LES PRELEVEMENTS DE MACROINVERTEBRES BENTHIQUES EN TANT QUE REVELATEURS DE LA PHYSIONOMIE D'UNE RIVIERE

par M. BOURNAUD¹, G. KECK² et P. RICHOUX¹

Une étude de 32 prélèvements de macrobenthos est effectuée au Surber dans 13 stations du Furans et de ses affluents, cours d'eau du Bas-Bugey.

Des analyses factorielles des correspondances permettent de hiérarchiser les différences entre prélèvements, et d'établir une typologie d'après le macrobenthos. L'abondance de chacun des 99 taxons récoltés est donnée en nombre d'individus/0,1 m², puis en classe d'abondance en progression géométrique (de 1 à 12). Cette évaluation semi-quantitative contient encore toute l'information nécessaire.

Les ressemblances entre prélèvements d'une même station sont en général plus grandes, malgré les différences de faciès, que celles entre prélèvements de stations différentes.

L'examen de ces ressemblances permet de diviser le système en 3 secteurs : l'affluent Arène, caractérisé par sa charge organique, le cours supérieur du Furans et le cours moyen et inférieur issu d'une grosse exurgence. Les effets modérés dus aux pollutions organiques apparaissent au second plan par rapport aux perturbations physionomiques (cascade, résurgence, influence du Rhône).

Chaque groupe faunistique considéré seul donne une image de la structure d'ensemble. Les Trichoptères (20 taxons) et les Coléoptères (17 espèces) suffisent chacun à rendre compte de cette structure. Les Ephéméroptères et Plécoptères pris ensemble (19 taxons) soulignent plutôt les effets eutrophisants, de même que les Oligochètes. Diptères et groupes divers sont imprécis, surtout à cause de l'insuffisance de leur identification.

Macroinvertebrate samples and how they reveal the physionomy of a river.

Thirty-two samples of macro-invertebrates were taken with a Surber sampler at 13 stations of the Furans and its tributaries, the stream of Bas-Bugey.

Factorial analysis by correspondances revealed a hierarchy of differences between samples and the establishment of a typology based on the macrobenthos. The abundance of each of 99 taxa is given first as the number of individuals per 0.1 m², and then as an abundance class in a geometric progression (from 1 to 12). This semi-quantitative evaluation includes moreover all the necessary information.

Similarities between samples from the same station are in general greater, in spite of differences in appearance, than those between samples from different stations.

These similarities can be used to divide the system into three sections : the Arène tributary that is characterised by its organic load, the upper course of the Furans, and the middle and lower courses proceeding from a large exurgence. The moderate effects due to organic pollution became evident in proportion to physionomic perturbations (waterfall, resurgence, influence of the Rhône).

1. Biologie animale et Zoologie, Université Lyon I ; F-69622 Villeurbanne Cedex.
2. Toxicologie, Ecole Nationale Vétérinaire, Marcy-l'Etoile, F-69260 Charbonnières-les-Bains.

When each faunistic group was considered on its own, it gave picture of the structure of the whole community. Trichoptera (20 taxa) and Coleoptera (17 species) each gave an account of this structure. Ephemeroptera and Plecoptera taken together (19 taxa) emphasised the effects of eutrophication, as did the oligochaetes. Diptera and other diverse groups were less precise, chiefly because of the inadequacies of their identification.

Les macroinvertébrés benthiques sont un élément important de l'écosystème eau courante. Ils occupent en effet des niches très variées et constituent un maillon essentiel du réseau de transfert de matière et d'énergie entre d'une part végétaux (en particulier les Diatomées du périphyton et les Phanérogames aquatiques) et apports organiques du bassin versant et d'autre part les Poissons.

Leur diversité et la structure de leurs peuplements sont susceptibles de fournir des informations précises sur l'écosystème et les perturbations qu'il peut subir. C'est ainsi que nous avons déjà utilisé (Bournaud *et al.* 1980) les peuplements du Furans, rivière du Bas-Bugey (Ain) pour montrer les effets des accidents physiologiques du cours (cascade, résurgence, affluents) et d'apports polluants sur la richesse et la diversité spécifique, la densité globale et les distributions espèces-abondances des peuplements benthiques.

1. — BUTS ET METHODES

Le présent travail a pour premier but de montrer les effets des perturbations sur l'ensemble des peuplements du point de vue benthique. Pour cela 32 prélèvements ponctuels, correspondant à 0,1 m² de fond, ont été effectués au filet de Surber, d'octobre 1973 à janvier 1974, à raison de 1 à 4 pour chacune des 13 stations étudiées. Leur comparaison doit permettre de définir les influences respectives des variations longitudinales du cours d'eau et celles du faciès au point de prélèvement, en particulier nature du fond, végétation aquatique et vitesse du courant. La méthode d'*analyse factorielle des correspondances*¹ nous permet de regrouper les prélèvements en fonction des ressemblances de leurs peuplements, d'apprécier ainsi comment leurs éléments taxonomiques réagissent aux facteurs de milieu et d'en hiérarchiser les effets. En effet, les différents axes (ou facteurs) de l'analyse définissent, par ordre d'importance décroissante, des arrangements ou séquence(s) de prélèvements d'après leur ressemblance faunistique. Ainsi, l'axe n° 1 permet de séparer les prélèvements les plus originaux (par rapport à l'ensemble). L'axe n° 2 met en évidence

1. Programme aimablement mis à notre disposition par l'équipe « analyse de données » du Laboratoire de Biométrie (Université Lyon I) et calculs effectués sur Iris 80 au CCILS de Lyon I.

des différences un peu moins importantes entre les peuplements et ainsi de suite. Cette classification hiérarchique des différences aboutit à une typologie des points de prélèvements dans la rivière, basée sur la faune des macroinvertébrés benthiques. C'est la méthode utilisée par Verneaux (1973) pour établir la typologie des cours d'eau du bassin du Doubs.

Le second but de cette étude est d'apprécier l'information apportée par chacun des principaux groupes taxonomiques. Une certaine redondance doit exister sur l'information apportée par chacun de ces groupes, notamment en ce qui concerne la typologie définie ci-dessus. Kaesler *et al.* (1973) ont montré à propos d'une rivière des Etats-Unis, que c'étaient les Insectes, et parmi eux les Ephéméroptères et les Coléoptères, qui apportaient la plus grande part d'information par rapport aux autres groupes d'Invertébrés et aux Végétaux. Nous examinerons donc successivement les regroupements de prélèvements et de stations opérés d'abord en fonction de l'ensemble des macroinvertébrés benthiques, puis en fonction de l'un des 5 ensembles suivants pris séparément : Trichoptères, Coléoptères, Ephéméroptères + Plécoptères, Diptères, groupes divers. Ces ensembles comportent de 17 à 20 taxons.

2. — STATIONS ET FACIES ETUDIES (fig. 1, tabl. I)

La figure 1 présente schématiquement le plan et le profil altitudinal du Furans et de ses affluents, l'Arène et les Gasses. Une description plus complète a été donnée précédemment (Keck 1975, Bournaud *et al.* 1980). Les principaux accidents topographiques (une cascade de 30 m) et physionomiques (zones de marais, importante exsurgence des Gasses) y sont figurés, ainsi que les influences humaines connues (déversement des égoûts d'une agglomération et d'une usine de charcuterie industrielle provoquant une pollution organique légère de l'Arène, zone affectée par un curage en 1965).

Sont figurées également les 13 stations prospectées, répertoriées par ailleurs dans le tableau I, avec leur distance aux sources et leur largeur moyenne. Ce tableau décrit succinctement les faciès au niveau de chaque prélèvement, notamment en ce qui concerne la nature du fond et le type de végétation aquatique. Au moment des prélèvements du 13 novembre 1973, la température passait de 8,5 °C en F₃ à 9,7 °C en F₄, après le réchauffement dû à l'arrivée de l'exsurgence des Gasses.

FIG. 1. — Plan et profil altitudinal du Furans et de ses principaux affluents. Emplacement des stations.

Nomenclature des stations : voir tableau I.

3. — ETUDE BASEE SUR L'ENSEMBLE DE LA FAUNE DE MACROINVERTEBRES

L'ensemble de la faune récoltée comporte 24 162 individus répartis dans 99 taxons. Les larves et imagos de Coléoptères ont été traités séparément pour 8 espèces, ce qui porte le total des unités systématiques traitées à 107. Ces 2 stades de développement d'une même espèce peuvent en effet avoir une distribution différente.

Stations Furans	km	Largeur m		Prof. m	V m/s	Facès Nature du fond
F0 La Burbanche 13-11-73	1,0	3	a	0,40	0,42	cailloux, sable, <i>Fontinalis</i> (rares)
			b	0,10	1,37	cailloux, sable, <i>Fontinalis</i> (abon- dantes)
			c	0,17	1,32	blocs, cailloux, <i>Fontinalis</i> (abon- dantes)
F1 Le Solliat 13-11-73	2,2	5	a	0,25	0,76	blocs, cailloux, <i>Fontinalis</i> (rare)
			b	0,25	0,32	cailloux, <i>Fontinalis</i> (rare)
F2 Pont de Rossillon 13-11-73	4,5	6	a _s	0,3	0,24	cailloux, sable limoneux
			a _p	0,3	0,24	<i>Fontinalis</i> (abondante)
			b _s	0,3	0,24	cailloux, sable vaseux, égoût
			b _p	0,3	0,24	égoût, <i>Fontinalis</i> (abondante)
F3 Cascade des Dards	7,1	3,5	a	0,30	1,73	chenal avant cascade
			b	0,50	0,33	blocs, <i>Fontinalis</i> (très abondante) sable détritique et limoneux (pool amont cascade)
F4 Pont de Martinet 28-10-73	9,0	7	a	0,35	0,59	cailloux, sable, <i>Fontinalis</i> (rare)
			b	0,35	0,65	<i>idem</i>
			c	0,40	1,14	cailloux, sable
F5 Pont de l'Abbaye 28-10-73	13,5	9	a	0,50	0,39	cailloux, sable, <i>Fontinalis</i> (abon- dante)
			b	0,35	1,01	<i>idem</i>
			c	0,30	0,64	cailloux, blocs, sable, <i>Fontinalis</i> (abondante)
F6 Pont de Thoys 28-10-73	21,5	11	a	0,25	0,76	cailloux, sable (<i>Fontinalis</i> , Al- gues, Phanérogames abondan- tes)
			b	0,27	1,29	cailloux, sable, Algues (abon- dantes)
			c	0,37	0,38	cailloux, sable, incrustations cal- caires, algues (rares)
F7 Pont de la Com- manderie 28-10-73	25,2	15	a	0,20	0,66	blocs, cailloux cimentés par le calcaire, <i>Fontinalis</i> (rares)
			b	0,13	0,58	cailloux, sable, incrustations cal- caires, (<i>Fontinalis</i> , Algues abon- dantes)
			c	0,60	?	sable, incrustations calcaires
G Les Gasses 24-1-74		6		0,20	0,76	cailloux, Phanérogames (abon- dantes)
ARÈNE						
A0 Les Lechères 24-1-74	0	3		0,15	0,37	cailloux, sable, Algues (abondan- tes)
A1 Claire Fontaine	5,0	3	a	0,70	0,32	cailloux, sable, incrustations cal- caires
			b	0,30	0,23	<i>idem</i>
			c	0,30	0,59	dalle calcaire
A2 Aval Virieu 24-1-74	6,5	2,5	a	0,30	0,64	cailloux, sable, <i>Fontinalis</i> (abon- dante) amont égoût
			b	0,15	1,01	cailloux, sable détritique et va- seux, Algues, aval égoût
			c	0,40	1,52	blocs, sable détritique, aval égoût
A3 Pont du Verne 24-1-74	8,0	3,5		0,45	0,59	sable, vase, Phanérogames (abon- dantes)

TABLEAU I. — Stations dans le Furans et l'Arène. Facès des points de prélèvement.

km = distance aux sources en km

Prof. = Profondeur

V = vitesse du courant

C = cailloux

S = sable détritique

F = *Fontinalis*

} au point de prélèvement

3.1. Analyse des densités

Une *première analyse* (matrice des densités/0,1 m² de 107 unités systématiques $\times$ 32 prélèvements) discrimine très fortement les stations F₃ et A, du fait de leur pauvreté relative en Gammares (tabl. II). Les autres différences, voilées ici, apparaissent dans une *deuxième analyse* où ce taxon est supprimé.

Afin de diminuer les disparités de densités entre des taxons dominants, comme les Gammares, et les autres, les densités sont enfin réparties en 12 *classes d'abondance* dont les intervalles sont en progression géométrique de raison 2¹ (Bournaud *et al.* 1980). Le taxon *Gammarus* peut ainsi être réintroduit et on obtient une troisième matrice de 107 unités systématiques $\times$ 32 prélèvements (fig. 2).

FIG. 2. — Disposition des prélèvements dans le plan des axes 1 et 2 de l'analyse factorielle des correspondances (données semi-quantitatives). Matrices 107 unités systématiques $\times$ 32 prélèvements.

Nomenclature des stations et faciès : voir tableau I. Les prélèvements d'une même station sont reliés par un trait.

1. Les numéros et limites de classe (en nombre d'individus/0,1 m²) sont respectivement : 1 : 0,01-0,50 ; 2 : 0,51-1,50 ; 3 : 1,51-3,50 ; 4 : 3,51-7,50 ; 5 : 7,51-15,50 ; 6 : 15,51-31,50 ; 7 : 31,51-63,50 ; 8 : 63,51-127,50 ; 9 : 127,51-255,50 ; 10 : 255,51-511,50 ; 11 : 511,51-1 023,50 ; 12 : 1 023,51-2 047,50.

La disposition des points ne montre pas de différences essentielles par rapport à celle fournie par les 2 premières analyses. Les prélèvements de l'Arène et de F_3 sont toujours bien séparés des autres stations, et dans le même ordre ; ceux du Furans se succèdent aussi dans le même ordre, mis à part ceux de F_5 qui se trouvent légèrement rapprochés de ceux de F_4 et G.

Il en résulte que la transformation des données en valeurs semi-quantitatives par classes d'abondance *ne perd pas* et ne modifie pratiquement pas l'information sur les peuplements. Cette conclusion rejoint les résultats précédemment acquis (Bournaud *et al.* 1980), montrant que ces mêmes données semi-quantitatives étaient également suffisantes pour le calcul des indices de diversité et des paramètres de structure des peuplements. Elle rejoint également les résultats obtenus par Frontier et Ibanez (1974) sur des peuplements planctoniques.

Le dénombrement des individus est simplifié, puis le traitement des données s'effectue sur des valeurs numériques beaucoup plus faibles (échelle de 1 à 12), donc plus rapidement et facilement manipulées. Nous adopterons donc cette présentation dans la suite de ce travail.

3.2. Différences de peuplement selon les faciès

Une deuxième conclusion ressortant de ces analyses (*fig. 2*) est la grande ressemblance entre les prélèvements provenant d'une même station. En effet, mises à part de rares exceptions concernant par exemple F_{0a} plus proche des prélèvements F_2 que de ces voisins F_{0b} et F_{0c} , les points se *regroupent* par station. Le prélèvement le plus isolé de tous est A_3 , le seul à faciès uniquement sablo-vaseux ; mais il est unique dans sa station. Ces résultats peuvent paraître inattendus quand on considère que les relevés ont été effectués à chaque station sur les fonds les plus différents possibles, vis-à-vis notamment des facteurs courant et substrat (tabl. I), habituellement importants à considérer dans l'étude de la répartition du macrobenthos (Illies et Botosaneanu 1963, Egglisshaw 1969, Chutter 1970, Lavandier et Dumas 1971, Higler 1975). Une première interprétation peut être que la surface de prélèvement de $0,1 \text{ m}^2$ est déjà suffisamment grande pour comporter plusieurs micromilieus avec leur faune propre et présenter ainsi une moyenne davantage caractéristique de la station que d'un faciès précis. Cette hypothèse semble d'ailleurs confirmée par la richesse moyenne relativement élevée des prélèvements : 20 à 30 taxons dans les cours moyen et inférieur du Furans (Bournaud *et al.* 1980). Une deuxième possibilité serait que, les différences inter stations étant plus grandes que celles intra stations, ces dernières soient seulement masquées. Si tel était le cas les différences intra apparaîtraient tôt ou tard sur les axes 3, 4 ou suivant de l'analyse factorielle des correspon-

Groupe	Taxons	STATIONS													
		A3	A0	A1	A2	F3	F2	F1	F0	G	F4	F5	F6	F7	
OLI	<i>Potamothenix hammoniensis</i> (Mich.)	8													
DIP Dol	<i>Hydrophorus</i>	2													
PLA	<i>Tubifex tubifex</i> (Müll.)	4	2												
OLI	<i>Polycelis nigra</i> (Müll.)	3	3												
DIP Lim	<i>Dicranota</i>	5		3						2					
DIP Lim	<i>Hexatoma</i>		2												
TRI Pol	<i>Plectrocnemia conspersa</i> (Curt.)		4												
EPH Bae	<i>Baetis doriei</i> Degr.	6		6	8										
DIP Sim	<i>Simulium</i>	6	4		2					4			1		
TRI Lim	Limnephilidae	4	6	7	5	4	3					1			
DIP Chi	Tanitarsiens		3	6	5		1								
PLE Nem	<i>Nemoura</i>		5	1			2		1						
OLI	<i>Tubifex ignotus</i> (Stolc.)				1										
DIP Cer	<i>Bezzia</i>				1										
PLA	<i>Polycelis felina</i> (Dalyell)	6	7		1				2	6	5	4			
PLE Leu	<i>Leuctra</i>			5	5		1	3							
TRI Glo	Agapetinae		6	1	1					3	2	1	1		
DIP Str	<i>Nemotelus</i>					1									
DIP Cer	<i>Probezzia</i>					1									
DIP Chi	Orthocladiinae	7	6	5	4		5	6	2	7	5	5	3	3	
ACH	<i>Glossiphonia</i>		2										2		
PLE Per	<i>Isoperla</i>			5	5		5	3				2			
EPH Bae	<i>Baetis pumilus</i> Burm.			4			2	1	2						
DIP Emp	<i>Atalanta</i>			5	4			1		2			3	2	
OLI	Lumbriculidae	6	6	5	7	5	4	6	4	5	6	6	6	5	
DIP Chi	Chironomiens				5		1						3		
EPH Bae	<i>Baetis rhodani</i> Pict.	6	8		9		6	5	4	6	5	8	6	5	
TRI Ser	Sericostomatidae		3	2							1		2	3	
EPH Hep	<i>Rhithrogena semicolorata</i> Curt.		6	2	2		2			7	4	5		3	
ACH	<i>Erpobdella octoculata</i> (L.)		4			3					1		4	2	
CRU	<i>Gammarus</i>	8	10	3	9	3	9	10	10	9	10	12	12	10	
DIP Chi	Tanypodinae			5	3			5			2		2	2	
TRI Goe	<i>Lithax niger</i> (Hag.)									2					
GOR	<i>Gordius</i>						1								
TRI Lep	Leptoceridae						1								
COL Dyt	<i>Platambus maculatus</i> (L.)					1		1							
OLI	Enchytraeidae			1								2			
TRI Psy	<i>Tinodes dives</i> (Pict.)				2			2	1	6	2				
OLI	Lumbricidae			2	5	4				3	4	4	2	4	
TRI Rhy	<i>Rhyacophila</i> gr. <i>vulgaris</i>	1		1	5	1		1	1	4	3	4	5	4	
DIP Chi	<i>Corynoneurina</i>							2		3					
TRI Rhy	<i>Metarhyacophila</i> (gr. <i>stigma</i>)									3			1		
DIP Lim	<i>Antocha</i>			5	3			1	1			3	5	7	
TRI Rhy	<i>Hyporhyacophila</i> (gr. <i>tristis</i>)			3	1			2	3	2	5	1		3	
EPH Lep	<i>Paraleptophlebia</i>		2				2	4			2	3	2	1	
MEG	<i>Sialis</i>						1	2							
COL Elm	<i>Esolus angustatus</i> (Müll.)						1	2							
EPH Hep	<i>Rhithrogena</i> sp.						2	3	2	6	5				
COL Elm	<i>Riolus subviolaceus</i> (Müll.)			4	4		3	6	5	7	3	9	8	6	
PLE Per	<i>Perlodes microcephala</i> Pict.									3	2				

Groupe	Taxons	STATIONS												
		A3	A0	A1	A2	F3	F2	F1	F0	G	F4	F5	F6	F7
COL Hyd	<i>Hydraena riparia</i> Kug.						1	3						
TRI Psy	<i>Lype phaeopa</i> (Steph.)				1				2				2	
COL Hyd	<i>Hydraena gracilis</i> (Germ.)			1		1	3	2	3		3	3	1	2
COL Elm	<i>Elmis aenea</i> (Müll.)					3	6	8	6	8	6	9	6	4
EPH Hep	<i>Esdyonurus venosus</i> F.						3					2		2
DIP Lim	<i>Limnophila</i>									4	5			2
PLA	<i>Dugesia lugubris</i> (Schmidt)							3						
CRU	<i>Astacus</i>							1						
ODO	<i>Calopteryx</i>							1						
DIP Str	<i>Hermione</i>							1						
DIP Chi	<i>Thienemaniella</i>							2						
EPH Hep	<i>Ecdyonurus dispar</i> Curt.						2	2	2		5			
EPH Ephe	<i>Ephemerella ignita</i> Poda						3	4	2	1		1	4	1
TRI Glo	Glossosomatinae									5	8			4
COL Elm	<i>Limnius perrisi</i> (Duf.)						2	5	2	8	9	8	4	7
PLE Nem	<i>Protonemura</i>							3	4		3	1		
EPH Hep	<i>Epeorus</i>								1	3	5	3		3
COL Dyt	<i>Oreodytes rivalis</i> (Gyll.)							2						
MOL	<i>Ancylosternum fluviatile</i> (Müll.)								1	4	5	3	1	4
COL Elm	<i>Esolus parallelepipedus</i> (Müll.)					1	4	6			7	7	7	5
TRI Hyd	<i>Hydropsyche</i>				2			3	4		6	8	6	8
COL Hal	<i>Brychius elevatus</i> (Panz)										1	1		
PLE Perl	<i>Perla marginata</i>											2		
PLE Perl	<i>Dinocras</i>											1		
COL Elm	<i>Oulimnius tuberculatus</i> (Müll.)						1						2	1
TRI Pol	<i>Polycentropus flavomaculatus</i> Pict.							3	2				3	1
COL Gyr	<i>Orectochilus villosus</i> (Müll.)			1									4	4
OLI	<i>Psammoryctes barbatus</i> (Grube)											4	1	
COL Elm	<i>Limnius volckmari</i> (Panz.)						2	5	3		5	7	9	7
OLI	<i>Peloscolex velutinus</i> (Grube)								1		4	2		
DIP Ath	<i>Atherix</i>								2		6	2		4
TRI Odo	<i>Odontocerum albicorne</i> (Scop.)										3	5	2	2
PLA	<i>Dugesia gonocephala</i> (Duges)										3	3	5	
EPH Eph	<i>Ephemera danica</i> Müll.							1	1			2	2	2
COL Elm	<i>Riolus illiesi</i> Steffan										2			1
COL Elm	<i>Elmis maugetii</i> Latreille								1		2	3	8	5
DIP Ant	<i>Melanochelia</i>												2	
OLI	<i>Nais communis</i> Pig.												1	
EPH Lep	<i>Leptophlebia</i>												1	
TRI Psy	<i>Psychomyia pusilla</i> (Fabr.)								1				1	3
TRI Psy	<i>Metatype fragilis</i> (Pict.)												4	2
TRI Goe	<i>Silo nigricornis</i> (Pict.)												4	2
COL Elm	<i>Elmis rioloides</i> (Kuwert)												7	5
DIP Emp	<i>Hemerodromia</i>												2	2
COL Elm	<i>Riolus cupreus</i> (Müll.)													4
MOL	<i>Theodoxus fluviatilis</i> L.													3
HET	<i>Aphelocheirus aestivalis</i> (F.)													2
TRI Bra	<i>Micrasema longulum</i> M. L.													2
1RI Goe	<i>Goera pilosa</i> (Fabr.)													1

TABLEAU II. — Répartition de 99 taxons de macroinvertébrés dans 13 stations (tabl. I) du Furans et de l'Arène ; classes d'abondances : voir note p. 60, § 3.1. L'ordre des stations et des taxons est celui donné par l'analyse factorielle des correspondances (axe 1).

dances ; or nous n'avons pu déceler nulle part dans celle-ci de corrélation entre les peuplements et les faciès décrits sur le tableau I. La première hypothèse semble donc être meilleure : l'hétérogénéité spatiale (présence simultanée de cailloux, de sable et de végétation, de zones de courant et de zones abritées) sur une surface de 0,1 m² est telle qu'un prélèvement unitaire reflète déjà un peu l'ensemble des faciès de la station, surtout lorsque ces derniers ne sont pas très différents les uns des autres.

3.3. Rôle des changements physionomiques et des perturbations polluantes

La figure 2 montre la disposition des stations les unes par rapport aux autres dans le plan des axes 1 et 2, c'est-à-dire suivant les plus grandes ressemblances entre leurs peuplements. Les stations sont situées, au moyen de leur sigle (par exemple F₄ ou A₁), au centre de gravité des positions des prélèvements correspondants. L'ensemble du système se dispose en 3 successions, (figurée par les flèches) suggérant 3 « cours d'eau » différents : l'Arène, le cours supérieur du Furans (F₀ à F₃) et les cours moyen et inférieur (G, F₄ à F₇). Le déterminisme de cette répartition, basée, rappelons-le, sur les ressemblances des peuplements, se comprend lorsqu'on ordonne la matrice des données : 99 taxons/13 stations (tabl. II). Les stations et les taxons sont disposés sur ce tableau suivant l'ordre de l'axe 1 : A₃, A₀, A₁, A₂ (Arène), puis F₃, F₂, F₁, F₀ (haut cours du Furans), puis suivant l'ordre de l'axe 2 pour les stations restantes très rapprochées sur l'axe 1, soit G, F₄, F₅, F₆, F₇. L'originalité de l'Arène apparaît alors dans l'absence de nombreux taxons dans la moitié inférieure du tableau II et la présence de 4 taxons caractéristiques (2 Oligochètes, 1 Coléoptère et 1 Planaire). Le bas cours du Furans se distingue du haut cours surtout par la présence de plusieurs taxons caractéristiques (bas du tableau II) ou plus abondants (ex : *Hydropsyche*, *Limnius volckmari*, *Esolus parallelepipedus*) et par quelques absences (partie supérieure du tableau 2). De plus, les stations inférieures F₆ et F₇ s'individualisent nettement par 12 taxons caractéristiques (bas du tableau II).

Les différences dans les peuplements en macroinvertébrés apparaissent surtout au niveau de discontinuités physionomiques dans le cours d'eau, (fig. 1, tabl. I), qui sont donc bien responsables de la structure générale en 3 sections : l'Arène (largeur plus faible (3 m), altitude élevée à A₀, incrustations calcaires en A₁), le cours moyen et inférieur, rivière relativement indépendante issue de la résurgence des Gasses (G) qui constitue l'essentiel de l'alimentation en eau surtout en été (influence du Rhône en F₇ et d'un curage ancien — 1965 — en F₆) et le cours supérieur (F₀-F₃) isolé par la résurgence (G) et la cascade des Dards (F₃), qui peut être considérée comme un affluent

du précédent (fig. 2). Il est remarquable que les peuplements de macroinvertébrés rendent compte à eux seuls de cette structure phytionomique, en synthétisant toutes les conséquences de ses changements sur leurs biotopes. Les effets dus aux pollutions organiques connues (égoût de Virieu en A₁, usine de viande en A₃, puis apports de l'Arène entre F₄ et F₅) apparaissent, mais en second plan. Ces pollutions, du reste assez modérées, sont plutôt mieux mises en évidence par les structures des peuplements (diversité, dominance) (Bournaud *et al.* 1980).

4. — ETUDE PAR GROUPE FAUNISTIQUE

Chacun des principaux groupes faunistiques donne une image plus ou moins partielle de l'ensemble de la structure du système. L'ana-

Abréviations des groupes

ACH = Acheta

COL = Coleoptera Dyt = Dytiscidae
 Hal = Haliplidae
 Elm = Elmidae
 Gyr = Gyrinidae
 Hyd = Hydraenidae

CRU = Crustacea

DIP = Diptera Ant = Anthomyidae
 Ath = Athericidae
 Cer = Ceratopogonidae
 Chi = Chironomides
 Dol = Dolichopodidae
 Emp = Empididae
 Lim = Limoniidae
 Sim = Simuliidae
 Str = Stratiomyidae

EPH = Ephemeroptera Bae = Baetidae
 Ephc = Ephemerellidae
 Eph = Ephemeridae
 Hep = Heptageniidae
 Lep = Leptophlebiidae

GOR = Gordiacea

HET = Heteroptera

MOL = Mollusca

ODO = Odonata

OLI = Oligocheta

PLA = TRICLADIDA

PLE	= PLECOPTERA	Leu = Leuctridae
		Nem = Nemouridae
		Perl = Perlidae
		Per = Perlodidae
TRI	= Trichoptera	Bra = Brachycentridae
		Glo = Glossosomatidae
		Goe = Goeridae
		Hyd = Hydropsychidae
		Lep = Leptoceridae
		Lim = Limnephilidae
		Odo = Odontoceridae
		Pol = Polycentropodidae
		Psy = Psychomyiidae
		Rhy = Rhyacophilidae
		Ser = Sericostomatidae

lyse factorielle des correspondances permet de matérialiser cette image. Elle est basée sur les données semi-quantitatives (classes d'abondance) comme ci-dessus. Sont présentés, pour chaque groupe, la disposition des strations et des taxons sur les axes les plus caractéristiques. La densité N, la richesse spécifique S et l'indice de diversité du groupe faunistique sont donnés pour chaque station sur le tableau III.

4.1. Trichoptères : 20 taxons (fig. 3)

Détermination : Bournaud.

Les Trichoptères sont présents dans toutes les stations. Ils séparent d'abord (axe 1) la station F₂, la plus limoneuse et lénitique (tabl. I), en aval d'une zone marécageuse, la seule contenant des Leptoceridae. Puis la station F₃, la plus lotique (amont de la cascade des Dards), ainsi que l'Arène toute entière, sont aussi nettement séparés sur l'axe 1, ce qui s'explique principalement par leur pauvreté en espèces (tabl. III). En second lieu (axe 2), c'est la zonation longitudinale qui apparaît, depuis la résurgence G, nettement individualisée, en particulier par une espèce de source qui est caractéristique, *Lithax niger*, et par l'abondance de *Tinodes dives*, jusqu'aux 2 stations aval F₆ et F₇. Ces dernières sont inversées comme dans l'analyse globale ; F₇ se rapproche en effet du cours moyen par l'abondance des filtreurs (*Hydropsyche*) et des racleurs (Glossosomatidae). L'aval se caractérise à la fois par la richesse en taxons et en individus et par la présence d'espèces de cours inférieur, telles que *Psychomyia pusilla*, *Metalype fragilis*, *Goera pilosa*, présentes dans le Rhône proche et caractéristiques des cours inférieurs de rivières comme le Doubs et la Loue (Verneaux 1973). Les larves filtreuses d'*Hydropsyche* envahissent le milieu à partir de F₅, après l'arrivée de l'Arène chargée de matières organiques en suspension. Enfin, 2 stations du cours

	A3	A0	A1	A2	F3	F2	F1	F0	G	F4	F5	F6	F7
Trichoptères	N 8 S 3 H' 0,28	46 4 1,60	48,7 5 0,52	22,0 7 1,59	5,5 2 0,44	2,3 2 0,76	8,8 5 2,14	8,9 7 2,08	46 6 1,82	100,3 8 1,56	119,5 6 0,68	46,3 11 2,42	116,9 12 1,28
Coléoptères	N 0 S 0 H' 0	0 0 0,62	5,3 3 0,62	4,3 1 0	3,0 4 0,56	43,7 9 1,72	165,0 9 1,89	34,0 7 1,72	260 3 1,28	216,3 8 1,64	527,4 8 1,86	327,2 10 2,44	174,9 12 0,61
Ephéméroptères + Plécoptères	N 40 S 2 H' 1,00	156 4 1,04	45,6 6 1,98	295,0 5 1,24	0 0 1,24	45,0 12 2,42	42,5 10 2,83	15,9 9 2,67	79 6 1,82	56,0 7 2,49	85,1 11 1,20	34,0 5 1,37	13,6 7 1,84
Diptères	N 68 S 4 H' 1,56	23 4 1,31	61,1 6 2,41	37,7 8 2,45	0,8 2 0,95	9,0 3 0,61	29,4 7 1,61	2,0 3 1,44	47 6 1,53	38,4 4 1,66	14,0 3 1,59	26 8 2,18	54,7 7 1,19
Groupes divers (Oligochètes, Planaires, Crustacés, Mollusques, Mégaloptères, Gordiacés, Odonates)	N 206 S 6 H' 1,82	375 7 1,01	15,3 4 1,24	259,9 5 0,93	20,5 4 1,61	203,1 4 0,20	1370,5 6 0,37	5489,2 4 0,10	174 5 1,16	404,3 7 0,85	1181,7 9 0,35	1242,6 10 0,28	506,0 7 0,36

TABLEAU III. — Effectifs moyens N pour 0,1 m² (= nombre total d'individus récoltés dans la station/nombre de prélèvements de 0,1 m² effectués dans la station), nombre S de taxons et indice de diversité H' de Shannon et Wier, pour chaque station et chaque groupe faunistique considérés.

Les stations A0, A3 et G n'ont bénéficié que d'un seul prélèvement de 0,1 m² dont l'effectif exact figure sur le tableau (nombre entier).

supérieur, F_0 et F_1 , s'intercalent dans le cours moyen : elles ne comportent que peu d'espèces, plutôt lotiques, comme celles de G et F_4 (Rhyacophilidae et Glossosomatidae en particulier).

En résumé, les Trichoptères rendent compte à eux seuls des principales caractéristiques du système (§ 3), mais en renforçant l'hétérogénéité du cours supérieur du Furans par une séparation plus franche de F_2 et F_3 (fig. 4 et 5).

FIG. 3. — *Trichoptères*. Disposition des stations et des taxons dans le plan des axes 1 et 2 de l'analyse factorielle des correspondances (données en classes d'abondance) (46,6 % d'explication par les deux premiers axes).

Nomenclature des stations : voir tabl. I = Agap = *Agapetinae*, Glosso = *Glossosomatidae*, Goera = *Goera pilosa*, H. Rhyaco = *Hyporhyacophila*, Hydro = *Hydropsyche*, Lepto = *Leptoceridae*, Limn = *Limnephilidae*, Lithax = *Lithax niger*, Lype = *Lype phaeopa*, Micra = *Micrasema longulum*, Mlype = *Metalype fragilis*, MRhyaco = *Metarhyacophila*, Odon = *Odontocerum albicorne*, Plectro = *Plectrocnemia conspersa*, Poly = *Polycentropus flavomaculatus*, Psycho = *Psychomyia pusilla*, Rhyaco = *Rhyacophila*, Serico = *Sericostomatidae*, Silo = *Silo nigricornis*, Tinodes = *Tinodes dives*.

4.2. Coléoptères : 17 espèces (fig. 4)

Détermination : Richoux.

Larves et imagos, d'abord traités séparément pour 9 espèces, sont rassemblés ici du fait de leur répartition très voisine traduite par leur position presque identique sur les axes de l'analyse factorielle.

2 stations de l'Arène (A_0 et A_1) ne comportent pas de Coléoptères et sont donc d'emblée mises à part. Mais les stations A_1 et A_2 (cours

moyen de l'Arène) ne sont séparés qu'en second lieu par rapport au bas cours du Furans (F_6 , F_7). Elles sont en effet pauvres en espèces (tabl. III) et contiennent surtout 2 espèces parmi les plus ubiquistes, *Hydraena gracilis* et surtout *Riolus subviolaceus*.

Les 2 stations apparaissant comme les plus originales sont bien F_6 et F_7 (axe 1). Elles contiennent à la fois le plus grand nombre d'espèces (10 et 12) et les éléments caractéristiques des cours inférieurs comme *Elmis rioloides*, *Riolus cupreus*, *Oulimnius tuberculatus* et *Orectochilus villosus*.

L'axe 2 regroupe d'un côté le cours supérieur, en isolant encore F_3 , et de l'autre les 2 stations proches des sources, G et F_0 , ainsi que l'affluent (A_1 , A_2). Ces regroupements sont motivés (tabl. III) surtout par la richesse en espèces et en individus. Les stations du cours moyen (F_4 , F_5) ont les plus fortes densités, F_1 F_2 sont les plus riches en espèces, par contre les extrêmes, F_3 d'une part, G, F_0 , A_1 , A_2 d'autre part, sont les plus pauvres. *Hydraena riparia* et *Esolus angustatus* sont caractéristiques du cours supérieur (F_1 , F_2), *Brychius elevatus* du cours moyen (F_4 , F_5), par contre la zone des « sources » (G, F_0) se

FIG. 4. — Coléoptères. Disposition des stations et des espèces dans le plan des axes 1 et 2 de l'analyse factorielle des correspondances (49,1 % d'explication). Nomenclature des stations : voir tabl. I.
Br. = *Brychius elevatus*, Elm. ae. = *Elmis aenea*, Elm. coi = *Elmis rioloides* (= coiffaiti), Elm. mau. = *Elmis maugetii*, Es. ang. = *Esolus angustatus*, Es. pa. = *Esolus parallelepipedus*, Hy. gra. = *Hydraena gracilis*, Hy. ri. = *Hydraena riparia*, Lim. vol. = *Limnius volckmari*, Li. pe. = *Limnius perrisi*, Orec = *Orectochilus villosus*, Oreo = *Oreodytes rivalis*, Oul. tu. = *Oulimnius tuberculatus*, Pla. = *Platambus maculatus*, Rio. cu. = *Riolus cupreus*, Rio. ill. = *Riolus illiesi*, Rio. sub. = *Riolus subviolaceus*.

caractérise plutôt par la présence des espèces les plus ubiquistes (*Elmis aenea*, *Hydraena gracilis* et surtout *Riolus subviolaceus*) tout en excluant les espèces dominantes du cours inférieur (*Esolus paralelepipedus*).

Les Coléoptères sont donc sensibles en premier lieu à l'originalité de l'Arène, puis à la zonation longitudinale du Furans. Leur prise en compte privilégie les particularités du cours inférieur et celles des Gasses, ces dernières influençant peu la station F_4 . L'eutrophisation due à l'Arène se traduit par l'augmentation massive de la densité de 2 espèces ubiquistes : *Elmis aenea* et *Riolus subviolaceus*.

4.3. Ephéméroptères (11 taxons) et Plécoptères (8 taxons) (fig. 5)

Détermination Keck et Fontaine.

F_3 se distingue d'emblée par l'absence de ces 2 groupes. C'est ensuite l'Arène qui se trouve encore différenciée en premier lieu (sauf sa station supérieure A_0) en raison de l'abondance de Baetidae (sur-

FIG. 5. — *Ephéméroptères et Plécoptères*. Disposition des stations dans le plan des axes 1 et 2 de l'analyse factorielle des correspondances (46,0 % d'explication). Nomenclature des stations : voir tabl. I.

tout *Baetis doriei* uniquement présent dans l'Arène) et de l'absence de nombreuses espèces du Furans. Dans le Furans on observe une séparation en 2 groupes de stations située entre F_4 et F_5 ; à partir de ce niveau, l'arrivée de l'Arène fait disparaître une série d'espèces présentes : *Perlodes microcephala*, *Ecdyonurus dispar*, *Rhithrogena sp.* par exemple). Ainsi le cours inférieur, élargi à F_5 , est ici caractérisé par des absences, à l'inverse de ce qui se passait avec les Trichoptères et les Coléoptères.

Ephéméroptères et Plécoptères semblent donc sensibles en premier à la pollution organique par l'Arène, qui retentit sur le bas cours du Furans. Ils traduisent alors une physionomie du Furans légèrement différente de celle apportée par les groupes précédents.

4.4. Diptères : 20 taxons (fig. 6)

Détermination Bernadette Keck.

Seule la station F_3 est nettement isolée sur l'axe 1 (ses 2 taxons lui sont propres). L'axe 2 sépare A_0 , A_3 , puis G, en particulier à cause de

FIG. 6. — Diptères. Disposition des stations dans le plan des axes 2 et 3 de l'analyse factorielle des correspondances. L'axe 1 (non représenté) sépare uniquement la station F_3 , seule à contenir *Nemotelus* et *Probezzia* (tabl. II) ; 64,4 % d'explication pour les 3 premiers axes.

Nomenclature des stations : voir tabl. I.

leur richesse en Orthoclaadiinae et *Simulium*. Enfin l'axe 3 sépare surtout F_4 , en particulier du fait de sa richesse en larves d'*Atherix* et *Limnophila*. Les autres stations ne se disposent pas suivant une structure nette et explicable.

La détermination des larves de Diptères ne dépasse jamais ici le genre et n'atteint souvent même pas la famille. C'est la raison pour laquelle la précision de l'analyse basée sur ce groupe ne peut qu'être faible. L'action eutrophisante de l'Arène n'est en particulier guère visible.

4.5. Groupes divers :

OLIGOCHETES (9 taxons), PLANAIRES (4 espèces)
ACHETES (2 taxons), MOLLUSQUES (1 taxon), HEMIPTERES (1 taxon),
CRUSTACES (2 taxons), GORDIACES (1 taxon)
Total : **20 taxons** (fig. 7)

Détermination : Oligochètes : Juget
autres : Keck.

Cet ensemble est dominé par les Oligochètes et les Planaires. Les Oligochètes sont sensibles aux apports organiques dans les stations A_3 et F_5 , comme en témoigne une prolifération faible mais caractéristique de *Tubifex tubifex* et *Potamothrix hammoniensis* en A_3 , *Psammorictides barbatus* et *Peloscolex velutinus* en F_5 . Par ailleurs l'ensemble du cours est morcelé en petits secteurs qui se différencient dans l'ordre suivant : $A_0 A_3$, $F_1 F_2$, $F_5 F_6$ et F_7 . Ces regroupements ne rendent pas compte de l'effet des Gasses et de la cascade des Dards. Le cours inférieur n'est différencié que sur l'axe 3, mais en 2 secteurs opposés : $F_5 F_6$, en particulier par *Dugesia gonocephala* et F_7 par *Aphelecheirus* et *Theodoxus fluviatilis* (influence du Rhône). L'aspect léniatique et limoneux du haut cours ($F_1 F_2$) apparaît notamment avec *Calopteryx* et *Sialis*.

4.6. Discussion

Une première analyse a montré (§ 3.1.) l'intérêt de l'utilisation des données semi-quantitatives (classes d'abondances) qui ont le double avantage de simplifier la tâche et d'éviter les effets occultants de taxons dominants comme les Gammarès, tout en conservant l'information nécessaire à une étude biotypologique.

Il s'avère ensuite que les groupes les moins riches en information sont les moins définis taxonomiquement et sont insuffisants pour permettre de dégager les grands traits de la structure du cours d'eau. Il est en effet probable qu'une détermination à l'espèce des Chironomides donnerait des résultats beaucoup plus satisfaisants.

Les Ephéméroptères et Plécoptères, pris ensemble, reconnus par

FIG. 7. — *Groupes divers*. Disposition des stations sur les 3 premiers axes de l'analyse factorielle des correspondances. L'axe 1 est oblique et les coordonnées sur cet axe sont données par les flèches (58,9 % d'explication pour les 3 axes). Nomenclature des stations : voir tabl. I.

Kaesler *et al.* (1973) comme les plus descriptifs, sont en effet les plus à même de déceler les perturbations eutrophisantes du système, mais ne rendent compte qu'approximativement de la structure d'ensemble.

Les Coléoptères (les seuls identifiés au niveau spécifique) essentiellement des Elmidae habituellement peu utilisés comme indicateurs écologiques, fournissent au contraire ici une information très riche particulièrement sur la zonation longitudinale du cours d'eau. Ceci est facilité par la particulière abondance des Elmidae dans les cours d'eau de milieu calcaire.

Le groupe des Trichoptères fournit en fait la structure la plus proche de celle donnée par l'ensemble de la faune considérée. Déjà Verneaux (1973) signalait l'importance de ce groupe pour l'établissement d'une typologie des cours d'eau.

L'un de ces deux derniers groupes suffit donc pour décrire correctement la structure écologique du système, les renseignements qu'ils fournissent l'un ou l'autre étant en grande partie redondants. Les indices de diversité de ces 2 groupes varient d'ailleurs de façon relativement corrélée ; ce sont tout au moins les 2 groupes les plus ressemblants à ce titre (tabl. IV). Cela traduit une certaine similitude dans les variations de structure de leurs peuplements au long de la rivière.

	COL	EPH-PLE	DIP	DIV
TRI	0,46	0,31	0,27	— 0,55
COL		0,27	— 0,16	— 0,64
EPH-PLE			— 0,28	— 0,49
DIP				0,11

TABLEAU IV. — Coefficient de corrélation entre groupes faunistiques portant sur les indices de diversité H' de Shannon et Wiever) par stations (voir tabl. III). tabl. II.

Les Ephéméroptères et Plécoptères, de même que les Oligochètes, sont toutefois intéressants à considérer, en complément, du point de vue des effets des pollutions, car ils sont plus sensibles à ces dernières.

Les corrélations du tableau IV montrent par ailleurs que le groupe faunistique « divers », dominé par les Oligochètes, réagit en sens inverse des autres (corrélations négatives) en ce qui concerne les variations des indices de diversité. Les stations A_1 , A_3 , F_3 ont par exemple des diversités maximales chez les « divers » et minimales chez les Trichoptères. Les groupes les plus différents dans le rôle d'indicateurs de milieu (§§ 4.1. à 4.5.) sont donc également ceux dont la diversité varie de la façon la plus opposée. Trichoptères et Coléoptères demeurent toujours les plus voisins ($r = +0,46$).

Il est alors possible d'éviter de considérer tous les groupes, en abandonnant notamment ceux dont la détermination est demeurée ici la plus élémentaire. Il faut bien entendu que les groupes retenus soient représentés par un nombre suffisant de taxons.

En conséquence, pour une étude dont le but est un diagnostic de structure typologique d'un cours d'eau, il est suffisant d'effectuer une investigation semi-quantitative (relevés par classes d'abondance) sur certains groupes taxonomiques seulement au moyen de quelques prélèvements par station. Le tâche est facilitée lorsque, comme c'est le cas ici, l'importance des variations longitudinales est prépondérante par rapport aux variations dues à la mosaïque des biotopes. Le pro-

blème reste de choisir les groupes taxonomiques à étudier, en fonction de leur abondance et de leur variété dans le cours d'eau, et aussi du niveau d'identification possible.

TRAVAUX CITÉS

- BOURNAUD (M.), KECK (G.). 1980. — Diversité spécifique et structure des peuplements de macro-invertébrés benthiques au long d'un cours d'eau : le Furans (Ain). *Acta Oecologia, Oecol. Gener.*, 1 (2) : 131-150.
- CHUTTER (F. M.). 1970. — Hydrobiological studies in the catchment of Vaal Dam, South Africa. Part I. River zonation and the benthic fauna. *Inst. Rev. ges. Hydrobiol.*, 55 (3) : 445-494.
- EGGLISHAW (H. J.). 1969. — The distribution of benthic invertebrates on substrata in fast flowing streams. *J. anim. Ecol.*, 38 : 19-33.
- FRONTIER (S.), IBANEZ (F.). 1974. — Utilisation d'une cotation d'abondance fondée sur une progression géométrique pour l'analyse des composantes principales en écologie planctonique. *J. exp. mar. Biol. Ecol.*, 14 (3) : 217-224.
- HIGLER (L. W. G.). 1975. — Echantillonnage de la faune benthique sur une coupe transversale du ruisseau la Clamouze (Haute Auvergne). *Annls St. biol. Besse-en-Chandesse*, 9 : 219-223.
- ILLIES (J.), BOTOSANEANU (L.). 1963. — Problèmes et méthodes de la classification et de la zonation écologique des eaux courantes, considérées surtout du point de vue faunistique. *Mitt. internat. Verein. Limnol.*, 12 : 1-57.
- KAESLER (R. L.), CAIRNS (J. jr), CROSSMAN (J. S.). 1973. — Redundancy in data from stream surveys. *Water Res.*, 8 : 637-642.
- KECK (G.). 1975. — Recherches écologiques sur le bassin versant du Furans (Ain). Essai d'étude hydrobiologique. Thèse Doct. Vétér. Lyon, 112 p.
- LAVANDIER (P.), DUMAS (J.). 1971. — Microrépartition de quelques espèces d'invertébrés benthiques dans les ruisseaux des Pyrénées centrales. *Annls Limnol.*, 7 (1) : 7-23.
- VERNEAUX (J.). 1973. — Cours d'eau de Franche-Comté (massif du Jura). Recherches écologiques sur le réseau hydrographique du Doubs. Essai de biotypologie. Thèse Doct. Etat, Besançon, 260 p.
- WHITTAKER (R. H.), LEVIN (J. A.). 1977. — The role of mosaic phenomena in natural communities. *Theor. Popul. Biol.*, 12 (2) : 117-139.
-