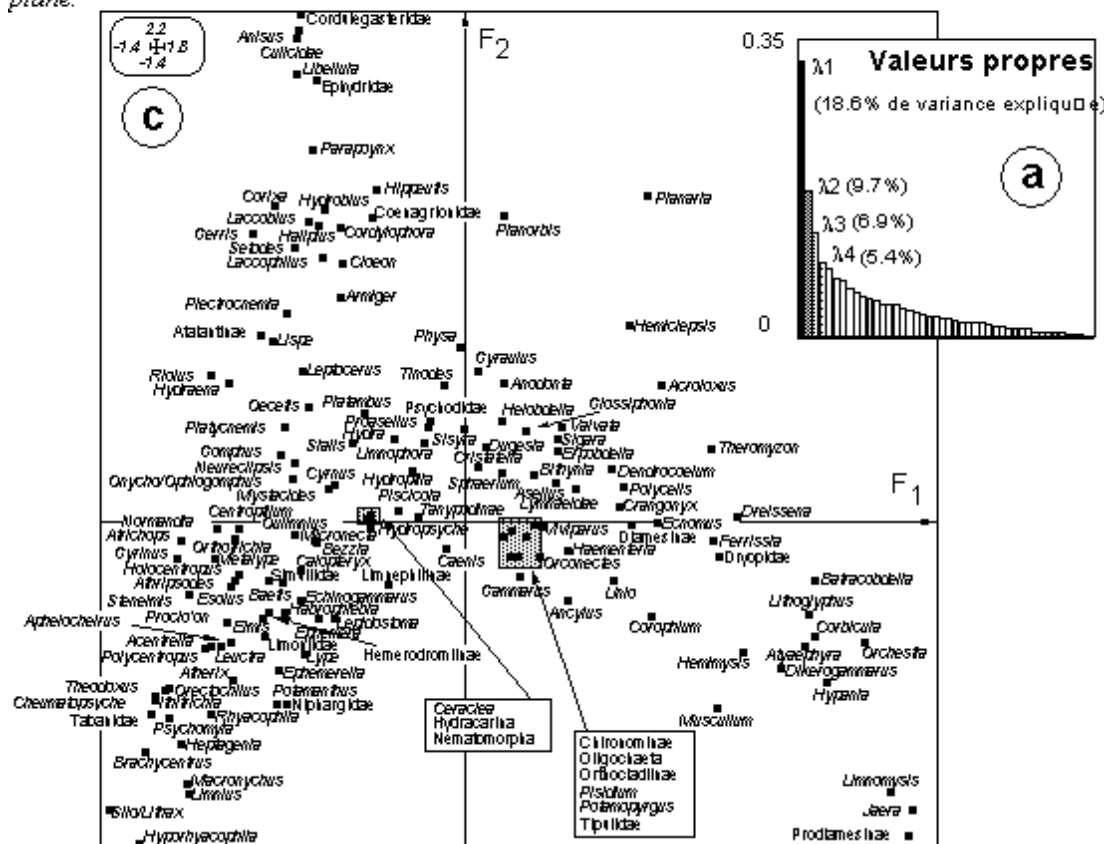
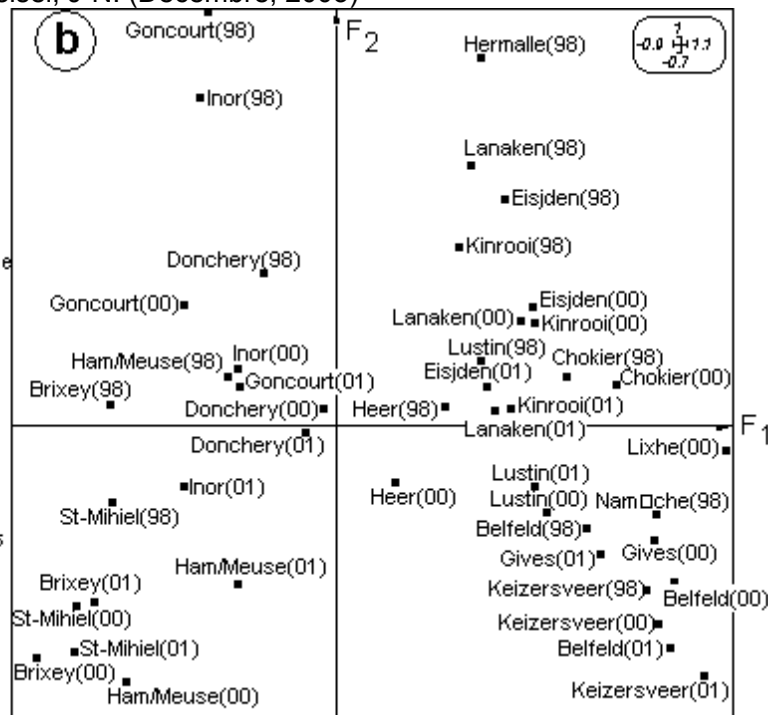
## **6. Analyse et hiérarchisation des principaux effets spatiaux et temporels**

Dans l'optique d'une optimisation du biomonitoring de la Meuse utilisant les macroinvertébrés benthiques, une comparaison des données fournies par les différentes méthodes d'échantillonnage [échantillonnage (1) du substrat littoral,



Figure 3 : Résultats de l'AFC appliquée au tableau [145 taxons x 45 relevés] : (a) Histogramme des valeurs propres. (b) Positions (carrés noirs) des 45 relevés dans le plan factoriel F1-F2 de l'analyse. Chaque relevé est identifié par le nom de la station échantillonnée et l'année d'échantillonnage (98 = 1998; 00 = 2000; 01 = 2001). (c) Positions des 145 taxons (carrés noirs) dans le plan factoriel F1-F2.

Figure 3 : Ordination of stations and taxa by correspondence analysis. (a) Histogram of eigenvalues. (b) Distribution of 45 site-samples (black squares) on the F1-F2 factorial plane. Labels gives both the sampled site and the year of sampling within brackets (98 = 1998; 00 = 2000; 01 = 2001). (c) Distribution of taxa (black squares) on the F1-F2 factorial plane.



(2) des cailloux littoraux et (3) des végétaux rivulaires par filet Surber ou filet troubleau, (4) dragage du chenal principal, et (5) utilisation de substrats artificiels] est réalisée, de façon à éventuellement préciser les recommandations établies sur la base de la comparaison des résultats de la première campagne lors du rapport précédent (Usseglio-Polatera & Beisel, 1999).

1 - Après décomposition des listes faunistiques stationnelles en 5 listes correspondant aux 5 techniques de prélèvement, élimination des relevés azoïques ( $n = 3$ ) ou à effectifs extrêmement faibles (4 relevés d'effectif total inférieur à 8 ont été soustraits à l'analyse) le tableau général des données [199 relevés élémentaires (= *stations x méthodes x dates*) x 145 taxons] est traité par Analyse Factorielle des Correspondances (AFC).

La variance expliquée par chacun des effets majeurs (spatial = inter-stationnel, temporel = inter-annuel, méthodologique = inter-méthodes d'échantillonnage) et chacune des inter-actions est évaluée. Une hiérarchisation des effets attendus est établie et discutée.

2 - De façon à préciser l'influence de l'effet "méthodologique", en fait couplé à l'effet "habitat" puisque les habitats échantillonnés avec les différents engins sont - eux-mêmes - différents, une analyse "inter-méthodes" est appliquée au tableau précédent. Cette analyse "inter-classes" permettra la prise en compte de l'effet méthodologique (*sensu lato* = effet méthode + effet habitat), en réduisant au maximum l'influence des autres facteurs de variation des listes faunistiques.

3 - Une analyse "inter-stations" permettra enfin la prise en compte du "seul" effet "interstationnel", particulièrement intéressant pour résumer l'évolution des peuplements macrobenthiques le long du profil longitudinal de la Meuse.

## V. RESULTATS / DISCUSSION

### 1. Structure faunistique

#### 1.1. Analyse du tableau faunistique stationnel

Le tableau faunistique réunissant les abondances (exprimées sous forme logarithmique) de 146 taxons dans les 45 relevés stationnels (toutes méthodes d'échantillonnage confondues) est traité par Analyse Factorielle des Correspondances (A.F.C.). Les Figures 3 et 4 présentent les résultats obtenus.

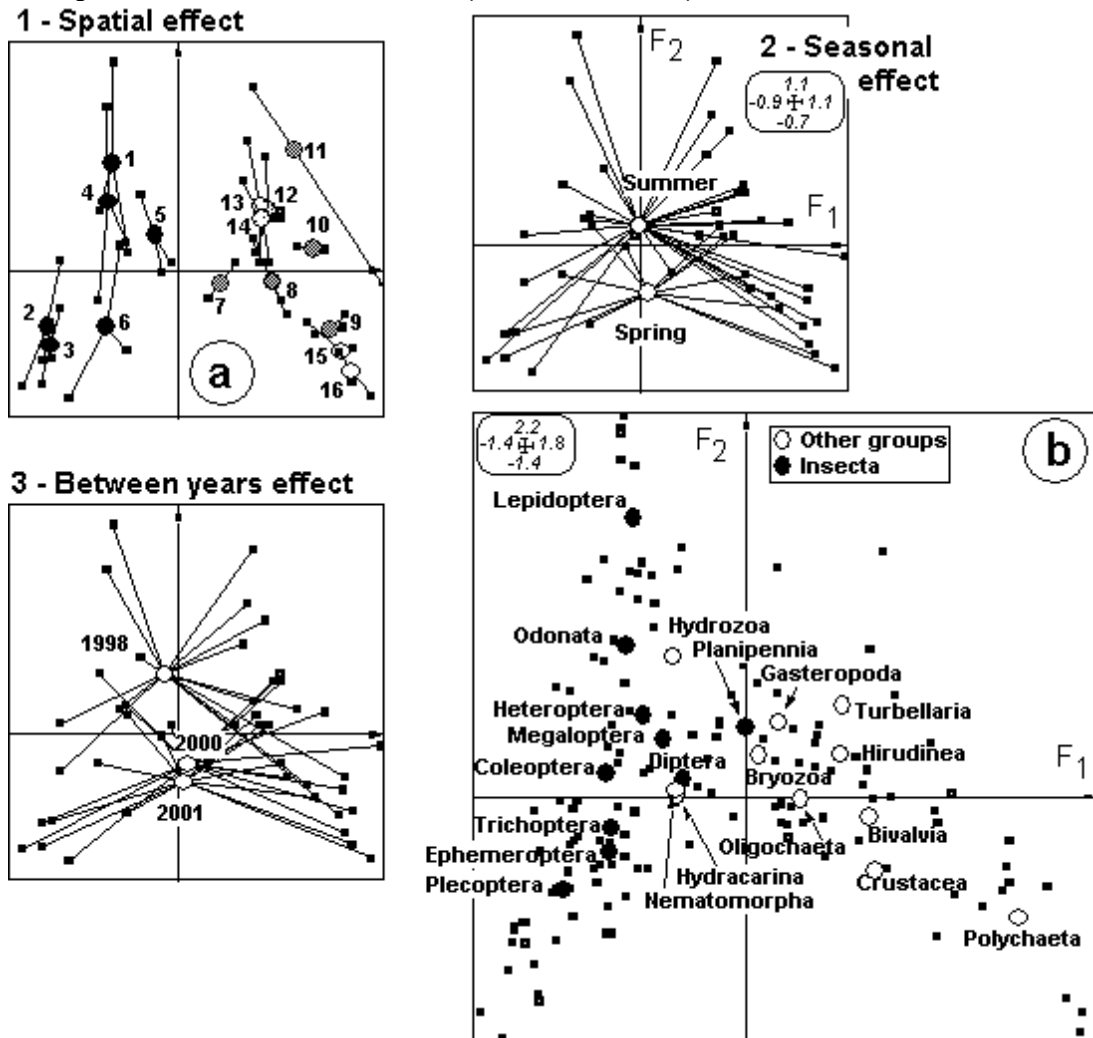


Figure 4 : Résultats de l'AFC appliquée au tableau [145 taxons x 45 relevés] : (a1) Mise en évidence d'un effet spatial : position moyenne (cercle) des 16 stations dans le plan factoriel F1-F2 de l'analyse. Chaque station est située à la moyenne pondérée des positions des relevés (carrés noirs) réalisés dans cette station au cours des 3 campagnes, (a2) Mise en évidence d'un effet saisonnier : position moyenne (cercle) des 2 saisons échantillonnées dans le plan factoriel F1-F2 de l'analyse. Chaque station est située à la moyenne pondérée des positions des sites (carrés noirs) échantillonnés au cours de cette saison, (a3) Mise en évidence d'un effet inter-annuel : position moyenne (cercle) des 3 années échantillonnées dans le plan F1-F2 de l'analyse. Chaque année est située à la moyenne pondérée des positions des relevés (carrés noirs) réalisés au cours de cette année. (b) Position moyenne (cercles) de 21 groupes faunistiques dans le plan factoriel F1-F2 de l'analyse. Chaque groupe est positionné à la moyenne pondérée des positions (carrés noirs) des taxons qui appartiennent à ce groupe (pour plus détails, consulter la figure 3c).

Figure 4 : Ordination of stations and taxa by correspondence analysis. (a1) Spatial effect: Distribution of 16 sites (circles) on the F1-F2 factorial plane that are positioned at the weighted average of their samples; (a2) Seasonal effect: Distribution of 2 seasons (circles) on the F1-F2 factorial plane that are positioned at the weighted average of the corresponding samples; (a3) Distribution of years (circles) on the F1-F2 factorial plane that are positioned at the weighted average of the corresponding samples; (b) Distribution of 21 faunal groups (circles) on the F1-F2 factorial plane that are positioned at the weighted average of their taxa (ie., species, genera, sub-families and/or families = small black squares) locations. Labels of taxa are indicated on Figure 3c.

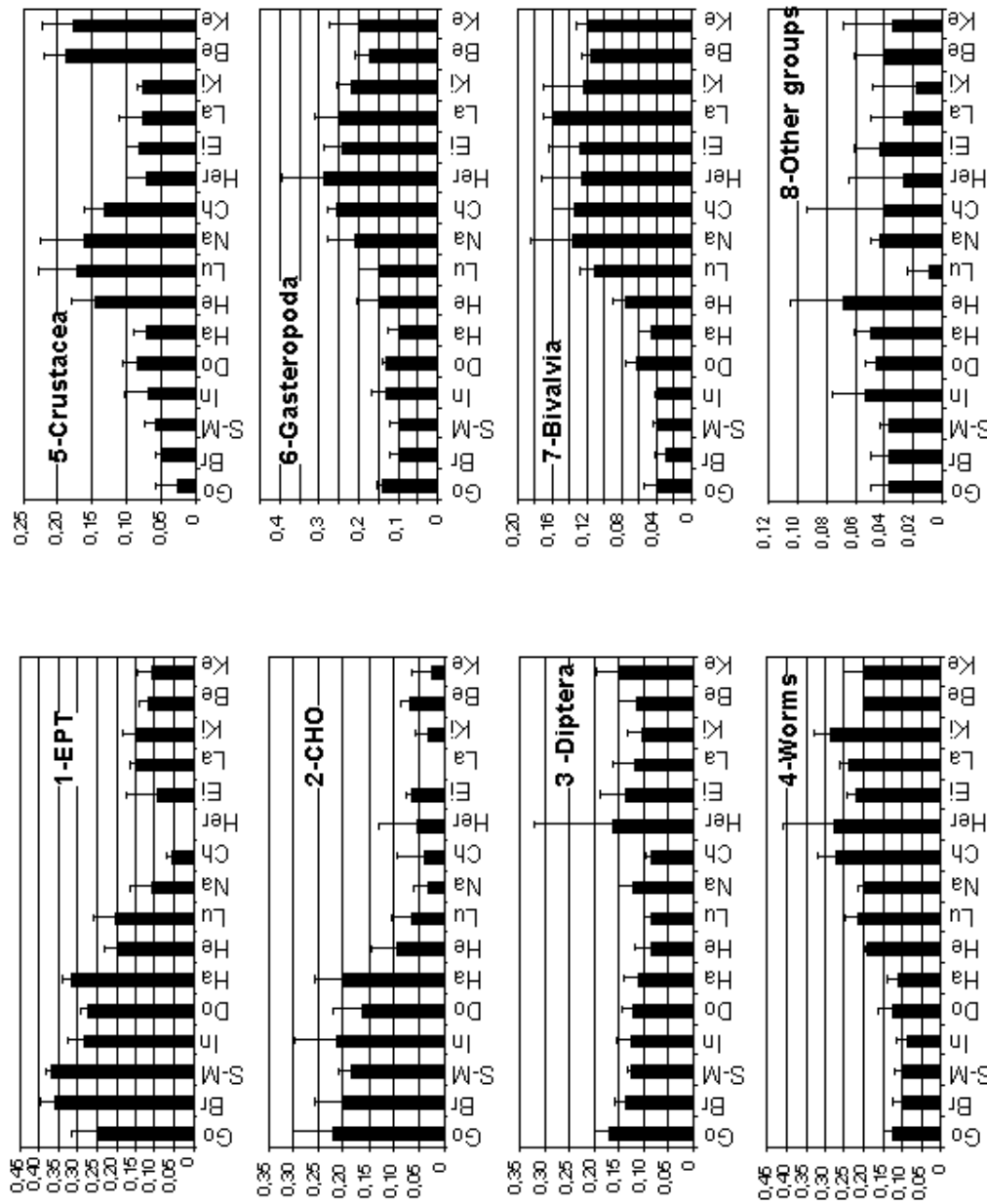


Figure 5 : Evolution de la fréquence relative moyenne de 8 grands groupes faunistiques, en termes de richesse taxonomique, le long du profil longitudinal de la Meuse. 1-EPT = Ephemeroptera-Plecoptera-Trichoptera; 2-CHO = Coleoptera-Heteroptera-Odonata et autres ordres d'insectes (excepté les Diptères); 3-Diptera; 4-Vers = Oligochaeta-Achaeta-Polychaeta-Turbellaria-Nematomorpha; 5-Crustacea; 6-Gasteropoda; 7-Bivalvia; 8-Autres groupes.

Figure 5 : Mean relative frequency of eight faunal groups, in terms of taxonomic richness, along the longitudinal gradient of the Meuse River. 1-EPT = Ephemeroptera-Plecoptera-Trichoptera; 2-CHO = Coleoptera-Heteroptera-Odonata and other Insecta orders (except Diptera); 3-Diptera; 4-Worms = Oligochaeta-Achaeta-Polychaeta-Turbellaria-Nematomorpha; 5-Crustacea; 6-Gasteropoda; 7-Bivalvia; 8- Other groups.

L'examen de l'histogramme des valeurs propres (Figure 3a) souligne l'importance du premier facteur dans la description de la structure du tableau analysé (18,5 % de variance expliquée). Ce premier facteur oppose globalement les stations françaises (stations 1 à 6 à coordonnées négatives sur F1, Figure 4a) à l'ensemble des stations situées plus en aval (coordonnées positives sur F1). Sur ces deux secteurs cependant, la position relative des différentes stations ne respecte que partiellement le gradient longitudinal, et pourrait plus correspondre à un gradient croissant de perturbation (*sensu lato*), en partie liée à l'artificialisation des rives et à la présence ou non d'un trafic fluvial important (notamment sur le secteur le plus en aval (535-943 km). Ainsi, les stations françaises naturelles non (F1 nettement négatif) ou peu naviguées (F1 légèrement négatif), sont suivies par les stations wallonnes en amont de Namur plus artificialisées et navigables (F1 légèrement positif), puis par les stations wallonnes du secteur Namur-Liège très artificialisées et subissant un trafic à gros gabarit (e.g. Namèche ; F1 positif x F2 légèrement négatif) et les stations néerlandaises les plus en aval (e.g. Belfeld et Keizersveer ; F1 positif x F2 nettement négatif). Toutes les stations wallonnes, flamandes et néerlandaises de la Meuse non naviguées et de la Meuse mitoyenne (e.g. Lanaken, Kinrooi) se démarquent par contre des autres stations du même secteur (F2 nettement positif).

D'un point de vue faunistique (Figures 3b et 4b), l'évolution longitudinale observée se traduit non seulement par une réduction importante de la diversité et de l'abondance des principaux groupes d'insectes considérés comme polluosensibles - les Plécoptères, les Ephéméroptères et les Trichoptères (= EPT) - mais également par une réduction encore plus significative des groupes traditionnellement plus largement représentés dans les habitats lenticques comme les Hétéroptères, les Coléoptères et les Odonates (= CHO), dans le peuplement macrobenthique meusien.

Ceci est confirmé par l'évolution de la fréquence relative des EPT et des CHO le long du profil longitudinal, tant en termes "d'abondance numérique" qu'en terme de "richesse taxonomique" (Figures 5 et 6).

En effet les Ephéméroptères/Plécoptères/Trichoptères représentent en moyenne 10,1 à 32,3 % des effectifs et 24,5 à 36,5 % des taxons sur le secteur Goncourt-Ham-sur-Meuse. Ils ne contribuent qu'à raison de 0 à 7,2 % des effectifs seulement, et 0 à 19,8 % des taxons sur le secteur Heer-Eijsden. Si Lanaken présente un peuplement à densité d'EPT comparable à celle observée

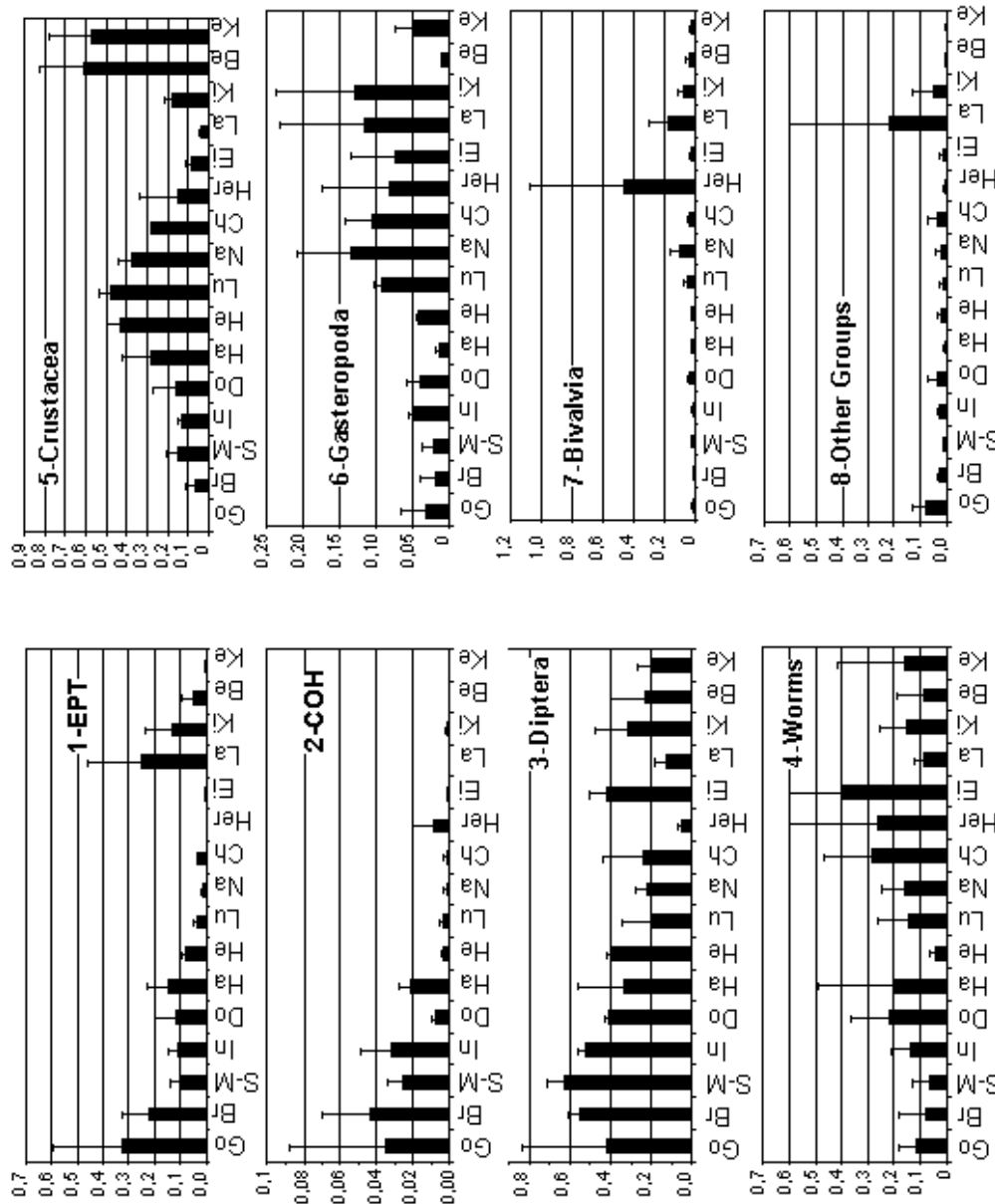


Figure 6 : Evolution of the mean relative frequency of eight faunal groups, in terms of numerical richness (= abundance), along the longitudinal gradient of the Meuse River. 1-EPT = Ephemeroptera-Plecoptera-Trichoptera; 2-CHO = Coleoptera-Heteroptera-Odonata and other insecta orders (except Diptera); 3-Diptera; 4-Worms = Oligochaeta-Achaeta-Polychaeta-Turbellaria-Nematomorpha; 5-Crustacea; 6-Gasteropoda; 7-Bivalvia; 8-Other groups.

sur le secteur français (24,9 %), traduisant une "récupération locale" de la Meuse sur ce site (liée à l'absence de navigation ?), la richesse (taxonomique) en EPT observée est néanmoins nettement plus faible (14,2 %). La richesse taxonomique élevée des EPT dans les stations 2 (Brixey-aux-Moines), 3 (Saint Mihiel) et 6 (Ham-sur-Meuse) justifie les coordonnées "très" négatives de ces trois stations sur l'axe 1. Elles traduisent sans doute une diversité plus forte de la mosaïque d'habitats sur ces trois sites, avec sans doute une proportion plus forte d'habitats de faciès lotique.

Une présence préférentielle de taxons rhéophiles tels que les Plécoptères *Leuctra* sp. et *Euleuctra geniculata*, les Trichoptères Goeridae, *Rhyacophila* sp., *Hyporhyacophila* sp., *Brachycentrus subnubilus*, *Psychomyia pusilla*, *Lepidostoma hirtum*, *Cheumatopsyche lepida*, les Ephéméroptères *Habrophlebia* sp., *Ephemera* spp., *Heptagenia* sp., *Ephemerella ignita*, les Coléoptères *Limnius* sp., *Macronychus* sp., *Esolus* sp., *Stenelmis* sp., et les Diptères Simuliidae est d'ailleurs observée dans ce groupe de stations. Du fait de leurs exigences physiologiques (respiratoires) ou de leur mode d'alimentation (filtration avec éventuellement constitution d'un filet piège ou d'une galerie de soie) ces organismes vont en effet exploiter une gamme déterminée de vitesse de courant sur substrat stable, qui restreint plus ou moins strictement leur distribution .

Les stations de Goncourt (à proximité de la source), de Ino r et Donchéry, forment un second groupe de sites parmi les stations françaises. Elles correspondent sans doute à un faciès plus lentique, et sont d'ailleurs caractérisées par des communautés plus limnophiles.

La tendance observée pour les EPT est également constatée pour l'ensemble Coléoptères/Hétéroptères/Odonates qui représentent entre 16,4 et 22,3 % des taxons et 0,7 à 4,3 % des effectifs sur le secteur français, de 0 à 9,5 % des taxons et toujours moins de 1 % (de 0 à 0,9 %) des effectifs plus en aval (sauf à Hermalle), malgré le caractère souvent (mais pas toujours) lénitophile de ces taxons. Une diversité mésologique et une stabilité plus faibles des habitats (principalement rivulaires) de faciès lentique (liées à l'anthropisation et/ou la banalisation des berges, un trafic fluvial important impliquant un lessivage périodique des rives) dans le secteur aval, sans doute associées à des niveaux de contamination plus importants des sédiments peuvent justifier cette évolution .

La station de Goncourt, à proximité de la source et les stations plus en aval sont caractérisées par des communautés plus limnophiles. Le peuplement

macroinvertébré présente dans la station de Goncourt, une richesse importante en Odonates (*Erythromma* sp., *Anax* sp., *Libellula* sp., *Coenagrion* sp. ...), Coléoptères (*Hydrobius* sp., *Haliphus* sp., *Hyphydrus* sp., *Enochrus* sp.) et Hétéroptères (*Ilyocoris cimicoides*), dont les effectifs des genres respectifs sont le plus souvent faibles, mais dont la présence simultanée est écologiquement très informative.

Les insectes, dominants (en richesse et en effectifs) sur les stations françaises, sont ensuite progressivement et successivement remplacés par des Crustacés dominants sur le secteur wallon (14,3 à 48,0 % des effectifs et 7,2 à 17,2 % des taxons) et sur les deux stations néerlandaises de Belfeld et Keizersveer (56,6 à 60,8 % des effectifs et 17,6 à 18,9 % des taxons), des Vers (Oligochètes, Achètes, Polychètes et Turbellariés) des Gastéropodes et des Bivalves, en proportions élevées sur les secteurs Chokier-Eijsden, Lustin-Kinrooi (surtout en termes d'abondances) et Lustin-Keizersveer (principalement en termes de richesse), respectivement.

Il est à noter que le peuplement du secteur-aval néerlandais (15-Belfeld, 16-Keizersveer) et de la partie médiane du secteur wallon (8-Lustin, 9-Namèche) est caractérisé par un cortège d'espèces *Jaera istri*, *Atyaephyra desmarestii*, *Dikerogammarus villosus*, *Chelicorophium curvispinum*, *Hemimysis anomala*, *Limnomysis benedeni*, *Orchestia cavimana* (Crustacea), *Musculium lacustre*, *Corbicula fluminea* (Bivalvia) *Hypania in valida* (Polychaeta) (Figure 3c), toutes considérées comme des espèces exotiques à caractère proliférant, invasifs récents. Ces stations présentent d'ailleurs parmi les plus fortes fréquences relatives d'espèces invasives dans leur peuplement benthique, signe d'une certaine fragilité des communautés de macroinvertébrés (Figure 7).

La distribution de s relevés suivant l'axe 2 illustre en partie la dynamique temporelle des taxons sur la période d'étude; l'année 1998 étant, par sa structure faunistique, assez nettement séparée des deux autres années d'échantillonnage (Figure 4a). Les taxons à coordonnée positive sur F2 sont les taxons dont les effectifs ont plutôt tendance à diminuer au cours de la période d'étude, contrairement aux taxons à coordonnée très négative sur F2 (dont la plupart des invasifs récents) qui manifestent plutôt une croissance de leurs effectifs sur cette même période.

Les variations saisonnières observées (Figure 4a), limitées, sont toutefois difficiles à interpréter dans la mesure où, compte tenu du plan d'échantillonnage, la variabilité saisonnière est difficilement dissociable de la variabilité interannuelle.



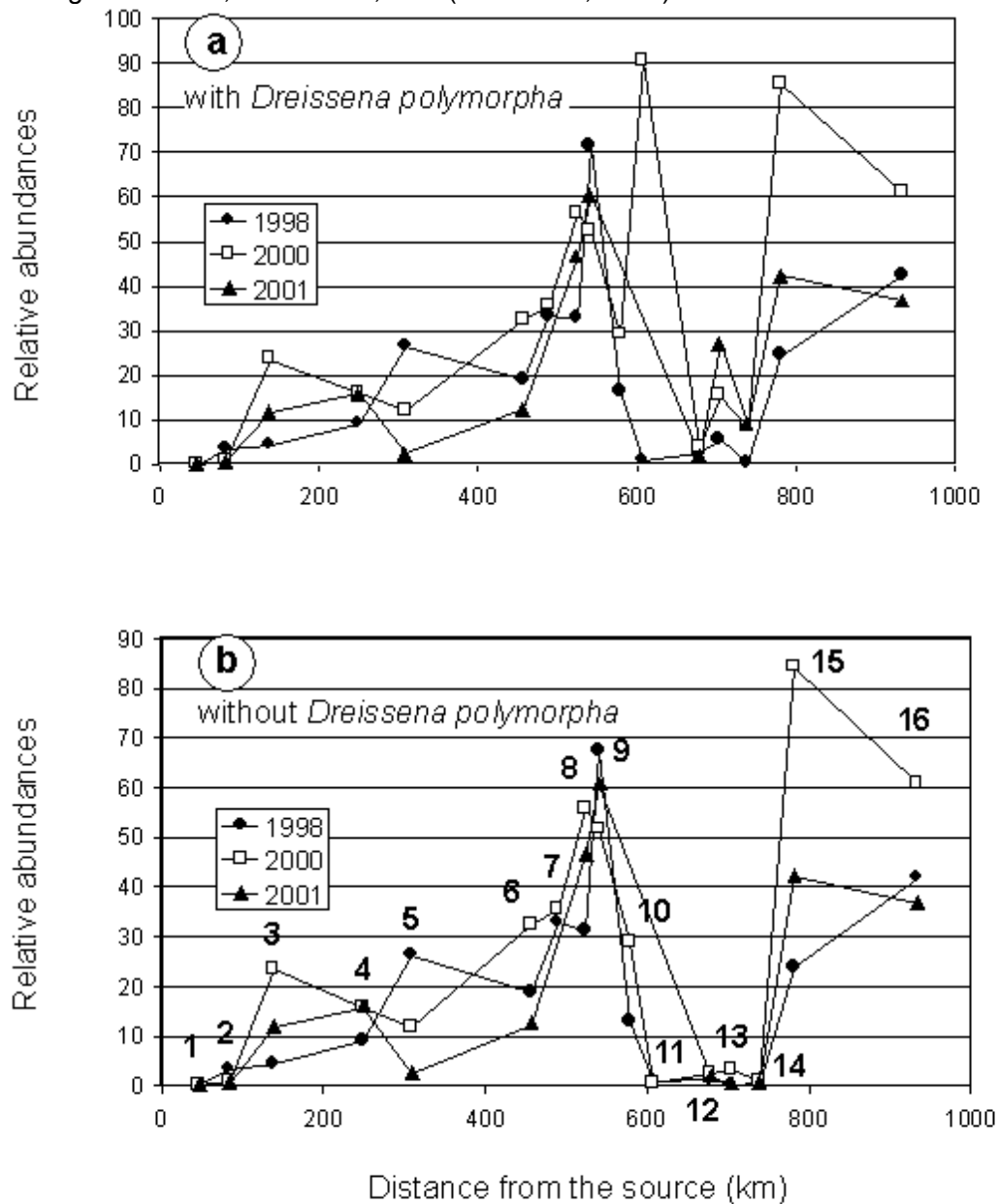


Figure 7 : Evolution de l'abondance relative des espèces invasives dans le peuplement macrobenthique de la Meuse. (a) *Dreissena polymorpha* comprise; (b) *Dreissena polymorpha* non comprise. "1" à "16" = codes des sites d'échantillonnage : 1 = Goncourt, 2 = Briey, 3 = Saint-Mihiel, 4 = Inor, 5 = Donchery, 6 = Ham-sur-Meuse, 7 = Heer, 8 = Lustin, 9 = Namêche/Gives, 10 = Chokier, 11 = Hermalle/Lixhe, 12 = Eijsden, 13 = Lanaken, 14 = Kinrooi, 15 = Belfeld, 16 = Keizersveer.

Figure 7 : Relative abundance of alien species in the macrobenthic community of the Meuse River. (a) with *Dreissena polymorpha*; (b) without *Dreissena polymorpha*. "1" to "16" = labels of sampling sites : 1 = Goncourt, 2 = Briey, 3 = Saint-Mihiel, 4 = Inor, 5 = Donchery, 6 = Ham-sur-Meuse, 7 = Heer, 8 = Lustin, 9 = Namêche/Gives, 10 = Chokier, 11 = Hermalle/Lixhe, 12 = Eijsden, 13 = Lanaken, 14 = Kinrooi, 15 = Belfeld, 16 = Keizersveer.

La proportion de taxons exotiques considérés comme invasifs (tous groupes faunistiques confondus) le long du profil longitudinal constitue une part croissante du peuplement macrobenthique de Goncourt (proportion inférieure à 0,1 %) au secteur Namèche-Gives (25,5 – 60,5 % du peuplement ; Figure 7). Cette proportion est plus faible - mais croissante - sur la période d'étude, sur le secteur Eisjden-Lanaken (0,3 à 5,5 % en 1998 ; 2,0 à 26,9 % en 2001). Le résultat très contrasté sur la station « 11 » est lié au changement de site d'étude entre 1998 (Hermalle) et 2000 (Lixhe). Ces deux stations sont en effet de typologie totalement différente et sont donc difficilement « comparables » (Vanden Bossche *et al.*, 1999). Cette proportion augmente ensuite fortement sur le secteur Belfeld-Keisersveer, mais avec des variations inter-annuelles considérables (24,3 – 42,4% en 1998 ; 60,9 – 84,9 % en 2000 ; 36,8 – 42,4 % en 2001). La revérification d'une partie des déterminations du groupe des Crustacés Amphipodes (dans les substrats artificiels, uniquement), effectuée par l'équipe du Professeur Guy Josens ne modifie finalement que très légèrement le profil de distribution des taxons invasifs le long du profil longitudinal de la Meuse (cf. Figure équivalente de la première version de ce rapport).

## 1.2. Indices de structure

La description "multicritères" de la structure taxonomique des peuplements benthiques, est réalisée par le biais de la richesse numérique (Q), la richesse taxonomique (S), la diversité taxonomique (H' de Shannon-Weaver) et l'équitabilité (J' de Pielou). L'analyse est effectuée à l'échelle stationnelle (toutes méthodes d'échantillonnage confondues; Figure 8), et reproduite pour les résultats fournis par chaque méthode d'échantillonnage (Figure 9 à Figure 12). A l'échelle stationnelle, une réduction significative de la richesse numérique ( $r = -0,478$ ,  $v = 43$ ;  $p < 0,0005$  - Figure 8a) et surtout de la richesse spécifique ( $r = -0,798$ ,  $v = 43$ ;  $p = 10^{-11}$  - Figure 8b) est observée le long du profil longitudinal, alors que l'équitabilité a plutôt tendance à augmenter ( $r = 0,350$ ,  $v = 43$ ;  $p = 0,009$  - Figure 8d).

La densité importante du peuplement dans la station de Goncourt en 2000 est essentiellement liée à la présence ponctuelle de nombreux Spongillidae (sous forme de gemmules). En éliminant des effectifs stationnels les taxons chez lesquels la notion d' "individu " est parfois délicate à définir (Bryozoa, Porifera), la relation négative entre richesse numérique et distance à la source demeure ( $r = -0,412$ ,  $v = 43$ ;  $p < 0,0025$ ).

En termes de richesse numérique (Q), les résultats obtenus avec chaque méthode d'échantillonnage, pris de manière indépendante, sont beaucoup plus

Biomonitoring de la Meuse : analyse spatio-temporelle des peuplements macro-invertébrés (1998-2001)  
 Université de Metz - LBFE - Equipe de Démécologie  
 Usseglio-Polatera, P. & Beisel, J-N. (Décembre, 2003)

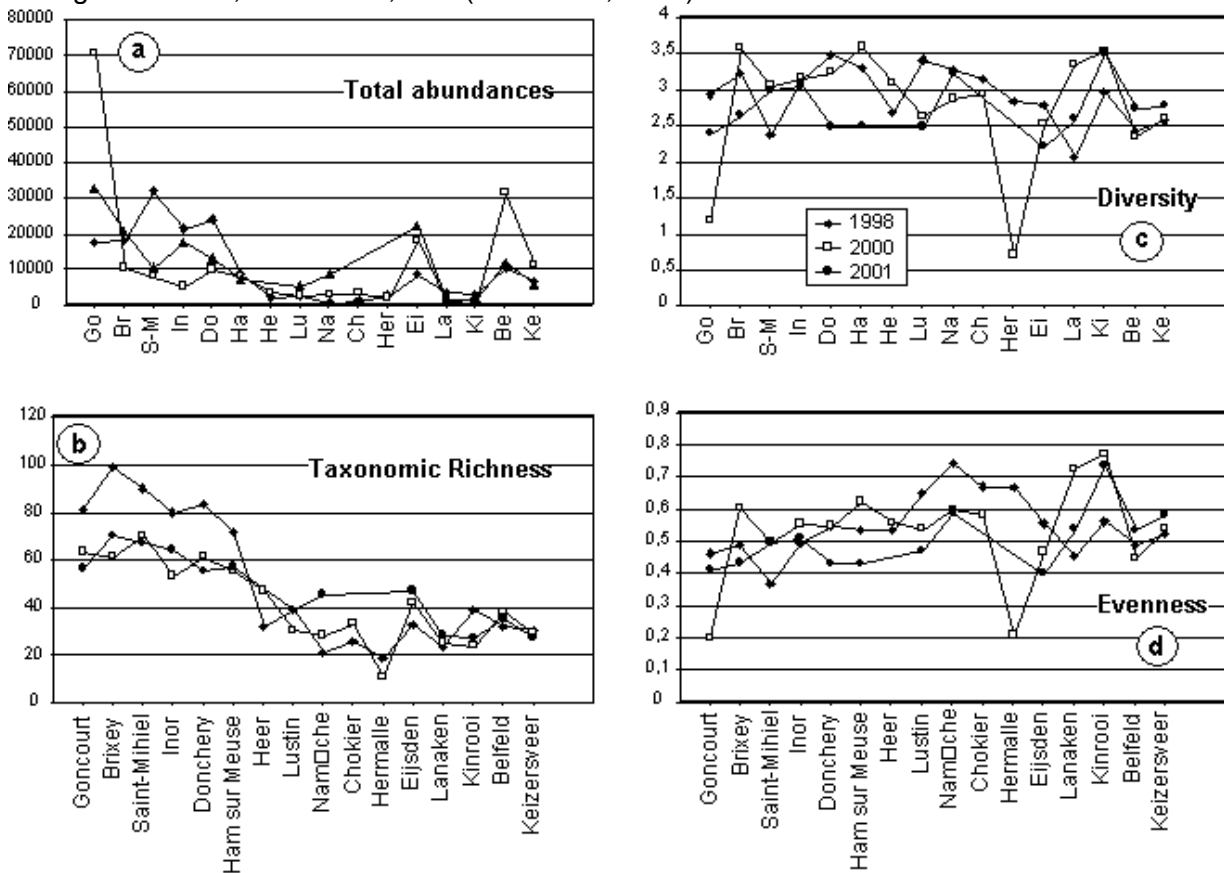


Figure 8 : (a) Richesse numérique, (b) richesse taxonomique, (c) diversité taxonomique (indice  $H'$  de Shannon-Weaver) et (d) équitabilité (indice de Pielou) du peuplement des macroinvertébrés benthiques de la Meuse, le long de son profil longitudinal, au cours des 3 campagnes d'échantillonnage.

Figure 8 : (a) Numerical richness, (b) taxonomic richness, (c) taxonomic diversity (Shannon-Weaver index :  $H'$ ) and (d) evenness (Pielou index) characterizing the benthic macroinvertebrate community along the longitudinal gradient of the Meuse River, during the 3 sampling campaigns

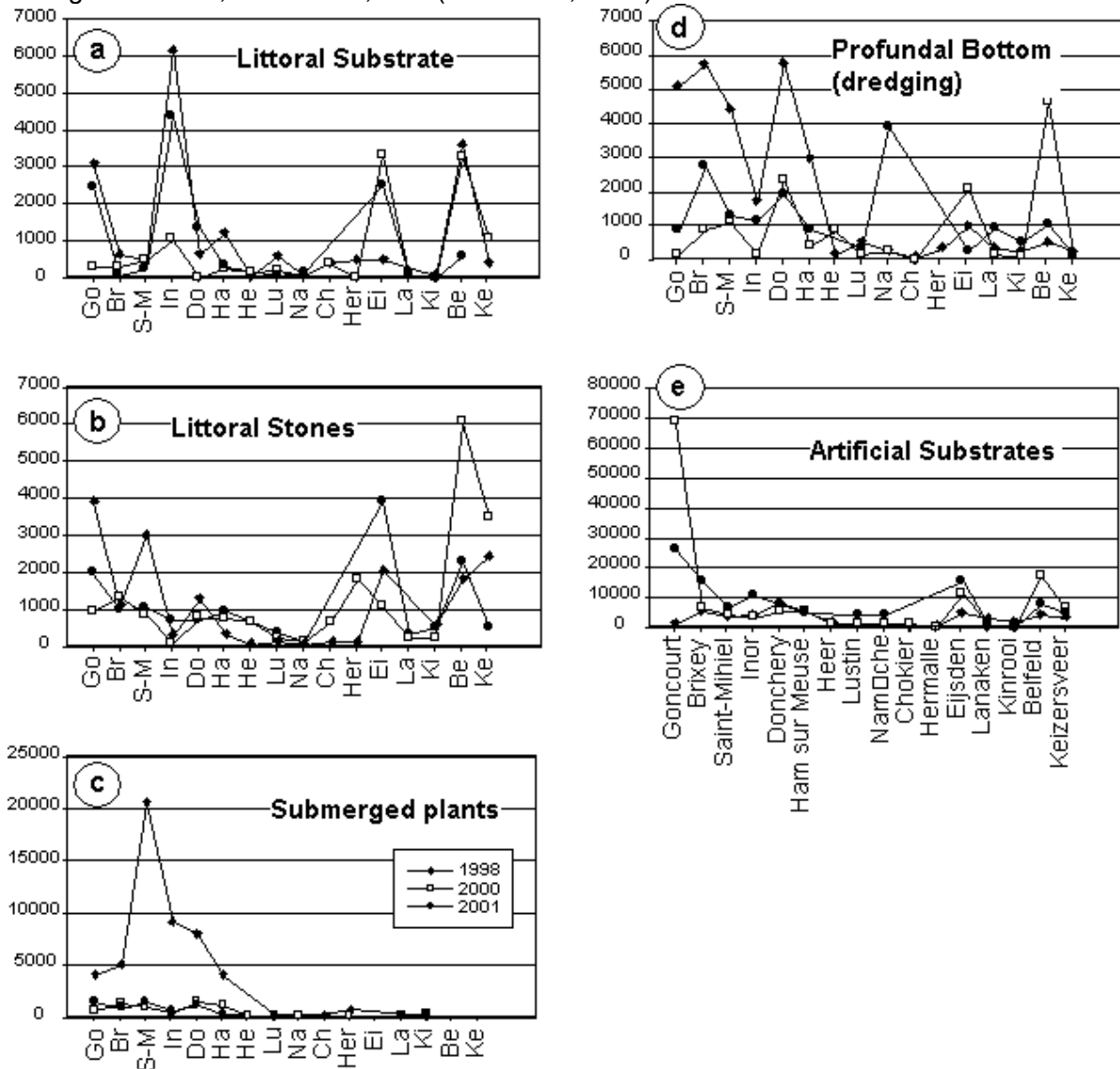


Figure 9 : Richesse numérique stationnelle du peuplement macrobenthique de la Meuse, calculée sur les listes faunistiques obtenues par les différentes méthodes d'échantillonnage, au cours des 3 campagnes d'échantillonnage. (a) Substrat littoral (filet); (b) Pierres littorales (filet); (c) Végétaux aquatiques (filet); (d) Substrat profond (dragage) et (e) Substrats artificiels.

Figure 9 : Numerical richness (= abundance) of the benthic macroinvertebrate community along the longitudinal gradient of the Meuse River, during the 3 sampling campaigns. Abundances were calculated on faunal lists obtained with different sampling methods: (a) Littoral substrate (hand net); (b) Littoral stones (hand net); (c) Submerged plants (hand net); (d) profundal bottom (dredging); (e) artificial substrates.

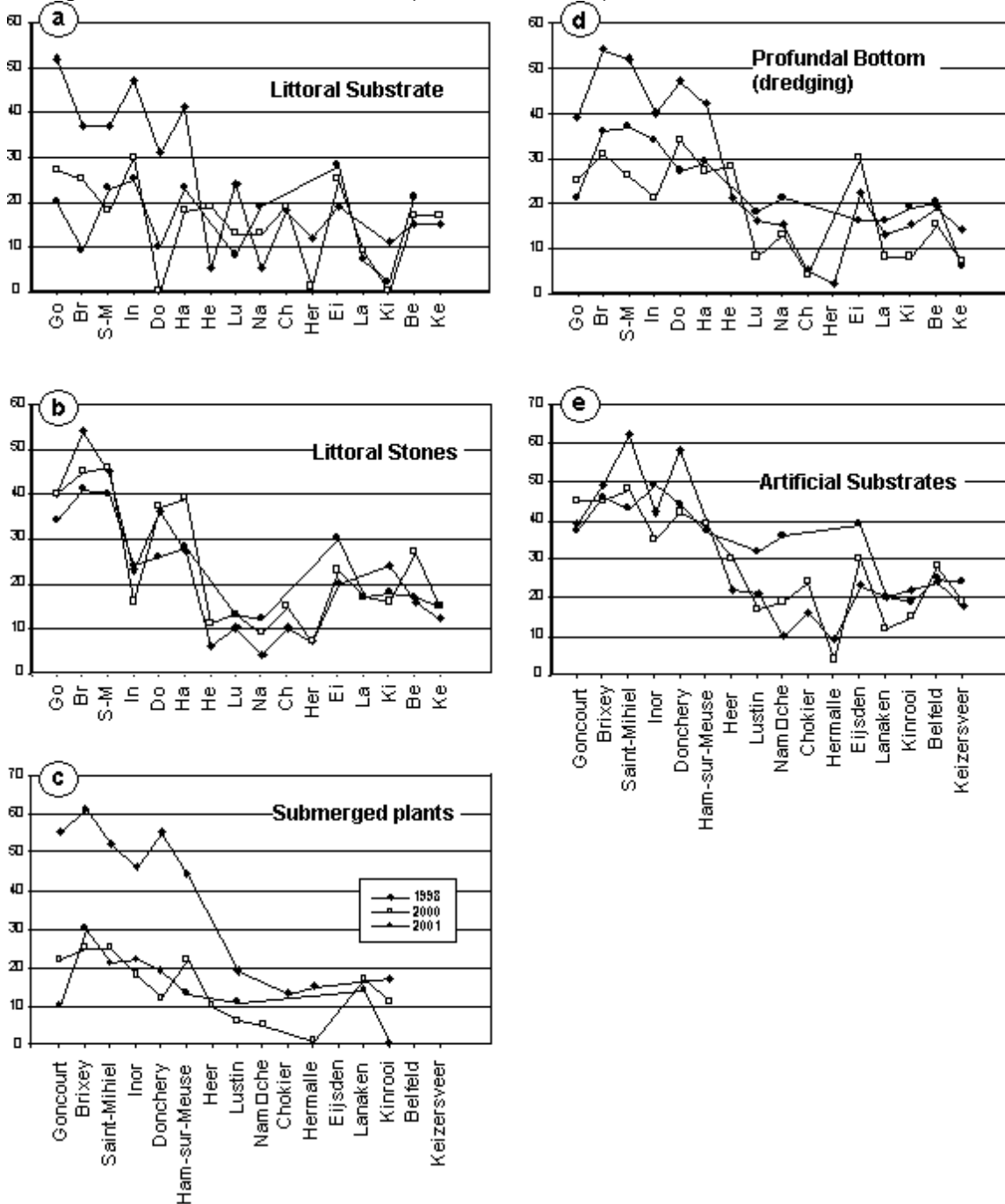


Figure 10 : Richesse taxonomique stationnelle du peuplement macrobenthique de la Meuse, calculée sur les listes faunistiques obtenues par les différentes méthodes d'échantillonnage, au cours des 3 campagnes d'échantillonnage. (a) Substrat littoral (filet); (b) Pierres littorales (filet); (c) Végétaux aquatiques (filet); (d) Substrat profond (dragage) et (e) Substrats artificiels.

Figure 10: Taxonomic richness of the benthic macroinvertebrate community along the longitudinal gradient of the Meuse River, during the 3 sampling campaigns. Richness was calculated on faunal lists obtained with different sampling methods: (a) Littoral substrate (hand net); (b) Littoral stones (hand net); (c) Submerged plants (hand net); (d) Profundal bottom (dredging); (e) Artificial substrates.

erratiques (Figure 9), et traduisent la distribution agrégative des organismes sur la mosaïque fluviale et l'importance des caractéristiques des mésohabitats échantillonnés sur les estimations de densité benthique. Ils montrent également la contribution des habitats végétaux (principalement sur le secteur français où ils ont pu être échantillonnés sur toutes les stations) au peuplement macrobenthique.

L'évolution de la richesse taxonomique (S) le long du profil longitudinal est beaucoup plus homogène, quelle que soit l'échelle d'observation (Figure 10). Les stations françaises sont globalement caractérisées par une richesse taxonomique élevée (de 55 à 99 taxons au niveau de détermination prévu par le tableau III). L'année 1998 est caractérisée par une richesse particulièrement importante, quelle que soit la station (72 à 99 taxons), sur ce secteur. Une réduction de la richesse taxonomique est ensuite observée sur le secteur Heer-Hermalle (11-47 taxons). Le site de Hermalle présente globalement la richesse taxonomique la plus faible (11-19 taxons). Cette richesse se stabilise ensuite à un niveau relativement constant, légèrement supérieur à celui observé dans la station de Hermalle, sur le secteur plus en aval (24-47 taxons).

Les substrats artificiels sont les plus contributifs à la richesse taxonomique (tests t pour échantillons appariés,  $p < 0,0001$  pour toutes les comparaisons avec les autres méthodes d'échantillonnage, cf. Tableau VI). Les substrats littoraux sont les plus pauvres.

Ce sont les granulats grossiers (= pierres littorales) qui paraissent contribuer à la richesse taxonomique de la manière la plus homogène d'une campagne à la suivante. Les substrats littoraux de sédimentation et surtout les substrats végétaux sont les plus sensibles aux conditions 'environnementales' pendant la période précédant le prélèvement. Au cours de l'année 1998, particulièrement favorable, la richesse taxonomique est alors, en moyenne, près de 2 fois supérieure à la richesse observée en 2000 et 2001. Un profil similaire, quoique moins marqué est également observé pour les résultats de dragage. Le tableau VII analyse la typicité de la faune obtenue par chaque méthode d'échantillonnage, sur chaque station, en évaluant le nombre de taxons spécifiquement capturés avec une stratégie d'échantillonnage donnée. Les résultats observés montrent l'importance de la contribution des substrats artificiels à la liste faunistique stationnelle. Dans 30 cas sur 43, ils fournissent en effet le plus grand nombre de taxons « typiques » (i.e., non obtenus par les

Biomonitoring de la Meuse : analyse spatio-temporelle des peuplements macro-invertébrés (1998-2001)  
 Université de Metz - LBFÉ - Equipe de Démécologie  
 Usseglio-Polatera, P. & Beisel, J-N. (Décembre, 2003)

Tableau VI - Comparaison statistique des richesses taxonomiques obtenues par les différentes méthodes d'échantillonnage (tests t). tc = valeur calculée du test, p = risque d'erreur, decision = décision statistique, n. s. = non significatif, S = richesse taxonomique.

Table VI - Statistical comparison (i.e. t-test) of taxonomic richness of faunal assemblages sampled with 5 different sampling methods. Tc = test value, p =  $\alpha$  error, decision = statistical decision, n. s. = non significant, S = taxonomic richness.

		Sampling methods / Habitats				
		Littoral bottom	Littoral stones	Submerged plants	Profundal bottom	Artificial substrate
<b>Littoral bottom (Lb)</b>	tc					
	p					
	decision					
<b>Littoral stones (Ls)</b>	tc	-2,297				
	p	<b>0,013</b>				
	decision	<b>S(Ls) &gt; S(Lb)</b>				
<b>Submerged plants (Sp)</b>	tc	-1,497	1,679			
	p	<b>0,072</b>	<b>0,052</b>			
	decision	<b>n. s.</b>	<b>n. s.</b>			
<b>Profundal bottom (Pb)</b>	tc	-2,36	0,484	-1,655		
	p	<b>0,012</b>	<b>0,315</b>	<b>0,054</b>		
	decision	<b>S(Pb) &gt; S(Lb)</b>	<b>n. s.</b>	<b>n. s.</b>		
<b>Artificial substrate (As)</b>	tc	-5,87	-5,65	-4,309	-6,655	
	p	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	
	decision	<b>S(As) &gt; S(Lb)</b>	<b>S(As) &gt; S(Ls)</b>	<b>S(As) &gt; S(Sp)</b>	<b>S(As) &gt; S(Pb)</b>	

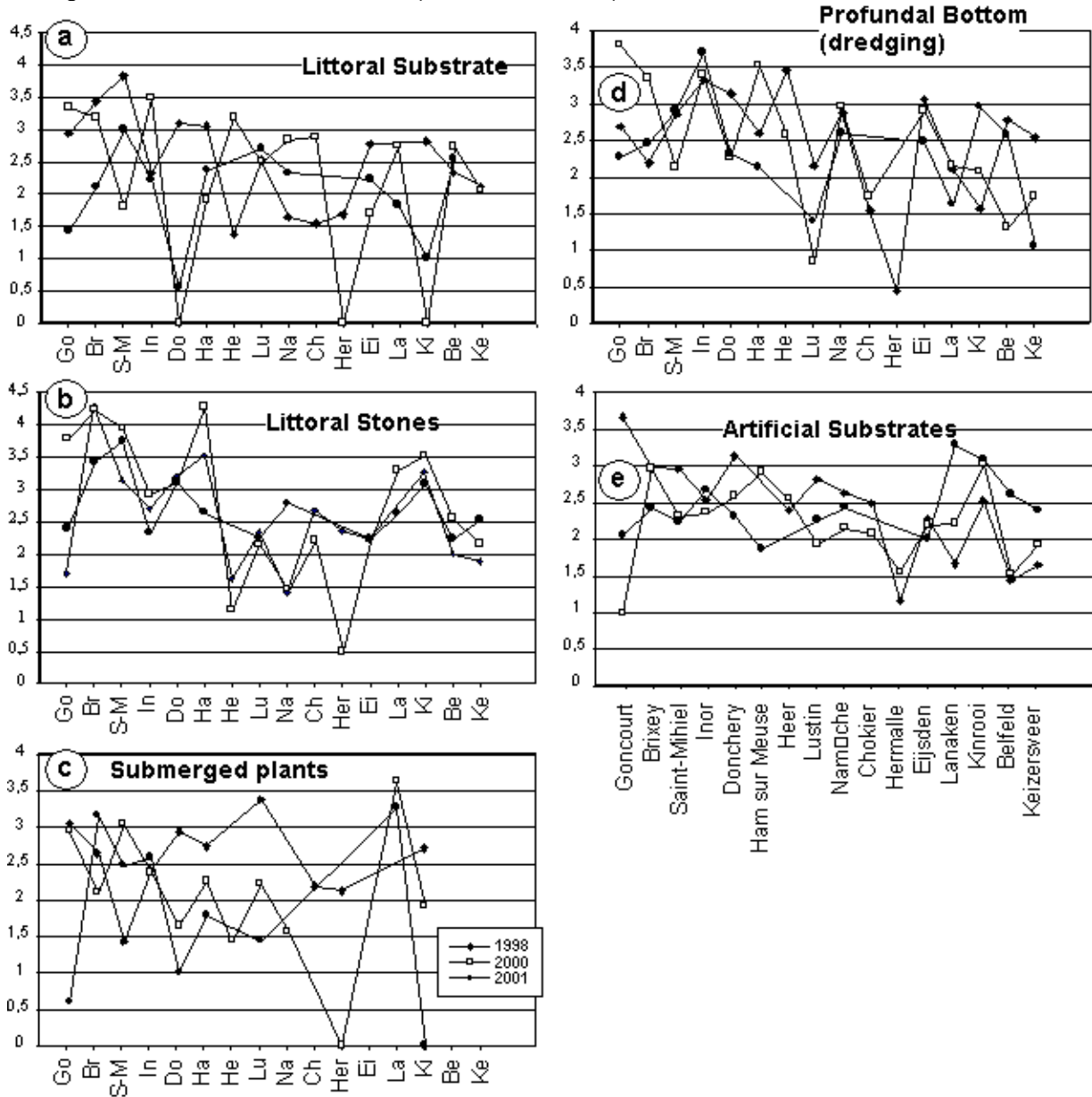


Figure 11 : Diversité taxonomique stationnelle du peuplement macrobenthique de la Meuse, calculée sur les listes faunistiques obtenues par les différentes méthodes d'échantillonnage, au cours des 3 campagnes d'échantillonnage. (a) Substrat littoral (filet); (b) Pierres littorales (filet); (c) Végétaux aquatiques (filet); (d) Substrat profond (dragage) et (e) Substrats artificiels.

Figure 11: Taxonomic diversity of the benthic macroinvertebrate community along the longitudinal gradient of the Meuse River, during the 3 sampling campaigns. Diversity was calculated on faunal lists obtained with different sampling methods: (a) Littoral substrate (hand net); (b) Littoral stones (hand net); (c) Submerged plants (hand net); (d) Profundal bottom (dredging); (e) Artificial substrates.



Biomonitoring de la Meuse : analyse spatio-temporelle des peuplements macro-invertébrés (1998-2001)  
 Université de Metz - LBFE - Equipe de Démécologie  
 Usseglio-Polatera, P. & Beisel, J-N. (Décembre, 2003)

Tableau VII - Typicité de la faune échantillonnée par chacune des 5 méthodes d'échantillonnage. Nombre de taxons spécifiquement obtenus par chaque méthode d'échantillonnage dans chaque station de la Meuse au cours de chaque campagne. La méthode la plus contributive à la richesse taxonomique correspond à la cellule grise.

Table VII - Number of taxa only obtained with a given sampling strategy in each site of the Meuse River, during the 3 campaigns. The method displaying the best contribution to taxonomic richness corresponds to the grey cell.

Station	Year	Sampling methods / Habitats				
		Littoral bottom (hand net)	Littoral stones (hand net)	Submerged plants (hand net)	Profundal bottom (dredging)	Artificial substrate
Goncourt	1998	7	4	11	4	2
Brixey	1998	3	9	14	6	6
Saint-Mihiel	1998	1	2	5	5	8
Inor	1998	8	1	4	7	8
Donchery	1998	0	4	7	3	8
Ham-sur-Meuse	1998	8	2	8	10	X
Heer	1998	1	0	X	8	8
Lustin	1998	5	1	5	1	4
Namèche	1998	1	1	X	7	3
Chokier	1998	4	0	0	1	4
Hermalle	1998	2	0	5	1	1
Eijsden	1998	1	2	X	5	1
Lanaken	1998	X	X	X	4	11
Kinrooi	1998	1	6	2	5	2
Belfeld	1998	2	1	X	3	5
Keizersveer	1998	3	2	X	2	4
Goncourt	2000	4	8	0	2	11
Brixey	2000	1	2	2	1	6
Saint-Mihiel	2000	0	9	2	4	11
Inor	2000	5	1	1	2	11
Donchery	2000	0	9	1	6	11
Ham-sur-Meuse	2000	2	4	2	0	9
Heer	2000	1	1	1	9	10
Lustin	2000	5	3	1	1	5
Gives	2000	3	1	0	2	4
Chokier	2000	3	2	X	1	10
Lixhe	2000	0	6	0	X	2
Eijsden	2000	5	2	X	3	3
Lanaken	2000	2	3	1	1	1
Kinrooi	2000	0	3	1	3	2
Belfeld	2000	2	6	X	0	6
Keizersveer	2000	6	2	X	1	3
Goncourt	2001	3	8	0	3	13
Brixey	2001	1	6	4	3	14
Saint-Mihiel	2001	2	5	2	3	14
Inor	2001	2	0	1	8	13
Donchery	2001	0	2	1	4	16
Ham-sur-Meuse	2001	3	5	0	3	11
Lustin	2001	0	0	1	4	11
Gives	2001	3	0	X	5	11
Eijsden	2001	1	4	X	2	12
Lanaken	2001	0	1	1	2	7
Kinrooi	2001	0	1	0	5	3
Belfeld	2001	2	1	X	4	2
Keizersveer	2001	X	2	X	0	11

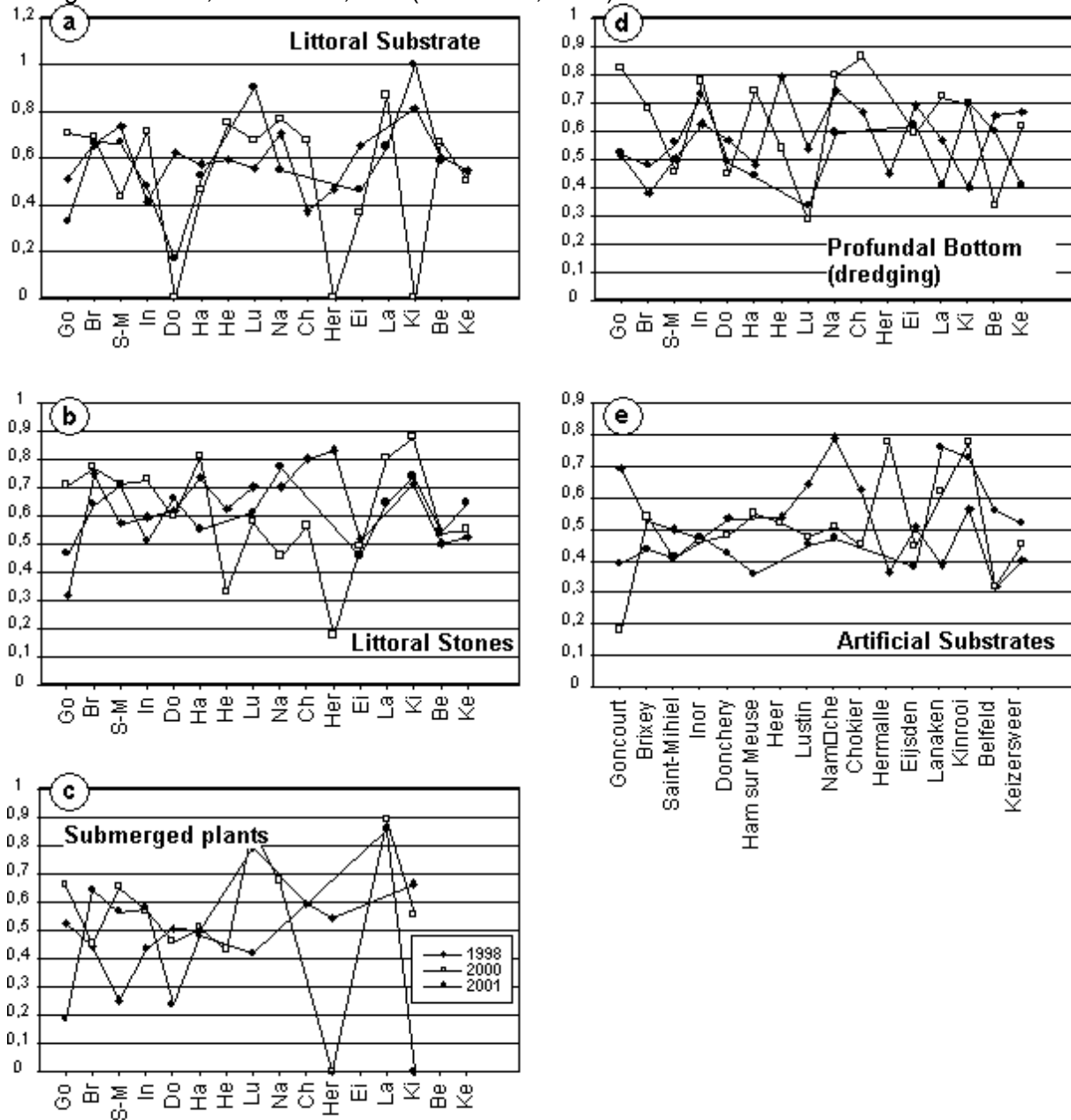


Figure 12 : Equitabilité stationnelle du peuplement macrobenthique de la Meuse (indice de Pielou), calculée sur les listes faunistiques obtenues par les différentes méthodes d'échantillonnage, au cours des 3 campagnes d'échantillonnage. (a) Substrat littoral (filet); (b) Pierres littorales (filet); (c) Végétaux aquatiques (filet); (d) Substrat profond (dragage) et (e) Substrats artificiels.

Figure 12: Taxonomic evenness of the benthic macroinvertebrate community along the longitudinal gradient of the Meuse River, during the 3 sampling campaigns. Evenness was calculated on faunal lists obtained with different sampling methods: (a) Littoral substrate (hand net); (b) Littoral stones (hand net); (c) Submerged plants (hand net); (d) Profundal bottom (dredging); (e) Artificial substrates.

autres méthodes d'échantillonnage). Le phénomène est particulièrement net sur le secteur français en 2000 et 2001. En 1998, les fortes richesses numériques sont à relier à une richesse plus importante des habitats rivulaires (notamment les habitats végétaux) qui contribuent alors plus fortement à la liste faunistique stationnelle. Des conditions hydrologiques particulières (notamment le maintien de débits estivaux relativement élevés) ont sans doute permis la co-habitation, même en période estivale, de taxons rhéophiles et de taxons limnophiles; processus qui n'a sans doute pas pu s'effectuer au cours des années 2000-2001 .

Quelle que soit l'échelle d'observation, l'indice de diversité de Shannon-Weaver (Figure 8c) ne présente pas d'évolution clairement interprétable le long du gradient longitudinal. A l'échelle stationnelle, la plupart des relevés correspondent à des valeurs d'indices comprises entre 2,5 et 3,5. Seuls deux relevés, de diversité particulièrement faible, ont une position remarquable, qui traduit essentiellement (1) la « prolifération » ponctuelle d'un taxon donné (*Spongilla*) à Goncourt en 1998, et (2) la présence d'un peuplement macrobenthique particulièrement pauvre à Hermalle la même année. A l'échelle des 5 grandes catégories d'« habitat » échantillonnées (Figure 11), des fluctuations importantes sont observées dans la valeur de l'indice obtenu le long du profil longitudinal. Elles manifestent la grande sensibilité de la communauté, donc des indices de structure, à l'hétérogénéité locale de l'habitat. Ces fluctuations sont en effet non seulement liées (1) à la qualité générale de chaque station, mais également (2) aux caractéristiques de chaque mosaïque fluviale (richesse et diversité en patches, stabilité de la mosaïque) qui vont directement déterminer la combinaison de substrat(s) prélevé(s) [+/- biogène(s)] et (3) à « l'état » (= stabilité, fragilité ...) des patches prélevés lorsqu'ils étaient présents.

Ce sont, de manière logique, car ils constituent un « substrat homogène », les substrats artificiels, qui manifestent la plus grande homogénéité de réponse, le long du profil longitudinal, pour les 3 campagnes (Figure 11). Les résultats observés confirment globalement la plus forte hétérogénéité environnementale des stations les plus en amont. Cette plus forte hétérogénéité assure une plus grande diversité des niches écologiques proposées aux organismes macrobenthiques et donc autorise le développement d'une communauté à la fois plus riche et plus diversifiée (cf. Figure 11).

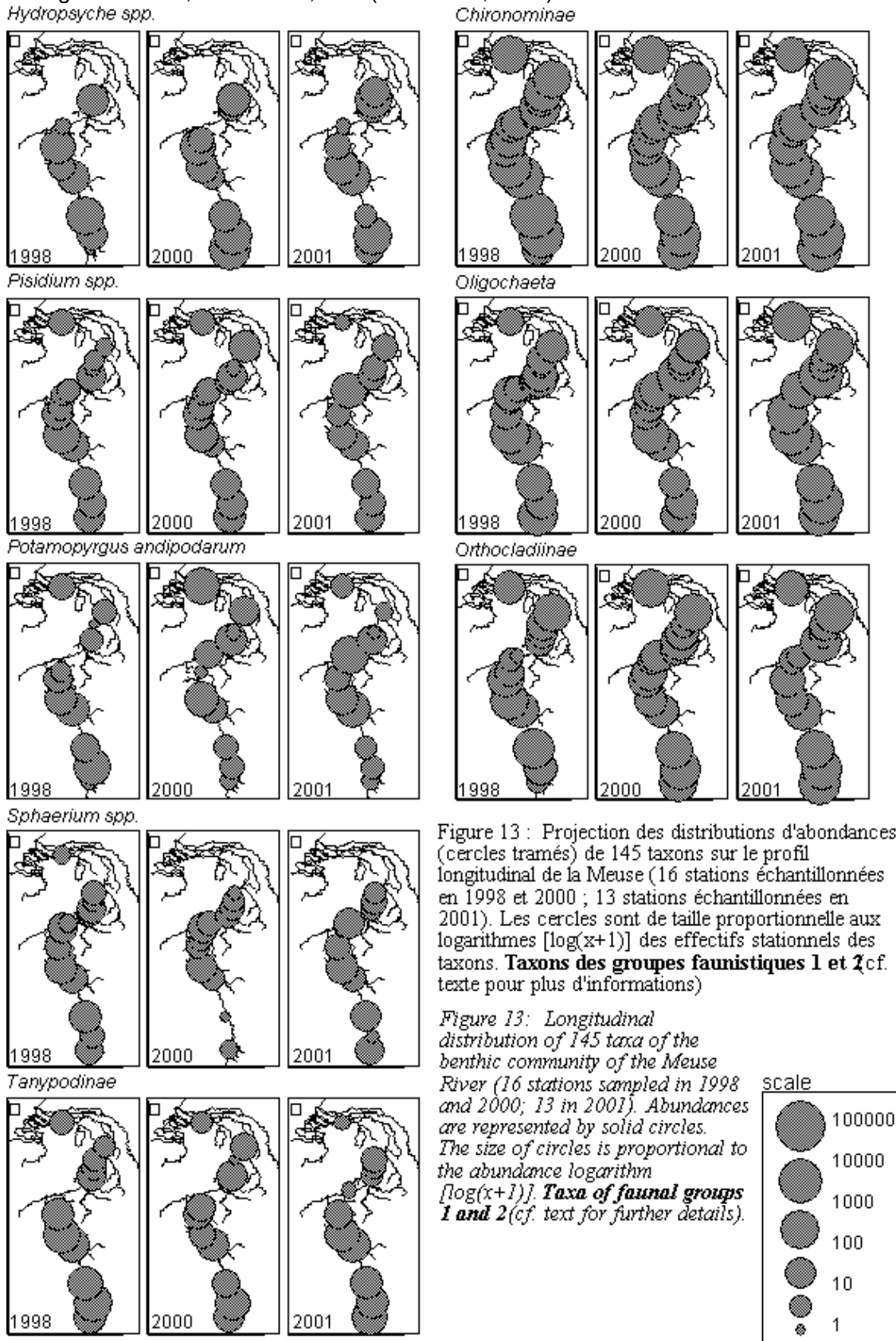
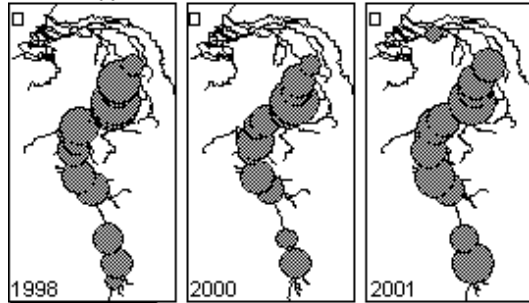


Figure 13 : Projection des distributions d'abondances (cercles tramés) de 145 taxons sur le profil longitudinal de la Meuse (16 stations échantillonnées en 1998 et 2000 ; 13 stations échantillonnées en 2001). Les cercles sont de taille proportionnelle aux logarithmes  $[\log(x+1)]$  des effectifs stationnels des taxons. **Taxons des groupes faunistiques 1 et 2** (cf. texte pour plus d'informations)

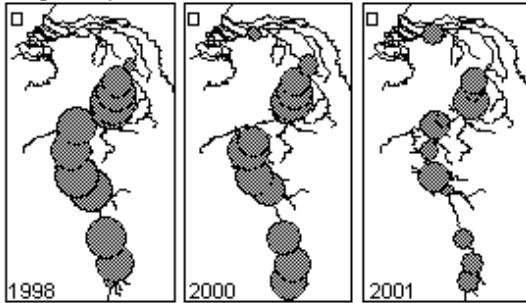
Figure 13: Longitudinal distribution of 145 taxa of the benthic community of the Meuse River (16 stations sampled in 1998 and 2000; 13 in 2001). Abundances are represented by solid circles. The size of circles is proportional to the abundance logarithm  $[\log(x+1)]$ . **Taxa of faunal groups 1 and 2** (cf. text for further details).

Biomonitoring de la Meuse : analyse spatio-temporelle des peuplements macro-invertébrés (1998-2001)  
 Université de Metz - LBFE - Equipe de Démécologie  
 Usseglio-Polatera, P. & Beisel, J-N. (Décembre, 2003)

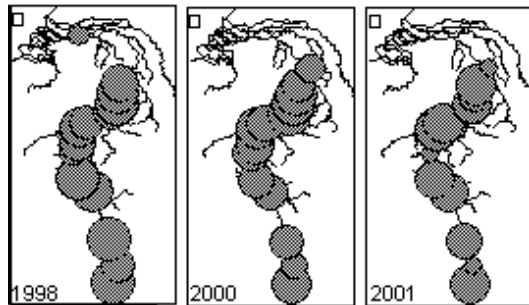
*Asellus spp.*



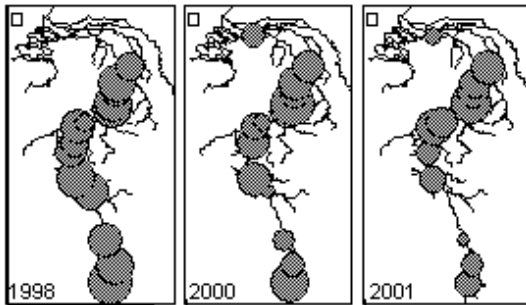
*Dugesia sp.*



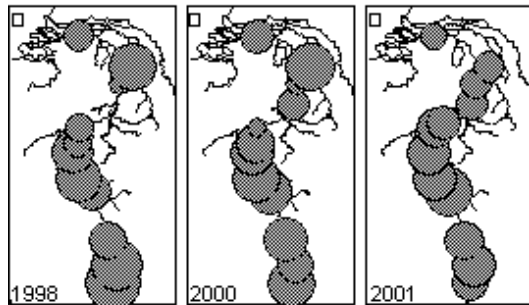
*Bithynia spp.*



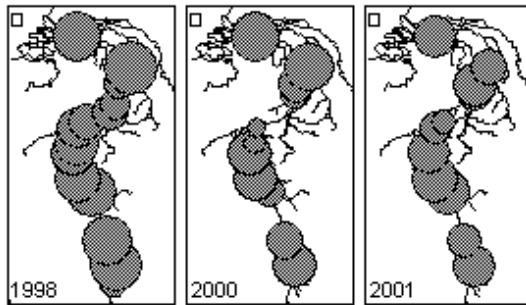
*Erpobdella spp.*



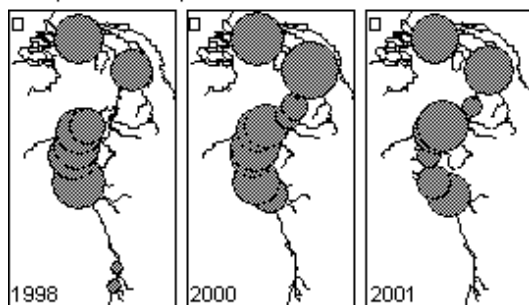
*Caenis spp.*



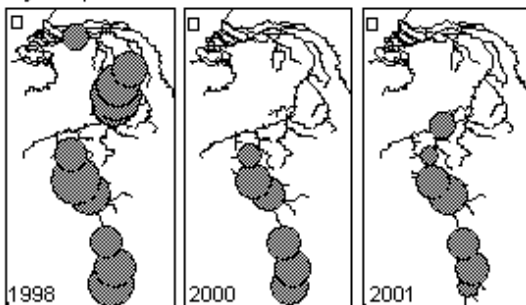
*Gammarus spp.*



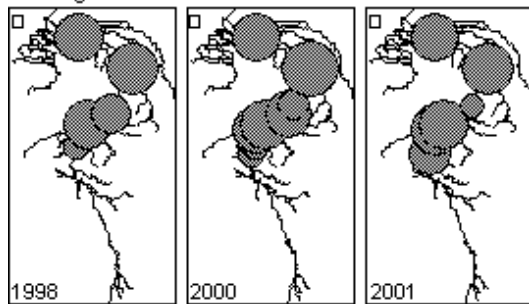
*Corophium curvispinum*



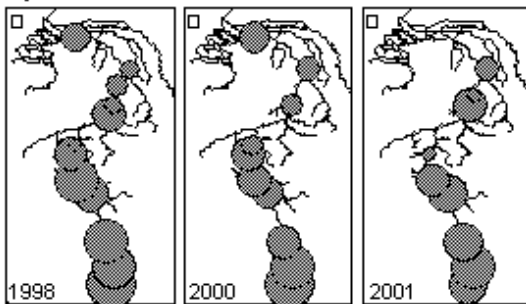
*Hydra sp.*



*Dikerogammarus villosus*

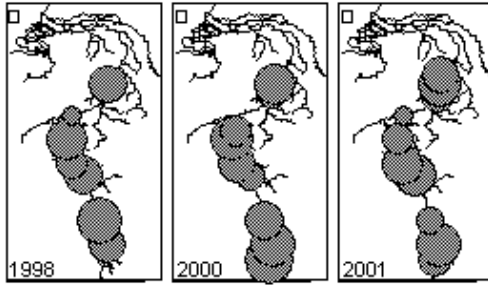


*Hydracarina*

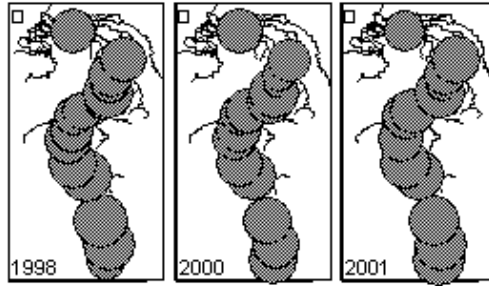


Biomonitoring de la Meuse : analyse spatio-temporelle des peuplements macro-invertébrés (1998-2001)  
 Université de Metz - LBFE - Equipe de Démécologie  
 Usseglio-Polatera, P. & Beisel, J-N. (Décembre, 2003)

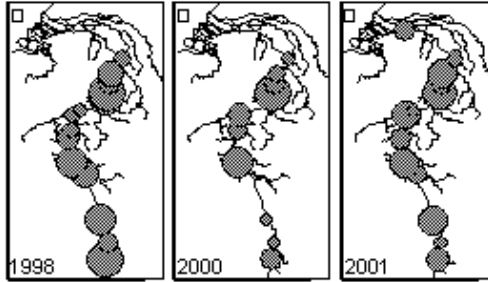
Group 1 - *Hydropsyche* spp.



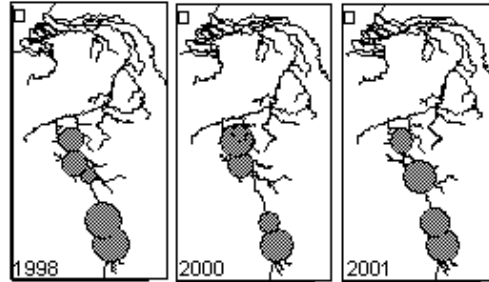
Group 2 - *Chironominae*



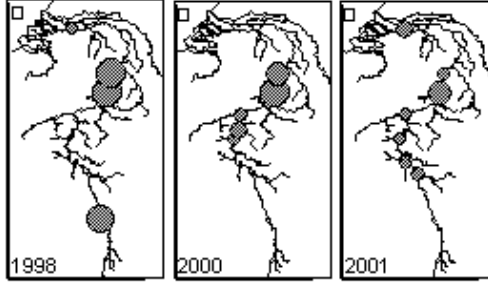
Group 3 - *Glossiphonia* spp.



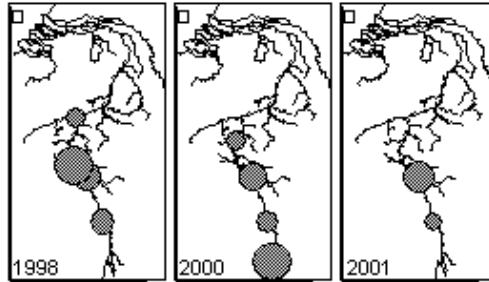
Group 4 - *Aphelocheirus aestivalis*



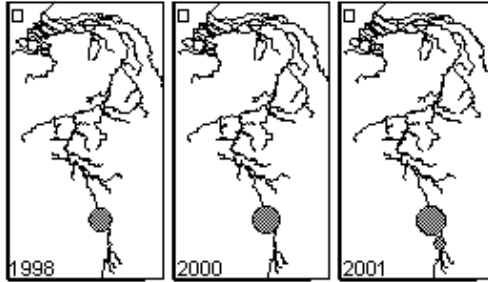
Group 5 - *Dendrocoelum lacteum*



Group 6 - *Neureclipsis bimaculata*



Group 7 - *Brachycentrus* sp.



Group 8 - *Musculium lacustre*

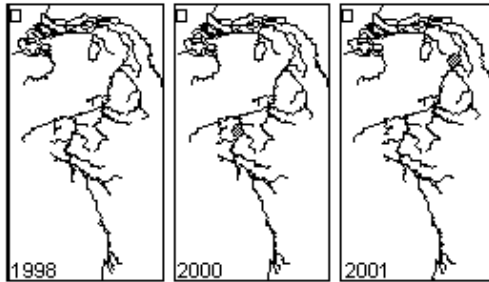
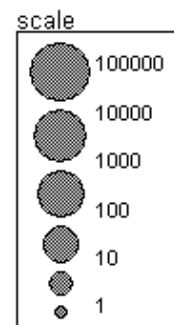


Figure 14 : Projection des distributions d'abondances (cercles tramés) de 145 taxons sur le profil longitudinal de la Meuse (16 stations échantillonnées en 1998 et 2000 ; 13 stations échantillonnées en 2001). Le profil d'un taxon appartenant à chacun des 8 groupes faunistiques définis sur la base d'une analyse de classification est représenté. Les cercles sont de taille proportionnelle aux logarithmes  $[\log(x+1)]$  des effectifs stationnels des taxons.

Figure 14: Longitudinal distribution of 145 taxa of the benthic community of the Meuse River (16 stations sampled in 1998 and 2000; 13 in 2001). Abundance distribution of a taxon of each of 8 faunal groups defined according to a cluster analysis. Abundances are represented by solid circles. The size of circles is proportional to the abundance logarithm  $[\log(x+1)]$ . (cf. text for further details).



L'augmentation significative de l'équitabilité le long du gradient longitudinal (Figure 12) peut traduire une plus faible irrégularité de distribution de s organismes à l'intérieur des unités systématiques, qui peut être liée à la fois à une réduction de la richesse numérique (potentialités trophiques plus faibles des mosaïques benthiques et donc proliférations 'potentielles' de certains taxons plus limitées), de la richesse taxonomique (moins d' espèces rares en lien avec un appauvrissement de la mosaïque d'habitats, et donc à une réduction du nombre de niches écologiques offertes) et à une distribution plus uniforme des organismes (liée à une forme de « banalisation » croissante du substrat).

Compte tenu de leurs profils d'abondances stationnels respectifs sur le profil longitudinal de la Meuse au cours des trois années d'étude, une analyse de classification a été réalisée, utilisant (1) la distance euclidienne pour l'élaboration de la matrice de distances entre les 145 taxons les plus communs (cf. liste faunistique traitée en A.F.C.), et (2) la méthode agglomérative de Ward comme algorithme de regroupement des taxons. Huit groupes de taxons ont été constitués (Figures 13 et 14 + Annexe II). A titre d'exemple, la Figure 13 illustre la distribution d'abondances des taxons du groupe 1, le long du profil longitudinal de la Meuse. La Figure 14 fournit un profil de distribution longitudinale type pour un taxon représentatif de chacun des 7 autres groupes. Une représentation exhaustive de la distribution longitudinale des taxons des groupes 2 à 8 est fournie dans l'annexe II.

Ce sont plus les fréquences de rencontres sur l'ensemble des stations du plan d'échantillonnage et les effectifs capturés (décroissants du groupe 1 au groupe 8), que les profils de distribution de s taxons le long de l'axe longitudinal qui déterminent la composition des groupes. Ainsi les groupes 1 et 2 sont constitués par des taxons présents en effectifs importants sur la totalité du profil longitudinal (comme les Oligochètes, les Chironominae, les Orthocladiinae, *Pisidium* spp. ou *Gammarus* spp.) ou une partie seulement, qui peut correspondre plutôt au secteur amont (e.g. *Hydra* sp., Hydracarina) ou au secteur aval (e.g. *Dikerogammarus villosus*, *Chelicorophium curvispinum* (Figure 13). Néanmoins le groupe 2 rassemble des taxons avec des effectifs capturés plus faibles que ceux obtenus pour les taxons du premier groupe (Figure 14). Du groupe 3 au groupe 8, la distribution longitudinale des taxons constitutifs se restreint, à la fois dans l'espace et dans le temps (à l'échelle pluriannuelle – Annexe II).

Biomonitoring de la Meuse : analyse spatio-temporelle des peuplements macro-invertébrés (1998-2001)  
 Université de Metz - LBFE - Equipe de Démécologie  
 Usseglio-Polatera, P. & Beisel, J-N. (Décembre, 2003)

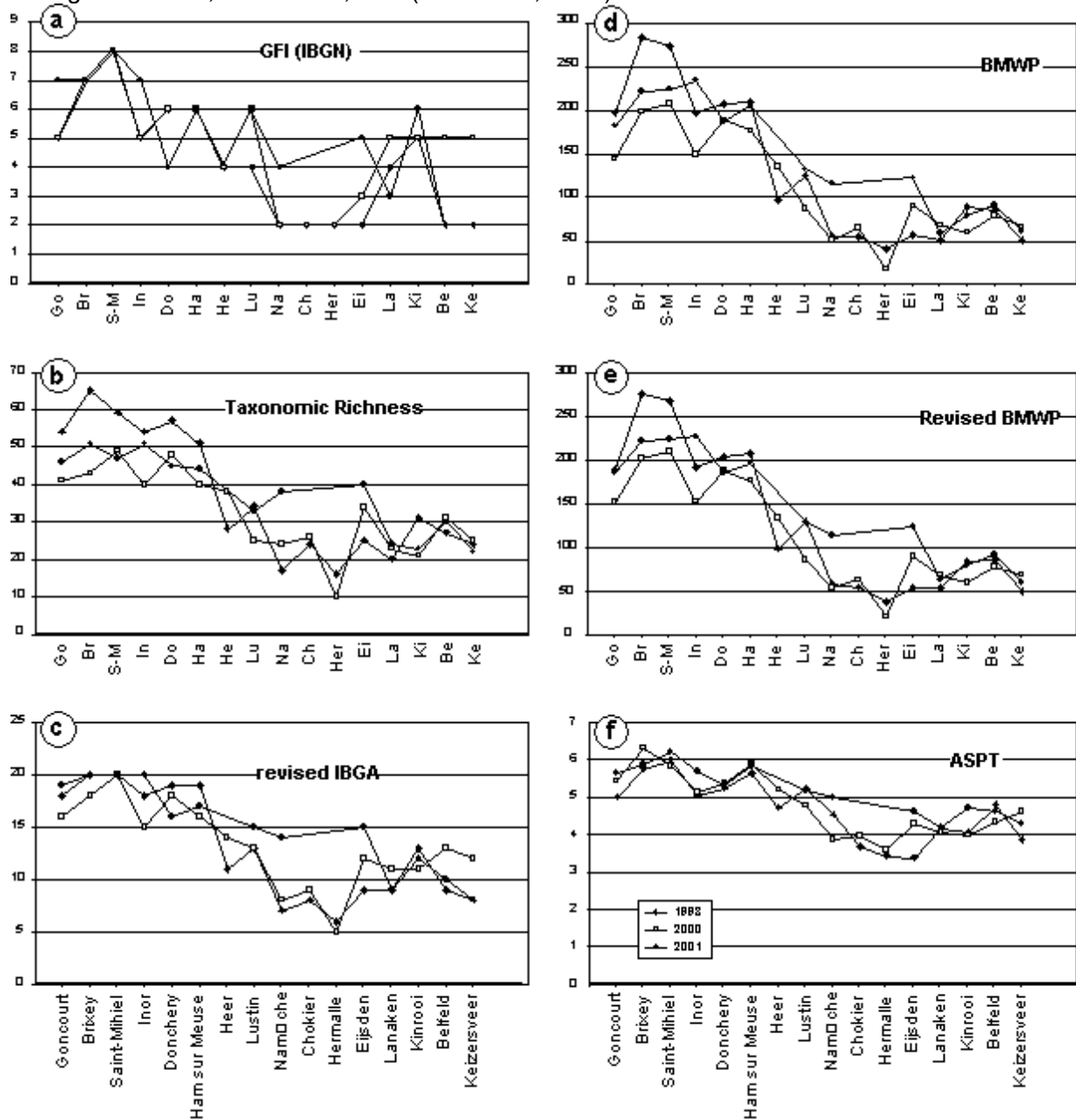


Figure 15 : Estimation de la qualité biologique de la Meuse par évaluation stationnelle : (a) du groupe faunistique indicateur (= GFI, AFNOR, 1992), (b) de la richesse taxonomique, (c) de l'Indice Biologique Global Adapté aux grandes rivières (= IBGA), (d) du 'Biological Monitoring Working Party' (= BMWP), (e) d'une version révisée du BMWP (= revised BMWP, Walley, W.J. & H.A. Hawkes 1996, 1997), et (f) de l' 'Average Score per taxon' (ASPT).

*Figure 15: Evaluation of the biological quality of the Meuse River. Longitudinal variations of: faunal indicator group (= GFI, AFNOR, 1992), (b) taxonomic richness, (c) 'Global Biological i Adapted' to large rivers (= IBGA), (d) 'Biological Monitoring Working Party' (= BMWP), (e) revised BMWP (= revised BMWP, Walley, W.J. & H.A. Hawkes 1996, 1997) and (f) 'Average Score per taxon' (ASPT).*



### 1.3. Indices biotiques

#### 1.3.1. I.B.G.A

L'évaluation de l'Indice Biologique Global Adapté aux grandes rivières (I.B.G.A.) avait fourni des notes de 18 à 20 pour les stations de la Meuse française (de Goncourt à Ham-sur-Meuse - Figure **15c**) au cours de la campagne d'août/septembre 1998. L' I.B.G.A. n'était plus que de 11-13 dans les stations de Heer et Lustin, de 6 et 8 sur le secteur Namèche-Eijsden et le secteur néerlandais. La valeur estimée était légèrement plus importante à Lanaken (9) et surtout Kinrooi (13) par suite d'une légère augmentation de la variété taxonomique.

Les résultats obtenus en 2000 et 2001 sont plutôt plus faibles sur le secteur français, surtout par suite de la réduction de la richesse taxonomique, exceptionnellement élevée en 1999 (Figure **15b**). Ils sont plutôt plus élevés sur le secteur aval avec notamment un gain de 6 points à Eijsden ou de 7 points sur la station « 9 » avec toutefois un changement de site d'étude entre 1998 (Namèche, station très perturbée par la navigation et inadaptée à l'échantillonnage) et 2000/01 (Gives, station protégée de la navigation par une île, mieux adaptée à l'échantillonnage).

Les courbes montrent cependant que l'amélioration de la note, est liée à la présence transitoire de groupes faunistiques indicateurs (= G.F.I.) relativement polluo-sensibles lors d'une campagne donnée (Figure **15a**), qui ne sont pas forcément retrouvés au cours de la campagne suivante (e.g. les Hydroptilidae - GFI 5 – à Lanaken, Belfeld et Keizersveer en 2000). Cette amélioration demande à être confirmée, lors de campagnes réalisées sur des dates comparables (fin d'été).

Sur la plupart des stations le G.F.I. peut varier de 2 à 3 points, montrant la fragilité de la communauté macrobenthique et le maintien aléatoire, sur la plupart des sites, des taxons les plus polluosensibles. Les sites de Brixey et de Saint Mihiel qui présentent la meilleure qualité biologique sont (avec Ham-sur-Meuse) les seuls à présenter un G.F.I. identique sur les trois campagnes ; ce qui confirme la bonne qualité et la stabilité des mosaïques d'habitats dans ces stations. Les groupes faunistiques indicateurs sont alors de niveau 8 à St Mihiel grâce à la présence de Trichoptères Brachycentridae, 7 à Brixey par suite de la capture de Plécoptères Leuctridae (1998 et 2001) et de Trichoptères *Beraeidae* (1998) et Goeridae (2000) et de 6 à Ham-sur-Meuse (Ephéméroptères Ephemeridae).

Tableau VIII - Groupe faunistique indicateur (GFI) des communautés macrobenthiques de 16 stations de la Meuse (les GFI sont classés de 1 à 9 suivant un gradient de polluosensibilité croissante). Le GFI 'suivant' correspond aux groupes faunistiques indicateurs de niveau de sensibilité immédiatement inférieur, dans la communauté.

Table VIII - Indicator faunal groups (GFI) of benthic macroinvertebrate communities of 16 sites in the Meuse River. The GFI corresponds to the most polluo-sensitive group of taxa of a community (1 to 9 according to an increasing gradient of sensitivity to pollution). The 'following' GFI correspond to the group(s) of taxa in a community exhibiting a level of polluo-sensitivity immediately inferior to the previous group (GFI).

Station	Year	GFI	"following" GFI	Difference
		Taxa (Abundances)	Taxa (Abundances)	
Goncourt	1998	5-Hydroptilidae (6)	4-Leptoceridae (41), 4-Polycentropodidae (6), 4-Psychomyiidae (12)	1
	2000	5-Hydroptilidae (15)	4-Leptoceridae (65), 4-Polycentropodidae (49), 4-Psychomyiidae (15)	1
	2001	7-Leptophlebiidae (3)	5-Hydroptilidae (9)	2
Brixy	1998	7-Laetidae (4), 7-Beraeidae (4)	6-Epimeridae (35)	1
	2000	7-Goeridae (3)	6-Epimeridae (9)	1
	2001	7-Laetidae (3)	5-Hydroptilidae (12), 5-Heptageniidae (4)	2
Saint-Mihiel	1998	8-Brachycentridae (7)	6-Epimeridae (36)	2
	2000	8-Brachycentridae (12)	6-Epimeridae (3)	2
	2001	8-Brachycentridae (21)	6-Lepidostomatidae (27)	2
Inor	1998	5-Hydroptilidae (19)	4-Leptoceridae (181), 4-Polycentropodidae (116)	1
	2000	5-Hydroptilidae (19)	4-Leptoceridae (49), 4-Polycentropodidae (303)	1
	2001	7-Leptophlebiidae (4)	5-Hydroptilidae (35), 5-Potamantidae (14)	2
Donchery	1998	6-Epimeridae (3)	5-Hydroptilidae (260)	1
	2000	6-Lepidostomatidae (6)	4-Leptoceridae (24), 4-Polycentropodidae (376), 4-Psychomyiidae (6)	2
	2001	4-Leptoceridae (22), 4-Polycentropodidae (11)	3-Hydroptilidae (248), 3-Limnephilidae (66)	1
Ham-sur-Meuse	1998	6-Epimeridae (4)	5-Hydroptilidae (48)	1
	2000	6-Epimeridae (4)	5-Heptageniidae (36), 5-Potamantidae (110)	1
	2001	6-Epimeridae (13)	5-Potamantidae (6)	1
Heer	1998	4-Leptoceridae (13), 4-Polycentropodidae (58)	2-Caenidae (13), 2-Gammaridae (333), 2-Mollusca (108)	2
	2000	4-Leptoceridae (37), 4-Polycentropodidae (123)	3-Hydroptilidae (31)	1
Lustin	1998	4-Leptoceridae (3), 4-Polycentropodidae (16)	3-Hydroptilidae (3)	1
	2000	6-Epimeridae (3)	2-Gammaridae (1035), 2-Mollusca (354)	4
	2001	6-Epimeridae (4)	4-Leptoceridae (96)	2
NamOche/Gives	1998	2-Gammaridae (124), 2-Mollusca (212)	1-Chironomidae (172), 1-Oligochaeta (36)	1
	2000	2-Gammaridae (721), 2-Mollusca (201)	1-Chironomidae (658), 1-Aseellidae (26), 1-Oligochaeta (685)	1
	2001	4-Leptoceridae (3)	2-Caenidae (34), 2-Gammaridae (1186), 2-Mollusca (2487)	1
Chokier	1998	2-Gammaridae (148), 2-Mollusca (129)	1-Chironomidae (97), 1-Aseellidae (149), 1-Oligochaeta (363), 1-Aciaceta (16)	1
	2000	2-Gammaridae (765), 2-Mollusca (482)	1-Chironomidae (1166), 1-Aseellidae (97), 1-Oligochaeta (440), 1-Aciaceta (20)	1
Hermalle/Lixhe	1998	2-Mollusca (381)	1-Chironomidae (69), 1-Aseellidae (680), 1-Oligochaeta (610), 1-Aciaceta (265)	1
	2000	2-Mollusca (1724)	1-Chironomidae (108), 1-Oligochaeta (46)	1
Eijsden	1998	2-Gammaridae (17), 2-Mollusca (1403)	1-Chironomidae (4239), 1-Aseellidae (987), 1-Oligochaeta (363), 1-Aciaceta (297)	1
	2000	3-Hydroptilidae (36)	2-Caenidae (17), 2-Gammaridae (24), 2-Mollusca (1515)	1
	2001	5-Hydroptilidae (5)	3-Hydroptilidae (112)	2
Lanaken	1998	4-Leptoceridae (3)	3-Hydroptilidae (137)	1
	2000	5-Hydroptilidae (3)	3-Hydroptilidae (246)	2
	2001	3-Hydroptilidae (693)	2-Gammaridae (43), 2-Mollusca (531)	1
Kinrooi	1998	5-Hydroptilidae (6)	2-Gammaridae (14), 2-Mollusca (120)	3
	2000	5-Hydroptilidae (133)	2-Gammaridae (62), 2-Mollusca (115)	3
	2001	6-Lepidostomatidae (3)	4-Leptoceridae (5)	2
Belfeld	1998	2-Caenidae (944), 2-Gammaridae (6726), 2-Mollusca (212)	1-Chironomidae (1922), 1-Oligochaeta (199), 1-Aciaceta (18)	1
	2000	5-Hydroptilidae (7)	2-Caenidae (926), 2-Gammaridae (11505), 2-Mollusca (2136)	3
	2001	2-Caenidae (20), 2-Gammaridae (2657), 2-Mollusca (209)	1-Chironomidae (4920), 1-Aseellidae (37), 1-Oligochaeta (1563), 1-Aciaceta (45)	1
Keizersveer	1998	2-Caenidae (23), 2-Gammaridae (2924), 2-Mollusca (299)	1-Chironomidae (1698), 1-Oligochaeta (29)	1
	2000	5-Hydroptilidae (7)	4-Psychomyiidae (5)	1
	2001	2-Gammaridae (705), 2-Mollusca (479)	1-Chironomidae (772), 1-Oligochaeta (2212)	1

Le G.F.I. est de 7 à Goncourt et Inor en 2001 (Leptophlebiidae) mais seulement de 5 (Hydroptilidae) en 1999 et 2000. Il est de 6 à Donchéry en 1999 (Ephemerae) et 2000 (Lepidostomatidae) mais de 4 seulement en 2001 (Leptoceridae).

Les groupes faunistiques présentant les exigences écologiques les plus importantes (G.F.I. 8 et 9) sont donc absents ou très rares dans les prélèvements. Cette absence est en partie imputable (1) à une qualité de l'eau relativement moyenne en période estivale dès les premiers kilomètres de cours (impact d'une friterie dès Montigny-le-Roi), et (2) à une mosaïque d'habitats peu adaptée à des organismes franchement rhéophiles, compte tenu de la faible pente du cours supérieur de cette grande rivière de plaine.

Pour éventuellement évaluer la "fragilité" de l'assemblage faunistique en termes de "polluosensibilité", et par conséquent le degré de stabilité de la valeur de l'indice - éventuellement liée au maintien plus ou moins aléatoire suivant les sites du groupe faunistique indicateur - le tableau VIII présente non seulement le G.F.I. caractéristique de chaque site (et l'effectif correspondant) à chaque date, mais également le cortège de familles des G.F.I. d'ordre immédiatement inférieur accompagnant le taxon responsable de la valeur de l'indice. Il permettra de déterminer si la note obtenue est principalement le résultat de la présence (peut-être ponctuelle ?) de quelques individus d'un seul taxon à fortes exigences écologiques ou plutôt le résultat de la présence plus stable d'un cortège abondant et diversifié d'organismes ayant des niveaux d'exigences écologiques relativement similaires. Dans le second cas, la valeur de l'indice sera évidemment considérée comme plus stable et plus pertinente que dans le premier. Cet examen peut permettre par ailleurs d'apprécier les potentialités de chaque station, en termes d'organismes polluo-sensibles susceptibles de recoloniser (rapidement) l'habitat après perturbation, et donc d'obtenir à nouveau un état bio-écologique de qualité équivalente ou approximativement équivalente par résilience.

Ainsi par exemple dans le peuplement benthique de Saint Mihiel, même si le G.F.I. est de 8, les taxons du G.F.I. 7 sont absents de la communauté à toutes les dates, de sorte que la disparition - ou la non capture - des Trichoptères Brachycentridae pourrait faire chuter la valeur de l'indice de 2 points.

Globalement, sur toutes les stations françaises, l'écart entre le groupe faunistique déterminant le G.F.I. et le groupe déterminant le G.F.I. de niveau immédiatement inférieur n'est jamais supérieur à 2 points. Il est à noter cependant que dans la plupart des cas, la détermination du G.F.I. est liée à la présence d'une seule famille systématique (parmi les 4 ou 5 qui appartiennent au G.F.I. correspondant).

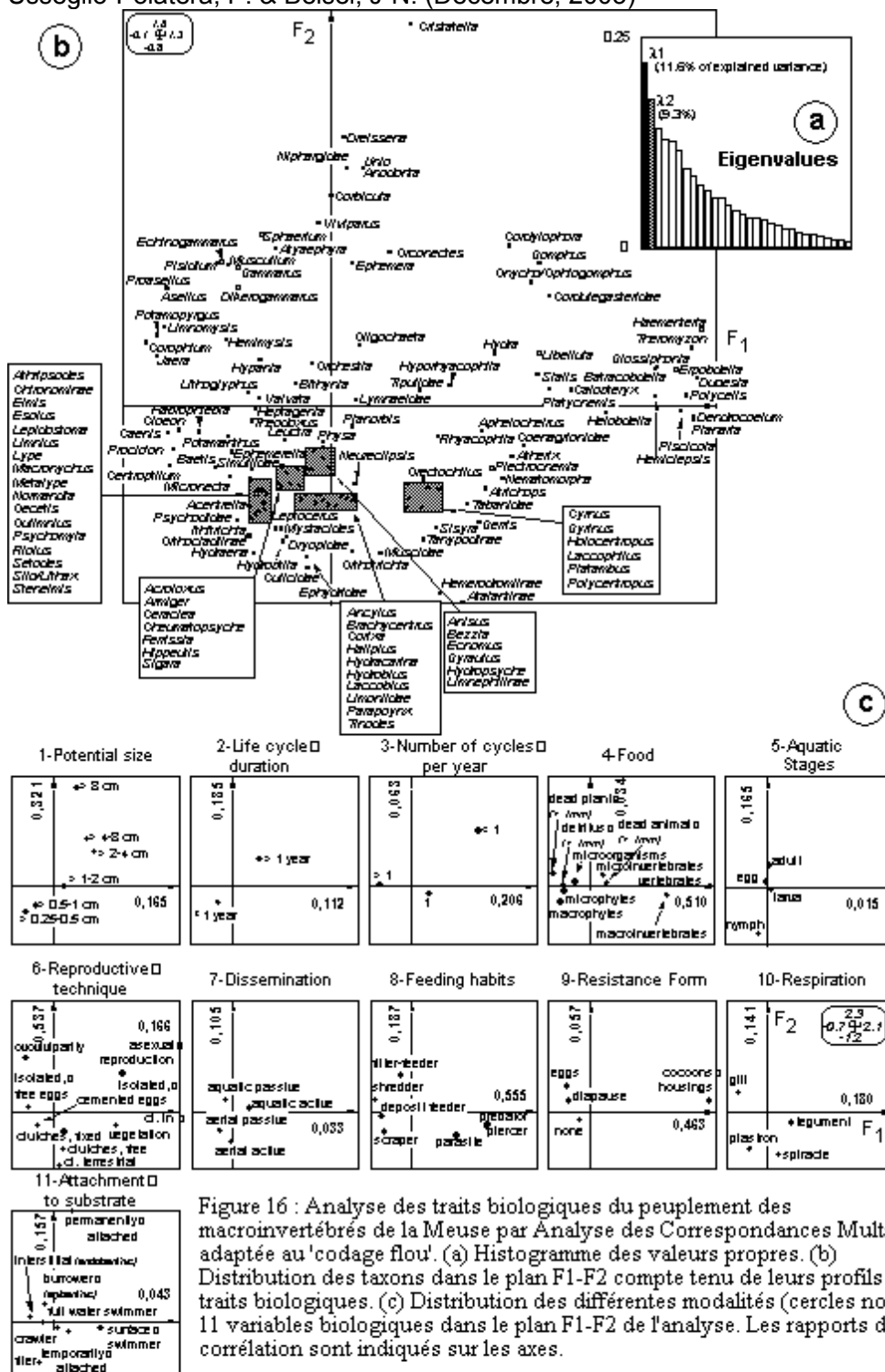


Figure 16 : Analyse des traits biologiques du peuplement des macroinvertébrés de la Meuse par Analyse des Correspondances Multipl adaptée au 'codage flow'. (a) Histogramme des valeurs propres. (b) Distribution des taxons dans le plan F1-F2 compte tenu de leurs profils de traits biologiques. (c) Distribution des différentes modalités (cercles noirs) 11 variables biologiques dans le plan F1-F2 de l'analyse. Les rapports de corrélation sont indiqués sur les axes.

Figure 16 : Ordination of 11 biological traits by fuzzy correspondence analysis. (a) Histogram of eigenvalues. (b) Distribution of taxa on the F1-F2 factorial plane according to their biological profiles. (c) Distribution of modalities (= solid circles) of the biological traits on F1-F2 factorial plane of the analysis. Each modality was positioned at the weighted average the taxon coordinates representing this modality. Correlation ratios are given on axes.

Sur le secteur plus en aval, l'écart entre G.F.I. et groupe immédiatement inférieur peut être de 3 à 4 points. Ainsi à Lustin en 2000, le G.F.I. est de 6 du fait de la présence de 3 larves d'Epheméridae dans les prélèvements. L'absence d'une seule de ces larves aurait fait chuter la valeur de l'indice de 4 points (de 13 à 9), dans la mesure où les taxons des G.F.I. 3, 4 et 5 n'étaient pas représentés en effectifs suffisants dans les relevés pour être retenus comme G.F.I.. L'obtention de la note de 13 est donc liée à la présence d'un "seul" individu.

Sur le secteur "aval", les stations de Lustin, Kinrooi et Belfeld paraissent, de ce point de vue, les plus fragiles. C'est dans ces stations que la disparition du groupe faunistique indicateur serait à l'origine de la plus forte diminution de la valeur de l'indice.

### 1.3.2. Comparaison des résultats fournis par l'I.B.G.A., le B.M.W.P. et l'A.S.P.T.

L'évolution du B.M.W.P. et de l'A.S.P.T. le long du profil longitudinal de la Meuse (Figure 15d à f), estimés à partir des mêmes résultats faunistiques, est similaire à l'évolution de l'I.B.G.A. Le principe cumulatif du calcul rend le B.M.W.P. particulièrement sensible à la richesse taxonomique. Des scores élevés (> 200) sont obtenus dans la plupart des stations françaises en 1999 et 2001. Les valeurs observées sont nettement plus faibles en 2000. Les valeurs les plus faibles, voisines de (voire inférieures à) 50, sont obtenues sur le secteur Namèche-Lanaken.

L'A.S.P.T., qui correspond au score moyen des taxons répertoriés sur une station donnée, au cours d'une campagne déterminée, restitue une évolution lissée de la qualité biologique le long du profil longitudinal de la Meuse qui correspond, dans son ensemble à l'évolution fournie par l'I.B.G.A. et au B.M.W.P. (Figure 15f).

## 2. Structure faunistique et organisation des traits biologiques et écologiques des peuplements macrobenthiques

Dans un premier temps, les tableaux décrivant respectivement l'affinité de 143 taxons pour les modalités de 11 variables biologiques (Tableau IV) et 10 variables écologiques (Tableau V) sont indépendamment traités par Analyse Factorielle des Correspondances adaptée au 'codage flou' utilisé pour décrire les profils bio/écologiques de chaque taxon (Chevenet *et al.*, 1994, Figures 16 et 17).

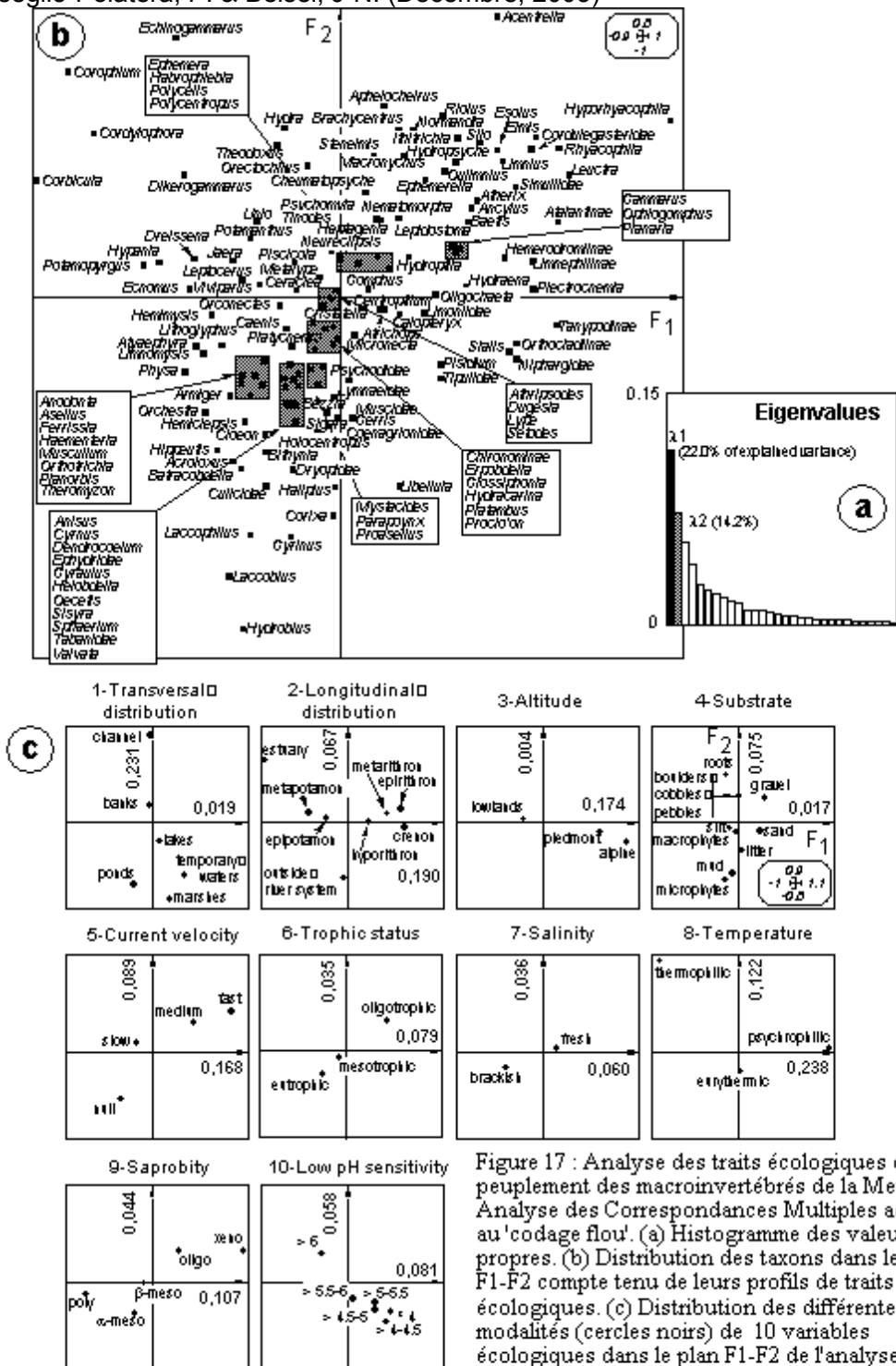


Figure 17 : Ordination of 10 ecological traits by fuzzy correspondence analysis. (a) Histogram of eigenvalues. (b) Distribution of taxa on the F1-F2 factorial plane according to their ecological profile. (c) Distribution of modalities (= solid circles) of the ecological traits on the F1-F2 factorial plane analysis. Each modality circle was positioned at the weighted average of the taxon coordinates representing this modality. Correlation ratios are indicated on axes.

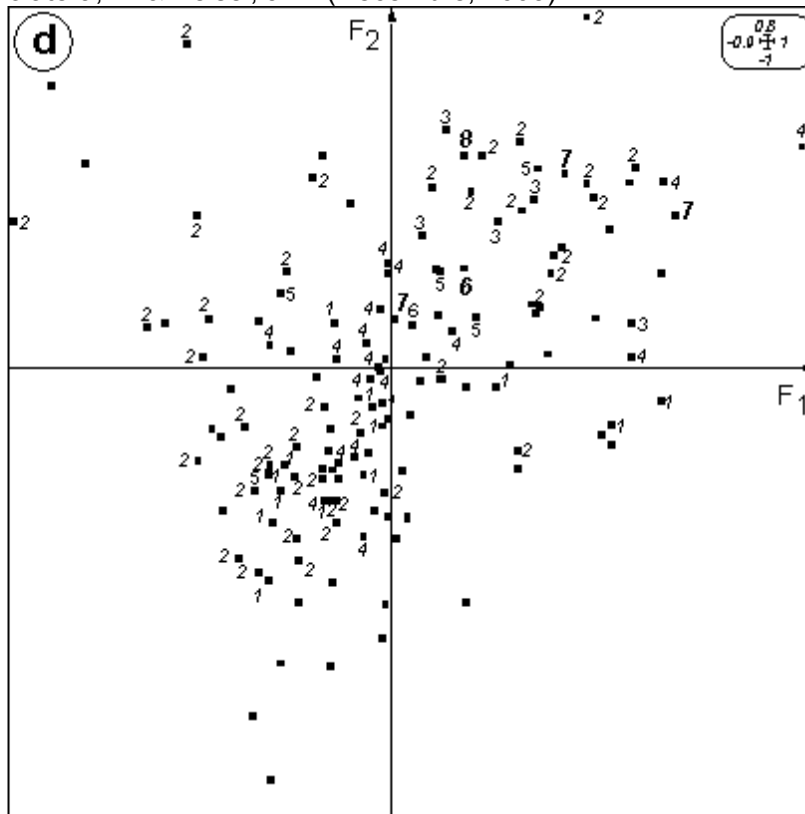


Figure 17 (suite) : Analyse des traits écologiques du peuplement des macroinvertébrés de la Meuse par Analyse des Correspondances Multiples adaptée au 'codage flou'. (d) Distribution des taxons dans le plan factoriel F1-F2 de l'analyse, compte tenu de leur appartenance à un Groupe Faunistique Indicateur (de 1 à 9, norme AFNOR, 1992).

*Figure 17 (continued): Ordination of 10 ecological traits by fuzzy correspondence analysis. (d) Distribution of taxa on the F1-F2 factorial plane according to the faunal indicator group (from 1 AFNOR, 1992) they belong to.*

Dans un second temps la structure des tableaux de traits bio/écologiques est confrontée à la structure du tableau d'abondances faunistiques stationnelles (Figures **18** à **23**)

Il est en effet possible de confronter directement la structure faunistique d'un ensemble de relevés à l'organisation simultanée des traits biologiques et/ou écologiques de leurs communautés. L'objectif majeur est alors de déterminer, de manière optimale, la structure commune aux deux tableaux et ainsi de pouvoir interpréter les différences faunistiques observées en termes de différences dans les combinaisons de traits biologiques ou écologiques présentés par les taxons constitutifs des communautés.

En préalable à la confrontation, et sur la base d'une liste faunistique commune de 143 taxons, le tableau réunissant les relevés faunistiques et le tableau rassemblant les notes d'affinité des taxons pour les variables biologiques ou écologiques sélectionnées sont respectivement analysés par Analyse Factorielle des Correspondances (A.F.C. appliquée au tableau des [143 taxons x 16 stations] et par « A.C.M. sur codage flou » (tableaux [143 taxons x 11 traits biologiques] ou [143 taxons x 10 traits écologiques]).

Puis, une analyse de co-inertie (Dolédec & Chessel, 1994), qui recherche le meilleur compromis alliant corrélation et structure des deux tableaux, est utilisée pour illustrer les relations entre traits biologiques et structure faunistique d'une part, entre traits écologiques et structure faunistique d'autre part.

## 2.1. Organisation des traits biologiques et écologiques des taxons constitutifs du peuplement benthique

### 2.1.1. *Organisation des traits biologiques*

La décroissance faible et régulière des valeurs propres (Figure **16a**) tend à montrer la faible structure du tableau initial. Les deux premiers axes factoriels définis par l'analyse restituent respectivement 11,5 et 9,3% de l'information contenue dans ce tableau.

Sur le premier plan factoriel issu de l'analyse des variables biologiques, chaque taxon est positionné (petit carré noir, Figure **16b**) en fonction de ses affinités pour les différentes modalités des 11 variables biologiques étudiées.

Les modalités de chaque variable (ronds noirs, Figure **16c**) sont localisées sur le plan factoriel au centre de gravité des positions des taxons qui les utilisent.



Les rapports de corrélation ( $R_c$ ) indiquent que ce sont essentiellement les variables 'mode d'alimentation' ( $R_c = 0,565$ ), 'nourriture' ( $R_c = 0,502$ ), 'formes de résistance' ( $R_c = 0,454$ ) et 'nombre de générations annuelles' ( $R_c = 0,214$ ) qui participent à la définition de l'axe F1, et qui distinguent préférentiellement les taxons du benthos de la Meuse compte tenu de leurs profils de traits biologiques. Les variables 'technique de reproduction' ( $R_c = 0,547$ ) et 'taille maximale potentielle' ( $R_c = 0,343$ ) sont les variables les plus significatives sur l'axe F2. Les organismes de petite taille (< 1 cm; variable 1), à cycle court (≤ 1 an; var. 2) et plusieurs générations annuelles (var. 3), broyeurs, racleurs ou consommateurs de fins débris organiques (var. 4 et 8) sont alors opposés (le long du premier axe factoriel - F1) aux organismes de grande taille, à cycle biologique pluriannuel, plutôt perceurs-suceurs ou prédateurs, consommateurs préférentiels de matière organique d'origine animale. Le premier groupe utilise une large gamme de techniques de reproduction (var. 6) et peut éventuellement éviter des conditions abiotiques défavorables par une phase de diapause embryonnaire ou larvaire (var. 9). Le mode de reproduction asexué et la construction de cocons ou de logettes pour lutter contre des conditions environnementales difficiles (e.g. la dessiccation) sont plus fréquemment observés chez les organismes du second groupe.

Un certain nombre d'insectes Ephéméroptères (surtout Baetidae et *Caenis*, *Habrophlebia*, *Potamanthus*, *Ephemerella*), de Trichoptères (Psychomyiidae, Hydroptilidae et Leptoceridae), de Coléoptères (principalement Elmidae), de Diptères et d'Hétéroptères, et des Gastéropodes appartiennent au premier groupe précédemment défini (au pôle négatif du F1). Des Odonates (Gomphidae, Cordulegasteridae, Calopterygidae, Platycnemididae, Coenagrionidae), des Achètes et des Turbellariés sont les représentants les plus typiques du second groupe (au pôle positif du F1).

L'axe F2 sépare principalement, au pôle positif, un troisième groupe d'organismes de grande taille (parfois supérieure à 8 cm), à cycle long, constitué de filtreurs, fixés de manière permanente à au moins un de leurs stades de développement (principalement le stade adulte), ou de broyeurs. Bryozoaires, Bivalves et Crustacés entrent dans la constitution de ce troisième groupe.

### 2.1.2. Organisation des traits écologiques

La part d'information apportée par les deux premiers facteurs issus de l'analyse des caractéristiques écologiques des taxons du peuplement macrobenthique de la Meuse (respectivement 22,1 et 14,3 %) illustre une organisation plus

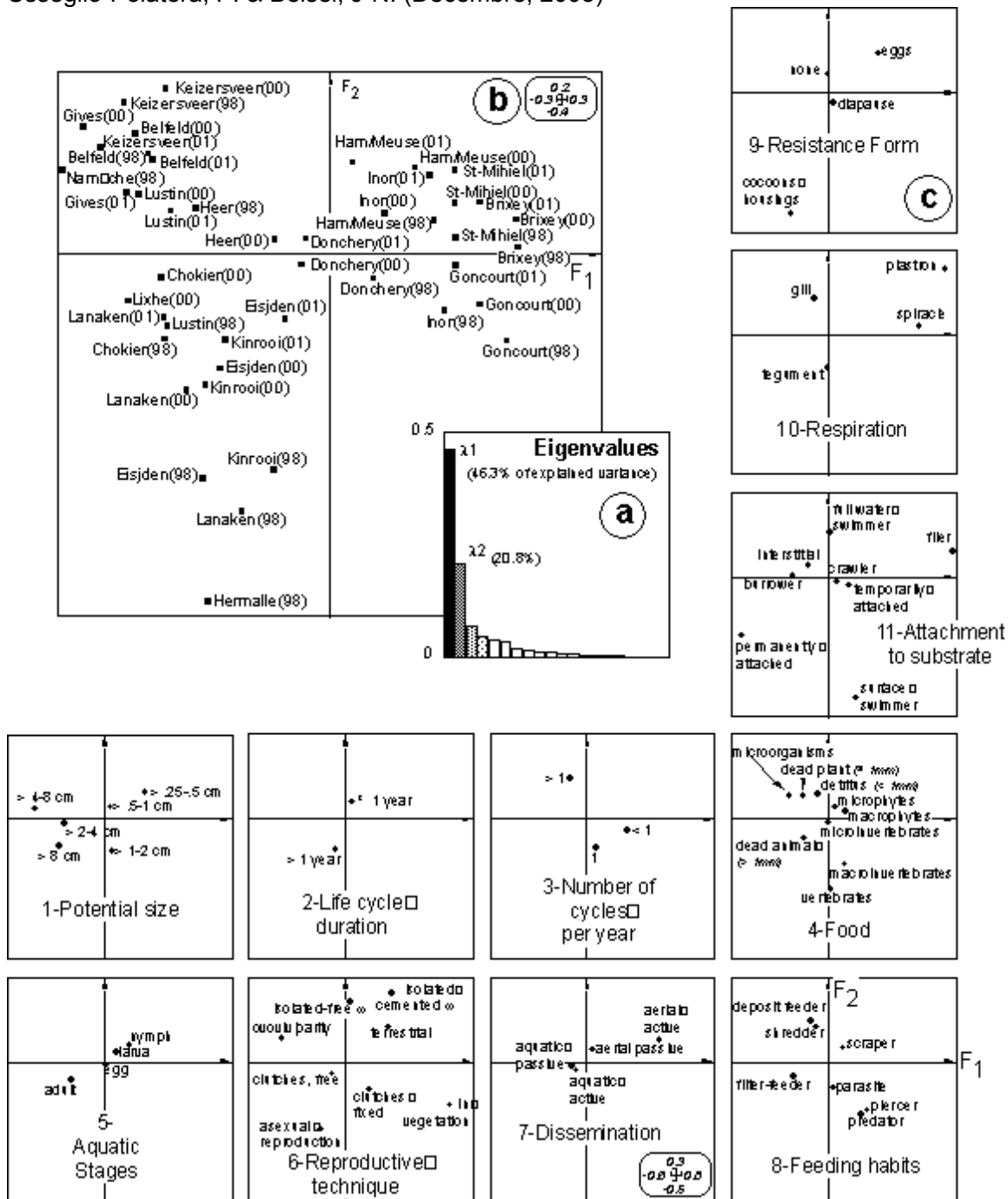


Figure 18 : Co-structure entre abondances faunistiques et combinaisons de traits biologiques étudiée par analyse de co-inertie. (a) Histogramme des valeurs propres. (b) Distribution des 45 relevés (carrés noirs) dans le plan F1-F2 de l'analyse. Chaque relevé est repéré par le nom de la station échantillonnée et l'année d'échantillonnage : (98) = 1998, (00) = 2000, (01) = 2001. (c) Distribution des modalités (ronds noirs) de 11 variables biologiques dans le plan F1-F2 de l'analyse.

Figure 18 : Co-structure between biological traits and abundances of taxa by co-inertia analysis. (a) Histogram of eigenvalues. (b) Ordination of 45 samples (solid squares) on the first factorial plane. Sample labels include the station label and the sampling year : (98) = 1998, (00) = 2000, (01) = 2001. (c) Ordination of biological trait modalities (solid circles) on the first factorial plane.

structurée des combinaisons de traits écologiques des taxons de la communauté macrobenthique meusienne (Figure 17a).

Ce sont surtout les variables 'température' ( $R_c = 0,257$ ), 'distribution longitudinale' ( $R_c = 0,202$ ), 'altitude' ( $R_c = 0,178$ ) et 'vitesse du courant' ( $R_c = 0,161$ ) qui participent à la séparation des taxons benthiques le long de l'axe F1 compte tenu de leurs caractéristiques écologiques. La variable 'distribution transversale' ( $R_c = 0,225$ ) est la variable la plus discriminante sur l'axe F2.

L'axe 1 définit un gradient de caractéristiques écologiques des organismes rhéophiles (variable 5), psychrophiles (var. 8), xéno- à oligosaprobies (var. 9) des petits cours d'eaux (crénon, rithron - var. 2) oligotrophes (var. 6) d'altitude (var. 3) à substrat sableux ou graveleux (var. 4) (pôle positif de l'axe F1), vers des organismes plus limnophiles, moins sensibles aux contaminations organiques et à l'eutrophisation, principalement rencontrés dans les grands cours d'eaux de plaine (pôle négatif de l'axe F1, Figure 17c).

L'axe 2 oppose principalement des taxons de grandes rivières ou d'estuaires, présents dans le chenal principal, sur substrat minéral de granulométrie grossière (gravier, cailloux, blocs) ou sur substrat organique rigide (branches/racines) à des taxons colonisant des substrats organiques meubles (litière, vase, microphytes) dans des milieux stagnants, eutrophes (étangs, marais), parfois temporaires, souvent annexes au réseau hydrographique principal.

Les principaux groupes d'insectes aquatiques (Trichoptères, Ephéméroptères, Coléoptères, Diptères, Hétéroptères et Odonates) ont une diversité de caractéristiques écologiques telle qu'ils sont représentés sur la majeure partie du gradient décrit par l'axe F1. Seuls les Plécoptères (peu représentés dans la Meuse) et tous les taxons des GFI élevés (GFI \_ 5, Figure 17d) ont une distribution limitée au quadrant supérieur droit (coordonnées positives sur F1 et F2) du plan factoriel. Les Hirudinés et la plupart des Crustacés et Mollusques présentent plutôt des combinaisons de caractéristiques écologiques associées à la partie négative de l'axe F1.

## 2.2. Confrontation de la structure faunistique stationnelle à l'organisation des traits biologiques de leur communauté

Les bonnes corrélations obtenues entre les axes factoriels F1 (0,726) et les axes factoriels F2 (0,636) tendent à montrer qu'une bonne partie des structures des deux tableaux sont en correspondance. Un test de Monte-Carlo, au cours duquel la co-structure observée des deux tableaux est comparée à la co-structure

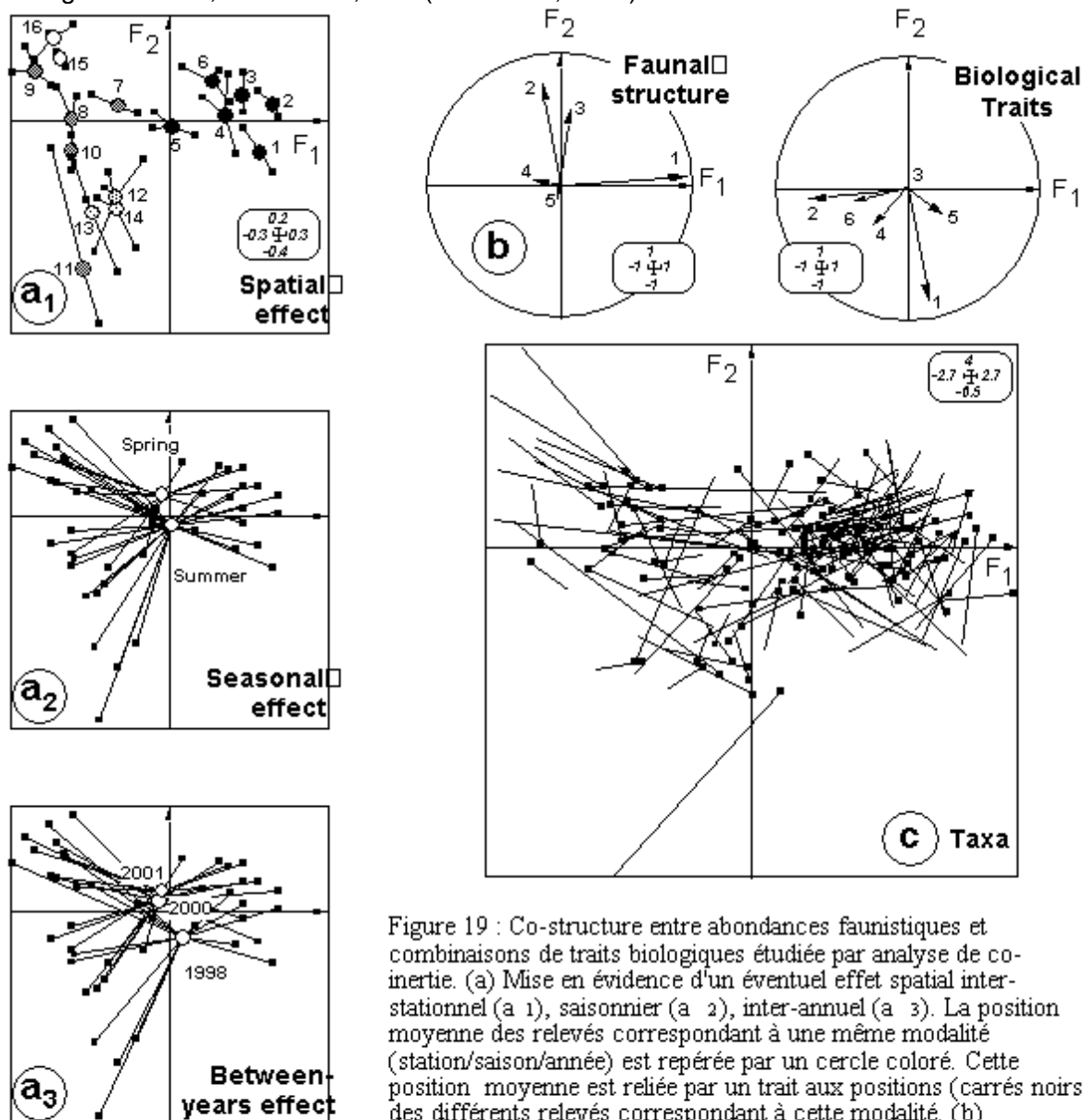


Figure 19 : Co-structure entre abondances faunistiques et combinaisons de traits biologiques étudiée par analyse de co-inertie. (a) Mise en évidence d'un éventuel effet spatial inter-stationnel (a<sub>1</sub>), saisonnier (a<sub>2</sub>), inter-annuel (a<sub>3</sub>). La position moyenne des relevés correspondant à une même modalité (station/saison/année) est repérée par un cercle coloré. Cette position moyenne est reliée par un trait aux positions (carrés noirs) des différents relevés correspondant à cette modalité. (b) Projections des axes d'inertie des analyses élémentaires sur le premier plan factoriel de l'analyse de co-inertie.

(c) Comparaison des positions des taxons dans les deux plans factoriels F<sub>1</sub>-F<sub>2</sub>. Chaque taxon est représenté par un vecteur. L'origine du vecteur est déterminée par la combinaison de traits biologiques d taxon considéré. L'extrémité est déterminée par sa distribution d'abondances dans les différentes station: inventoriées.

Figure 19 : Co-structure between biological traits and abundances of taxa by co-inertia analysis. (a) Between-sites (a<sub>1</sub>), seasonal (a<sub>2</sub>) and between-years (a<sub>3</sub>) effects. Sites, season and/or years are positioned (open or solid circles) at the weighted average of the corresponding sample coordinates (solid squares). Lines link samples to their modalities. (b) Relationships between separate analyses and co-inertia analysis. Each arrow represents an axis number of the previous correspondence analysis that are projected on to the co-inertia axes. (c) Ordination of taxa on the first factorial plane. Each taxon is defined by an arrow. The beginning of the arrow (solid square) marks the taxon location according to its combination of biological traits and the end of the arrow marks its position according to its spatial distribution.

obtenue lors de l'appariement des deux tableaux après un grand nombre de permutations aléatoires des lignes de l'un des deux tableaux, montre que cette co-structure est hautement significative ( $p < 0,0001$ ).

Les variables "Technique de reproduction" ( $R_c = 0,0737$ ), "Dissémination" ( $R_c = 0,0330$ ), "Taille maximale potentielle" ( $R_c = 0,0310$ ), et "Mode de Respiration" ( $R_c = 0,0284$ ) sont les variables biologiques les plus discriminantes des peuplements macrobenthiques stationnels le long de l'axe F1 (*les valeurs de rapports de corrélation selon F1 -  $R_c$  - sont à interpréter par rapport à la première valeur propre  $\lambda_1 = 0,0236$ , qui est la moyenne des rapports de corrélation selon F1 des 11 variables biologiques simultanément considérées*). Les variables "Formes de résistance" ( $R_c = 0,0228$ ), "Mode d'alimentation" ( $R_c = 0,0159$ ), "Nombre de générations annuelles" ( $R_c = 0,0145$ ) associées aux variables "Technique de reproduction" ( $R_c = 0,0161$ ) et "Mode de Respiration" ( $R_c = 0,0146$ ) dont l'importance a déjà été soulignée par l'axe 1, sont les plus discriminantes des peuplements benthiques stationnels le long de l'axe F2 (*les valeurs de rapports de corrélation selon F2 sont à interpréter par rapport à la seconde valeur propre  $\lambda_2 = 0,0107$ , qui est la moyenne des rapports de corrélation selon F2 des 11 variables biologiques simultanément considérées*). Le premier plan factoriel défini par l'analyse de co-inertie reprend les plans F1-F2 respectivement définis par l'analyse des données faunistiques (AFC) et l'analyse des traits biologiques (ACM sur codage flou - Figure **19b**)

Les positions relatives des différentes stations sur le plan F1-F2 de l'analyse de co-inertie (Figures **18 b** et **19a**) doivent être interprétées en termes de combinaisons de traits biologiques de leurs communautés macrobenthiques respectives (Figure **19c**) au cours des trois campagnes successives d'échantillonnage. Le peuplement macrobenthique des stations de la Meuse française se distingue nettement le long de l'axe 1 du peuplement des stations situées plus en aval. Les différences le long du gradient longitudinal sont donc majeures, le peuplement benthique des stations du secteur français se distinguant du peuplement des stations du secteur plus en aval non seulement sur des critères taxonomiques, mais également sur des critères biologiques. Ce peuplement présente alors une plus forte proportion d'organismes de petite taille (inférieure à 2 cm - variable 1, Figure **18c**), de prédateurs, perceurs-suceurs ou racleurs de substrats, qui utilisent un mode de respiration (plastron ou spiracle) et de dissémination (vol) plutôt "aérien" et des stratégies de reproduction variées. Le peuplement benthique des stations plus en aval est principalement constitué par des organismes de grande taille ( $> 2$  cm), fixés, fouisseurs ou interstitiels, filtreurs ou mangeurs de dépôts (= 'deposit-feeders').

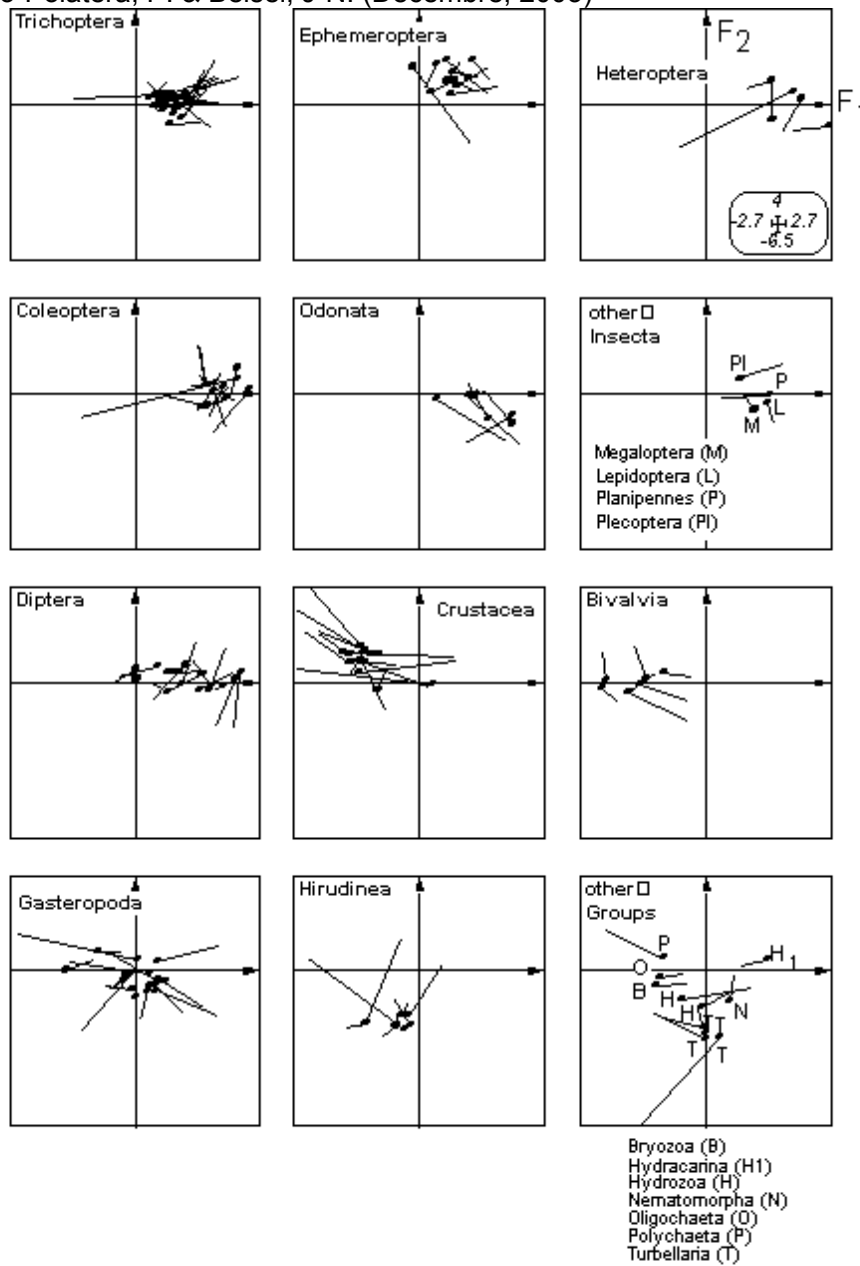


Figure 20 : Co-structure entre abondances faunistiques et combinaisons de traits biologiques étudiée par analyse de co-inertie. Comparaison des positions des taxons dans les deux plans factoriels F1-F2. Chaque taxon est représenté par un vecteur. L'origine du vecteur (carré noir) est déterminée par la combinaison de traits biologiques du taxon considéré. L'extrémité est déterminée par sa distribution d'abondances dans les différentes stations inventoriées. Pour plus de lisibilité, les taxons ont été séparés par grands groupes faunistiques.

*Figure 20 : Co-structure between biological traits and abundances of taxa by co-inertia analysis. Comparison of taxa locations on the two F1-F2 planes by co-inertia analysis. Each taxon is defined by an arrow. The beginning of the arrow (solid square) marks the taxon location according to its combination of biological traits and the end of the arrow marks its position according to its spatial distribution. For readability, taxa are separated according to faunal units (order, class or phylum).*

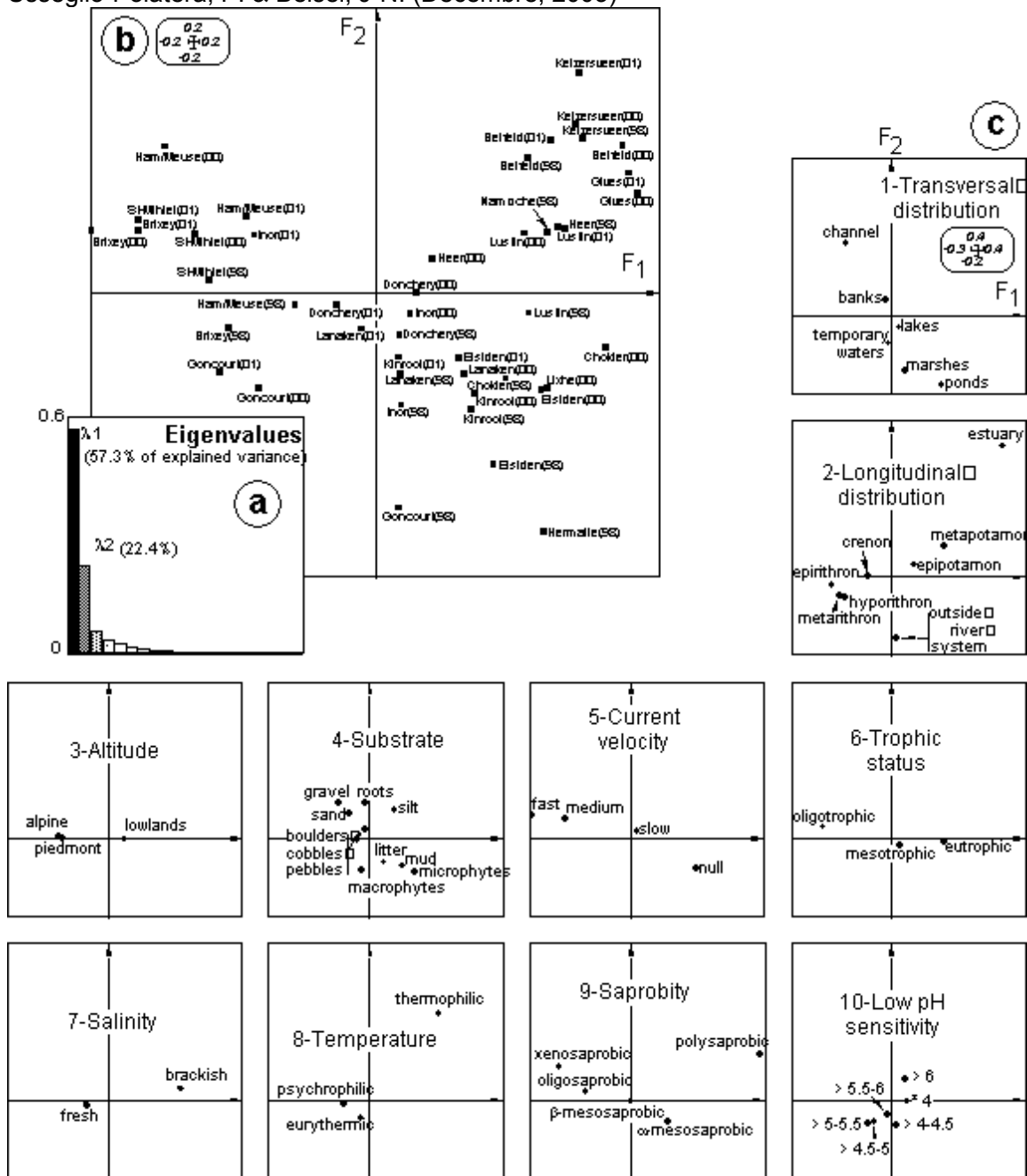


Figure 21 : Co-structure entre abondances faunistiques et combinaisons de traits écologiques étudiée par analyse de co-inertie. (a) Histogramme des valeurs propres. (b) Distribution des 45 relevés (carrés noirs) dans le plan F1-F2 de l'analyse. Chaque relevé est repéré par le nom de la station échantillonnée et l'année d'échantillonnage : (98) = 1998, (00) = 2000, (01) = 2001. (c) Distribution des modalités (ronds noirs) de 10 variables écologiques dans le plan F1-F2 de l'analyse.

Figure 21 : Co-structure between ecological traits and abundances of taxa by co-inertia analysis. (a) Histogram of eigenvalues. (b) Ordination of 45 samples (solid squares) on the first factorial plane. Sample labels include the station label and the sampling year code : (98) = 1998, (00) = 2000, (01) = 2001. (c) Ordination of ecological trait modalities (solid circles) on the first factorial plane.

Les différences saisonnières, en termes de traits biologiques, sont relativement secondaires et s'expriment (faiblement) suivant l'axe F2 (Figure 19a).

Nous pouvons examiner directement la correspondance entre les positions des taxons dans le plan F1-F2 compte tenu de leurs combinaisons de caractéristiques biologiques (les taxons sont alors positionnés à la moyenne des positions des modalités qu'ils utilisent = l'origine du vecteur associé à chaque taxon sur les Figures 19c et 20) et leurs positions compte tenu de leurs distributions d'abondance dans les différentes stations (les taxons sont alors positionnés à la moyenne des positions des stations qu'ils colonisent = extrémité de chaque vecteur). La comparaison des coordonnées standardisées correspondant à ces deux positions (pour l'ensemble des taxons) permet de juger de la pertinence de la co-structure observée.

Nous pouvons alors distinguer des groupes taxonomiques présentant une forte homogénéité intra-groupe (vecteurs de petite taille concentrés dans une aire réduite du plan factoriel; e.g. les Diptera, la plupart des Ephemeroptera, Coleoptera et Trichoptera), organisés parfois en gradient le long de l'axe F1 (Diptera). Cette distribution illustre, chez ces groupes faunistiques, une correspondance étroite entre leurs combinaisons de traits biologiques et leur distribution benthique le long du profil longitudinal meusien. Une plus forte hétérogénéité est observée chez les Gastéropodes et/ou les Crustacés, qui malgré une relative homogénéité de leurs caractéristiques biologiques (origines des vecteurs proches), ont des distributions spatiales très contrastées (vecteurs de grande taille et divergents).

### 2.3. Confrontation de la structure faunistique stationnelle à l'organisation des traits écologiques de leur communauté

La plupart des observations réalisées sur la base de la seule campagne de 1999 sont validées par l'analyse des 2 campagnes supplémentaires.

Lors de la confrontation de la structure faunistique à l'organisation des traits écologiques, les bonnes corrélations obtenues entre les axes factoriels F1 (0,658) et les axes factoriels F2 (0,669) tendent à indiquer qu'une bonne partie des structures des deux tableaux sont en correspondance. La co-structure observée des deux tableaux est d'ailleurs hautement significative (test de Monte-Carlo,  $p = 0,0001$ ). On peut noter la mise en correspondance automatique des plans d'inertie F1-F2 de l'analyse des abondances faunistiques stationnelles et de l'analyse des combinaisons de traits écologiques (Figure 22b).



Les variables "Vitesse du courant" ( $R_c = 0,0277$ ), "Distribution longitudinale" ( $R_c = 0,0205$ ), "Statut trophique" ( $R_c = 0,0186$ ), "Salinité" ( $R_c = 0,0149$ ) et "Valeur saprobiale" ( $R_c = 0,0147$ ) sont les variables écologiques les plus discriminantes des peuplements macrobenthiques stationnels le long de l'axe F1 (*les valeurs des rapports de corrélation selon F1 -  $R_c$  - sont à interpréter par rapport à la première valeur propre  $\lambda_1 = 0,0123$ , qui est la moyenne des rapports de corrélation selon F1 des 10 variables écologiques simultanément considérées*). Les variables "Distribution longitudinale" ( $R_c = 0,0139$ ), "Distribution transversale" ( $R_c = 0,0136$ ), et "Température" ( $R_c = 0,0100$ ) sont les plus discriminantes des peuplements benthiques stationnels le long de l'axe F2 (*les valeurs de rapports de corrélation selon F2 sont à interpréter par rapport à la seconde valeur propre  $\lambda_2 = 0,0048$ , qui est la moyenne des rapports de corrélation selon F2 des 10 variables écologiques simultanément considérées*).

En termes de combinaisons de traits écologiques, le peuplement macrobenthique des stations du secteur français, et plus précisément de Brixey, Saint-Mihiel et Ham-sur-Meuse (au pôle négatif) s'oppose, le long de l'axe 1, à celui des stations du secteur Heer-Keizersveer (au pôle positif). La structure observée sur la base des 3 campagnes de prélèvements, est très proche de la structure observée sur la seule base de la campagne de 1999 (Usseglio-Polatera & Beisel, 1999).

Cette distribution correspond à une rhéophilie décroissante (var.5; Figure 21c), une affinité croissante pour les milieux eutrophes (var. 6) et une tolérance croissante pour les contaminations de nature organique (var. 9) des peuplements stationnels le long du profil longitudinal. Les communautés benthiques des stations de Brixey, Saint-Mihiel et Ham-sur-Meuse sont par ailleurs plutôt représentatives d'habitats minéraux (gravier, sable - var. 4) du chenal principal (var. 1) de la partie rithronique (var. 2) d'un cours d'eau. Leur tolérance à la salinité est limitée (var. 7).

Le gradient décroissant de vitesse de courant ne correspond pas à un gradient décroissant de granulométrie. La Meuse est une rivière de plaine de faible pente sur la totalité de son cours. Le fond de la rivière, même dans les sections les plus en amont, présente peu d'habitats à caractère clairement lotique (e.g., 'galets dominants' soumis à de fortes vitesses de courant). Les granulométries grossières échantillonnées correspondent plutôt (en particulier dans le secteur en aval de Ham-sur-Meuse) à des blocs constitutifs de rives artificialisées.

Le long de l'axe F2, les stations de Belfeld et Keizersveer, qui présentent un cortège d'organismes plus thermophiles (var. 8), à affinité plus grande pour les milieux saumâtres (var. 7) et la zone estuarienne (var. 2) (Figures **21b** et

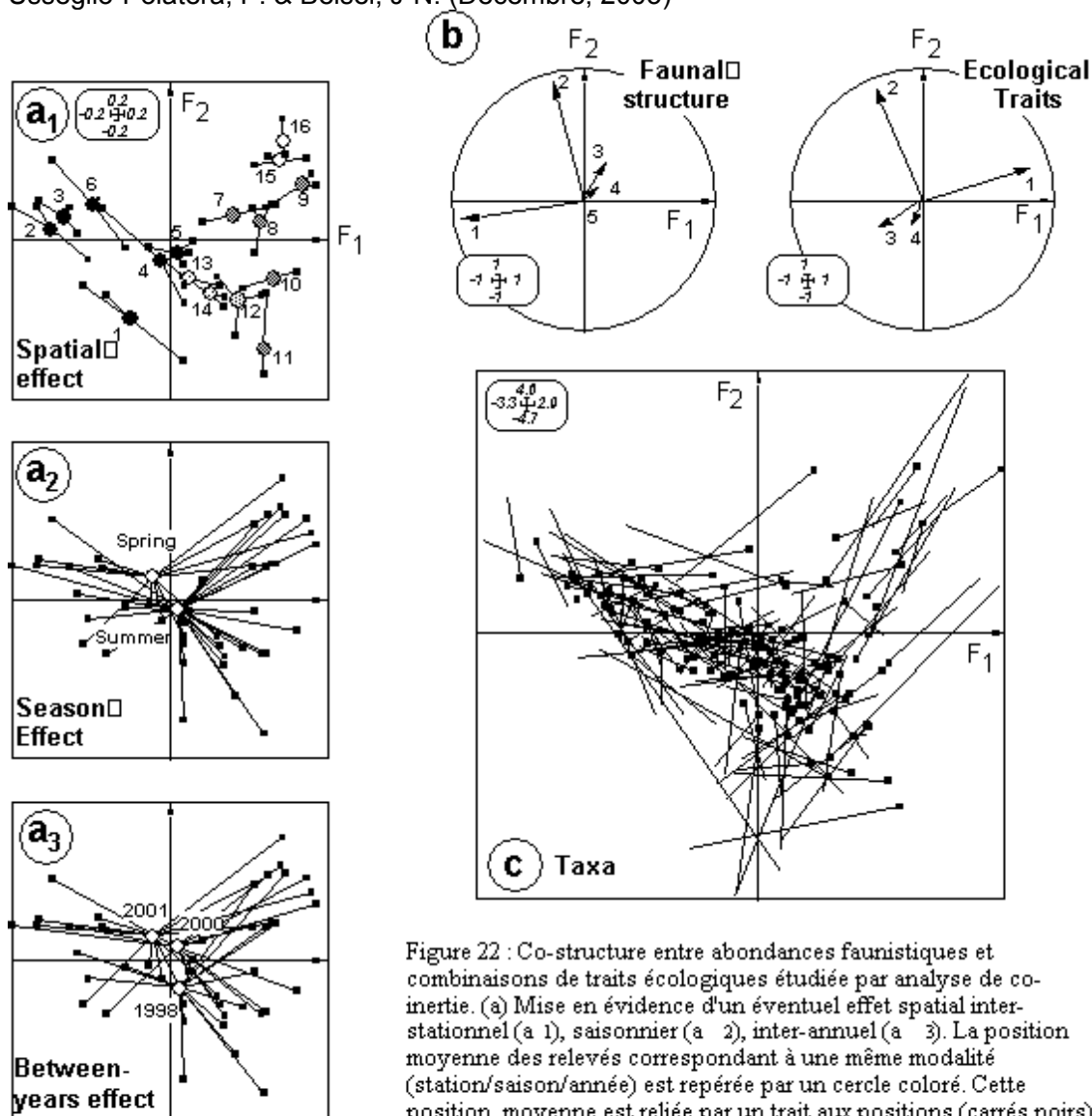


Figure 22 : Co-structure entre abondances faunistiques et combinaisons de traits écologiques étudiée par analyse de co-inertie. (a) Mise en évidence d'un éventuel effet spatial inter-stationnel (a 1), saisonnier (a 2), inter-annuel (a 3). La position moyenne des relevés correspondant à une même modalité (station/saison/année) est repérée par un cercle coloré. Cette position moyenne est reliée par un trait aux positions (carrés noirs) des différents relevés correspondant à cette modalité. (b) Projections des axes d'inertie des analyses élémentaires sur le premier plan factoriel de l'analyse de co-inertie.

(c) Comparaison des positions des taxons dans les deux plans factoriels F<sub>1</sub>-F<sub>2</sub>. Chaque taxon est représenté par un vecteur. L'origine du vecteur est déterminée par la combinaison de traits écologiques du taxon considéré. L'extrémité est déterminée par sa distribution d'abondances dans les différentes stations inventoriées.

Figure 22 : Co-structure between ecological traits and abundances of taxa by co-inertia analysis. (a) Between-sites (a<sub>1</sub>), seasonal (a<sub>2</sub>) and between-years (a<sub>3</sub>) effects. Sites, season and/or years are positioned (open or solid circles) at the weighted average of the corresponding sample coordinates (solid squares). Lines link samples to their modalities. (b) Relationships between separate analyses and co-inertia analysis. Each arrow represents an axis number of the previous correspondence analysis that are projected on to the co-inertia axes. (c) Ordination of taxa on the first factorial plane. Each taxon *i* is defined by an arrow. The beginning of the arrow (solid square) marks the taxon location according to its combination of ecological traits and the end of the arrow marks its position according to its spatial distribution.

s'opposent notamment aux stations de Goncourt, Hermalle et Eijsden dont la communauté benthique présente une plus forte proportion d'organismes plutôt caractéristiques d'habitats lenticques (voire stagnants) situés hors de la plaine alluviale. On retrouve alors dans leurs communautés, un cortège de taxons considérés comme invasifs incluant les Crustacés *Chelicorophium curvispinum*, *Dikerogammarus villosus*, *Jaera istri*, *Hemimysis anomala*, *Limnomysis benedeni*, *Orchestia cavimana*, *Atyephyra desmarestii* et les Bivalves *Corbicula fluminea* et *Musculium lacustre* (Figures 22c et 23).

Globalement, les groupes taxonomiques (les insectes Trichoptères, Coléoptères et Diptères notamment) ont une plus forte hétérogénéité de leurs combinaisons de traits écologiques que de leurs combinaisons de traits biologiques (comparer la distribution de l'origine des vecteurs sur les Figures 19c et 22c). Les taxons se distribuant sur toute (Coleoptera) ou une partie (Trichoptera, Diptera, Odonata) du gradient précédemment décrit.

La taille comme l'orientation des vecteurs (Figure 23) confirme la faible présence des insectes dans le peuplement macrobenthique des stations du secteur Heer-Keizersveer. Ainsi, même les insectes qui présentent des combinaisons de traits écologiques assez semblables au 'profil moyen' des organismes constitutifs des communautés benthiques des stations de ce secteur (origine du vecteur située dans la zone des valeurs positives de F1), comme par exemple les Trichoptères *Cyrrus*, *Orthotrichia* ou *Holocentropus*, les Ephéméroptères *Cloeon*, *Proclaeon* et *Potamanthus*, les Coléoptères *Laccobius*, *Laccophilus*, *Haliphus*, *Hydrobius* et *Gyrinus*, ou les Diptères *Tabanida e*, ne sont souvent présents et/ou abondants que dans les stations de la Meuse française (extrémité du vecteur située dans la zone des coordonnées positives de F1 - Figure 23).

### 3. Diversité bio/écologique vs Diversité taxonomique

#### 1.1 Approche indicielle

Une analyse des communautés en termes de distribution de taxons à l'intérieur de groupes fonctionnels homogènes définis sur la base de leurs combinaisons de traits a été réalisée (Figure 24). L'objectif est de compléter les approches indicielles plus classiques basées sur des critères purement taxonomiques (à savoir sur la distribution d'individus à l'intérieur d'unités taxonomiques décrites sur des critères "systématiques" et non pas "biologiques" et/ou "écologiques"). Le calcul d'un indice de diversité (en adoptant la formule de l'indice de diversité H' de Shannon-Weaver, 1949) a été réalisé sur la base des distributions

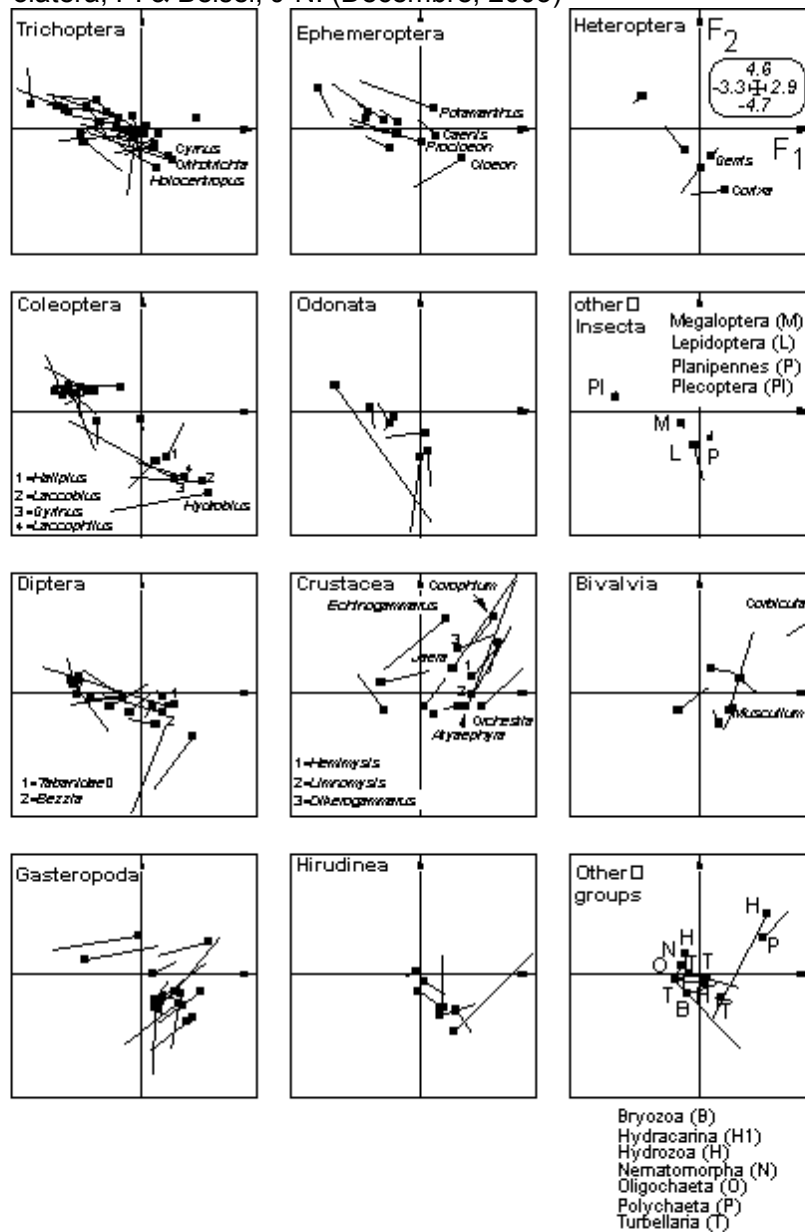


Figure 23 : Co-structure entre abondances faunistiques et combinaisons de traits écologiques étudiée par analyse de co-inertie. Comparaison des positions des taxons dans les deux plans factoriels F1-F2. Chaque taxon est représenté par un vecteur. L'origine du vecteur (carré noir) e déterminée par la combinaison de traits écologiques du taxon considéré. L'extrémité est déterminée par sa distribution d'abondances dans les différentes stations inventoriées. Pour plus de lisibilité, les taxons ont été séparés par grands groupes faunistiques.

Figure 23 : Co-structure between ecological traits and abundances of taxa by co-inertia analysis. Comparison of taxa locations on the two F1-F2 planes by co-inertia analysis. Each taxon is defined by an arrow. The beginning of the arrow (solid square) marks the taxon location according to its combination of ecological traits and the end of the arrow marks its position according to its spatial distribution. For readability, taxa are separated according to faunal unit (order, class or phylum).

d'abondances des individus à l'intérieur de groupes fonctionnels d'organismes homogènes (1) dans leurs profils de traits biologiques, (2) dans leurs profils de traits écologiques et (3) dans leurs profils de traits biologiques et écologiques. Ces groupes ont été récemment définis par Usseglio-Polatera *et al.* (2000b; 2001). Les taxons "invasifs récents" non répertoriés dans ces articles, ont été reclassés *a posteriori* en réexécutant la démarche décrite par les auteurs. La valeur de "diversité biologique" (ou "écologique", ou "bio/écologique") stationnelle est considérée comme la moyenne des estimations fournies par les relevés obtenus par les différentes méthodes d'échantillonnage au cours des trois années (5 méthodes x 3 années = jusqu'à 15 échantillons par station). Les profils obtenus sont, dans le cas de la Meuse, très proches (Figure 25). La diversité, lorsqu'elle est définie sur des critères purement biologiques (ou écologiques, ou bio-écologiques) a tendance à diminuer significativement (et linéairement) le long du profil longitudinal, en fonction de la distance à la source, sur le secteur Goncourt-Hermalle/Lixhe ( $-0,705 < R < -0,655$  - test sur  $R_2$ ,  $n = 11$ ;  $0,0077 < p < 0,0143$  suivant les cas). Les écart-types élevés, montrent cependant que les estimations intra-stationnelles sont très variables suivant la méthode d'échantillonnage adoptée et l'année d'échantillonnage, de sorte que ces résultats ne doivent être interprétés qu'en termes de "tendances". L'analyse des traits de vie aurait donc plutôt tendance à confirmer une réduction de la diversité des combinaisons de traits biologiques ou/et écologiques présentées par les macroinvertébrés de la communauté benthique meusienne des sources jusqu'à l'aval du secteur wallon. Cette réduction de la diversité des traits d'histoire de vie traduirait la réduction de la diversité de l'habitat et donc de la diversité des niches écologiques potentielles offertes par le milieu. En aval du secteur Hermalle/Lixhe, un retour à des valeurs équivalentes (diversité biologique), voire légèrement supérieures (diversité écologique ou diversité bio/écologique) aux estimations obtenues sur le secteur wallon est observé, confirmant une récupération partielle de la rivière sur ce secteur. La structure fonctionnelle peut également être décrite par la richesse du peuplement macrobenthique en unités (43 unités décrites par Usseglio-Polatera *et al.*, 2001) regroupant des taxons homogènes quant à leur profil de traits bioécologiques. Une réduction significative de cette richesse fonctionnelle est observée dès le secteur Heer-Lustin. Minimale sur le secteur Hermalle/Lixhe (612-618 km), cette richesse fonctionnelle retrouve dès Eijsden un niveau comparable à celle du secteur wallon le plus amont (Figure 25bis). L'équitabilité, évaluée en termes de traits bio-écologiques, reste relativement proche sur la totalité du profil longitudinal, excepté le secteur Hermalle/Lixhe

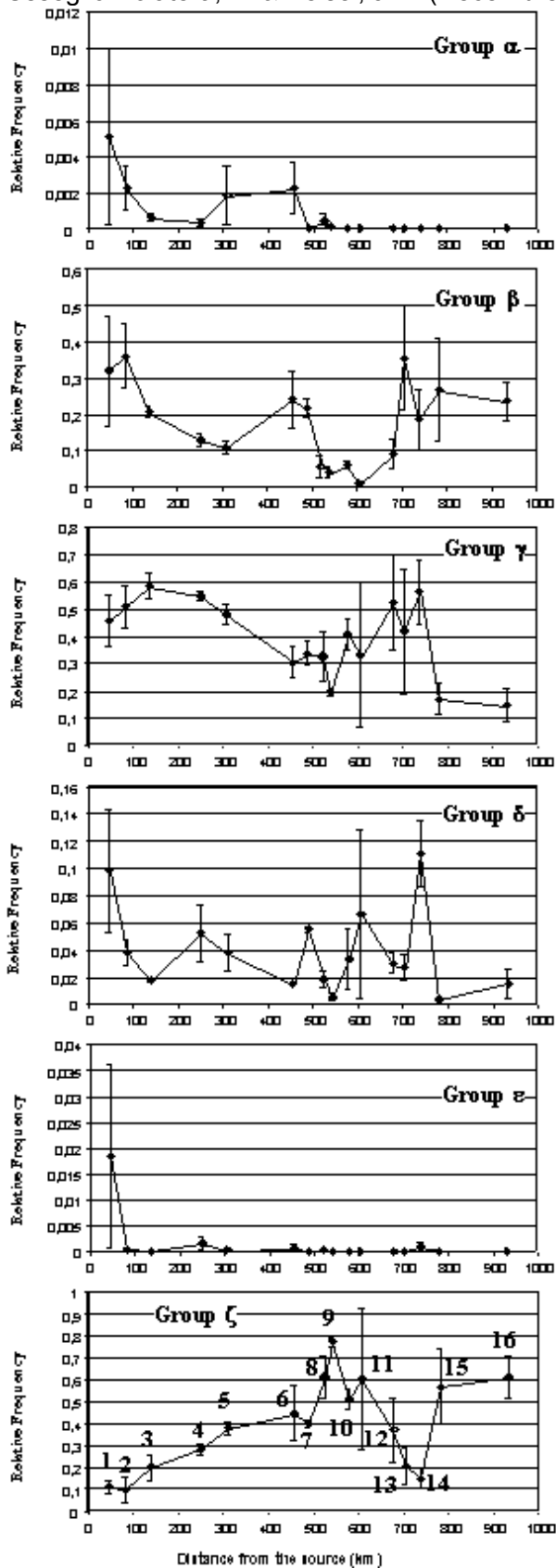


Figure 24 : Abondances relatives moyennes de 6 groupes fonctionnels ( $\alpha$  to  $\zeta$ ) pour 16 stations (codes 1 à 16 - cf. Tableau I) de la Meuse le long de son profil longitudinal. Les valeurs correspondent à la moyenne ( $\pm 1$  erreur-type) évaluée à partir des 3 campagnes d'échantillonnage.

Figure 24 : Mean relative abundance of six functional groups ( $\alpha$  to  $\zeta$ ) for 16 sites (1 to 16 - see codes in Table I) of the Meuse River on the longitudinal profile. Values are the mean ( $\pm 1$  SE) abundance evaluated from 3 campaigns.

(avec toutefois une forte différence dans les valeurs obtenues selon la station échantillonnée, compte tenu des différences de typologie déjà évoquées) – Eijsden.

## 1.2 Distribution des taxons à l'intérieur de groupes fonctionnels homogènes en termes de combinaisons de traits bio-écologiques

La diversité bio/écologique fournissant la valeur de  $R_2$  la plus élevée, la distribution du peuplement benthique meusien dans les 6 principaux groupes d'organismes ( $\alpha$  à  $\zeta$ ) sur la base de critères bio-écologiques, est illustrée (Figure 24). Les profils bio/écologiques de ces 6 groupes sont précisément décrits par Usseglio-Polatera et al. (2001).

Le **groupe  $\alpha$**  correspond à des organismes de taille moyenne, mono- ou semivoltins, xéno- ou oligo- saprobes, typiquement rhéophiles et caractéristiques des eaux froides de tête de bassin. Epibenthiques, ils colonisent préférentiellement les substrats minéraux grossiers dans des milieux oligotrophes. Leur respiration est aquatique. Ils pondent des œufs souvent fixés au substrat. Une diapause embryonnaire ou larvaire peut être intégrée au cycle de manière obligatoire. Les organismes sont préférentiellement broyeurs ou racleurs de substrat, utilisant les macroinvertébrés (broyeurs), les débris organiques grossiers (broyeurs) ou les microphytes (racleurs) comme sources de nourriture.

Ce groupe n'est présent que de manière anecdotique dans le peuplement macrobenthique meusien (proportion moyenne stationnelle toujours inférieure à 0,5% du peuplement), et de manière constante uniquement sur les 6 stations françaises (Figure 24a). Les conditions environnementales générales de la Meuse (rivière typiquement de plaine), sont en effet globalement défavorables aux exigences écologiques de ce groupe fonctionnel.

Le **groupe  $\beta$**  inclut des taxons plus représentatifs des milieux oligomesosaprobes du rithron. Ils sont surtout présents dans le chenal principal et sur les rives des rivières de piedmont et de plaine. Les organismes correspondants sont généralement de taille petite à moyenne, eurythermes. Leurs modes de reproduction, d'alimentation et de locomotion sont similaires à ceux des organismes du groupe  $\alpha$ . Le groupe  $\beta$  est cependant composé d'organismes légèrement moins rhéophiles et si leur respiration est également aquatique, elle est plus fréquemment tégumentaire (vs branchiale) que chez les individus du groupe  $\alpha$ .

Les organismes de ce groupe constituent une proportion de l'ordre de 15 à 35% du peuplement sur les stations françaises et de 18 à 30% sur les quatre stations les plus en aval (Figure **24b**). Leur proportion décroît de manière importante sur les sites manifestement les plus perturbés (secteur Namur-Liège), où ils sont remplacés par des organismes des groupes  $\delta$  et  $\zeta$ .

Le **groupe**  $\gamma$  est constitué d'organismes euryèces présents dans les cours d'eaux sur une large gamme d'habitats lenticques, et sur la plus grande partie de leur profil longitudinal. De taille moyenne, les organismes de ce groupe sont eurythermes,  $\beta$ -mésosapropes, et colonisent une large gamme de substrats minéraux et organiques (surtout les cailloux-galets et les macrophytes). La plupart de leurs autres traits biologiques sont assez semblables à ceux des organismes du groupe  $\beta$ .

Leur proportion (35-50 %) demeure relativement constante sur la plus grande partie du profil longitudinal de la Meuse (i.e. Goncourt-Kinrooi, exceptées Namèche et Gives). Une chute toutefois importante de la proportion représentée par ce groupe fonctionnel est observée sur le secteur Belfeld-Keisersveer (Figure **24c**).

Le **groupe**  $\delta$  associe des taxons eurythermes et  $\beta$ -mésosapropes. Les organismes correspondants sont nageurs ou rampeurs, colonisent une large gamme de substrats (mais ont une certaine préférence pour les substrats organiques) dans les habitats lenticques des rivières de plaine, les bordures de lacs et les étangs. Ils sont généralement polyvoltins et utilisent des modes de reproduction, des techniques de dispersion et des stratégies de résistance variées. Leur mode de respiration peut être aquatique (branchial ou tégumentaire) ou aérien (spiracle). Les perceurs-suceurs, broyeurs et prédateurs sont dominants dans ce groupe. Leur proportion n'excède pas, en moyenne, 10-12 % du peuplement total sur le profil longitudinal (Figure **24d**).

Les taxons appartenant au **groupe**  $\epsilon$  sont lénitophiles, susceptibles de coloniser tous les types de milieux aquatiques, sauf le chenal principal des rivières. Ce groupe est principalement formé d'organismes nageurs ou rampeurs, rencontrés dans des milieux eutrophes (préférentiellement dans les macrophytes, la litière et la vase), eurythermes,  $\beta$ - à  $\alpha$ -mésosapropes. De petite taille, mono- ou polyvoltins, à cycle long ( $\geq 1$  an), ils sont préférentiellement prédateurs d'autres macroinvertébrés. Leurs pontes sont fixées au substrat ou incluses dans la végétation. Leurs modes de dispersion et de respiration sont habituellement aériens.



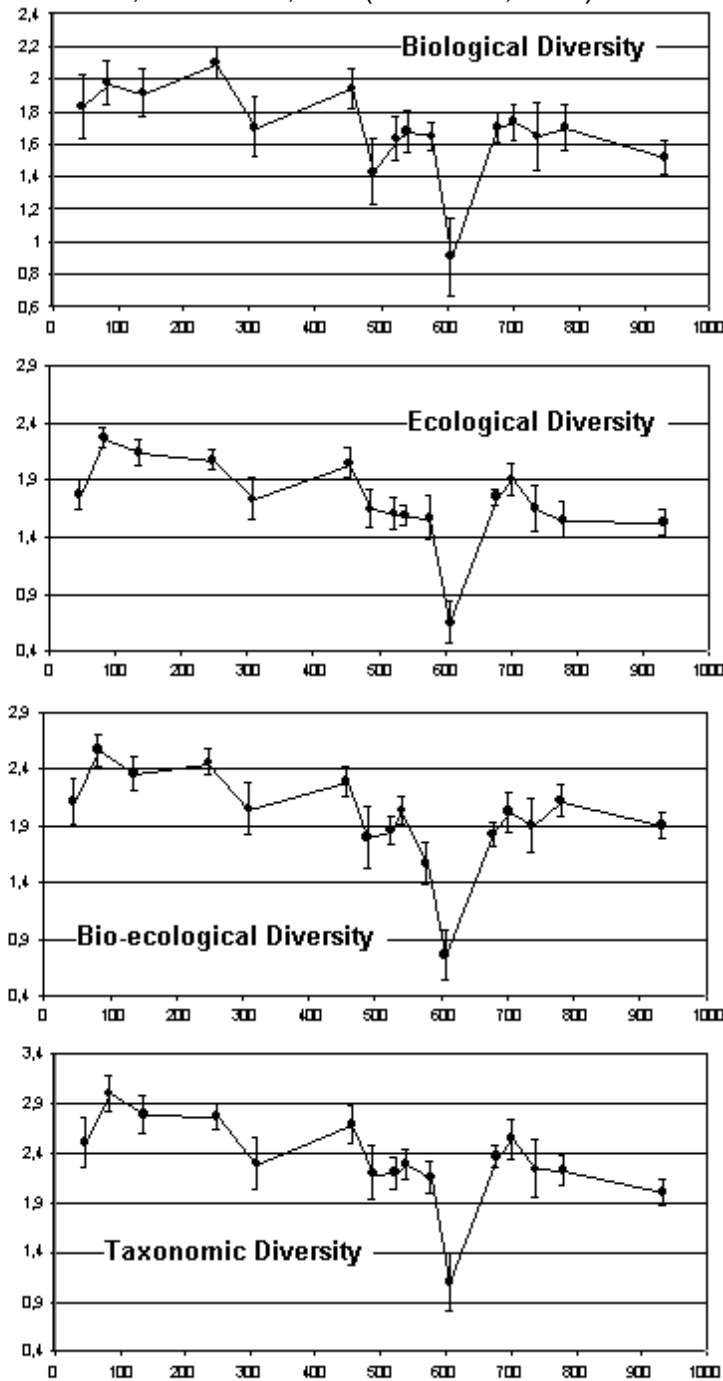


Figure 25 : Diversité biologique (a), diversité écologique (b), diversité bio-écologique (c) et diversité taxonomique pour 16 stations (codes 1 à 16 - cf. Tableau I) de la Meuse le long de son profil longitudinal. Les calculs sont réalisés sur la base de la répartition des taxons dans les sous-groupes homogènes définis par Usseglio-Polatera *et al.* (2000, 2001). Les valeurs correspondent à la moyenne ( $\pm 1$  erreur-type) évaluée à partir des 3 campagnes d'échantillonnage.

Figure 25 : Biological diversity (a), ecological diversity (b), bio-ecological diversity (c) and taxonomic diversity (d) for 16 sites (1 to 16 - see labels in Table I) of the Meuse River on the longitudinal profile. Index values are based on the distribution of individuals into functional sub-groups defined in Usseglio-Polatera *et al.* (2000, 2001). Values are the mean ( $\pm 1$  error-type) evaluated from 3 campaigns.

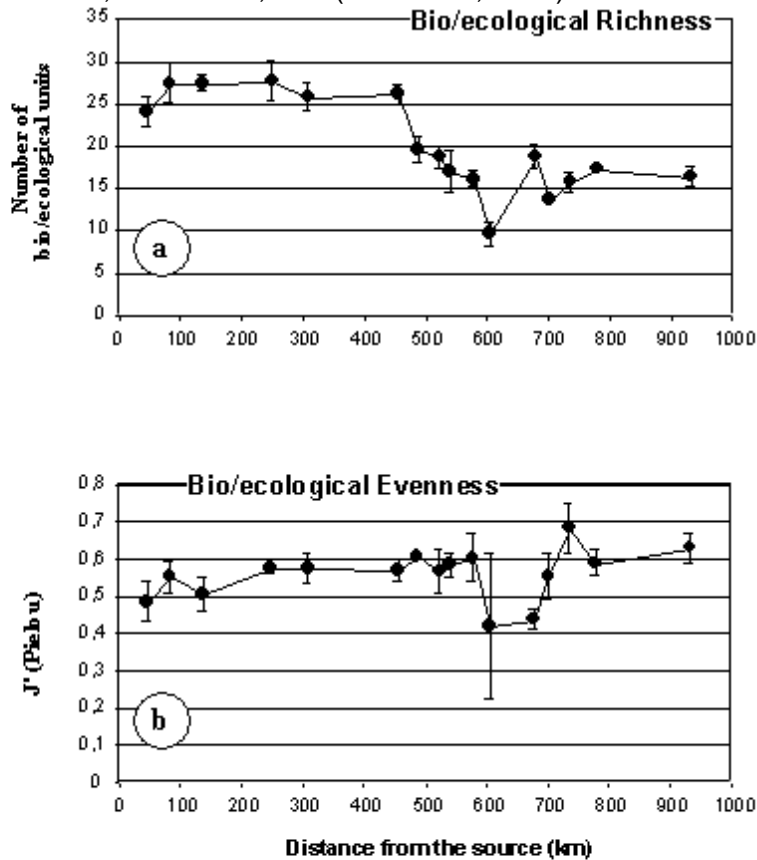


Figure 25bis : Richesse (a), et équitabilité (b) bio-écologiques calculées pour 16 stations (codes 1 à 16 - cf. Tableau I) de la Meuse le long de son profil longitudinal. Les calculs sont réalisés sur la base de la répartition des taxons dans les 43 unités homogènes quant aux combinaisons de traits biologiques et écologiques des taxons qu'elles rassemblent (cf. Usseglio-Polatera *et al.* 2000, 2001). Les valeurs correspondent à la moyenne ( $\pm 1$  erreur-type) évaluée à partir des distributions d'abondances stationnelles recueillies au cours de 3 campagnes d'échantillonnage.

Figure 25bis : Bio-ecological richness (a) and evenness (b) calculated for 16 sites (1 to 16 - see labels in Table I) of the Meuse River along the longitudinal profile. Index values are based on the distribution of individuals into 43 functional units defined in Usseglio-Polatera *et al.* (2000, 2001), assembling taxa with similar suites of traits. Values are the mean ( $\pm 1$  error-type) evaluated from 3 campaigns.

Ce groupe est peu représenté sur la totalité du profil longitudinal de la Meuse (Figure 24e), excepté sur la station la plus amont (Goncourt) où leur proportion "nettement" plus forte est à mettre en relation avec la forte eutrophisation du milieu liée à une contamination organique sérieuse de la Meuse à ce niveau (rejets d'effluents organiques liés à une friterie près de Montigny-le-Roi et à une laiterie à hauteur de Bassoncourt notamment).

Le groupe  $\zeta$  comprend des organismes uni- ou pluri-voltins, qui utilisent fréquemment le stade œuf comme "stade de résistance". L'ovoviviparité et la reproduction asexuée sont des techniques de reproduction souvent utilisées à l'intérieur de ce groupe. Ces organismes, à respiration branchiale ou tégumentaire, sont le plus souvent filtreurs ou "mangeurs de dépôts" (= "depositfeeders"), exploitant les microphytes et les fins débris organiques. Leur taille et leur relation au substrat sont hautement variables à l'intérieur du groupe. Ce groupe est peu représenté dans le secteur le plus en amont. Sa proportion dans le peuplement macrobenthique meusien a tendance à croître de l'amont vers l'aval. Elle est particulièrement importante sur le secteur le plus artificialisé et le plus intensément navigué (Namur-Liège), et sur le secteur Belfeld-Keisersveer.

## VI. CONCLUSION

L'objectif est d'effectuer un bilan général de la qualité biologique de la Meuse, fondé sur la valeur indicatrice des peuplements de macroinvertébrés benthiques. Il se basera sur les résultats des analyses précédentes (cf § V.1. à V.3) et sur un certain nombre d'analyses complémentaires.

### 1. Structure faunistique du peuplement macrobenthique

Le peuplement benthique de la Meuse est soumis le long de son profil longitudinal à des variations spatiales à la fois à l'échelle inter- et intrastationnelle et des variations temporelles de son habitat. Les caractéristiques des cycles biologiques respectifs de ses différentes composantes déterminent également sa composition aux différentes dates de prospection. Le plan d'échantillonnage adopté permet d'appréhender à la fois les variations spatiales inter-stationnelles (puisque 16 stations différentes sont prospectées le long du profil longitudinal), mais également intra-stationnelles (au sens

"mésohabitationnelles") du macrobenthos, dans la mesure où l'association de plusieurs techniques d'échantillonnage permet de mesurer les différences entre "substrats littoraux de sédimentation"; "pierres littorales", "habitats végétaux" (filet); "substrats du chenal profond" (dragage) et "habitats annexes" (*selon la terminologie employée dans le cahier technique de l'I.B.G.A. – échantillonnés par substrats artificiels*). Ce plan d'échantillonnage permet également une première évaluation de l'importance des variations inter-annuelles puisque 3 années différentes ont été échantillonnées.

### 1.1. Synthèse des différentes approches indicielles

L'observation des indices de structure (§ V.1.2), des indices biotiques (§ V.1.3), comme l'approche multivariée (§ V.1.1) tendent à montrer, sur les trois campagnes, la diversité et (surtout) la richesse élevées du peuplement macrobenthique meusien sur la section française de la rivière (avec une proportion importante d'insectes sténoèces) illustrant la bon état écologique de la rivière sur ce secteur ( $IBGA_{moyen} = 18$  ; valeurs comprises entre 15 et 20). Cette bonne qualité écologique estimée est plus liée à la présence d'une variété taxonomique stationnelle importante (souvent supérieure à 45-50 au niveau taxonomique préconisé par le protocole I.B.G.A.) qu'à la présence de taxons véritablement sténoèces ou particulièrement polluosensibles. Le groupe indicateur 9 n'est jamais représenté. Les taxons des groupes indicateurs 7 et surtout 8 sont rares. Leur présence, excepté à St Mihiel (G.F.I. 8) et Brixey (G.F.I. 7), n'est pas permanente. Les Plécoptères sont très peu représentés en général (seul des Leuctridae ont été observés) quelle que soit la date d'échantillonnage. C'est donc la diversité de la mosaïque d'habitats benthiques, plus que la qualité de l'eau, qui, en offrant un nombre important de mésohabitats différents potentiellement colonisables, multiplie le nombre de niches écologiques potentielles et contribue à la bonne "qualité écologique" apparente du milieu.

La station de Saint-Mihiel présente, à toutes les dates et de manière stable, la plus haute valeur d'indice biotique. Elle peut donc être considérée comme une station de référence, pour le cours supérieur de la Meuse.

Des variations temporelles notables sont constatées sur les autres stations françaises, avec notamment des valeurs estimées plus faibles lors de la campagne de l'été 2000 (- 2 à 3 points d'indice selon les sites). Elles montrent la fragilité relative du peuplement benthique dans ces stations - encore peu anthropisées - fortement dépendant des conditions environnementales locales sous l'influence du régime hydrologique notamment. L'analyse des

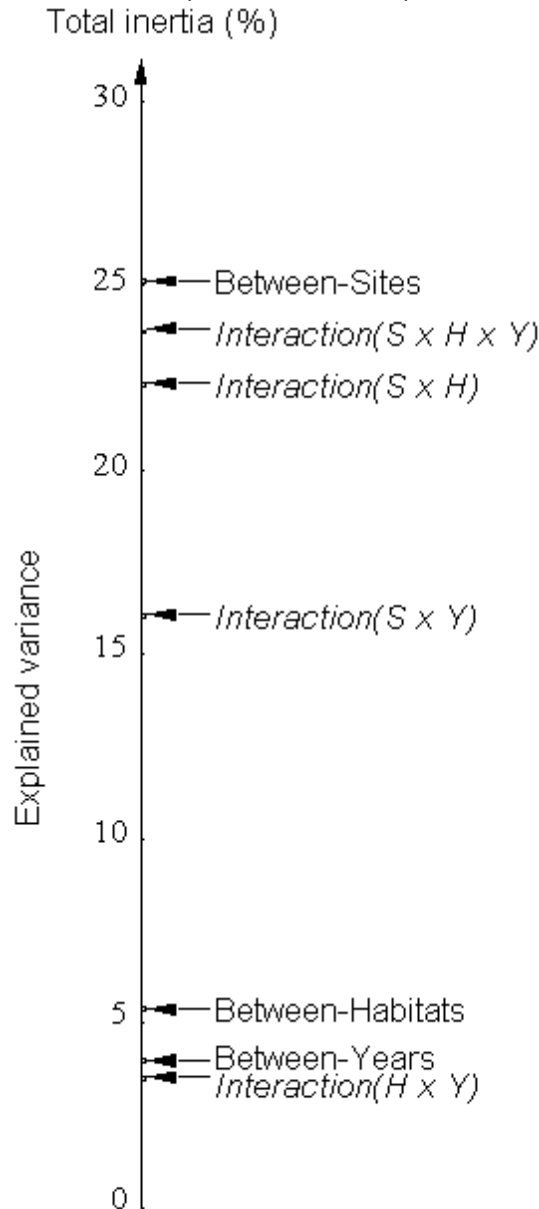


Figure 26 : Décomposition de la variation totale (= inertie totale) associée au tableau (199 relevés x 145 taxons) en variation liée à l'effet 'inter-annuel' (= Y), à l'effet 'station' (= S) et à l'effet 'habitat' (= H - lui-même lié à l'effet 'méthode d'échantillonnage'). La part de l'inertie totale liée aux différentes inter-actions est également estimée (voir la documentation de la programmation ADE pour plus de détails).

*Figure 26 : Breakdown of the total variability (= total inertia) in the faunal data (199 sam x 145 taxa) into 'between-years' (= Y), 'between-sites' (= S) and 'between-habitats' (= H - linked to 'between-sampling methods' effect) effects. Variability due to interactions is also estimated (see the ADE 4.0 program library for further details).*

caractéristiques physico-chimiques stationnelles montre d'ailleurs que, si les eaux de la Meuse sur ce secteur sont bien oxygénées, en période estivale, elles ne sont pas exemptes d'un certain niveau de contamination (DBO5 et DCO relativement élevées dans les stations les plus en amont). Ceci se traduit, par exemple sur la station de Inor, à une évaluation de l'indice qui peut varier de 5 points d'une campagne à la suivante (2000 : I.B.G.A. = 15; 2001 : I.B.G.A. = 20).

La modification importante dans la composition du peuplement benthique constatée entre les stations de Ham-sur-Meuse et Heer, puis Lustin et Namèche en 1998, ne se répète pas aussi nettement lors des deux campagnes suivantes. Si une réduction de la richesse et de la diversité du peuplement, avec disparition de nombreux insectes est toujours observée, celle-ci n'est pas aussi importante en 2000 et 2001 qu'en 1998.

Deux raisons essentielles expliquent ce phénomène :

- (1) une amélioration de l'état écologique de la station de Heer (I.B.G.A. de 11 à 14) fondamentalement liée à une augmentation de la richesse taxonomique, et le maintien de la station de Lustin à un niveau correct de qualité biologique (I.B.G.A. de 13 à 15 suivant les campagnes),
- (2) une possible amélioration de la qualité écologique, telle qu'elle est perçue par les macroinvertébrés benthiques, sur le secteur Namèche-Gives (I.B.G.A. de 7 à 14) à la fois liée à l'augmentation de la richesse taxonomique et à la présence de taxons plus polluosensibles. Cependant le remplacement du site de Namèche (station très perturbée par la navigation, échantillonnée en 1998) par le site de Gives (protégé du trafic fluvial par une île) contribue sans doute à l'évolution observée, même si la note I.B.G.A. obtenue à Namèche en 1998 (7) et Gives en 2000 (8) sont comparables et tendraient donc à prouver un état écologique relativement voisin de ces deux stations sur la période 1998-2000. Cette amélioration « apparente » demande cependant à être confirmée dans le futur.

Les stations de Chokier et surtout de Hermalle/Lixhe correspondent au secteur « apparemment » le plus dégradé de la Meuse. Dans ce secteur, la variété taxonomique est faible et traduit la banalisation et l'instabilité (liée à la navigation) des substrats (littoraux en particulier). Le groupe indicateur (G.F.I. 2) est déterminé par les Mollusques et/ou les Crustacés Gammaridae.

La configuration des sites, peu adaptée à une application rationnelle du protocole d'échantillonnage choisi pour ce suivi faunistique international harmonisé (Vanden Bossche *et al.*, 1999), participe également à l'obtention de faibles valeurs sur ce secteur pour les métriques estimant la qualité bio/écologique de la Meuse.

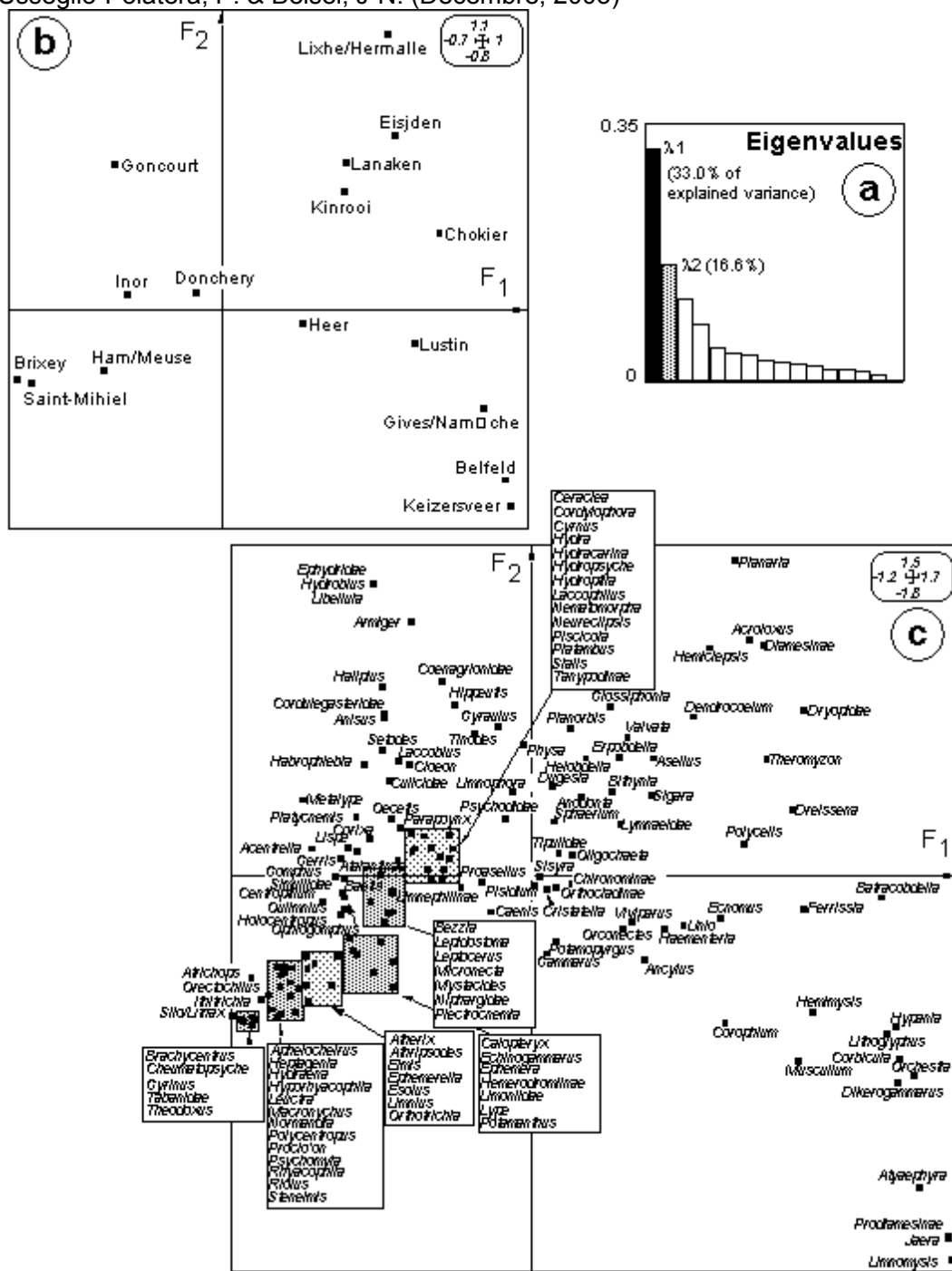


Figure 27 : Prise en compte du seul effet 'interstationnel' : analyse du tableau faunistique (199 relevés x 145 taxons) par AFC 'inter-stations'. (a) Histogramme des valeurs propres. (b) Position des 16 stations dans le plan factoriel F1-F2. (c) Positions des taxons dans le plan factoriel F1-F2

Figure 27 : Taking into account the 'spatial effect' by between-sites Correspondence Analysis applied to the array (199 samples x 145 taxa). (a) Histogram of eigenvalues. (b) Location of 16 sites (solid squares) on the first factorial plane. (c) Locations of taxa (solid squares) on the first factorial plane.

Une meilleure qualité écologique est observée à partir de Eijsden (richesse taxonomique plus élevée) et sur le secteur Lanaken - Kinrooi, avec réapparition des Trichoptères lénitophiles Leptoceridae (G.F.I. 4), des Hydroptilidae (G.F.I. 5) inféodés aux amas d'algues filamenteuses, voire même des Lepidostomatidae (G.F.I. 6) plus ponctuellement sur le site de Kinrooi. L'état écologique du site de Eijsden présente d'ailleurs une nette et constante amélioration au cours de la période d'étude (+ 6 points I.B.G.A.), par suite de l'augmentation de la richesse taxonomique (de 25 à 40 taxons) et de la polluosensibilité plus grande de certains des taxons rencontrés (passage du G.F.I. 2 au G.F.I. 5). Sur le secteur situé plus en aval, un état écologique relativement "moyen" se maintient au cours des 3 campagnes successives. La présence locale transitoire de taxons considérés comme plus sténoèces (Hydroptilidae notamment) sur certains sites, contribue à l'augmentation ponctuelle de la valeur de l'indice biotique. Cette augmentation est cependant rarement confirmée au cours de la campagne suivante, et démontre la précarité de la présence de tels taxons sur les sites correspondants.

## 1.2. Essai de hiérarchisation des principaux facteurs de variation des listes faunistiques : la décomposition de l'inertie totale du tableau harmonisé des données brutes

Pour tenter de hiérarchiser les différents effets potentiellement mis en jeu et leurs interactions respectives, il paraît intéressant de décomposer l'inertie totale du (= la quantité d'information contenue dans le) tableau général [199 relevés élémentaires x 145 taxons] en inertie de différentes sources (Figure 26).

Ainsi les différences interstationnelles seules (i.e. toutes méthodes d'échantillonnage et toutes dates confondues) expliquent 25,1% de la variance totale des données faunistiques. C'est l'effet majeur qui explique l'évolution du peuplement benthique de la Meuse sur la totalité de son profil longitudinal. Les effets "inter-habitats" (i.e. différences entre substrats, toutes stations et dates confondues) et "inter-annuel" (i.e. différences entre campagnes, toutes stations et habitats confondus) sont beaucoup plus secondaires, puisqu'ils n'expliquent respectivement que 5,4% et 4,0% des différences entre listes faunistiques. L'interaction entre effet "stationnel" et "effet habitat" (sur l'ensemble des campagnes) est importante (22,3% de variance expliquée). Les différences entre substrats, dans les différentes stations, sont donc très variables et dépendent sans doute de l'hétérogénéité plus ou moins importante de la



mosaïque benthique d'une station à l'autre. Cette constatation est en accord avec les observations précédentes qui tendaient à montrer une diversité de la mosaïque d'habitats - donc des capacités biogènes - très différente(s) selon les stations.

L'interaction entre effet "stationnel" et effet "inter-annuel" est également relativement importante (16,0% de variance expliquée). Les différences interannuelles entre stations (toutes méthodes d'échantillonnage confondues) sont donc relativement variables d'une station à l'autre. Une certaine hétérogénéité dans le plan d'échantillonnage peut favoriser des réponses différentes d'une année sur l'autre pour un secteur donné sur le profil longitudinal. Ainsi un "habitat" (par exemple les "habitats végétaux") peut très bien avoir été échantillonné à une date donnée, mais non échantillonné - car non retrouvé sur le site ou pour des raisons techniques (e.g., niveau d'eau trop élevé) - à la date précédente ou suivante (cf. les stations de Heer, Gives, Chokier, Lanaken ou Keizersveer - Tableau I). Toutes les méthodes d'échantillonnage ne sont pas forcément utilisées à toutes les dates (cf. Ham-sur-Meuse ou Lanaken) ou avec un effort d'échantillonnage variable d'une année sur l'autre (cf. l'échantillonnage des substrats littoraux de toutes les stations françaises en 1998 vs 2000 et 2001, par exemple). Sur certains secteurs, le site échantillonné n'est plus le même d'une campagne sur l'autre (e.g., Namèche vs Gives ou Hermalle vs Lixhe, sur le secteur wallon).

L'interaction entre les 3 effets (23,7% de variance expliquée) est également importante pour expliquer les différences entre listes faunistiques.

### 1.3. Prise en compte des différences inter-stationnelles : l'analyse "inter-stations"

Pour épurer l'expression des différences inter-stationnelles, il est possible de prendre en compte exclusivement cet effet, en traitant le tableau des données brutes harmonisées par AFC "inter-stations". Cette AFC "sous contrainte" ne prendra en compte en effet que les seules différences inter-stationnelles (toutes dates et méthodes d'échantillonnage confondues). Les résultats de cette analyse sont illustrés par les Figures 27 et 28.

Les deux premiers facteurs restituent près de 50 % des différences interstationnelles (Figure 27a). Les différences prises en compte sont les différences "majeures". On retrouve une opposition claire entre les stations françaises (partie négative de l'axe 1) et les stations du secteur situé plus en aval (partie positive de l'axe 1).

Sur le secteur français, les six stations semblent ordonnées le long de l'axe 1

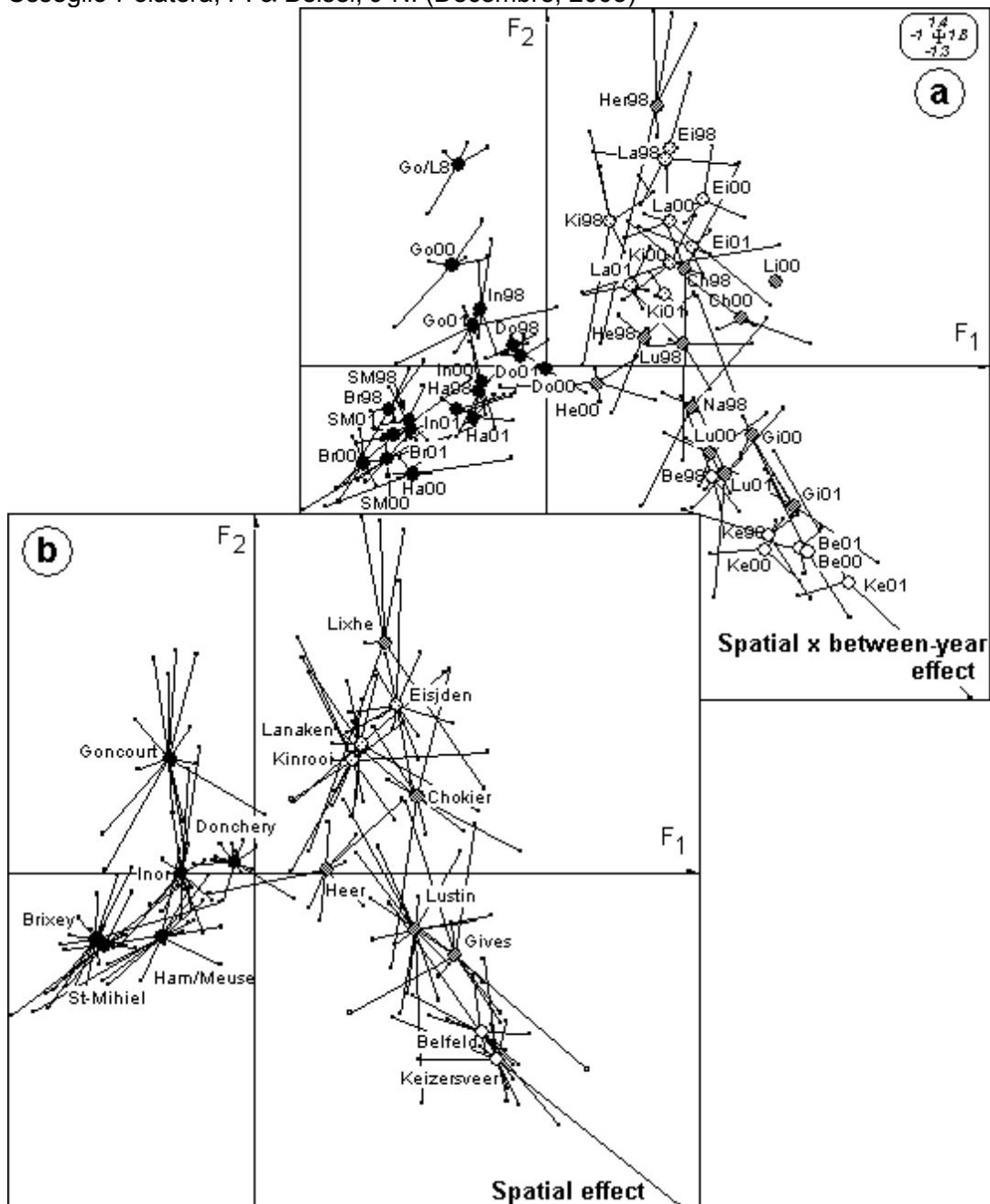


Figure 28 : Prise en compte du seul effet 'interstationnel' par AFC 'inter-stations' (suite). (a) Positions moyennes (cercles) des 45 'stations x dates' dans le plan factoriel F1-F2. Chaque position moyenne est reliée par un trait aux relevés (5 méthodes d'échantillonnage différentes) qui lui correspondent. (b) Positions moyennes des 16 stations dans le plan factoriel F1-F2. Chaque position moyenne est reliée par un trait aux relevés (5 méthodes d'échantillonnage x 3 dates) qui lui correspondent.

Figure 28 : Taking into account the spatial effect by between-sites Correspondence Analysis (continued). Ordination of samples (solid squares) on the first factorial plane. Site-campaigns (a) & sites (b) are positioned (open or solid circles) at the weighted average of the corresponding sample coordinates (solid squares). Lines link site-campaigns (a) or sites (b) to their corresponding samples.

Tableau IX : Fréquences relatives de capture (R. Fr.) des 20 taxons les plus caractéristiques des 5 méthodes d'échantillonnage utilisées pour évaluer la qualité biologique de la Meuse sur la base de son peuplement macroinvertébré benthique. n = nombre de relevés

Table IX : Relative frequency (R. Fr.) of taxa in samples according to the sampling strategy used. For each sampling method, only the twenty most frequent taxa are given. n = number of samples.

Hand Net Littoral substrate (n = 43)		Hand Net Littoral stones (n = 44)		Hand Net Submerged plants (n = 31)		Dredging Profundal bottom (n = 44)		Artificial substrates (n = 44)	
Taxa	R. Fr.	Taxa	R. Fr.	Taxa	R. Fr.	Taxa	R. Fr.	Taxa	R. Fr.
<i>Micrasema</i>	1	<i>Euleudra peniculata</i>	1	<i>Beraeodes</i>	1	<i>Coera pilosa</i>	1	<i>Metalyse fragilis</i>	1
<i>Siphonurus</i>	1	<i>Agravilla</i>	1	<i>Sericostoma</i>	1	<i>Hydrobius</i>	1	<i>Parahyaccophila</i>	1
<i>Naucoris</i>	1	<i>Mesovelia furcata</i>	1	<i>Hydrotmetra</i>	1	<i>Musciculum lacustre</i>	1	<i>Notitabia</i>	1
<i>Plea leachi</i>	1	<i>Riolus</i>	1	<i>Dytiscus</i>	1	<i>Corvophora caspia</i>	0.973	<i>Agabus</i>	0.973
<i>Velia</i>	1	<i>Anisoptera sp.</i>	1	<i>Hyphydrus</i>	1	<i>Niphargidae</i>	0.913	<i>Dupophius</i>	0.913
<i>Petodytes</i>	1	<i>Tabanidae</i>	1	<i>Ilybius</i>	1	<i>Anodonta</i>	0.885	<i>Helophorus</i>	0.885
<i>Hebiocharis</i>	1	<i>Bathyomphalus costatus</i>	1	<i>Gyrinus</i>	1	<i>Atrichops</i>	0.750	<i>Epitheca bimaculata</i>	0.750
<i>Menetus dilatatus</i>	1	<i>Arachnida</i>	1	<i>Enocheus</i>	1	<i>Athripsodes</i>	0.727	<i>Somatochora</i>	0.727
<i>Anisus.vortex</i>	0.885	<i>Psychodidae</i>	0.876	<i>Amax</i>	1	<i>Lithoxyphus naticoides</i>	0.700	<i>Hirudidae</i>	0.700
<i>Hippeutis compignatus</i>	0.795	<i>Dryopidae</i>	0.833	<i>Aeschna</i>	1	<i>Potamanthus lituus</i>	0.678	<i>Phagocata vitta</i>	0.678
<i>Limnonychia benedeni</i>	0.793	<i>Orchestia cavimana</i>	0.808	<i>Stratiomyidae</i>	1	<i>Orthetrum</i>	0.667	<i>Spongillidae</i>	0.667
<i>Culicidae</i>	0.800	<i>Macronychus</i>	0.786	<i>Segmentina nitida</i>	1	<i>Unio</i>	0.667	<i>Neureticopsis bimaculata</i>	0.667
<i>Gerris</i>	0.571	<i>Theromyzon</i>	0.750	<i>Corynoneurinae</i>	0.889	<i>Plectrocnemia</i>	0.641	<i>Viviparus</i>	0.641
<i>Sialis</i>	0.507	<i>Leuctra</i>	0.643	<i>Cyb' on</i>	0.803	<i>Phryganea</i>	0.625	<i>Proclamesinae</i>	0.625
<i>Cordulegasteridae</i>	0.500	<i>Dreissena polymorpha</i>	0.598	<i>Hydraena</i>	0.800	<i>Esolus</i>	0.611	<i>Limnephilinae</i>	0.611
<i>Lispe</i>	0.500	<i>Corbicula</i>	0.585	<i>Paraponyx</i>	0.800	<i>Epitemera</i>	0.587	<i>Planorbis torva</i>	0.587
<i>Planorbis</i>	0.500	<i>Cheumatopysche lepidia</i>	0.552	<i>Physa</i>	0.778	<i>Psychomyia pusilla</i>	0.529	<i>Polycentropus</i>	0.529
<i>Haemaphysalis costata</i>	0.500	<i>Limnulus</i>	0.517	<i>Simuliidae</i>	0.769	<i>Ceraclea</i>	0.506	<i>Lype</i>	0.506
<i>Corixa</i>	0.405	<i>Hyperthyacophila</i>	0.500	<i>Laccophilus</i>	0.736	<i>Sib ou Lithax</i>	0.500	<i>Orcanectes limosus</i>	0.500
<i>Potamogeton</i>	0.386	<i>Caspiobdella fadjevici</i>	0.500	<i>Laccobius</i>	0.731	<i>Pseudanodonta complanata</i>	0.500	<i>Holocentropus</i>	0.500

selon un gradient décroissant de diversité de la mosaïque d'habitats et en particulier selon une proportion décroissante d'habitats à caractère lotique, de Brixey et Saint-Mihiel vers Goncourt et Donchéry (Figure 27b). La distribution des taxons le long du profil longitudinal confirme cette observation, avec un maximum de taxons caractéristiques de ce secteur (diversité maximale, Figure 27c), dont de nombreux taxons rhéophiles appartenant par exemple aux familles des Goeridae, Brachycentridae, Rhyacophilidae, Heptageniidae, Elmidae ou Simuliidae.

Cette image est reproduite, quelle que soit la date et la méthode d'échantillonnage prises en compte (Figures 28a et b).

Les stations du secteur situé plus en aval (de Heer à Keizersveer) sont nettement séparées le long de l'axe 2. Les stations du secteur Chokier-Kinrooi (à coordonnées positives sur F2) se distinguent clairement des stations des secteurs Heer-Namèche/Gives (à coordonnées faiblement négatives sur F2) et Belfeld-Keizersveer Kinrooi (à coordonnées fortement négatives sur F2). Ces stations se caractérisent par un cortège de taxons limnophiles (Figure 27c). L'observation attentive de ces taxons montre que les espèces caractéristiques du secteur Chokier-Kinrooi sont en majorité des espèces lénitophiles indigènes ou des espèces exotiques d'introduction ancienne (e.g. *Dreissena polymorpha*). Dans les secteurs Heer-Gives/Namèche ou Belfeld-Keizersveer, les espèces caractéristiques sont quasi-exclusivement des espèces proliférantes d'introduction récente (eg. *Hemimysis anomala*, *Limnomysis benedeni*, *Jaera istri*, *Orchestia cavimana*, *Atyaephyra desmarestii*, *Musculium lacustre*), parfois capturées en effectifs importants (36665 individus de *Chelicorophium curvispinum*, 23925 individus de *Dikerogammarus villosus*, 3023 individus de *Hypania in valida* ou 2135 individus de *Corbicula fluminea*). Ceci confirme la plus grande vulnérabilité des secteurs aval de cours d'eaux à l'installation d'espèces invasives, en particulier si le peuplement autochtone, fragilisé par les aménagements et manipulations anthropiques, est déjà peu riche et peu diversifié.

#### 1.4. Prise en compte des différences mésohabitationnelles : l'analyse "inter-habitats"

L'effet "habitat" (non dissociable de l'effet "méthode d'échantillonnage") est faible (5,4%) par rapport à l'effet "station" dans la justification des différences faunistiques entre relevés. Cet effet n'est pas mesuré cependant de la même façon que lors de l'analyse spécifique des données 1998 (Usseglio-Polatera et Beisel, 1999), car nous avons ici distingué isolément les trois grands types

d'habitats littoraux échantillonnés (littoral de sédimentation/pierres littorales et végétal). Nous avons également regroupé les 8 prélèvements littoraux élémentaires réalisés sur le secteur français en 1998 en 3 types d'habitats (cf. ci-dessus), pour adapter les listes correspondantes à la stratégie d'échantillonnage adoptée sur l'ensemble des sites lors des campagnes de 2000 et 2001.

Parmi les 190 taxons répertoriés sur le profil longitudinal après harmonisation des niveaux de détermination, entre 121 (63,7% - dragages) et 140 (73,7% - substrats artificiels) sont capturés par chacune des 5 stratégies d'échantillonnage (Tableau IX). Seuls huit taxons sont spécifiques des substrats fins littoraux : *Micrasema* sp. (Brachycentridae; G.F.I. = 8), *Siphonurus* sp., *Naucoris* sp., *Plea leachi*, *Velia* sp., *Peltodytes* sp., *Helochaers* sp. et *Menetus dilatatus*. Sept taxons ont été rencontrés uniquement sur les pierres littorales : *Euleuctra geniculata* (Leuctridae; G.F.I. = 7), *Agraylea* sp. (G.F.I. = 5), *Mesovelgia furcata*, *Riolus* sp., les Tabanidae, *Bathyomphalus contortus* et Arachnida sp. Douze taxons n'ont été rencontrés que dans la végétation rivulaire : *Beraeodes* sp. (Beraeidae, G.F.I. = 7), *Sericostoma* sp. (Sericostomatidae; G.F.I. = 6), *Hydrometra* sp., *Dytiscus* sp., *Hyphydrus* sp., *Ilybius* sp., *Gyrinus* sp., *Enochrus* sp., *Anax* sp., *Aeshna* sp., les Stratiomyidae et *Segmentina nitida*. Trois taxons sont spécifiquement présents dans le substrat profond : *Goera pilosa* (Goeridae; G.F.I. = 7); *Hydrobius* sp. et *Musculium lacustre*. Dix taxons enfin ont été capturés uniquement grâce aux substrats artificiels : *Metalype fragilis* (Psychomyiidae, G.F.I. = 4); *Pararhyacophila* sp. (G.F.I. = 4), *Notidobia* sp. (Sericostomatidae, G.F.I. = 6), *Agabus* sp., *Dupophilus* sp., *Helophorus* sp., *Epitheca bimaculata*, *Somatochlora* sp., les Hirudidae et *Phagocata vitta*. Dans tous les cas, parmi les taxons spécifiques d'une technique d'échantillonnage, nous trouvons des taxons de niveau de polluosensibilité élevé à très élevé (G.F.I. 6 à 8), soulignant ainsi la complémentarité des différentes techniques d'échantillonnage utilisées dans l'évaluation de la capacité biogène d'un site donné. Il est à souligner cependant que ces 40 taxons "spécifiques" d'une méthode d'échantillonnage (donc d'un "habitat" donné) sont tous rares, puisque 85 % ne sont rencontrés que dans un seul prélèvement et 57,5 % ne sont représentés que par un seul individu. Enfin, sur les 190 taxons de la liste faunistique harmonisée, 40 (soit 21,1 %) ne sont capturés que par une seule méthode d'échantillonnage, 22 (11,6 %) par deux méthodes, 25 (13,2 %) par trois, 26 (13,7 %) par quatre et 76 (40,5 %) par les cinq méthodes d'échantillonnage.

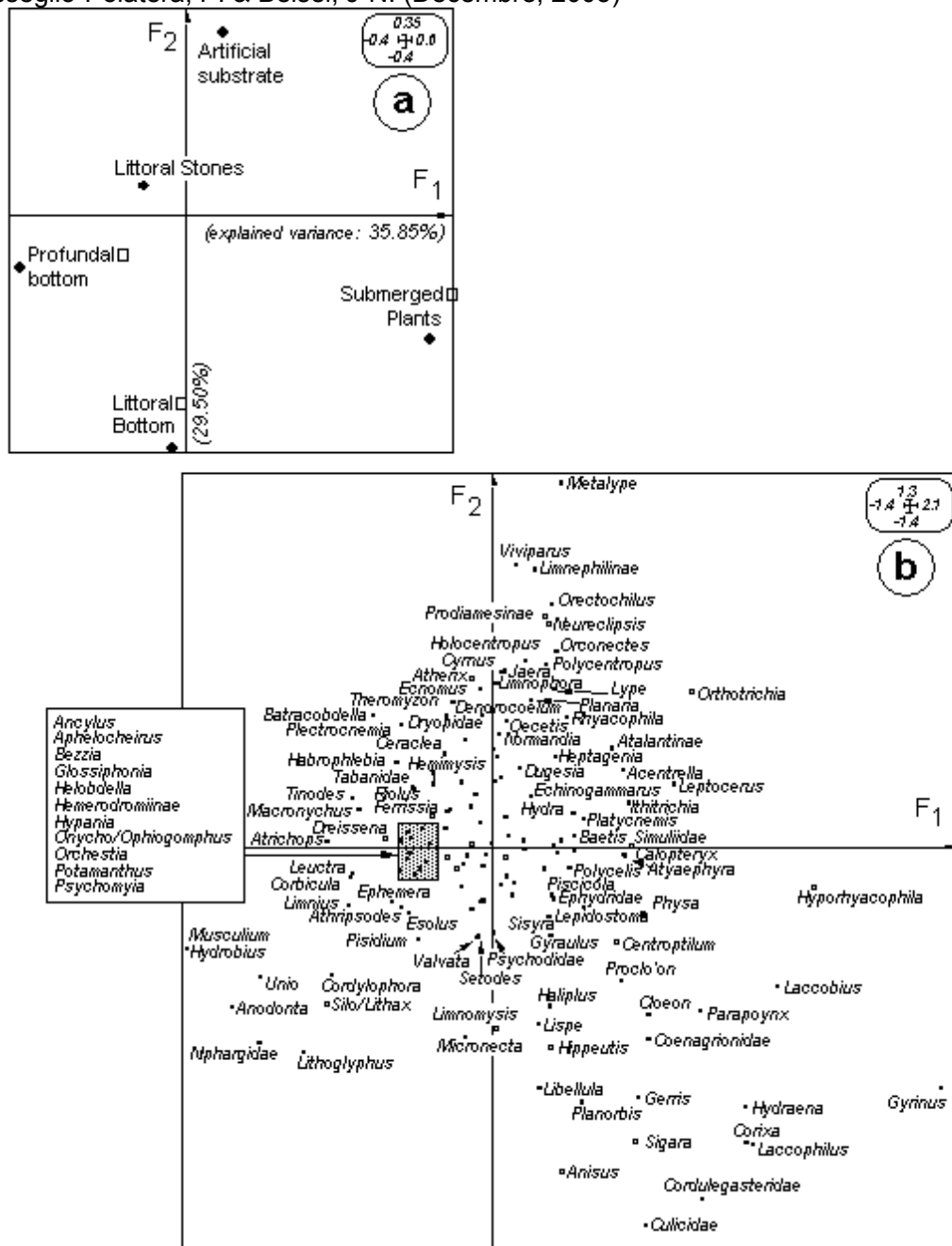


Figure 29 : Comparaison des cinq méthodes d'échantillonnage par AFC inter-classes (= inter-méthodes d'échantillonnage). (a) Position moyenne des cinq méthodes d'échantillonnage dans le plan factoriel F1-F2 de l'analyse. (b) Distribution des taxons (carrés noirs) dans le plan factoriel F1-F2 de l'analyse. Les pourcentages de variance expliquée sont indiqués sur les axes (a).

Figure 29 : Comparing five sampling methods by between-methods Correspondence Analysis. (a) Mean location of sampling methods (solid circles) on the first factorial plane. (b) Distribution of taxa (solid squares) on the first factorial plane.

La comparaison souligne en outre la forte contribution des rives - *sensu lato* - au peuplement stationnel (27 taxons spécifiques) et au calcul de l'estimation de la qualité biologique d'un site, par son influence sur la variété taxonomique et par son impact potentiel sur l'identification du groupe indicateur.

Dans l'AFC "Inter-habitats", ne sont pris en compte que les 145 taxons présents au moins dans deux relevés stationnels (la plupart des taxons rares précédemment évoqués sont donc éliminés de l'analyse). Le premier plan factoriel de cette AFC "Inter-habitats" (Figures 29a et b) restitue 65,3 % des différences entre listes faunistiques obtenues par les 5 différentes techniques d'échantillonnage, sur la base des listes pré-citées. L'axe 1 oppose les prélèvements effectués sur la végétation littorale aux listes faunistiques obtenues par les autres techniques d'échantillonnage (et plus particulièrement les dragages). Ainsi, parmi les taxons les plus contributifs, un cortège faunistique composé de Coléoptères (*Hydraena* sp., *Gyrinus* sp., *Laccobius* sp., *Laccophilus* sp.), d'Ephéméroptères (*Centroptilum* sp., *Procloeon* sp., *Cloeon* sp.), d'Odonates (Coenagrionidae) et d'Hétéroptères (*Corixa* sp.) lénotrophes est opposé à un groupe de Trichoptères (*Athripsodes* sp., *Plectrocnemia* sp.), d'Ephéméroptères (*Potamanthus luteus*, *Ephemera* spp.) et de Mollusques (*Lithoglyphus naticoides*, *Anodonta* spp., *Unio* spp.).

L'axe 2 oppose les taxons lithophiles à tendance plutôt rhéophile (principalement des Trichoptères filtreurs : *Neureclipsis bimaculata*, *Holocentropus* sp., *Cyrrhus* sp., *Polycentropus* sp., *Metalyse fragilis*, *Cheumatopsyche lepida* ou des Coléoptères Elmidae : *Limnius* sp. ou *Riolus* sp.) préférentiellement capturés dans les substrats artificiels ou les pierres littorales aux taxons colonisant préférentiellement les substrats meubles (comme des Gastéropodes : *Hippeutis complanatus*, *Anisus vortex*, des Crustacés : *Limnomysis benedeni* ou le Mégaloptère *Sialis* sp.).

## **2. Structure faunistique et caractéristiques bio/écologiques du peuplement macrobenthique**

L'analyse du peuplement benthique meusien a montré des différences interstationnelles importantes dans les profils de caractéristiques biologiques et écologiques des taxons présents.

Les traits biologiques qui concernent la "technique de reproduction", le "mode de dissémination", la "taille maximale potentielle" ou le "mode de respiration", et les traits écologiques qui décrivent le preferendum des taxons en matière de "vitesse du courant", de "statut trophique" ou de "degré de "salinité" des eaux et qui évaluent leur "valeur saprobiale", et leur "distribution longitudinale" sont les plus aptes à séparer les peuplements macrobenthiques meusiens le long du profil longitudinal de la rivière.

Les variables biologiques "formes de résistance", "mode d'alimentation", ou "nombre de générations annuelles" et les variables écologiques qui décrivent la "distribution transversale" des organismes et leur preferendum en matière de "température" de l'eau interviennent également, mais dans une moindre mesure, dans la séparation des peuplements.

L'analyse des combinaisons de traits biologiques et écologiques des communautés benthiques indique, de manière cohérente, la présence d'une plus forte proportion de taxons rhéophiles, oligotrophes, sensibles aux contaminations organiques dans les stations du secteur français. Elle souligne par contre, l'existence dans ces stations d'une proportion élevée d'organismes de petite taille, à cycle biologique court, à forte potentialités disséminatrices, donc plutôt caractéristiques des milieux de faible stabilité (stratégies r au sens de MacArthur & Wilson, 1963 ou Pianka, 1970). Ceci traduit la présence, dans la communauté autochtone, de taxons qui profitent localement de l'apparition temporaire d'habitats favorables à leur développement (comme des bancs de galets de faible hauteur eau, mais soumis à des vitesses de courant relativement élevées même à débit d'étiage, des herbiers à hydrophytes) en période estivale. Compte tenu de leurs caractéristiques biologiques, cette brève période favorable est (ou peut être) suffisante à l'accomplissement de leur cycle biologique. Leur présence, à côté de taxons à cycle plus long, contribue à l'augmentation de la richesse taxonomique du peuplement de ces stations. Leur développement est cependant étroitement lié à l'apparition, dans la mosaïque d'habitats, de biotopes favorables, et donc étroitement lié aux conditions hydrologiques. Par voie de conséquence, les conditions hydrologiques auront un impact beaucoup plus important sur la composition du peuplement stationnel. Ainsi bon nombre de taxons rencontrés spécifiquement dans les herbiers au cours de la campagne de 1998 (11 taxons à Goncourt, 14 taxons à Brixey, 4 à 8 taxons sur les 4 autres sites) n'ont pas été retrouvés en 2000 et 2001 (- 11 taxons à Goncourt en 2000 et 2001; - 10 à - 12 taxons à Brixey ; - 3 à - 8 taxons pour les autres sites français; Tableau VII).



Dans les stations situées plus en aval, la communauté macrobenthique est constituée par des organismes de plus grande taille, semi- ou monovoltins. Si le biotope est plus banal et plus homogène, il est paradoxalement plus stable (si l'on excepte les zones littorales d'ailleurs faiblement contributives à la richesse taxonomique stationnelle) et donc autorise le développement d'organismes limnophiles, pollutotolérants, à cycle biologique plus long, particulièrement aptes à exploiter un type de nourriture donné (débris organiques de petite taille, microorganismes, microphytes) par utilisation d'un mode d'alimentation adapté (filtration ou collecte "plus généraliste") lorsque cette source de nourriture se trouve en quantité importante.

L'analyse de la distribution des organismes à l'intérieur de groupes fonctionnels définis sur la base de critères bio/écologiques a montré que, sur le secteur amont, en particulier sur les sites les moins perturbés (Brixey, Saint Mihiel), la forte hétérogénéité spatiale autorisait le développement d'une communauté benthique très diversifiée, à la fois en termes de "systématique zoologique" et de "combinaisons de traits bio/écologiques". Dans un tel environnement, des taxons sténoèces présentant des combinaisons de caractéristiques bio/écologiques relativement différentes (groupes  $\alpha$ . $\beta$  vs groupe  $\delta$ ) peuvent coexister à l'intérieur de la même mosaïque d'habitats. Nous observons alors, à côté des organismes de stratégie r précédemment décrits, la présence d'espèces compétitives (stratégues plutôt de type K dans le système r-K) avec des caractéristiques telles qu'un temps de génération important (> 1 an) et/ou une spécialisation dans les sources de nourriture exploitées. De plus, chaque groupe fonctionnel peut être représenté par de nombreux taxons, ce qui accroît la stabilité de la communauté benthique et réduit sa vulnérabilité à l'installation et à la prolifération des espèces exotiques invasives.

Plus à l'aval (en particulier à l'aval du secteur français), une proportion plus élevée de taxons présentant une combinaison de caractéristiques leur permettant de s'adapter à un rythme de perturbations fréquent (à travers un investissement important dans la reproduction, plusieurs générations annuelles, la présence de formes de résistance aux différents stades de développement, une reproduction asexuée), ou une combinaison de traits permettant d'amortir l'impact des fluctuations environnementales (par exemple par le biais d'une fixation ferme au substrat, de capacités importantes à la dissémination) est observée.

L'hétérogénéité du substrat plus faible (notamment liée à l'artificialisation des rives) et l'instabilité parfois importante des habitats littoraux (liée notamment au trafic fluvial) aboutissent à une organisation fonctionnelle simplifiée, qui rend la communauté plus vulnérable à l'installation d'espèces invasives, dont la plupart appartiennent au groupe fonctionnel

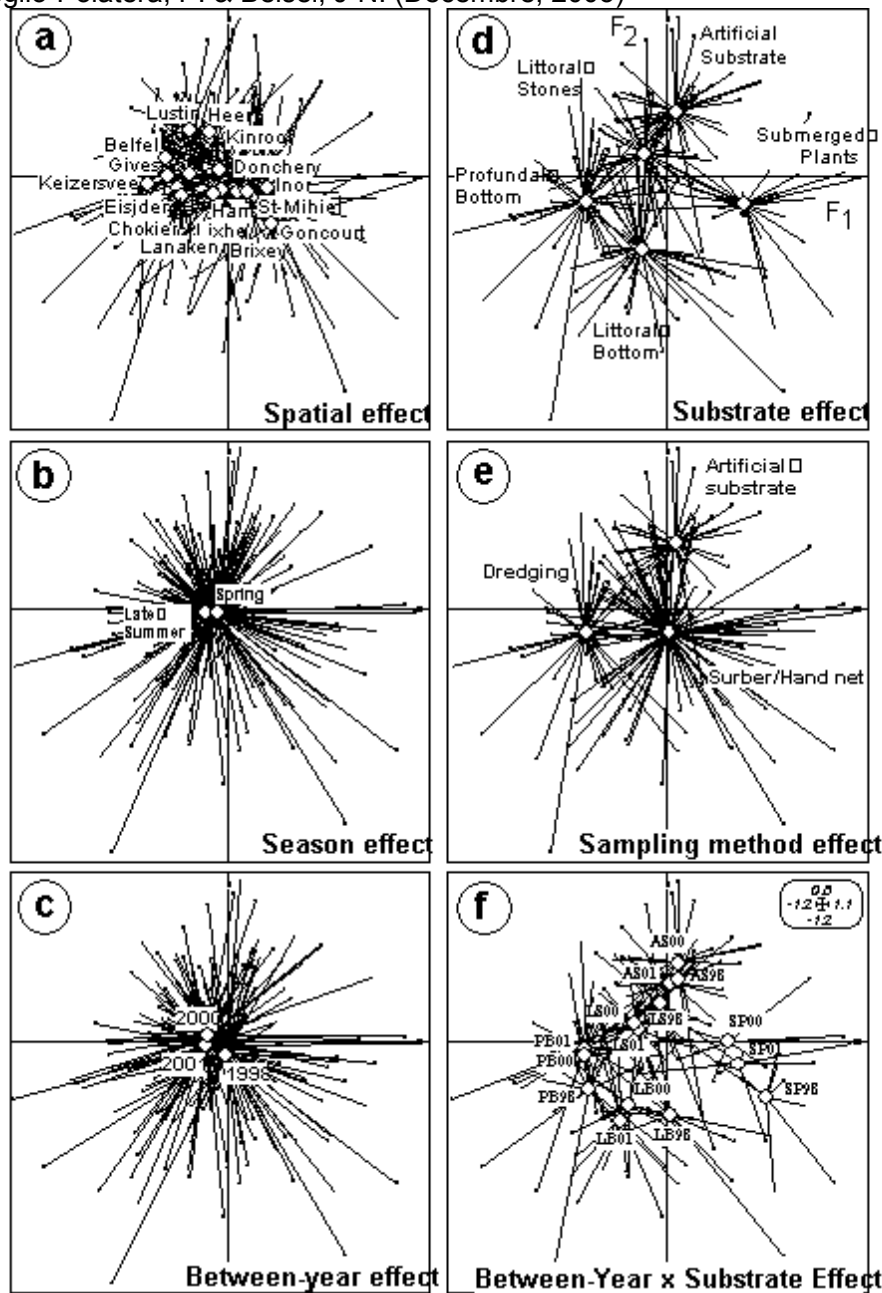


Figure 30 : Comparaison des cinq méthodes d'échantillonnage par AFC inter-classes (= inter-méthodes d'échantillonnage). Illustration de différents effets : (a) effet 'inter-stationnel', (b) effet 'saisonnier', (c) effet 'inter-annuel', (d) effet 'habitat', (e) effet 'méthode d'échantillonnage' *stricto sensu*, (f) effet 'habitat x année d'échantillonnage'. Chaque modalité (cercle) est située au centre de gravité des positions des relevés qui lui correspondent. Un trait relie la position de chaque relevé à la modalité qui lui correspond.

Figure 30 : Comparing five sampling methods by between-methods Correspondence Analysis. (a) 'between-sites' effect, (b) 'season' effect, (c) 'between-years' effect, (d) 'substrate' effect, (e) 'sampling method' effect, (f) 'between year x substrate' effect. Each modality (open or solid circle) is located at the first factorial plane, at the weighted average of the corresponding sample coordinates. Lines connect modalities to their samples.

### 3. Recommandations pour un futur biomonitoring de la Meuse

#### 1.1 Protocole d'échantillonnage et d'acquisition des données

Les trois campagnes d'échantillonnage du peuplement macrobenthique de la Meuse ont permis une estimation fort intéressante de l'état écologique de ce cours d'eau, et de ses variations sur une séquence pluri-annuelle, en période d'étiage.

Si les différentes équipes en charge du travail de terrain ont plus fidèlement respecté le cahier des charges lors de l'application du protocole d'échantillonnage, la forte hétérogénéité constatée (à l'issue de la campagne de 1998) dans les niveaux d'identification retenus par les différentes équipes demeure.

Si l'objectif majeur de la C.I.P.M. est l'évaluation de l'état écologique de la rivière sur la totalité de son profil longitudinal par une méthode de bioévaluation unique, pousser l'identification systématique à un niveau très précis sur quelques sites seulement présente "relativement" peu d'intérêt dans la mesure où l'harmonisation obligatoire de l'ensemble des listes imposera le regroupement des taxons au niveau systématique correspondant au niveau atteint par l'équipe la moins performante. L'effort d'identification supplémentaire - parfois important - consenti par certaines équipes paraît donc superflu, dans la mesure où il ne sera pas valorisé à l'échelle de la rivière.

Il semble donc nécessaire que les experts de la CIPM entame une discussion sérieuse visant à définir, pour chaque groupe faunistique, le niveau systématique assurant le meilleur compromis entre (1) difficultés et fiabilité de l'identification, et (2) quantité d'information écologique restituée; compte tenu (3) des objectifs majeurs de la commission et (4) des compétences systématiques des différentes équipes susceptibles d'assurer la phase d'acquisition des données brutes.

Compte tenu des connaissances systématiques et autécologiques actuelles sur les principaux groupes de macroinvertébrés benthiques et des difficultés d'identification connues de certains groupes taxonomiques, il semble que les niveaux systématiques atteints par l'ouvrage de détermination de Tachet et *al.* (2000) puissent être raisonnablement considérés comme les niveaux d'identification minimums exigibles, à savoir : l'espèce (rarement) ou le genre (le plus souvent) pour la plupart des groupes faunistiques, excepté les Diptères et certaines familles d'Oligochètes de détermination délicate, pour lesquels le

niveau de la "famille" voire de la "sous-famille" ou de la "tribu", ou la séparation de certains "groupes d'espèces morphologiquement caractéristiques" peuvent être demandés.

## 1.2 Fréquence et Périodes d'échantillonnage

La mise en place d'un suivi à long terme de l'état écologique de la Meuse par le biais de son peuplement macrobenthique nécessite la détermination pratique de la (ou les) période(s) la (les) plus favorable(s) à cette estimation. Si une diversité mésologique et faunistique élevée a été constatée sur la Meuse française, une fragilité des mosaïques d'habitats est également observée (cf. les résultats de 2000 et 2001 par rapport à 1998). La présence et l'abondance d'un certain nombre d'habitats (végétaux notamment) particulièrement biogènes peut être "relativement" brève dans le temps. Tous les taxons potentiellement présents sur une station ne sont pas forcément simultanément capturables, compte tenu de leurs cycles biologiques respectifs.

Les trois campagnes d'échantillonnage actuellement réalisées recouvrent les deux périodes habituellement considérées comme les plus favorables à l'obtention du plus grand nombre de taxons, à savoir : la période de fin de printemps/début d'été (mai-juillet - cf. 2001) et de fin d'été/début d'automne (août-octobre - cf. 1998 et 2000).

La hiérarchisation des différents facteurs de variation des listes faunistiques a montré, sur les données actuelles, que l'effet "inter-annuel" était limité, et qu'il ne représentait seul, en termes faunistiques, que 4,0 % de la variabilité entre listes faunistiques.

En termes de bioindication, des différences relativement importantes dans le Groupe Faunistique Indicateur (e.g. + 2 à - 3 points suivant les sites entre août-septembre 2000 d'une part et mai-juin 2001 d'autre part) et dans la richesse taxonomique (+ 14 à - 3 taxons suivant les sites par comparaison des mêmes campagnes) sont observées sur une même station.

On peut donc recommander de poursuivre l'échantillonnage sur ces deux périodes (éventuellement en alternance) pour mesurer plus précisément les différences faunistiques intra-stationnelles liées à la saisonnalité, avant de prendre une décision définitive quant à la saison à échantillonner en priorité.

La Directive Cadre Européenne 2000/60/EC recommande une fréquence des contrôles biologiques "choisie de manière à parvenir à un niveau de confiance et de précision acceptable" (Annexe V, § 1.3.4). Une fréquence de 3 ans est recommandée pour le suivi de la faune macro-invertébrée des rivières.

Mais la Directive Cadre Européenne précise également que les contrôles doivent être réalisés de manière à réduire au minimum l'effet des variations saisonnières sur les résultats, afin de s'assurer que les résultats reflètent les modifications subies par les masses d'eau du fait des variations des pressions anthropogéniques. Pour atteindre cet objectif (à savoir définir la meilleure période d'échantillonnage), des contrôles additionnels peuvent être, le cas échéant, effectués à des saisons différentes de la même année (Annexe V, § 1.3.4).

### 1.3 Méthodes d'échantillonnage

Globalement, les différences constatées en terme de structure des peuplements (et non pas de qualité biologique), dans les images des communautés stationnelles uniquement liées à la seule méthode d'échantillonnage (filet, dragage, substrat artificiel = "effet méthodologique") et au fait que des habitats différents sont prospectés par chaque engin (= "effet habitat") sont faibles par rapport aux différences de structure inter-stationnelles (5,4 % contre 25,1 %). Une application plus homogène du protocole d'échantillonnage en 2000 et 2001 a permis de réduire la part de la variabilité dans les résultats liée aux différences inter-habitats.

Globalement les biotopes littoraux (tous substrats confondus) contribuent beaucoup à la richesse taxonomique de chaque station, même si les affirmations émises à l'issue de l'analyse de la campagne de 1998 doivent être un peu modulées; l'année 1998 ayant été particulièrement favorable au développement des communautés benthiques littorales.

L'apport des dragages, et surtout des substrats artificiels, tant en taxons spécifiques (non capturés par une autre méthode d'échantillonnage), qu'en taxons polluo-sensibles (appartenant à des G.F.I. élevés) est également important.

Il paraît donc logique et souhaitable de poursuivre l'utilisation simultanée de ces trois modes d'échantillonnage complémentaires.

### 1.4 Evaluation de la qualité biologique de la rivière

La qualité biologique de la Meuse a été réalisée en utilisant l'I.B.G.A. d'une part, le B.M.W.P. et l'A.S.P.T. d'autre part (comparaison des résultats dans la Figure 15). En effet, même si le protocole d'échantillonnage préconisé par la C.I.P.M. ne correspondait pas exactement au protocole I.B.G.A., nous avons

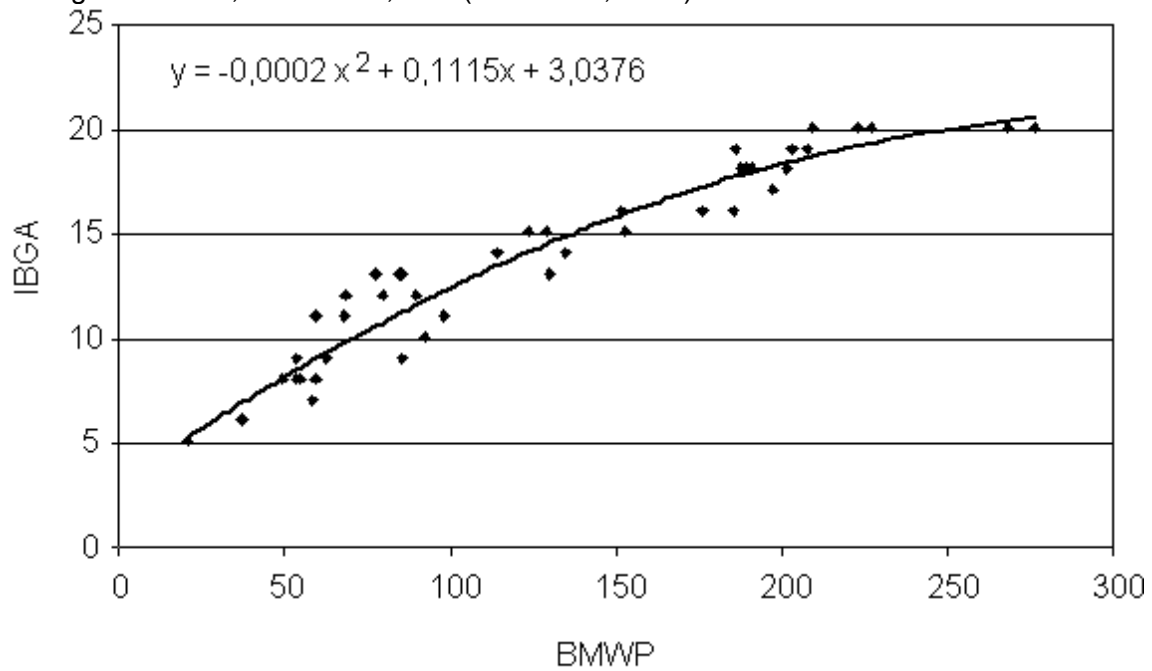


Figure 31 : Estimation de la qualité biologique de la Meuse : relation entre le B.M.W.P. et l'I.B.G.A.

*Figure 31 : Evaluation of the biological quality of the Meuse River: relationship between B.M.W.P. and I.B.G.A.*

utilisé la démarche I.B.G.A. pour évaluer la qualité biologique de chaque site, dans la mesure où les trois stratégies d'échantillonnage (filet/dragage/substrats artificiels) dont l'usage simultané est recommandé dans le protocole I.B.G.A. étaient employées de concert dans le protocole C.I.P.M. Nous avons conservé cet indice comme 'base d'évaluation de la qualité bio-écologique' de la rivière. L'I.B.G.A. et le B.M.W.P. fournissent des résultats globalement similaires ( $R_2 = 0,910$  pour un modèle linéaire;  $R_2 = 0,935$  pour un modèle polynomial d'ordre 2 - Figure 31). L'évolution du B.M.W.P. en fonction de l' I.B.G.A. est en effet linéaire sur l'essentiel de la gamme de variation de l' I.B.G.A.. Le B.M.W.P. est cependant plus sensible que l'I.B.G.A., pour les stations de qualité biologique très élevée, dans la mesure où l' I.B.G.A. est borné à 20 et que toute augmentation de la richesse taxonomique au-delà de 50 taxons ne se traduira pas par une augmentation de la valeur de l'indice. En revanche le caractère cumulatif du B.M.W.P. (puisque les valeurs indicatrices des taxons rencontrés sont cumulées, sans limitation de nombre) permet de discriminer les stations de bonne qualité écologique (à plus de 50 taxons).

La Directive Cadre Européenne 2000/60/EC recommande la définition de masses d'eau à l'intérieur d'un district hydrographique. Les masses à l'intérieur du district hydrographique sont alors réparties en types sur la base des descripteurs ou combinaisons de descripteurs (obligatoires ou facultatifs) prévus par les systèmes A ou B proposés par la directive (Annexe II).

Des conditions de référence caractéristiques des différents types de masses d'eau de surface doivent être établies, soit sur des critères spatiaux (si existence de sites de référence sur le même type de masses d'eau), soit sur la base de modèles prédictifs ou de méthodes *a posteriori* utilisant des données historiques. Pour les conditions de référence biologiques caractéristiques de chaque masse d'eau fondées sur des critères spatiaux, un réseau de référence doit être mis au point, qui comporte un nombre suffisant de sites en très bon état écologique qui puissent fournir un niveau de confiance suffisant aux "valeurs" alors établies pour les conditions de référence. La composition et l'abondance de la faune benthique invertébrée est un des paramètres biologiques à intégrer dans l'évaluation de la qualité de l'état écologique des rivières (Annexe V).

Le "très bon état" écologique, du point de vue de la faune invertébrée, doit correspondre à un peuplement (1) dont la composition et l'abondance taxinomiques correspondent totalement ou presque totalement aux conditions non perturbées ; (2) dont le ratio des taxons sensibles aux perturbations par rapport aux taxons insensibles n'indique aucune détérioration par rapport aux niveaux non perturbés ; et (3) dont le niveau de diversité des taxons invertébrés

n'indique aucune détérioration par rapport aux niveaux non perturbés (Annexe V, §1.2.1). Une légère modification ou altération de cet ensemble de paramètres définit le "bon état" écologique. Si la composition et l'abondance des taxons invertébrés diffèrent modérément de celles des communautés caractéristiques, avec cependant disparition de groupes taxinomiques importants de la communauté caractéristique et un ratio taxons sensibles/taxons insensibles et une diversité nettement inférieurs à ceux du bon état, l'état écologique est qualifié de "moyen".

L'I.B.G.A, comme le B.MW.P., n'intègrent pas cependant dans leur principe une confrontation directe de la biocénose observée sur une station à une biocénose de référence (contrairement à un système d'évaluation de type RIVPACS), conformément aux recommandations de la Directive Cadre Européenne 2000/60/EC. Cette confrontation peut néanmoins être effectuée sur la base de critères taxonomiques (par confrontation à une liste faunistique théorique associée à des probabilités de présence des différents taxons, compte tenu d'une combinaison de descripteurs environnementaux) ou bio/écologiques (par confrontation des profils de traits biologiques et/ou écologiques de la communauté observée aux profils de traits d'une communauté de référence) à l'aide d'outils nouveaux (cf. Usseglio-Polatera & Beisel, 2001; Usseglio-Polatera *et al.* 2002) intégrés dans un système-expert actuellement testé en France.

Les types de masse d'eaux sont, actuellement, en cours de définition. Des masses d'eaux "de référence" sont également recherchées, en particulier sur le bassin Rhin-Meuse. Lorsque la liste définitive des types de masses d'eau et son application aux différents bassins hydrographiques seront établies, une définition de conditions de référence devra alors être recherchée pour chaque type de masse d'eau, en particulier en termes de composition et d'abondance du peuplement invertébré. La typologie n'étant pas encore définitive, nous ne pouvons encore adopter une procédure d'évaluation de l'état écologique qui soit en stricte conformité avec la directive européenne.

Afin d'assurer la comparabilité des systèmes de contrôle, les résultats des systèmes d'évaluation utilisés par chaque Etat membre doivent être exprimés comme des ratios de qualité écologique, qui représentent la relation entre les valeurs des paramètres biologiques observées pour une masse d'eau de surface donnée et les valeurs de ces paramètres dans des conditions de référence applicables à cette masse d'eau ; le ratio étant exprimé comme une valeur



Biomonitoring de la Meuse : analyse spatio-temporelle des peuplements macro-invertébrés (1998-2001)  
 Université de Metz - LBFE - Equipe de Démocologie  
 Usseglio-Polatera, P. & Beisel, J-N. (Décembre, 2003)

Tableau X : Expression de la qualité biologique de la Meuse comme un ratio de qualité moyen pondéré (RQMP), calculé entre une situation observée et une situation de référence sur la base de trois métriques : richesse taxonomique, groupe faunistique indicateur, diversité bio/écologique, auxquelles des poids respectivement de 2,1 et 1 ont été attribués (a) valeurs numériques obtenues; (b) interprétation en termes d' 'état écologique'.

Table X : Ecological state of the Meuse River defined as a weighted average quality ratio (RQMP), calculated between an observed and a reference situation, and based on 3 metrics, i.e. taxonomic richness, indicator faunal group, and bio-ecological diversity (with weights of 2, 1 and 1, respectively). (a) Numerical values; (b) Ecological state.

**(a) R.Q.M.P**

		1998	2000	2001	Mean
1	Goncourt	0,796	0,784	0,834	0,805
2	Brixey-aux-Chanoines	0,969	0,908	0,930	0,935
3	Saint-Mihiel	0,878	0,973	0,961	0,937
4	Inor	0,816	0,799	0,981	0,865
5	Donchery	0,893	0,922	0,781	0,866
6	Ham-sur-Meuse	0,816	0,851	0,841	0,836
7	Heer	0,556	0,743		0,650
8	Lustin	0,637	0,647	0,700	0,661
9	Namèche (Gives*)	0,433	0,527 (*)	0,755 (*)	0,571
10	Chokier	0,480	0,518		0,499
11	Hermalle (Lixhe*)	0,378	0,222 (*)		0,300
12	Eijsden	0,395	0,621	0,729	0,582
13	Lanaken	0,429	0,597	0,537	0,521
14	Kinrooi	0,602	0,626	0,681	0,636
15	Belfeld	0,480	0,668	0,611	0,586
16	Keizersveer	0,471	0,619	0,534	0,541

**(b) 'Ecological state'**

		1998	2000	2001	Mean
1	Goncourt	Green	Green	Green	Green
2	Brixey-aux-Chanoines	Blue	Blue	Blue	Blue
3	Saint-Mihiel	Blue	Blue	Blue	Blue
4	Inor	Green	Blue	Blue	Blue
5	Donchery	Blue	Blue	Blue	Blue
6	Ham-sur-Meuse	Green	Blue	Green	Green
7	Heer	Yellow	Green		Green
8	Lustin	Yellow	Yellow	Green	Green
9	Namèche (Gives*)	Orange	*	*	Yellow
10	Chokier	Yellow			Yellow
11	Hermalle (Lixhe*)	Yellow	*		Orange
12	Eijsden	Orange	Yellow	Green	Yellow
13	Lanaken	Orange	Yellow	Yellow	Yellow
14	Kinrooi	Yellow	Green	Green	Yellow
15	Belfeld	Yellow	Green	Yellow	Yellow
16	Keizersveer	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow

**Interpretation of 'ecological state' :**

Blue	[1,0,85] - classe 1 (very good)
Green	]0,85-0,65] - classe 2 (good)
Yellow	]0,65-0,45] - classe 3 (intermediate)
Orange	]0,45-0,25] - classe 4 (disturbed)
Red	]0,25-0] - classe 5 (heavily disturbed)

numérique entre zéro et un (le très bon état écologique étant représenté par des valeurs proches de un, et le mauvais état écologique par des valeurs proches de zéro).

Une première approche consisterait (1) à considérer, en première approximation, la station de Saint Mihiel (qui présente le meilleur état écologique) ou les stations de St Mihiel et de Brixey-aux-Chanoines (de qualité voisine et de façon à ce que l'état de référence ne dépende pas d'une station unique) comme 'situation de référence' **relative** pour l'ensemble du cours de la Meuse et (2) de calculer ensuite un ratio de qualité pour chacune des autres stations, sur la base d'une combinaison de métriques, qui pourrait intégrer par exemple (i) la richesse taxonomique, (ii) le groupe faunistique indicateur, et (iii) la diversité bio-écologique, et (3) de résumer les résultats obtenus sur la base d'un ratio de qualité moyen pondéré (si un poids différent est attribué aux différentes métriques) stationnel directement comparable sur le profil longitudinal de la Meuse. Une illustration de la démarche est consignée dans le Tableau X. Pour chaque métrique, le ratio de qualité est alors le rapport de la valeur stationnelle obtenue sur la valeur maximale obtenue sur les deux sites de référence (Brixey et St Mihiel). Des poids de 2, 1 et 1 ont été respectivement attribués aux variables 'richesse taxonomique', 'groupe faunistique indicateur', et 'diversité bio-écologique' dans l'estimation du ratio de qualité moyen pondéré stationnel. Une première calibration de l'étendue de la variation du ratio de qualité moyen pondéré, permet d'associer à chaque valeur de ratio, un code couleur, conformément au système des 5 classes de qualité prévue par la Directive Cadre Européenne.

Seules les stations de Brixey et Saint Mihiel peuvent alors être considérées comme de 'très bon' état écologique, compte tenu de leur peuplement macrobenthique. L'état écologique des stations de Inor, Donchéry et Ham-sur-Meuse oscillent entre le 'bon' et le 'très bon' niveau suivant les dates. Goncourt est une station dont l'état écologique peut être considéré comme 'bon' à toutes les dates, sur la base de sa macrofaune benthique. Le secteur Namèche-Gives (avec les précautions d'interprétation « d'usage » compte tenu du changement de site au cours de la période d'étude) évolue de l'état 'perturbé' au 'bon' état écologique sur la période 1998-2001. Le peuplement macroinvertébré benthique classe les stations de Heer, Lustin, Kinrooi et Belfeld entre l'état 'moyen' et le 'bon' état écologique suivant les dates. Les sites de Chokier et Keizersveer sont de qualité 'moyenne'. Les stations de Lanaken (état 'moyen' à 'perturbé') et Hermalle/Lixhe (état 'moyen' à 'très perturbé') correspondent enfin aux secteurs globalement les plus dégradés.

## 1.5 Suivi à long terme et espèces invasives

La Figure 7 fournit les cartes de répartition de 145 taxons sur le profil longitudinal de la Meuse. Parmi ces différents taxons, un certain nombre d'espèces invasives récentes (*Corbicula spp.*, *Corophium curvispinum...*) ou potentiellement invasives (*Dikerogammarus villosus*) ont été repérées en 1998 cf. Vanden Bossche *et al.*, 2001 ; Vanden Bossche, 2002). En 2001, la situation a considérablement évolué. Certaines des espèces potentiellement invasives ont vu leurs populations exploser (cf. *Dikerogammarus villosus*) au détriment des espèces autochtones. De nouvelles espèces exotiques ont partiellement colonisé le cours de la Meuse (le Polychète *Hypania in valida*, les Crustacés *Hemimysis anomala*, *Limnomysis benedeni*, *Orchestia cavimana*, *Jaera istri*). Leur contribution à l'instabilité des peuplements invertébrés indigènes est depuis longtemps reconnu. Il paraît donc important de continuer à suivre précisément l'évolution de leurs populations, en particulier sur le cours aval.

## VII. REFERENCES

Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse/Cabinet GAY Environnement  
1997. Indice Biologique Global adapté I.B.G.A. aux grands cours d'eau et aux rivières profondes. Protocole expérimental. 44 p. + annexes.

AFNOR, 1992. Détermination de l'indice biologique global normalisé (I.B.G.N.)

Bournaud, M., Richoux, P. & Usseglio-Polatera, P. 1992. An approach to the synthesis of qualitative ecological information from aquatic Coleoptera communities. *Regulated Rivers Research & Management*, 7: 165-180.

Charvet, S., Kosmala, A. & Statzner, B. 1998. Biomonitoring through biological traits of benthic macroinvertebrates: perspectives for a general tool in stream management. *Archiv für Hydrobiologie*, 142: 415-432.

Chevenet, F., Dolédec, S. & Chessel, D. 1994. A fuzzy coding approach for the analysis of long-term ecological data. *Freshwater Biology*, 31: 295-309.

Dolédec, S. & Chessel, D. 1994. Co-inertia analysis: an alternative method for studying species-environment relationships. *Freshwater Biology*, 31: 277-293.

Dolédec, S., Chessel, D. & Champély, S. 1994. Using species distribution for matching species traits to environmental variables: a new three-table ordination method. 6th international congress of ecology (INTECOL) on ecological progress to meet the challenge of environmental change, 20-26 août 1994, Manchester.

Extence, C.A. & Ferguson, J.D. 1989. Aquatic invertebrate surveys as a water quality management tool in the anglian water region. *Regulated Rivers Research & Management*, 4: 139-146.

Growns, I.O. & Davis, J.A. 1994. Longitudinal changes in near-bed flows and macroinvertebrate communities in a Western Australian stream. *Journal of the North American Benthological Society*, 13: 413-438.

Hilsenhoff, W.L. 1987. An improved biotic index of organic stream pollution. *The Great Lakes Entomologist*, 20: 31-39.

Biomonitoring de la Meuse : analyse spatio-temporelle des peuplements macro-invertébrés (1998-2001)  
Université de Metz - LBFE - Equipe de Démoécologie  
Usseglio-Polatera, P. & Beisel, J-N. (Décembre, 2003)

Johnson, R.K., T. Wiederholm & Rosenberg, D.M. 1993. Freshwater biomonitoring using individual organisms, populations, and species assemblages of benthic macroinvertebrates. pp. 40-158 In Rosenberg, D.M. & V.H. Resh (eds), *Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates*, Chapman & Hall, New York and London, 488 p.

Kerans, B.L. & Karr, J.R. 1994. A benthic index of biotic integrity (B-IBI) for rivers of the Tennessee Valley. *Ecological Applications*, 4: 768-785.

Lang, C. & Reymond, O. 1995. An improved index of environmental quality of Swiss rivers based on benthic invertebrates. *Aquatic Sciences*, 57: 172-180.

Lenat, D.R. 1993. A biotic index for the southeastern United States: derivation and list of tolerance values, with criteria for assigning water-quality ratings *Journal of the North American Benthological Society*, 12: 279-290.

McArthur, R.H. & Wilson, E.O. 1963. An equilibrium theory of insular zoogeography. *Evolution*, 17: 373-387.

Minshall, G.W. 1988. Stream ecosystem theory: a global perspective. *Journal of the North American Benthological Society*, 7: 263-288.

Minshall, G.W. & Robinson, C.T. 1998. Macroinvertebrate community structure in relation to measures of lotic habitat heterogeneity. *Archiv für Hydrobiologie*, 141: 129-151.

Pianka, E.R. 1970. On r- and K-selection. *American Naturalist*, 104: 592-597.

Poff, N.L. & Ward, J.V. 1989. Implications of streamflow variability and predictability for lotic community structure: a regional analysis of streamflow patterns. *Canadian Journal of Fisheries & aquatic Sciences*, 46: 1805-1818.

Poff, N.L. & Ward, J.V. 1990. Physical habitat template of lotic systems: recovery in the context of historical pattern of spatiotemporal heterogeneity. *Environmental Management*, 14: 629-645.

Resh, V.H., Hildrew, A.G., Statzner, B. & Townsend, C.R. 1994. Theoretical habitat templates, species traits, and species richness: a synthesis of long-term research on the Upper Rhône River in the context of concurrently developed ecological theory. *Freshwater Biology*, 31: 539-554.

Biomonitoring de la Meuse : analyse spatio-temporelle des peuplements macro-invertébrés (1998-2001)  
Université de Metz - LBFE - Equipe de Démocécologie  
Usseglio-Polatera, P. & Beisel, J-N. (Décembre, 2003)

Richards, C., Haro, R.J., Johnson L.B. & Host, G.E. 1997. Catchment and reachscale properties as indicators of macroinvertebrate species traits. *Freshwater Biology*, 37: 219-230.

Richoux, P. 1994. Theoretical habitat templets, species traits, and species richness: Coleoptera in the Upper Rhône River and its floodplain. *Freshwater Biology*, 31 (3): 377-395.

Rosenberg, D.M. & Resh, V.H. 1993. *Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates*. Chapman & Hall, New York and London, 488 p.

Scarsbrook, M.R. & Townsend, C.R. 1993. Stream community structure in relation to spatial and temporal variation: a habitat templet study of two contrasting New Zealand streams. *Freshwater Biology*, 29: 395-410.

Shannon, C.E. & Weaver, W. 1949. *The mathematical Theory of communication*. University of Illinois Press, Urbana, 117 pp.

Spence, J.R. 1989. The habitat templet and life history strategies of pond skaters (Heteroptera: Gerridae): reproductive potential, phenology, and wing dimorphism. *Canadian Journal of Zoology*, 67: 2432-2447.

Statzner, B., Hoppenhaus, K., Arens, M.F. & Richoux, P. 1997. Reproductive traits, habitat use and templet theory: a synthesis of world-wide data on aquatic insects. *Freshwater Biology*, 38: 109-135.

Tachet, H., Richoux, P., Bournaud M. & Usseglio-Polatera, P. 2000. *Invertébrés d'eau douce : systématique, biologie, écologie*. CNRS Editions, Paris, 588 p.

Tachet, H., Usseglio-Polatera, P. & Roux, C. 1994. Theoretical habitat templets, species traits, and species richness: Trichoptera in the Upper Rhône River and its floodplain. *Freshwater Biology*, 31 (3): 397-416.

Tolkamp, H.H. & Gardiener, J.J.P. 1977. Hydrobiological survey of lowland streams in Achterhoek (The Netherlands) by means of a system for the assessment of water quality and stream character based on macroinvertebrates. *Mitteilungen des Institutes für Wasserwirtschaft, Hydrobiologie und landwirtschaftlichen Wasserbau*, T.U. Hannover 41: 215-235.

Biomonitoring de la Meuse : analyse spatio-temporelle des peuplements macro-invertébrés (1998-2001)  
Université de Metz - LBFÉ - Equipe de Démécologie  
Usseglio-Polatera, P. & Beisel, J.-N. (Décembre, 2003)

Townsend, C.R. 1989. The patch dynamics concept of stream community ecology. *Journal of the North American Benthological Society*, 8: 36-50.

Townsend, C.R., Dolédec, S. & Scarsbrook, M.R. 1997. Species traits in relation to temporal and spatial heterogeneity in streams: a test of habitat templet theory. *Freshwater Biology*, 37: 367-387.

Townsend, C.R. & Hildrew, A.G. 1994. Species traits in relation to a habitat templet for river systems. *Freshwater Biology*, 31: 265-275.

Usseglio-Polatera, P. 1991. Représentation graphique synthétique de la signification écologique d'un peuplement. Application aux macroinvertébrés du Rhône à Lyon. *Bulletin d'Ecologie*, 22: 195-202.

Usseglio-Polatera, P. 1994. Theoretical habitat templates, species traits, and species richness: aquatic insects in the Upper Rhône River and its floodplain. *Freshwater Biology*, 31: 417-437.

Usseglio-Polatera, P. 1997. Caractéristiques biologiques, stratégies écologiques et évolution environnementale d'un hydrosystème : l'exemple des Trichoptères du Rhône à Lyon (France). *Geobios*, 21: 151-158.

Usseglio-Polatera, P. & Beisel, J.-N. 1999. Traitement des résultats du monitoring international de la faune de macroinvertébrés benthiques de la Meuse. Rapport pour la CIPM, Université de Metz, 120 pp.

Usseglio-Polatera, P. & Beisel, J.-N. 2002a. Système expert d'analyse et d'aide à l'interprétation des données recueillies avec le protocole IBGN. Etude Inter-Agences, Rapport Phase I et II, 105 p. + Annexes

Usseglio-Polatera, P. & Beisel, J.-N. 2002b. Longitudinal changes in macroinvertebrate assemblages in the Meuse River : anthropogenic effects vs natural change. *River Research & Applications*, 18 (2), 197-211.

Usseglio-Polatera, P., Beisel, J.-N. & Guernier, A. 2002. Système expert d'analyse et d'aide à l'interprétation des données recueillies avec le protocole IBGN. Livret Guide (version 1.0). Etude Inter-Agences, 87 p. + Annexes

Biomonitoring de la Meuse : analyse spatio-temporelle des peuplements macro-invertébrés (1998-2001)  
Université de Metz - LBFÉ - Equipe de Démoécologie  
Usseglio-Polatera, P. & Beisel, J.-N. (Décembre, 2003)

Usseglio-Polatera, P., Thomas, S., Beisel J.-N. & Moreteau, J.-C. 1999.  
Illustration de la valeur indicatrice des caractéristiques biologiques des  
macroinvertébrés d'une communauté benthique à différentes échelles  
d'observation. *Annales de Limnologie*, 35 (1), 71-80.

Usseglio-Polatera, P., Bournaud, M., Richoux, P. & Tachet, H. 2000a.  
Biomonitoring through biological traits of benthic macroinvertebrates: how to  
use species trait data bases ? *Hydrobiologia*, 422/423, 173-181.

Usseglio-Polatera, P., Bournaud, M., Richoux, P. & Tachet, H. 2000b.  
Biological and ecological traits of benthic freshwater macroinvertebrates:  
relationships and definition of groups with similar traits. Revised data base.  
*Freshwater Biology*, 44, 563-568.

Usseglio-Polatera, P., Richoux, P., Bournaud, M., & Tachet, H. 2001. A  
functional classification of benthic macroinvertebrates based on biological and  
ecological traits: application to river condition assessment and stream  
management. *Archiv für Hydrobiologie Suppl.* 139/1, Monogr. Stud., 53-83.

Vanden Bossche, J.-P. 2002. First record and fast spread of five new (1995-  
2000) alien species in the River Meuse in Belgium. *Bull. Inst. r. Sc. nat. de  
Belgique, Biologie*, 72 (suppl.), 73-78.

Vanden Bossche, J.-P., Chérot, F., Delooz E., Grisez, F., Josens, G. 2001. First  
record of the Pontocaspian invader *Hypania in valida* in the River Meuse. *Belg.  
J. Zool.*, 131, 183-185.

Vanden Bossche, J.-P., Delooz E., Grisez, F. 1999. Macroinvertébrés benthiques  
et qualité biologique de la Meuse Wallonne en 1998. *Centre de Recherches de la  
Nature, des Forêts et du Bois*, D.G.R.N.E., Ministère de la Région wallonne,  
Gembloux, 19 pp. + annexes

Verneaux, J., Galmiche, P., Janier, F. & Monnot, A. 1982. Une méthode  
pratique d'évaluation de la qualité des eaux courantes. Un indice biologique de  
qualité générale. *Annales Scientifiques de l'Université de Franche-Comté*,  
Besançon 4: 11-21.



Biomonitoring de la Meuse : analyse spatio-temporelle des peuplements macro-invertébrés (1998-2001)  
Université de Metz - LBFE - Equipe de Démoécologie  
Usseglio-Polatera, P. & Beisel, J-N. (Décembre, 2003)

Wallace, J.B., Grubaugh, J.W. & Whiles, M.R. 1996. Biotic indices and stream ecosystem processes: results from an experimental study. *Ecological Applications*, 6: 140-151.

Walley, W.J. & Hawkes, H.A. 1996. A computer-based reappraisal of Biological Monitoring Working Party scores using data from the 1990 River Quality Survey of England and Wales. *Water Research*, 30 (9): 2086-2094 .

Walley, W.J. & Hawkes, H.A. 1997. A computer-based development of the Biological Monitoring Working Party score system incorporating abundance rating, biotope type and indicator value. *Water Research*, 31 (2): 201-210 .

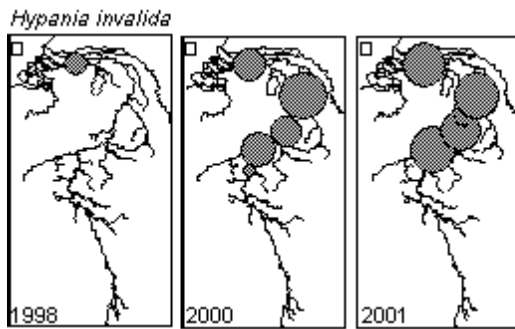
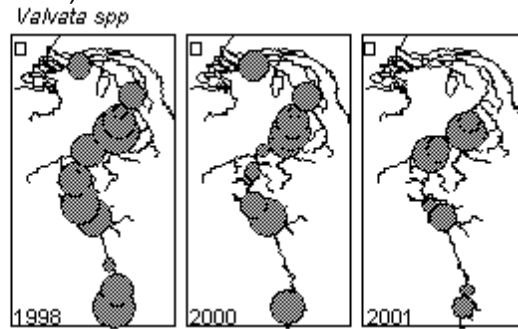
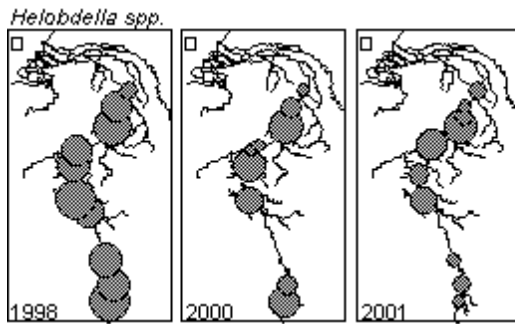
Ward, J.H. 1963. Hierarchical grouping to optimise on objective function. *Journal of the American Statistics Association*, 58, 236-244.

Williams, D.D. & Feltmate, B.W. 1992. *Aquatic insects*. CAB International, Wallingford , 358 pp.

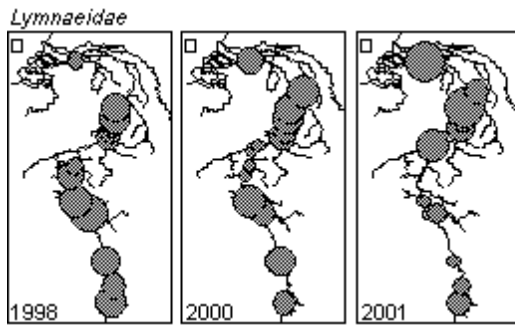
Biomonitoring de la Meuse : analyse spatio-temporelle des peuplements macro-invertébrés (1998-2001)  
Université de Metz - LBFE - Equipe de Démécologie  
Usseglio-Polatera, P. & Beisel, J-N. (Décembre, 2003)

## **ANNEXES**

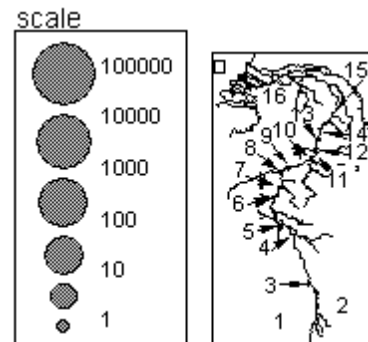
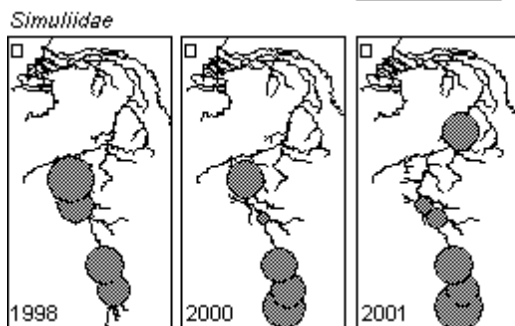
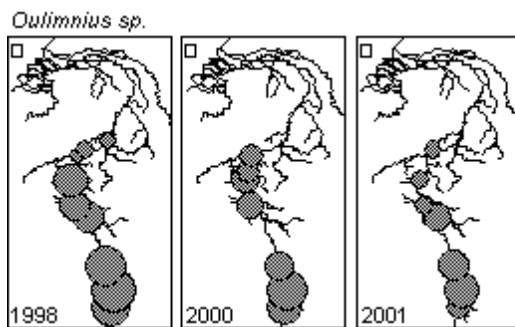
Biomonitoring de la Meuse : analyse spatio-temporelle des peuplements macro-invertébrés (1998-2001)  
 Université de Metz - LBFE - Equipe de Démécologie  
 Usseglio-Polatera, P. & Beisel, J-N. (Décembre, 2003)



Annexe I (partie 1) : Projection des distributions d'abondances (cercles tramés) de 145 taxons sur le profil longitudinal de la Meuse (16 stations échantillonnées en 1998 et 2000 ; 13 stations échantillonnées en 2001). Les cercles sont de taille proportionnelle aux logarithmes  $[\log(x+1)]$  des effectifs stationnels des taxons. **Taxons du groupe faunistique 3** (cf. texte pour plus d'informations).

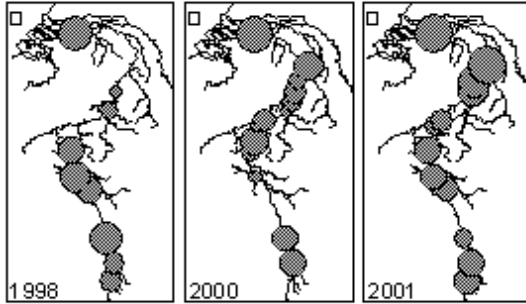


Appendix I (part 1): Longitudinal distribution of 145 taxa of the benthic community of the Meuse River (16 stations sampled in 1998 and 2000; 13 in 2001). Abundances are represented by solid circles. The size of circles is proportional to the abundance logarithm  $[\log(x+1)]$ . **Taxa of faunal group 3** (cf. text for further details).

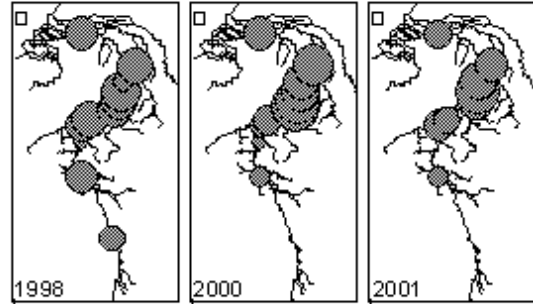


Biomonitoring de la Meuse : analyse spatio-temporelle des peuplements macro-invertébrés (1998-2001)  
 Université de Metz - LBFE - Equipe de Démécologie  
 Usseglio-Polatera, P. & Beisel, J-N. (Décembre, 2003)

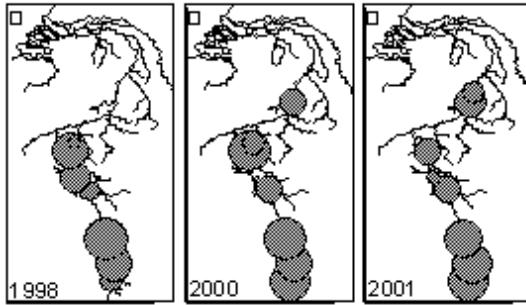
*Ancylus fluviatilis*



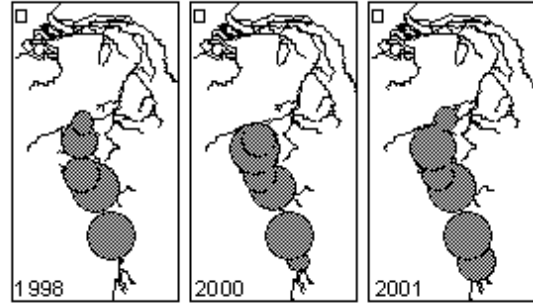
*Dreissena polymorpha*



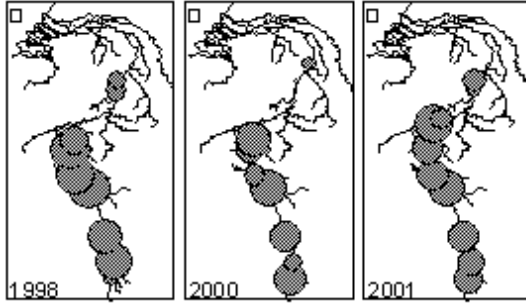
*Baetis spp.*



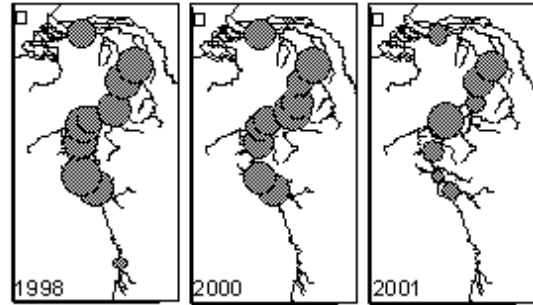
*Echinogammarus spp.*



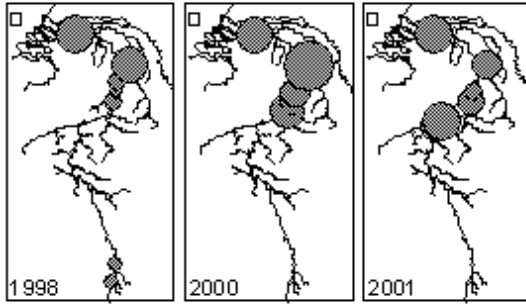
*Ceraclea spp.*



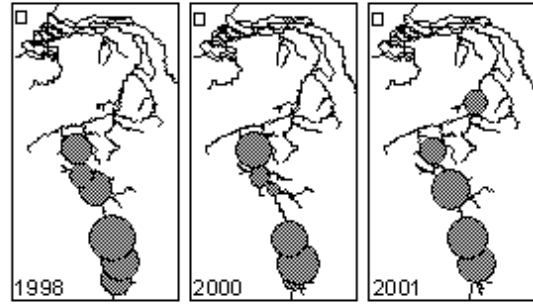
*Ecnomus sp.*



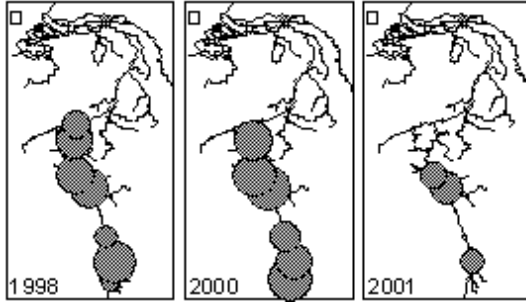
*Corbicula spp.*



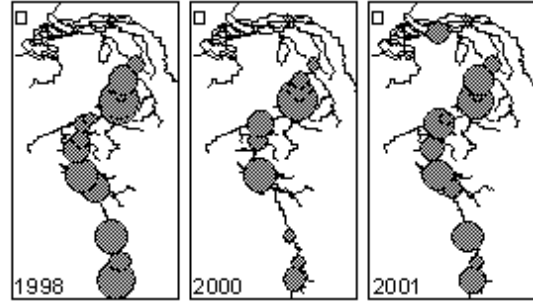
*Esolus sp.*



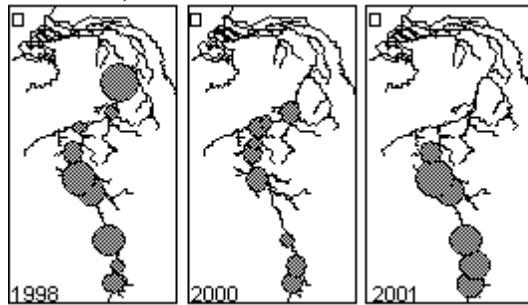
*Cymus spp.*



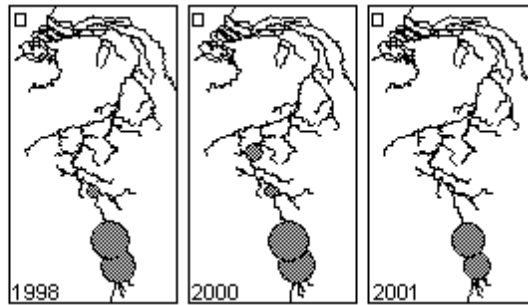
*Glossiphonia spp.*



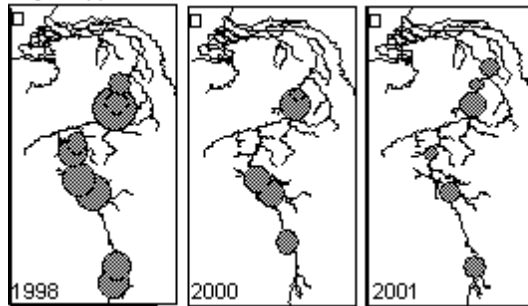
*Nematomorpha*



*Theodoxus fluviatilis*

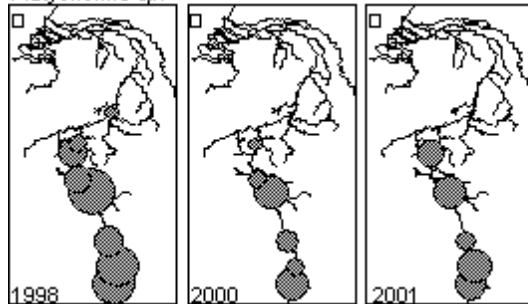


*Physa spp.*



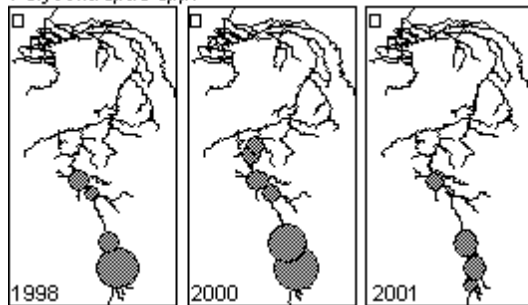
Annexe I (partie 2) : Projection des distributions d'abondances (cercles tramés) de 145 taxons sur le profil longitudinal de la Meuse (16 stations échantillonnées en 1998 et 2000 ; 13 stations échantillonnées en 2001). Les cercles sont de taille proportionnelle aux logarithmes  $[\log(x+1)]$  des effectifs stationnels des taxons. **Taxons du groupe faunistique 4** (cf. texte pour plus d'informations).

*Platynemris sp.*

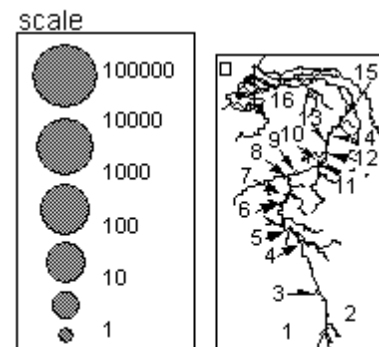
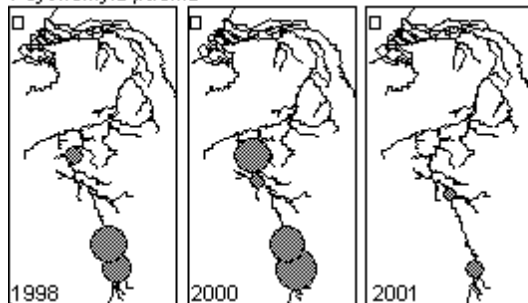


Appendix I (part 2): Longitudinal distribution of 145 taxa of the benthic community of the Meuse River (16 stations sampled in 1998 and 2000; 13 in 2001). Abundances are represented by solid circles. The size of circles is proportional to the abundance logarithm  $[\log(x+1)]$ . **Taxa of faunal group 4** (cf. text for further details).

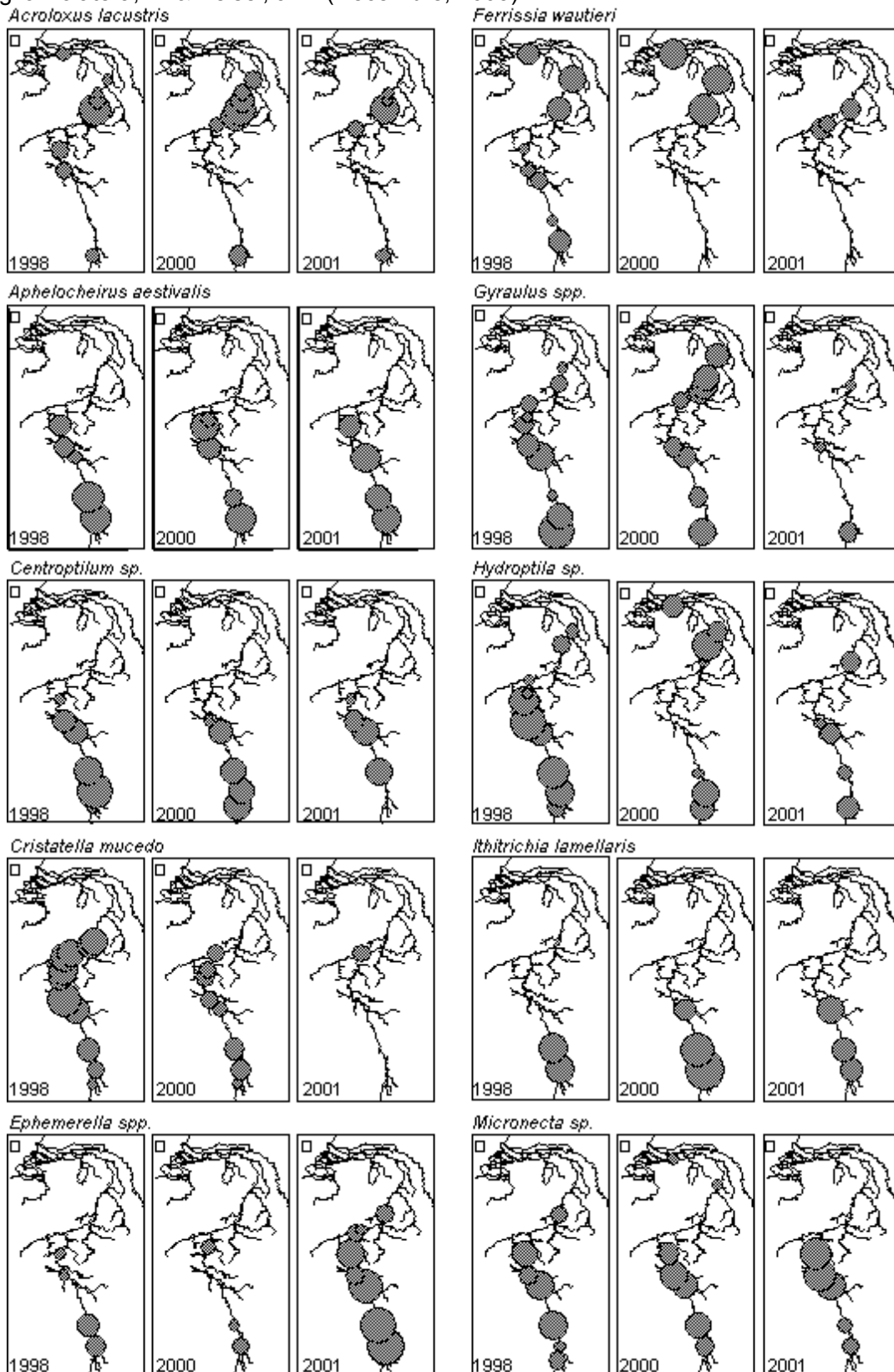
*Polycentropus spp.*



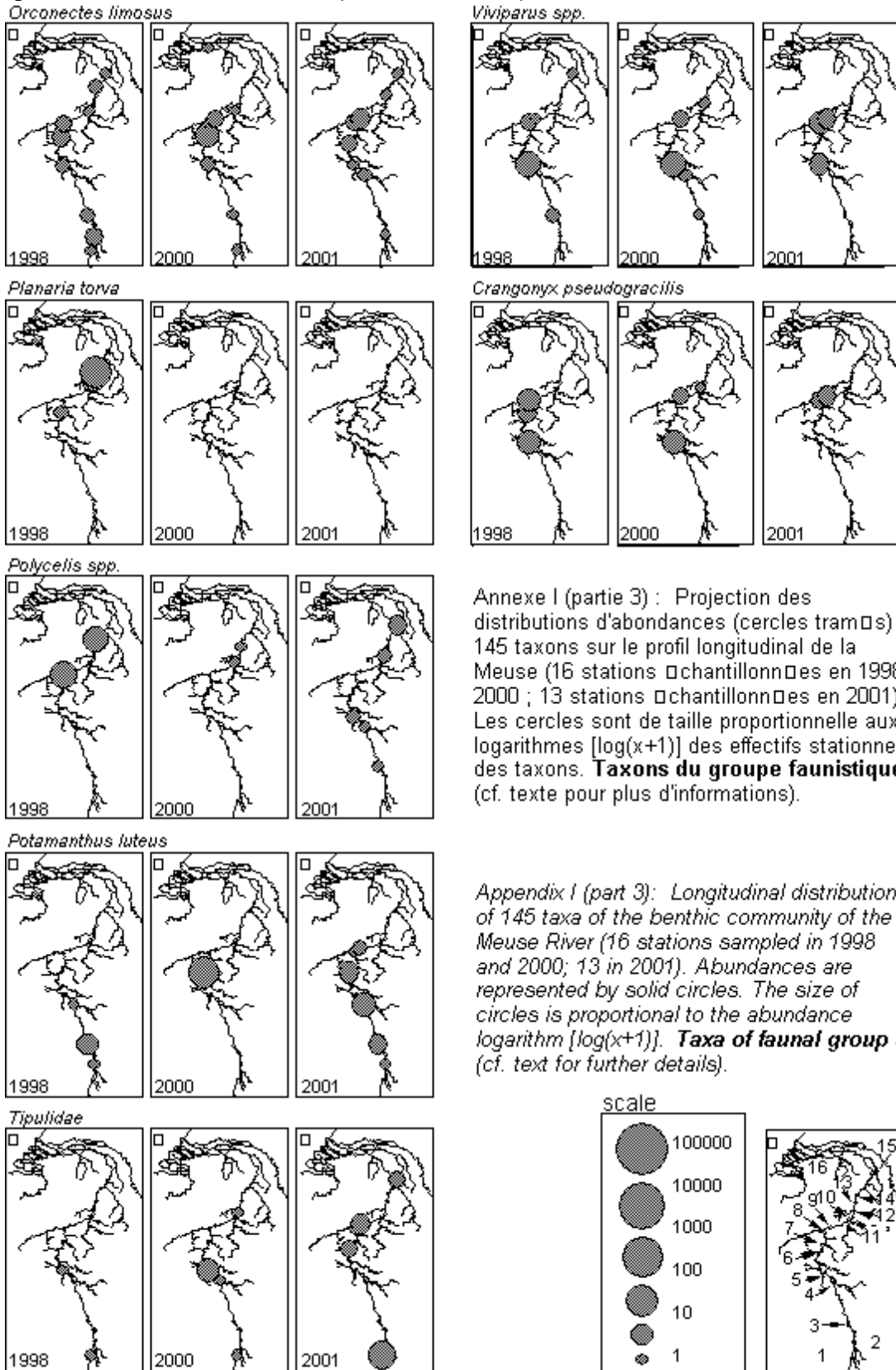
*Psychomyia pusilla*



Biomonitoring de la Meuse : analyse spatio-temporelle des peuplements macro-invertébrés (1998-2001)  
 Université de Metz - LBFE - Equipe de Démécologie  
 Usseglio-Polatera, P. & Beisel, J-N. (Décembre, 2003)



Biomonitoring de la Meuse : analyse spatio-temporelle des peuplements macro-invertébrés (1998-2001)  
Université de Metz - LBFE - Equipe de Démécologie  
Usseglio-Polatera, P. & Beisel, J-N. (Décembre, 2003)

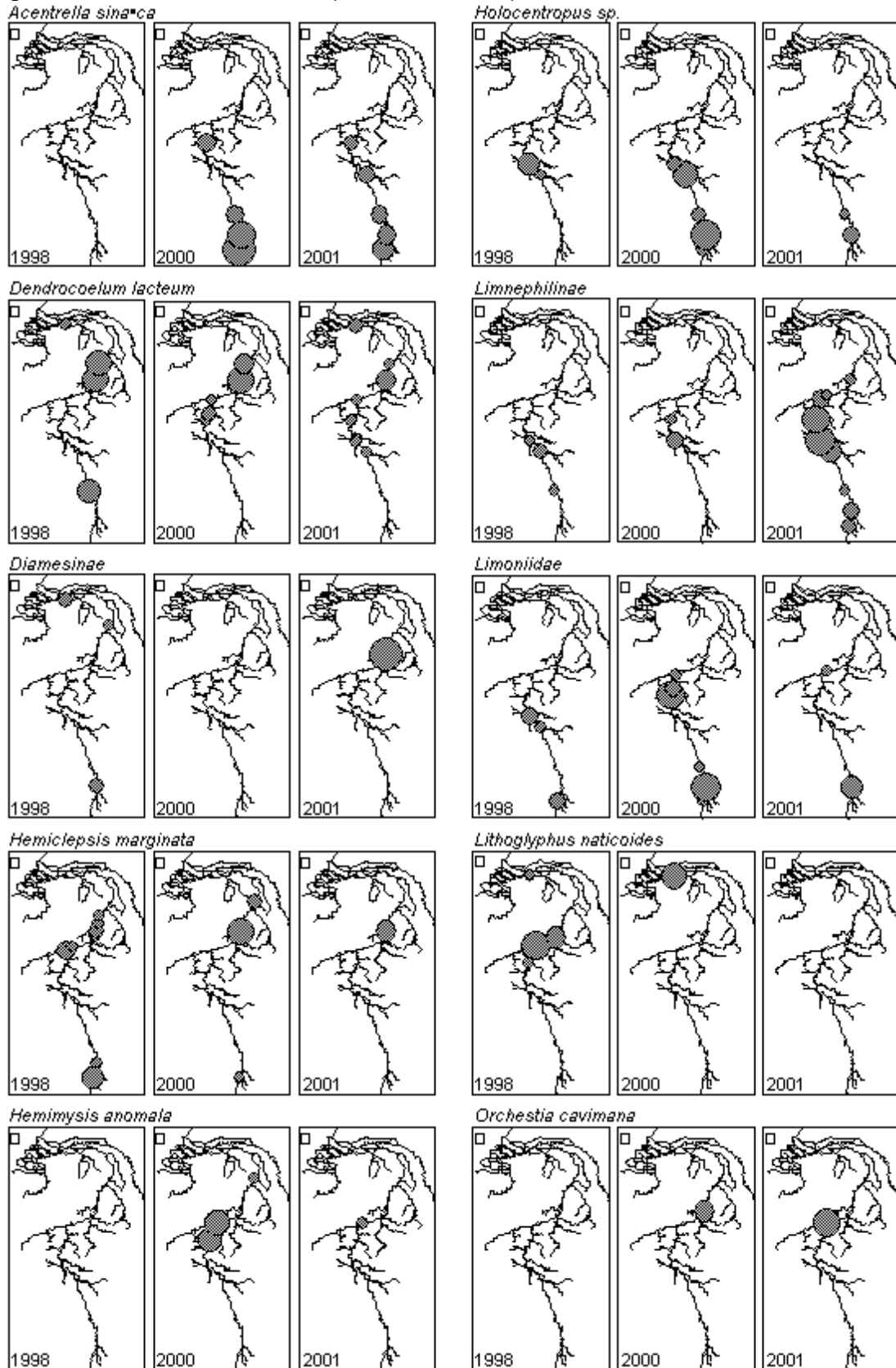


Annexe I (partie 3) : Projection des distributions d'abondances (cercles tramés) de 145 taxons sur le profil longitudinal de la Meuse (16 stations échantillonnées en 1998 et 2000 ; 13 stations échantillonnées en 2001). Les cercles sont de taille proportionnelle aux logarithmes  $[\log(x+1)]$  des effectifs stationnels des taxons. **Taxons du groupe faunistique 5** (cf. texte pour plus d'informations).

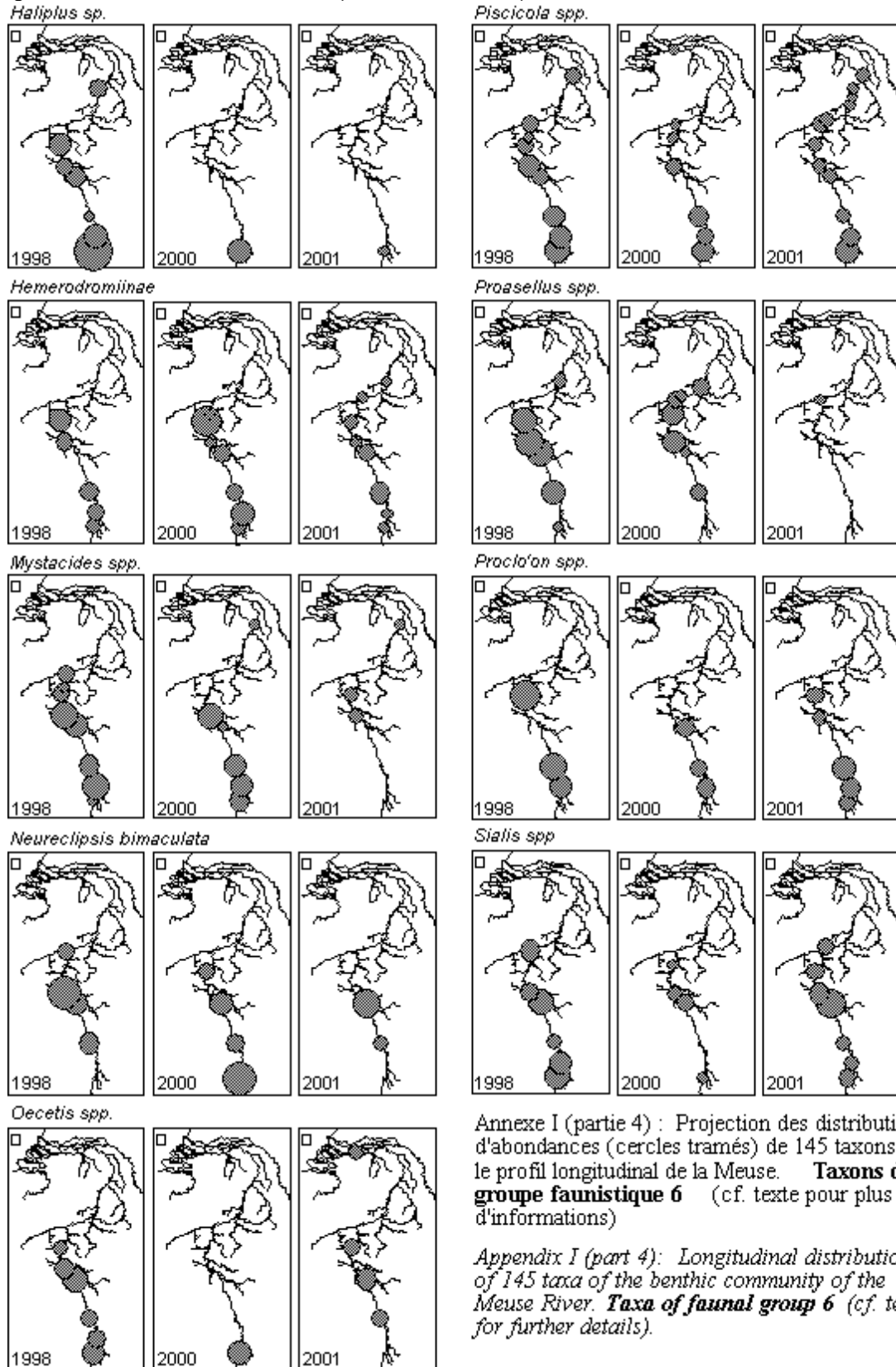
Appendix I (part 3): Longitudinal distribution of 145 taxa of the benthic community of the Meuse River (16 stations sampled in 1998 and 2000; 13 in 2001). Abundances are represented by solid circles. The size of circles is proportional to the abundance logarithm  $[\log(x+1)]$ . **Taxa of faunal group 5** (cf. text for further details).



Biomonitoring de la Meuse : analyse spatio-temporelle des peuplements macro-invertébrés (1998-2001)  
 Université de Metz - LBFE - Equipe de Démoécologie  
 Usseglio-Polatera, P. & Beisel, J-N. (Décembre, 2003)



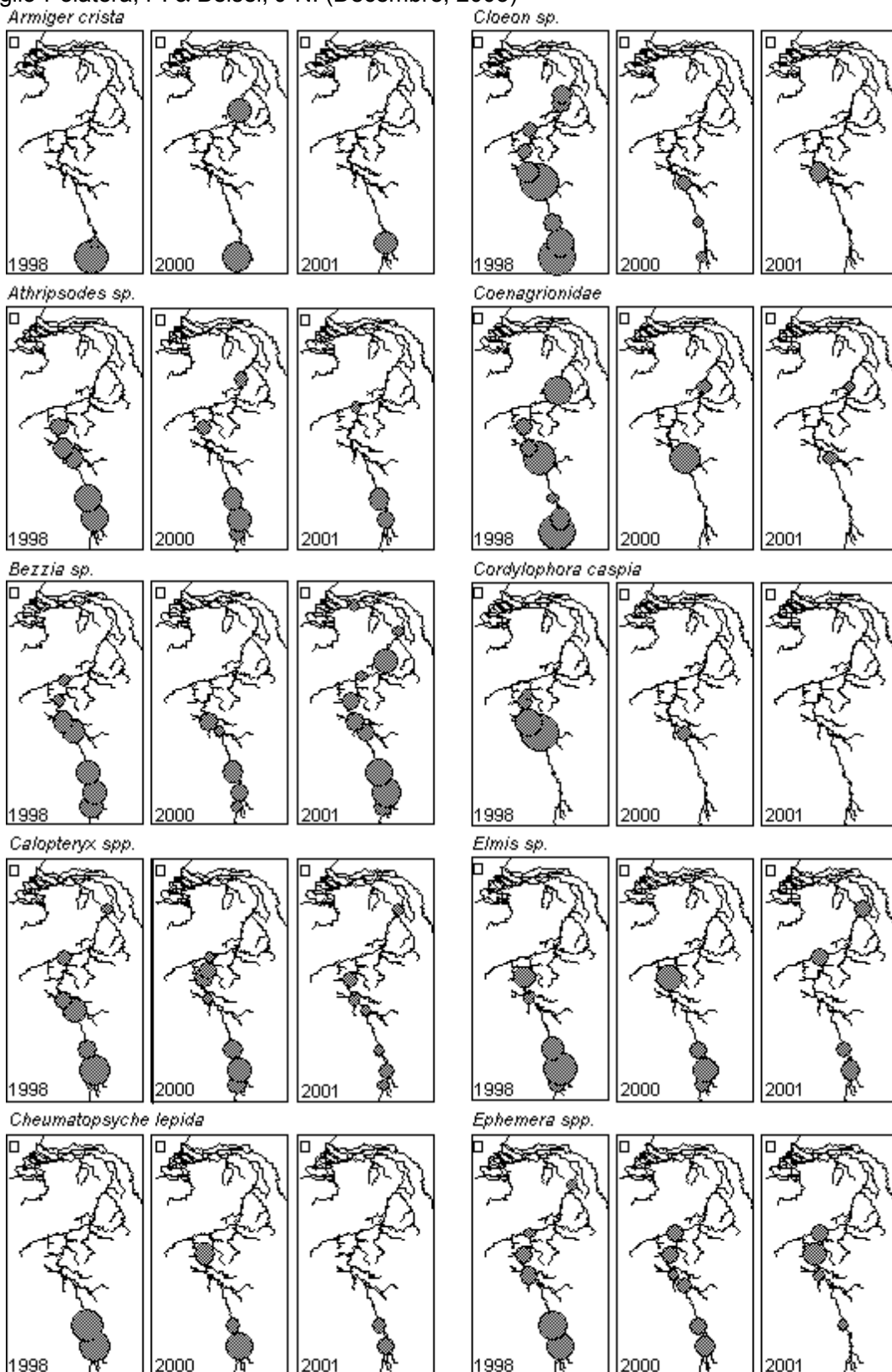
Biomonitoring de la Meuse : analyse spatio-temporelle des peuplements macro-invertébrés (1998-2001)  
 Université de Metz - LBFE - Equipe de Démoécologie  
 Usseglio-Polatera, P. & Beisel, J-N. (Décembre, 2003)



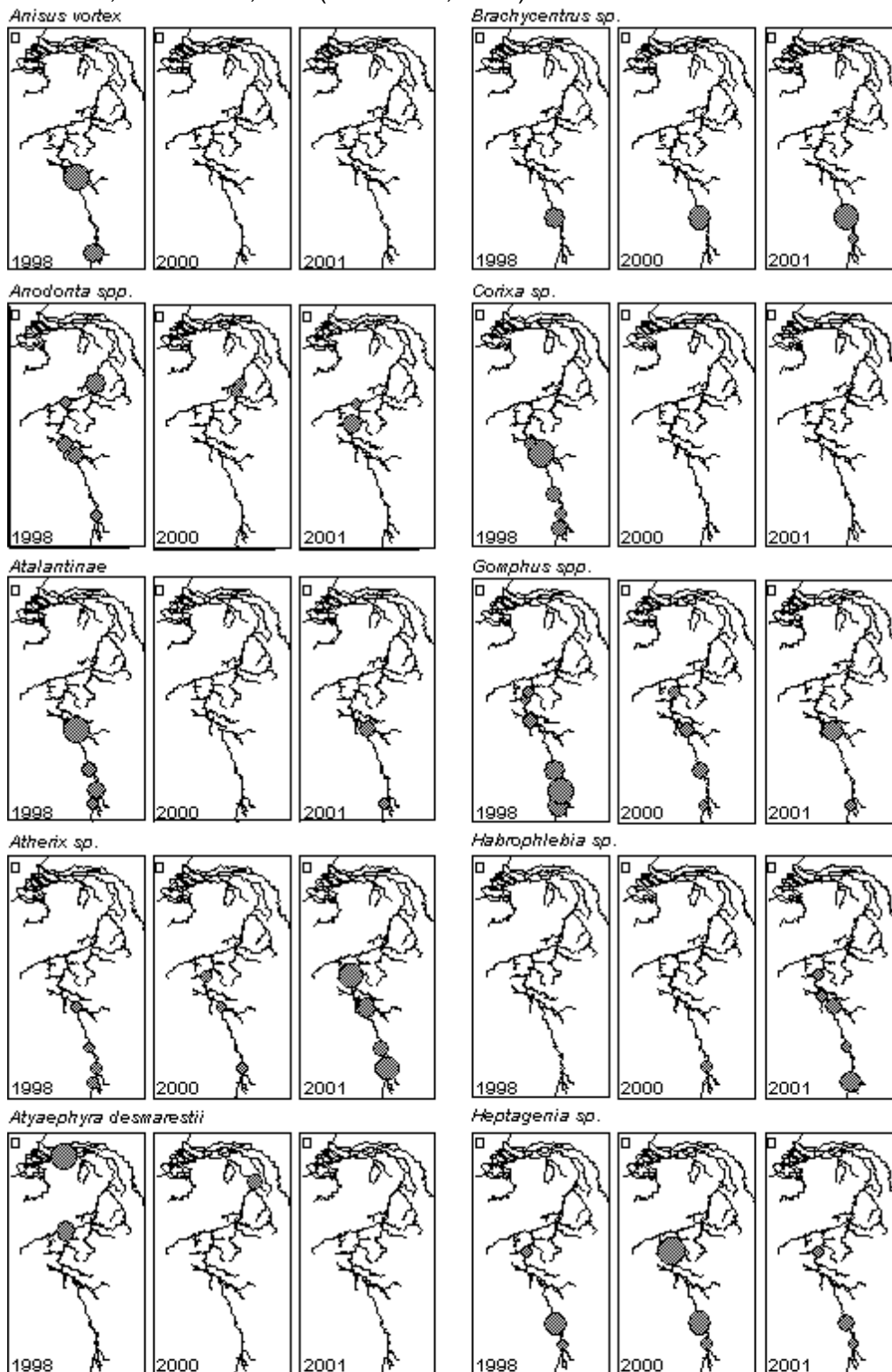
Annexe I (partie 4) : Projection des distribution d'abondances (cercles tramés) de 145 taxons sur le profil longitudinal de la Meuse. **Taxons du groupe faunistique 6** (cf. texte pour plus d'informations)

Appendix I (part 4): Longitudinal distribution of 145 taxa of the benthic community of the Meuse River. **Taxa of faunal group 6** (cf. text for further details).

Biomonitoring de la Meuse : analyse spatio-temporelle des peuplements macro-invertébrés (1998-2001)  
 Université de Metz - LBFE - Equipe de Démécologie  
 Usseglio-Polatera, P. & Beisel, J-N. (Décembre, 2003)

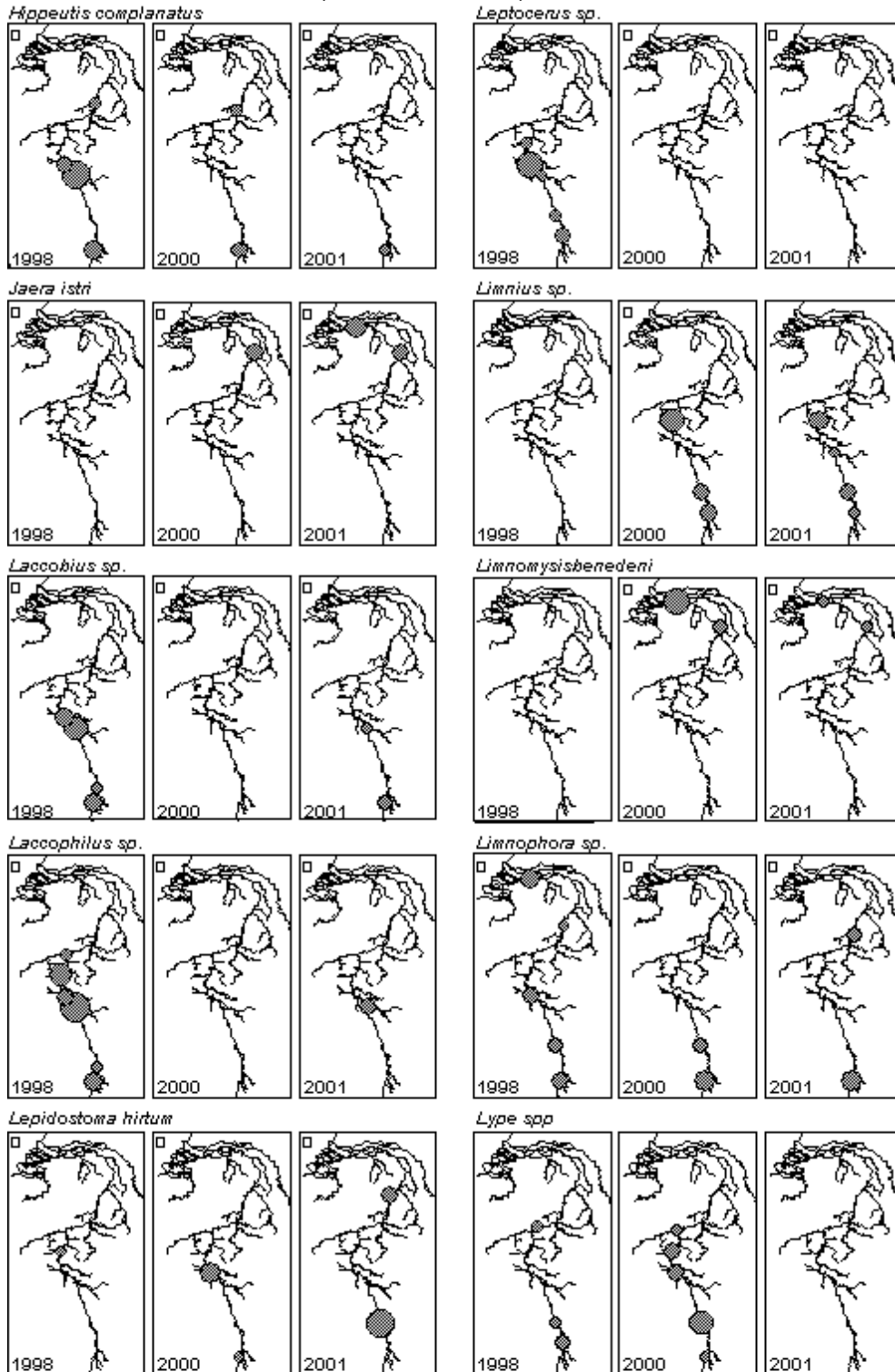


Biomonitoring de la Meuse : analyse spatio-temporelle des peuplements macro-invertébrés (1998-2001)  
 Université de Metz - LBFE - Equipe de Démécologie  
 Usseglio-Polatera, P. & Beisel, J-N. (Décembre, 2003)



Annexe I (partie 5a) : Projection des distributions d'abondances (cercles tramés) de 145 taxons sur le profil longitudinal de la Meuse (16 stations échantillonnées en 1998 et 2000 13 stations échantillonnées en 2001). Les cercles sont de taille proportionnelle aux logarithmes  $[\log(x+1)]$  des effectifs stationnels des taxons. **Taxons du groupe faunistique**  $\gamma$  (cf. texte pour plus d'informations).

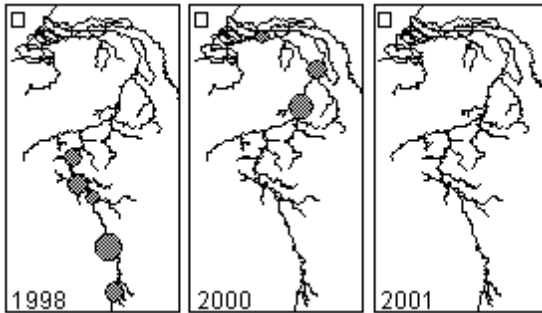
Biomonitoring de la Meuse : analyse spatio-temporelle des peuplements macro-invertébrés (1998-2001)  
 Université de Metz - LBFE - Equipe de Démécologie  
 Usseglio-Polatera, P. & Beisel, J-N. (Décembre, 2003)



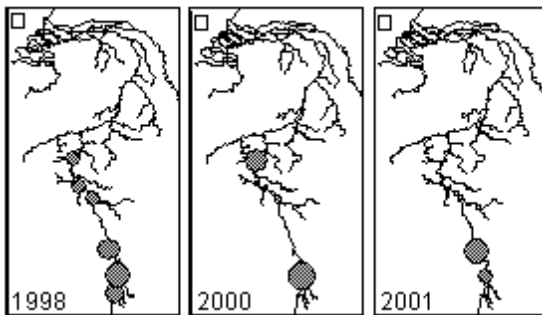
Appendix I (part 5a): Longitudinal distribution of 145 taxa of the benthic community of the Meuse River (16 stations sampled in 1998 and 2000; 13 in 2001). Abundances are represented by solid circles. The size of circles is proportional to the abundance logarithm  $\log(x+1)$ . Taxa of faunal group 7 (cf. text for further details).

Biomonitoring de la Meuse : analyse spatio-temporelle des peuplements macro-invertébrés (1998-2001)  
 Université de Metz - LBFE - Equipe de Démécologie  
 Usseglio-Polatera, P. & Beisel, J-N. (Décembre, 2003)

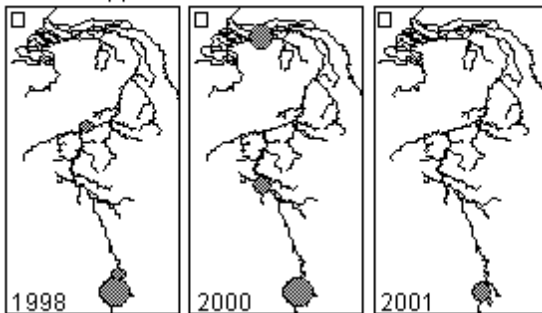
*Sisyrta sp.*



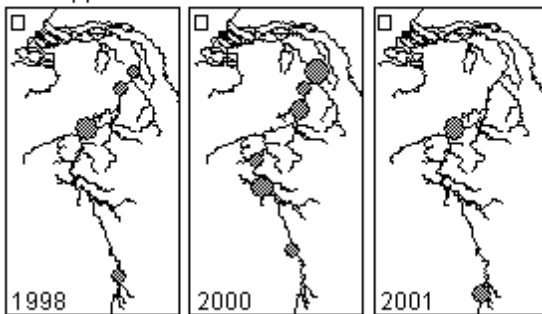
*Stenelmis sp.*



*Tinodes spp.*

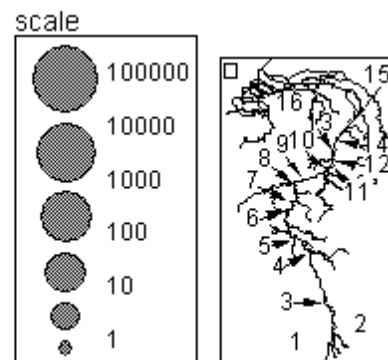


*Unio spp.*

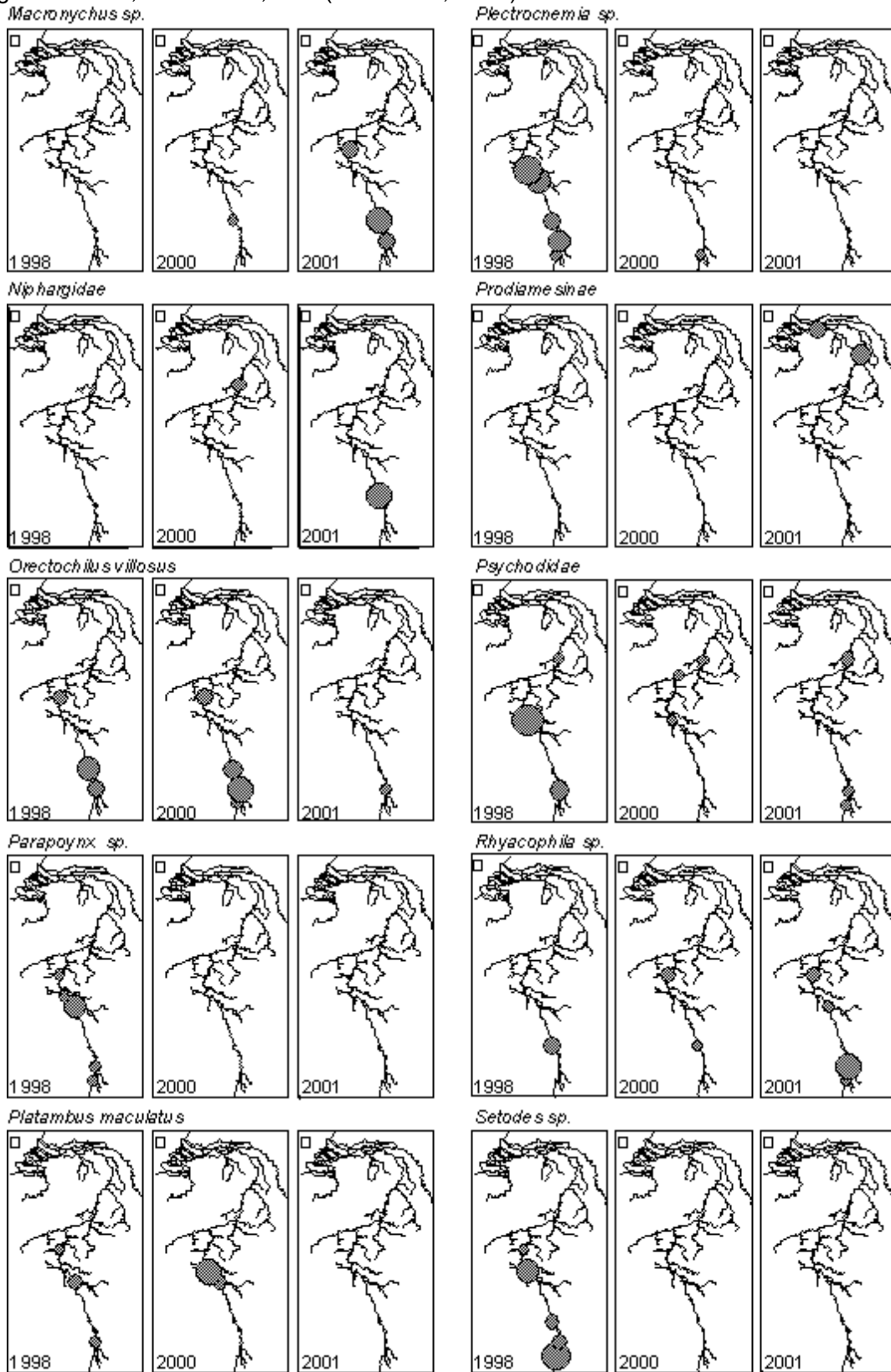


Annexe I (partie 5b) : Projection des distributions d'abondances (cercles tramés) de 145 taxons sur 1 profil longitudinal de la Meuse (16 stations échantillonnées en 1998 et 2000 ; 13 stations échantillonnées en 2001). Les cercles sont de taille proportionnelle aux logarithmes  $[\log(x+1)]$  des effectifs stationnels des taxons. **Taxons du groupe faunistique 7** (cf. texte pour plus d'informations).

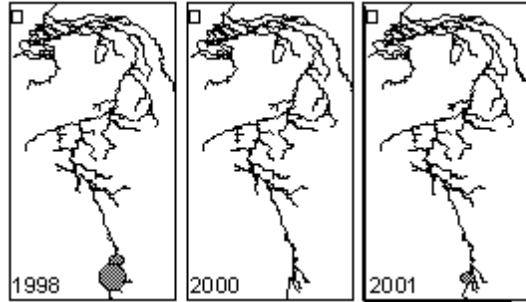
Appendix I (part 5b): Longitudinal distribution of 145 taxa of the benthic community of the Meuse River (16 stations sampled in 1998 and 2000; 13 in 2001). Abundances are represented by solid circles. The size of circles is proportional to the abundance logarithm  $[\log(x+1)]$ . **Taxa of faunal group 7** (cf. text for further details).



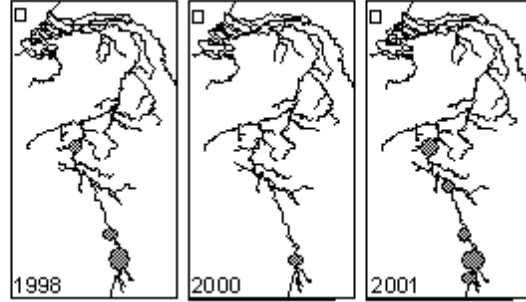
Biomonitoring de la Meuse : analyse spatio-temporelle des peuplements macro-invertébrés (1998-2001)  
 Université de Metz - LBFE - Equipe de Démécologie  
 Usseglio-Polatera, P. & Beisel, J-N. (Décembre, 2003)



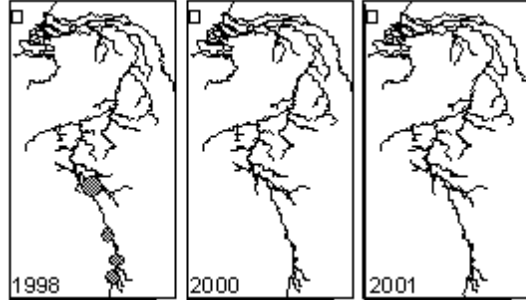
*Ephydriidae*



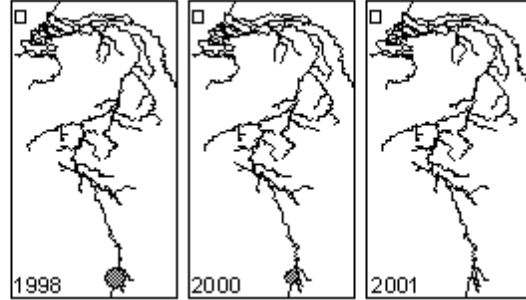
*Leuctra sp.*



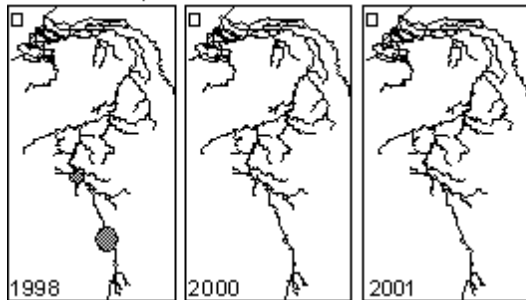
*Gerris sp.*



*Libellula sp.*

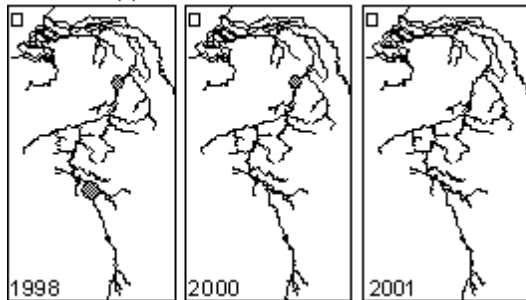


*Orthotrichia sp.*



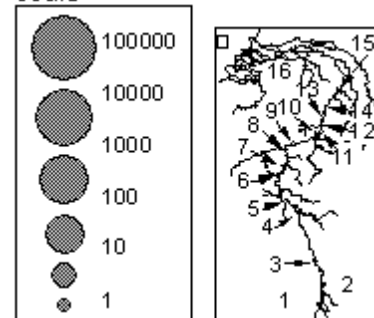
Annexe I (partie 6) : Projection des distributions d'abondances (cercles tramés) de 145 taxons sur le profil longitudinal de la Meuse (16 stations échantillonnées en 1998 et 2000 ; 13 stations échantillonnées en 2001). Les cercles sont de taille proportionnelle aux logarithmes  $[\log(x+1)]$  des effectifs stationnels des taxons. **Taxons du groupe faunistique 8** (cf. texte pour plus d'informations).

*Planorbis spp.*



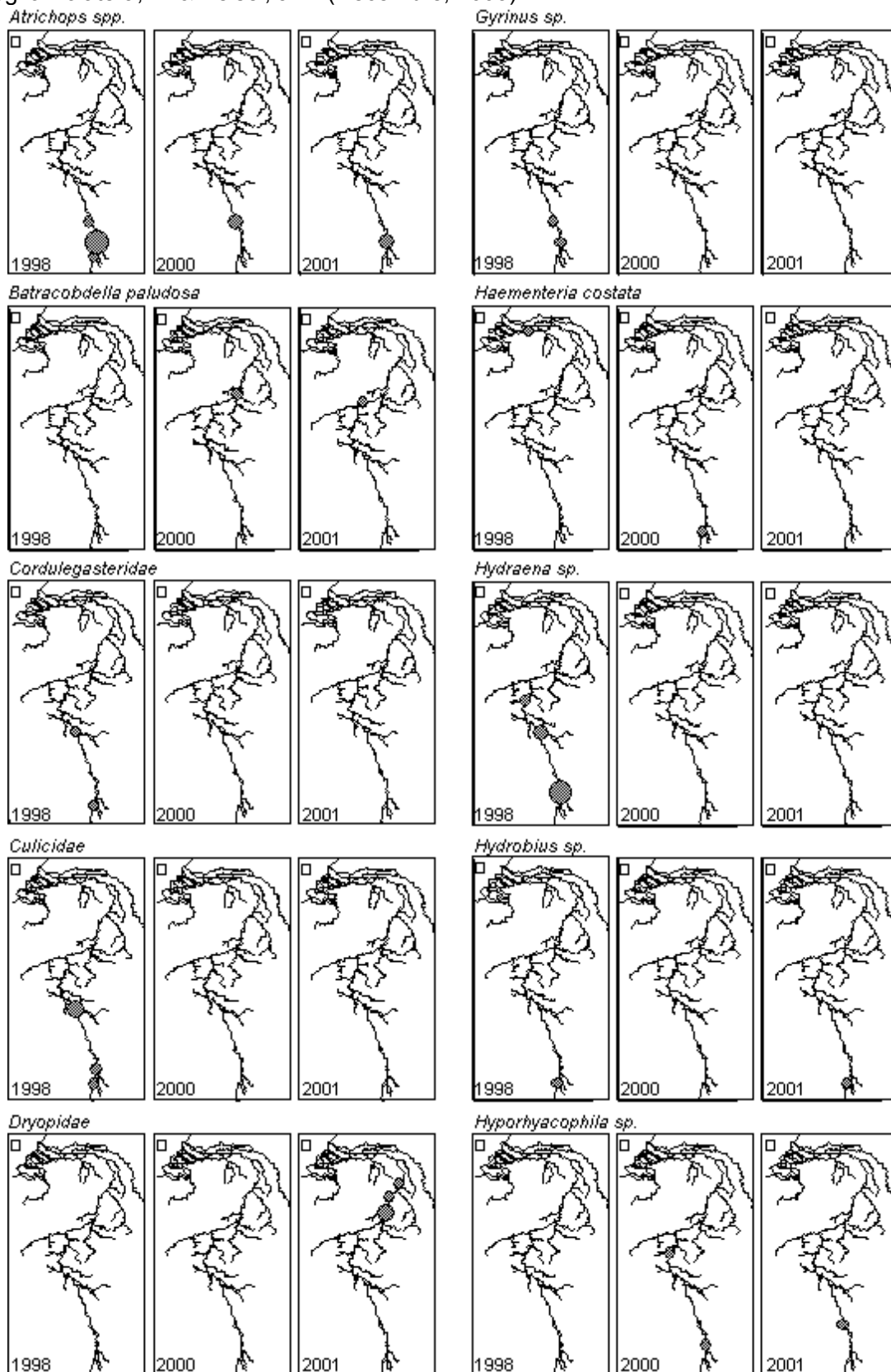
Appendix I (part 6): Longitudinal distribution of 145 taxa of the benthic community of the Meuse River (16 stations sampled in 1998 and 2000; 13 in 2001). Abundances are represented by solid circles. The size of circles is proportional to the abundance logarithm  $[\log(x+1)]$ . **Taxa of faunal group 8** (cf. text for further details).

scale

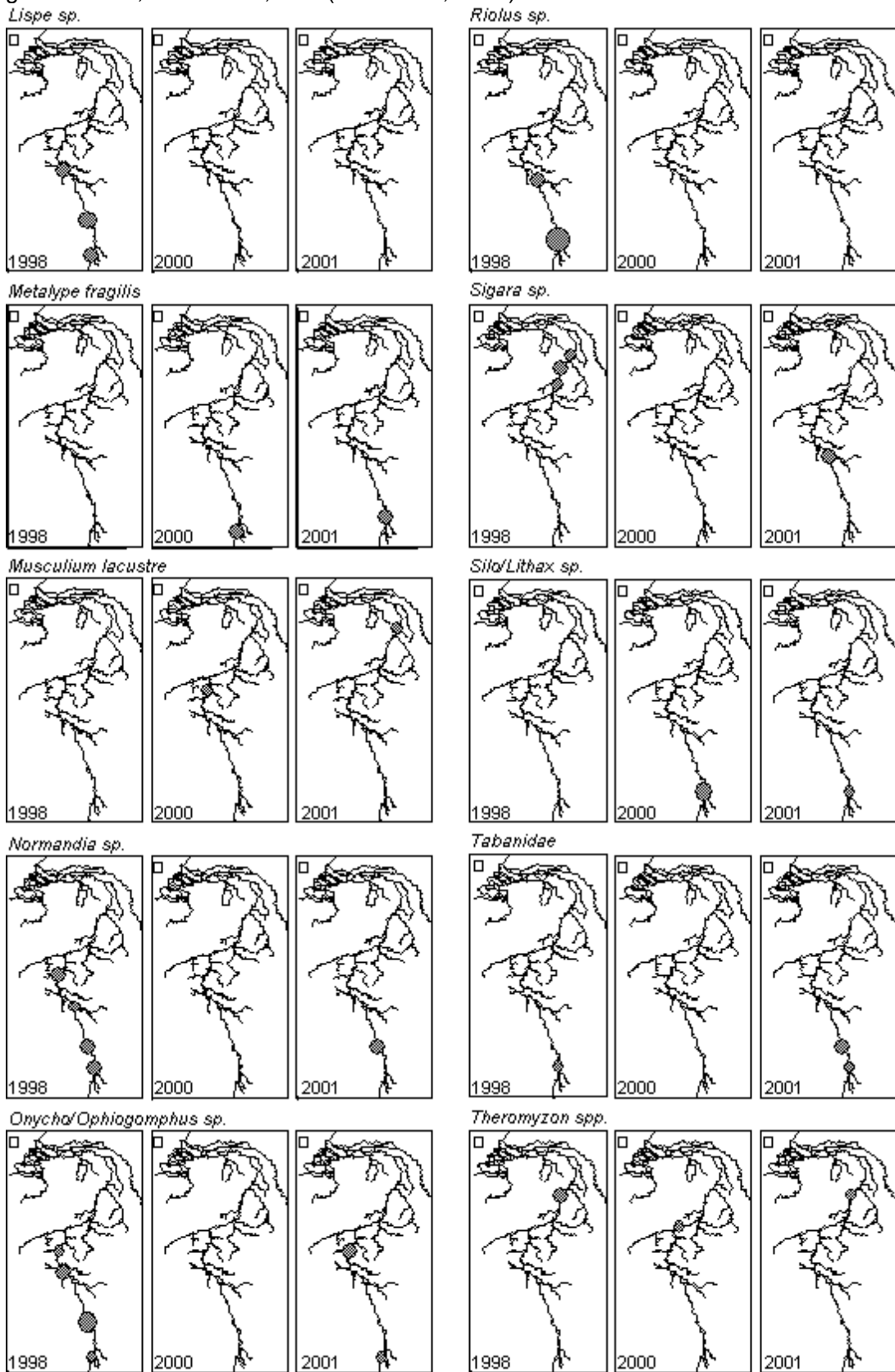




Biomonitoring de la Meuse : analyse spatio-temporelle des peuplements macro-invertébrés (1998-2001)  
Université de Metz - LBFE - Equipe de Démécologie  
Usseglio-Polatera, P. & Beisel, J-N. (Décembre, 2003)



Biomonitoring de la Meuse : analyse spatio-temporelle des peuplements macro-invertébrés (1998-2001)  
 Université de Metz - LBFE - Equipe de Démécologie  
 Usseglio-Polatera, P. & Beisel, J-N. (Décembre, 2003)



Biomonitoring de la Meuse : analyse spatio-temporelle des peuplements macro-invertébrés (1998-2001)  
 Université de Metz - LBFE - Equipe de Démécologie  
 Usseglio-Polatera, P. & Beisel, J-N. (Décembre, 2003)  
 Annexe 2 : Liste faunistique globale issue du tableau de données brutes  
 (peuplement macroinvertébré de la Meuse/campagnes de 1998, 2000 et 2001)

Appendix 2 : Faunal list before systematic harmonization  
 (macroinvertebrate community of the Meuse River/1998, 2000 and 2001 campaigns)

Taxa	Taxa
<b>PLECOPTERA</b>	
<b>Leuctridae</b>	<i>Euleuctra geniculata</i> <i>Leuctra</i> sp.
<b>TRICHOPTERA</b>	
<b>Beraeidae</b>	<i>Beraeodes</i> sp. <i>Micrasema</i> sp.
<b>Brachycentridae</b>	<i>Brachycentrus</i> sp. <i>Brachycentrus subvubilus</i>
<b>Ecnomidae</b>	<i>Ecnomus</i> sp. <i>Ecnomus tenellus</i>
<b>Goeridae</b>	<i>Goera pilosa</i> <i>Silo</i> sp. or <i>Lithax</i> sp.
<b>Hydropsychidae</b>	<i>Hydropsyche</i> spp. (unidentified juveniles) <i>H. contubernalis</i> <i>H. exocellata</i> <i>H. pellucidula</i>
<b>Hydroptilidae</b>	<i>Cheumatopsyche lepida</i> (unidentified juveniles) <i>Agraylea</i> sp. <i>Hydroptila</i> sp. <i>Isoitrichia lamellaris</i> <i>Orthotrichia</i> sp. <i>Orthotrichia costalis</i>
<b>Lepidostomatidae</b>	<i>Lepidostoma</i> sp. <i>Lepidostoma kirium</i> (unidentified juveniles)
<b>Leptoceridae</b>	<i>Aztripodes</i> sp. <i>Ceraclia</i> sp. <i>Ceraclia annulicornis</i> <i>Ceraclia dissimilis</i> <i>Leptocerus</i> sp. <i>Mystacides</i> sp. <i>Mystacides aenea</i> <i>Mystacides longicornis</i> <i>Cocotis</i> sp. <i>Cocotis notata</i> <i>Setodes</i> sp. tr. <i>Limnephilini</i> <i>Anabolia</i> sp. tr. <i>Stenophylacini</i> et <i>Chaetopterygini</i> <i>Halesus</i> sp. <i>Micropetern</i> sp. unidentified
<b>Limnephilidae</b>	<i>Molanna angustata</i>
<b>Molanidae</b>	<i>Phryganea</i> sp.
<b>Phryganeidae</b>	<i>Phryganea bipunctata</i> (unidentified juveniles) <i>Cyrnus trimaculatus</i> <i>Cyrnus</i> sp. <i>Holocentropus</i> sp. <i>Neureclepsis bimaculata</i> <i>Plectrocnemia</i> sp. <i>Plectrocnemia geniculata</i> <i>Polycentropus flavomaculatus</i> <i>Polycentropus</i> sp. (unidentified juveniles)
<b>Psychomyiidae</b>	<i>Lype</i> sp. <i>Lype reducta</i> <i>Metatype fragilis</i> <i>Psychomyia pusilla</i> <i>Tinodes</i> sp. <i>Tinodes waeneri</i> (unidentified juveniles) <i>Hyporhyacophila</i> sp. <i>Hyporhyacophila</i> sp. <i>Pararhyacophila</i> sp. <i>Rhyacophila</i> sp. <i>Notidobia</i> sp. <i>Sericostoma</i> sp.
<b>Rhyacophilidae</b>	
<b>Sericostomatidae</b>	
<b>EPHEMEROPTERA</b>	
<b>Baetidae</b>	(unidentified juveniles) <i>Acentrella sinatica</i> <i>Baetis</i> sp.
<b>Baetidae (continued)</b>	<i>Baetis lutheri</i> <i>Baetis rhodani</i> <i>Baetis vernus</i> <i>Centroptilum</i> sp. <i>Centroptilum luteolum</i> <i>Cloëon dipterum</i> <i>Cloëon simile</i> <i>Cloëon</i> sp. <i>Procloëon</i> sp. <i>Procloëon bifidum</i>
<b>Caenidae</b>	<i>Caenis</i> sp. <i>Caenis korvaria</i> <i>Caenis luctuosa</i> <i>Caenis macrura</i> <i>Ephemerella</i> sp. <i>Ephemerella ignita</i> <i>Ephemerella notata</i> <i>Ephemerella</i> sp.
<b>Ephemerellidae</b>	<i>Ephemerella danica</i> <i>Ephemerella lineata</i> <i>Ephemerella vulgata</i>
<b>Ephemeridae</b>	<i>Heptagenia</i> sp. <i>Heptagenia coeruleans</i> <i>Heptagenia sulphurea</i> unidentified
<b>Heptageniidae</b>	<i>Habrophebia</i> sp.
<b>Leptophlebiidae</b>	<i>Potamanthus</i> sp. <i>Siphonurus</i> sp.
<b>Potamanthidae</b>	
<b>Siphonuridae</b>	
<b>HETEROPTERA</b>	
<b>Aphelocheiridae</b>	<i>Aphelocheirus aestivalis</i>
<b>Corixidae</b>	<i>Corixidae</i> sp. <i>Micronecta</i> sp. <i>Corixa</i> sp. <i>Corixa punctata</i> <i>Sigara striata</i> <i>Sigara</i> sp. <i>Gerris</i> sp.
<b>Gerridae</b>	<i>Hydrometra</i> sp.
<b>Hydrometridae</b>	<i>Mesovelia furcata</i>
<b>Mesoveliidae</b>	<i>Naucoris</i> sp. <i>Nyocoris amabilis</i> <i>Plea leachi</i> <i>Velia</i> sp.
<b>Naucoridae</b>	
<b>Belidae</b>	
<b>Veliidae</b>	
<b>COLEOPTERA</b>	
<b>Dytiscidae</b>	<i>Agabus</i> sp. <i>Dytiscus</i> sp. <i>Hypodyrus</i> sp. <i>Ilybius</i> sp. <i>Laccophilus</i> sp. <i>Platanibus maculatus</i> unidentified
<b>Dryopidae</b>	<i>Dryops</i> sp.
<b>Ebmidae</b>	<i>Dusophyllus</i> sp. <i>Eimas</i> sp.
<b>Ebmidae (continued)</b>	<i>Esolus</i> sp. <i>Limnius</i> sp. <i>Macronychus</i> sp. <i>Normandia</i> sp. <i>Callimnius</i> sp. <i>Pisius</i> sp. <i>Stenelmis</i> sp. unidentified
<b>Gyrinidae</b>	<i>Gyrinus</i> sp. <i>Orectochilus villosus</i>
<b>Haliphidae</b>	<i>Haliphilus</i> sp. <i>Peltodytes</i> sp.
<b>Helophoridae</b>	<i>Helophorus</i> sp.
<b>Hydraenidae</b>	<i>Hydraena</i> sp.
<b>Hydrophilidae</b>	<i>Enochrus</i> sp. <i>Helochares</i> sp. <i>Hydrobius</i> sp. <i>Laccobius</i> sp.

Appendix 2 (continued)

Taxa		Taxa	
<b>DIPTERA</b>		(Orthocladiinae)	<i>Cricotopus triannulatus</i>
<b>Arthronyidae (= Muscida)</b>	unidentified	(Orthocladiinae)	<i>Cricotopus triannulatus</i> gr
	<i>Limnophora</i> sp.	(Orthocladiinae)	<i>Cricotopus sylvestris</i>
	<i>Lispe</i> sp.	(Orthocladiinae)	<i>Cricotopus sylvestris</i> gr
<b>Athericidae</b>	<i>Atherix</i> sp.	(Orthocladiinae)	<i>Cricotopus triannulatus</i> agg
	<i>Atherixops</i> sp.	(Orthocladiinae)	<i>Cricotopus vierriensis</i>
	<i>Atherixops crassipes</i>	(Orthocladiinae)	<i>Cryptotendipes kolsatus</i>
<b>Ceratopogonidae</b>	unidentified	(Orthocladiinae)	<i>Lymnophyes</i> sp.
	<i>Berpa</i> sp.	(Orthocladiinae)	<i>Metriocnemus</i> sp.
	unidentified	(Orthocladiinae)	<i>Nanocladius bicolor</i>
<b>Chironomidae</b>		(Orthocladiinae)	<i>Nanocladius</i> sp.
<b>Chironominae div genera</b>		(Orthocladiinae)	<i>Orthocladius</i> sp.
s.F. <i>Chironominae</i> sp.	unidentified	(Orthocladiinae)	<i>Paratrichocladius rufiventris</i>
s.F. <i>Chironominae</i> tr. <i>Chir</i>	unidentified	(Orthocladiinae)	<i>Psectrocladius limbatus</i>
(Chironomini)	<i>Chironomus</i> sp.	(Orthocladiinae)	<i>Psectrocladius sordidellus/limbatus</i> g
(Chironomini)	<i>Chironomus acutiventris</i>	(Orthocladiinae)	<i>Psectrocladius</i> sp.
(Chironomini)	<i>Chironomus fluviatilis</i> gr	(Orthocladiinae)	<i>Rheocricotopus</i> sp.
(Chironomini)	<i>Chironomus nudiventris</i>	(Orthocladiinae)	<i>Rheocricotopus chalybeatus</i>
(Chironomini)	<i>Chironomus thummi-plum</i>	(Orthocladiinae)	<i>Rheocricotopus fuscipes</i>
(Chironomini)	<i>Chironomus plumosus</i> agg.	(Orthocladiinae)	<i>Synorthocladius semivirens</i>
(Chironomini)	<i>Cladopelma</i> gr. <i>lacophila</i>	(Orthocladiinae)	<i>Tvetenia calvescens</i> agg
(Chironomini)	<i>Cladopelma lateralis</i> gr	(Orthocladiinae)	<i>Prodiamesa olivacea</i>
(Chironomini)	<i>Cryptochironomus</i> sp.	(Prodiamesinae)	
(Chironomini)	<i>Cryptochironomus rostratus</i>	s.F. <i>Tanyptodinae</i>	
(Chironomini)	<i>Dicrotendipes nervosus</i>	(Tanyptodinae)	unidentified
(Chironomini)	<i>Endochironomus albipennis</i>	(Tanyptodinae)	<i>Abliamesmyia</i> sp.
(Chironomini)	<i>Einfeldia</i> sp.	(Tanyptodinae)	<i>Abliamesmyia longistyla</i>
(Chironomini)	<i>Einfeldia pagana</i>	(Tanyptodinae)	<i>Conchapelopia</i> sp.
(Chironomini)	<i>Endochironomus albipennis</i>	(Tanyptodinae)	<i>Procladius</i> sp.
(Chironomini)	<i>Glyptotendipes</i> sp.	(Tanyptodinae)	<i>Rheopelopia</i> sp.
(Chironomini)	<i>Glyptotendipes pallens</i>	(Tanyptodinae)	<i>Rheopelopia ornata</i>
(Chironomini)	<i>Glyptotendipes paripes</i>	(Tanyptodinae)	unidentified
(Chironomini)	<i>Harnischia</i> sp.	<b>Culicidae</b>	
(Chironomini)	<i>Harnischia fuscimana</i>	<b>Empididae</b>	
(Chironomini)	<i>Microchironomus tener</i>	<b>Empididae (continued)</b>	
(Chironomini)	<i>Microtendipes chloris</i> gr.	<b>Ephyridae</b>	
(Chironomini)	<i>Microtendipes pedellus</i>	<b>Limoniidae</b>	
(Chironomini)	<i>Phaenopsectra</i> sp.	<b>Psychodidae</b>	
(Chironomini)	<i>Parachironomus arcuatus</i> gr	<b>Simuliidae</b>	
(Chironomini)	<i>Parachironomus longiforceps</i> gr.	<b>Stratiomyidae</b>	
(Chironomini)	<i>Parachironomus kampen</i>	<b>Tabanidae</b>	
(Chironomini)	<i>Polypedilum breviannentatum</i>	<b>Tipulidae</b>	
(Chironomini)	<i>Polypedilum convictum</i>	<b>ODONATA</b>	
(Chironomini)	<i>Polypedilum laetum</i> agg.	<b>Anisoptera</b>	
(Chironomini)	<i>Polypedilum nubileolum</i> gr	<b>Aeshnidae</b>	
(Chironomini)	<i>Polypedilum pedestre</i>	<b>Calopterygidae</b>	
(Chironomini)	<i>Polypedilum sordens</i>	<b>Coenagrionidae</b>	
(Chironomini)	<i>Stictochironomus</i> sp.	<b>Cordulegasteridae</b>	
(Chironomini)	<i>Xenochironomus xenolabis</i>	<b>Cerobulidae</b>	
s.F. <i>Chironominae</i> tr. <i>Tan</i>	unidentified	<b>Gomphidae</b>	
(Tanytarsini)	<i>Cladotanytarsus</i> sp.	<b>Libellulidae</b>	
(Tanytarsini)	<i>Cladotanytarsus mancus</i>	<b>Halyctenididae</b>	
(Tanytarsini)	<i>Micropsectra atrofusciata</i>	<b>MEGALOPTERA</b>	
(Tanytarsini)	<i>Micropsectra bidentata</i>	<b>Sialidae</b>	
(Tanytarsini)	<i>Micropsectra</i> sp.	<b>Sisyridae</b>	
(Tanytarsini)	<i>Neozawelia</i> sp.		
(Tanytarsini)	<i>Paratanytarsus</i>		
(Tanytarsini)	<i>Rheotanytarsus</i> sp.		
(Tanytarsini)	<i>Stempellina bausei</i>		
(Tanytarsini)	<i>Tanytarsus</i> sp.		
(Tanytarsini)	<i>Tanytarsus</i> gr. <i>lestaei</i>		
(Tanytarsini)	<i>Tanytarsus</i> gr. <i>lobatiformis</i>		
(Tanytarsini)	<i>Tanytarsus usmaensis</i>		
(Tanytarsini)	<i>Tanytarsus</i> gr. <i>verrilli</i>		
s.F. <i>Corynoneurinae</i>	unidentified		
s.F. <i>Diamesinae</i>	unidentified		
(Diamesinae)	<i>Pozthastia longimanis</i>		
(Diamesinae)	<i>Prodiamesa olivacea</i>		
s.F. <i>Orthocladinae</i>	unidentified		
(Orthocladinae)	<i>Brillia longiflora</i>		
(Orthocladinae)	<i>Brillia modesta</i>		
(Orthocladinae)	<i>Bryophaenaccladius</i> gr. <i>musciicola</i>		
(Orthocladinae)	<i>Cricotopus</i> sp.		
(Orthocladinae)	<i>Cricotopus albiforceps</i>		
(Orthocladinae)	<i>Cricotopus annulator</i>		
(Orthocladinae)	<i>Cricotopus bicinctus</i>		
(Orthocladinae)	<i>Cricotopus</i> gr. <i>bicolor</i>		
(Orthocladinae)	<i>Cricotopus cyliandraeocis-festivellus</i> gr		
(Orthocladinae)	<i>Cricotopus intersectus</i>		
(Orthocladinae)	<i>Cricotopus intersectus</i> gr		
(Orthocladinae)	<i>Cricotopus isocladus</i> (subsp)		

Appendix 2 (continued)

Taxa		Taxa	
<b>LEPIDOPTERA</b>		<b>Physidae (continued)</b>	<i>Physa</i> sp.
<b>Byrrhidae</b>	<i>Paraponyx</i> sp. <i>Paraponyx stagnata</i> <i>Paraponyx stratiotata</i>		<i>Physa fontinalis</i> <i>Physa heterostropha</i> <i>Physella acuta</i> unidentified <i>Anisus vortex</i> <i>Armaiger crista</i> <i>Gyraulus</i> sp. <i>Gyraulus albus</i> <i>Gyraulus laevis</i> <i>Hippentis complanatus</i> <i>Idenetus dilatatus</i> <i>Planorbis carinatus</i> <i>Planorbis planorbis</i> <i>Bathyporephalus contortus</i> <i>Segmentina nitida</i> unidentified <i>Valvata cristata</i> <i>Valvata</i> sp. (juveniles) <i>Valvata piscinalis</i> <i>Valvata pulchella</i> (or <i>macrostoma</i> ) <i>Viviparus contectus</i> <i>Viviparus viviparus</i> <i>Viviparus</i> sp.
<b>CRUSTACEA</b>			
<b>Crustacea</b>	unidentified	<b>Planorbidae</b>	
<b>Gammaridae</b>	unidentified <i>Dikerogammarus villosus</i> <i>Dikerogammarus</i> sp. <i>Echinogammarus berilloni</i> <i>Echinogammarus</i> sp. <i>Gammarus</i> sp. <i>Gammarus</i> spp. fossarum <i>Gammarus pulex</i> <i>Gammarus tigrinus</i> unidentified <i>Chelicorophium curvispinum</i> <i>Chelicorophium</i> sp.		
		<b>Valvatidae</b>	
<b>Corophidae</b>	unidentified		
<b>Niphargidae</b>	<i>Niphargus</i> sp.	<b>Viviparidae</b>	
<b>Talitridae</b>	<i>Cochestia cavimana</i>		
<b>Asellidae</b>	unidentified <i>Asellus</i> sp. <i>Asellus aquaticus</i> <i>Jaera istri</i> <i>Proasellus</i> sp. <i>Proasellus meridianus</i> <i>Criconestes limosus</i> <i>Azyaephyra desmarestii</i> unidentified <i>Limnomyia benedeni</i> unidentified <i>Hemimysis anomala</i>	<b>POLYCHAETA</b>	<i>Hypania invalida</i>
		<b>Ampharetidae</b>	unidentified
<b>Cambaridae</b>		<b>OLIGOCHAETA</b>	unidentified
<b>Atyidae</b>		<b>Enchytraeidae</b>	unidentified
<b>Mysidacea</b>		<b>Haplotaxidae</b>	unidentified
		<b>Lumbricidae</b>	<i>Eiseniella</i> sp. unidentified <i>Lumbriculus variegatus</i> <i>Rhynchelmis</i> sp. <i>Rhynchelmis limosella</i> unidentified <i>Chaetogaster</i> sp. <i>Dero digitata</i> <i>Dero niva</i> <i>Nais</i> sp. <i>Nais barbata</i> <i>Nais breviskeri</i> <i>Nais communis</i> <i>Nais pardalis</i> <i>Nais simplex</i> <i>Nais variabilis</i> <i>Cyphidonais serpentina</i> <i>Paranais flia</i> <i>Pristina</i> sp. <i>Stylaria lacustris</i> <i>Uncinaiis uncinata</i> <i>Protopappus volki</i> unidentified <b>Tubificidae</b> ACC <b>Tubificidae</b> SCC <i>Aulodrilus limnodrilus</i> <i>Aulodrilus pigueti</i> <i>Branchiura</i> sp. <i>Branchiura sowerbyi</i> <i>Limnodrilus claparedeanus</i> <i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> <i>Pelocolex ferox</i> <i>Potamothrix moldaviensis</i> <i>Fransmoryctides barbatus</i> <i>Quisadrilus multisetosus</i> <i>Tubifex tubifex</i>
<b>MOLLUSCA</b>		<b>Lumbriculidae</b>	
<b>Corbiculidae</b>	<i>Corbicula</i> sp. <i>Corbicula fluminea</i>	<b>Naididae</b>	
<b>Dreissenidae</b>	<i>Dreissena polymorpha</i>		
<b>Sphaeriidae</b>	unidentified <i>Iduscultum lacustre</i> <i>Fisidium</i> sp. <i>Fisidium amnicum</i> <i>Fisidium casertanum</i> <i>Fisidium hensiowanum</i> <i>Fisidium molitessierianum</i> <i>Fisidium nitidum</i> cf. <i>f. arenicola</i> <i>Fisidium subtruncatum</i> <i>Fisidium supinum</i> <i>Sphaerium</i> sp. <i>Sphaerium cornutum</i> <i>Sphaerium</i> cf. <i>rivicola</i> <i>Sphaerium solidum</i> unidentified <i>Anodonta</i> sp. <i>Anodonta anatina</i> <i>Anodonta cygnea</i> <i>Pseudanodonta complanata</i> <i>Unio</i> sp. <i>Unio crassus</i> <i>Unio pictorum</i>	<b>Propagidae</b>	
		<b>Tubificidae</b>	
<b>Unionidae</b>			
		<b>HIRUDINEA</b>	
<b>Acroloxiidae</b>	<i>Acroloxus lacustris</i>	<b>Erypodellidae</b>	<i>Erypodella octoculata</i> <i>Erypodella testacea</i> <i>Erypodella</i> sp. unidentified <i>Batrachobdella paludosa</i> <i>Glossiphonia</i> sp. <i>Glossiphonia complanata</i> <i>Glossiphonia heteroclitia</i> <i>Haementeria costata</i> <i>Helobdella</i> sp. <i>Helobdella stagnalis</i>
<b>Ancyliidae</b>	<i>Ancyliis fluviatilis</i>		
<b>Bithyniidae</b>	<i>Bithynia leachii</i> <i>Bithynia tentaculata</i> <i>Bithynia</i> sp.		
<b>Ferrissidae</b>	<i>Ferrissia wautieri</i>		
<b>Hydrobiidae</b>	<i>Lithoglyphus naticoides</i> <i>Potamopyrgus antipodarum</i> <i>Potamopyrgus jenkinsi</i> <i>Potamopyrgus</i> sp. unidentified <i>Lymanea</i> sp. <i>Lymanea stagnalis</i> <i>Radix</i> sp. <i>Radix auricularia</i> <i>Radix ovata</i> <i>Radix peregra</i> <i>Theodoxus fluviatilis</i>		
<b>Lymnaeidae</b>			
<b>Neritidae</b>			
<b>Physidae</b>	unidentified		

Appendix 2 (continued)

Taxa	
Glossiphoniidae (cont.)	<i>Homocidopsis marginata</i> <i>Isocornutus</i> sp. <i>Isocornutus testulatum</i> unidentified
Hirudidae	<i>Ceratomyxus fischeri</i>
Piscicolidae	<i>Piscicola geometra</i> <i>Piscicola</i> sp.
<b>TURBELLARIA</b>	
Dugesidae	<i>Dugesia</i> sp. <i>Dugesia anomala</i> <i>Dugesia agulifer</i> <i>Dugesia polyzona</i> <i>Dugesia tyrona</i>
Dendrocoelidae	<i>Dendrocoelum lacertum</i>
Planariidae	unidentified <i>Planocelis vitis</i> <i>Planaria</i> sp. <i>Planaria terra</i> <i>Planocelis</i> sp. <i>Planocelis</i> sp. <i>Planaria</i> <i>Planocelis</i> <i>Planaria</i>
<b>NEMATODA</b>	
<b>HYDROCARINA</b>	
	unidentified <i>Aorocela</i> sp. <i>Hydroclonus</i> sp. <i>Hydroclonus</i> sp. <i>Hydroclonus longicauda</i> <i>Hydroclonus trigonicus</i> <i>Leberina</i> <i>Leberina imbecilis</i> <i>Limneria</i> sp. <i>Limneria maculata</i> <i>Muticopsis</i> sp. <i>Muticopsis orbicularis</i> <i>Sperocoma</i> sp. <i>Taraxaculus</i> sp. unidentified
<b>ARACHNIDA</b>	
<b>COELENTERATA</b>	
Clavidae	<i>Cordylophora corymbosa</i>
Hydridae	<i>Hydra</i> sp. <i>Hydra viridissima</i>
<b>PORIFERA</b>	
Spongillidae	( <i>Spongia</i> )
<b>BRYOZOA</b>	
Cristatellidae	<i>Cristatella</i> sp. <i>Cristatella macedo</i>
Fredericellidae	unidentified
Plumatellidae	unidentified <i>Plumatella</i>

Biomonitoring de la Meuse : analyse spatio-temporelle des peuplements macro-invertébrés (1998-2001)  
Université de Metz - LBFE - Equipe de Démécologie  
Usseglio-Polatera, P. & Beisel, J-N. (Décembre, 2003)