

Y. HÉMIM

V. DA FONSECA-GENEVOIS

L'évolution spatio-temporelle des meio et mixaefunes dans l'estuaire de la Loire

Les cahiers de l'analyse des données, tome 12, n° 4 (1987),
p. 385-400

http://www.numdam.org/item?id=CAD_1987__12_4_385_0

© Les cahiers de l'analyse des données, Dunod, 1987, tous droits réservés.

L'accès aux archives de la revue « Les cahiers de l'analyse des données » implique l'accord avec les conditions générales d'utilisation (<http://www.numdam.org/conditions>). Toute utilisation commerciale ou impression systématique est constitutive d'une infraction pénale. Toute copie ou impression de ce fichier doit contenir la présente mention de copyright.

NUMDAM

Article numérisé dans le cadre du programme
Numérisation de documents anciens mathématiques

<http://www.numdam.org/>

L'ÉVOLUTION SPATIO-TEMPORELLE DES MEIO ET MIXAUFANES DANS L'ESTUAIRE DE LA LOIRE

[ESTUAIRE LOIRE]

Y. HÉMIM (*)

V. DA FONSECA-GENEVOIS(**)

1. Des données aux analyses

1.1. Le matériel étudié

1.1.1. Faune: Meiobenthos et mixobenthos

La présente étude concerne un ensemble faunistique de petits organismes vivant dans la vase. Le terme de meiobenthos désigne les plus petits (de 45 à 250 μm), et celui de mixobenthos les plus grands (de 250 à 2000 μm ; soit 2 mm). Meio et mixobenthos jouent un rôle de premier plan dans l'équilibre et la production des milieux aquatiques avec leurs nombreux représentants, les espèces de ces faunes se prêtent à des comptages, dont les résultats ont été analysés concurremment avec les paramètres physicochimiques des sédiments et les propriétés géochimiques des eaux interstitielles.

1.1.2. Site: la vasière de l'Imperplay

Les échantillons étudiés ici ont été prélevés dans les 2 premiers cm du fond de la vasière de l'Imperplay; laquelle est située en face de Saint-Nazaire, à la fin de la zone de transition entre estuaire interne et estuaire externe (marin) de la Loire.

(*) Professeur à l'ESI. Chercheur au laboratoire de statistique de l'Université P&M Curie.

(**) Professeur à l'Université de Recife / Brésil

Chercheur au laboratoire de Géologie Marine. Université de Nantes.

Les trois stations échantillonnées, désignées par le chiffre I, III, V, avec pour niveaux respectifs, (relativement à la surface de référence de l'Océan), 1,8m (2heures d'émersion par cycle de marée), 5m-ε (6 h d'émersion) et 5+ε (8 h d'émersion) sont dans la zone dite intertidale, alternativement couverte ou découverte par la mer au gré du cycle de la marée.

La pénétration de la marée saline est fonction du débit de la Loire (lequel varie grandement: moins de 80 m³/s en 1986; plus de 6000 m³/s en 1982), ainsi que les coefficients de marée. Au total cette zone littorale est considérée comme étant le domaine miso-polyhyalin. Le climat est tempéré océanique, avec des températures moyennes de 11° C; le gel se voyant exceptionnellement sur les vasières en émersion.

1.1.3. Prélèvement des échantillons

On considère les résultats de 9 séries de prélèvements, dont le tableau ci-dessous donne les dates avec des sigles, rattachant chaque série à une saison (même si la date est proche du solstice ou de l'équinoxe!).

AU3: 24.11.1983; HV4: 22.03.84; PR4: 15.05.84; TE4: 02.07.84

AU4: 26.11.1984; HV5: 13.03.85; PR5: 04.05.85; ET5: 18.07.85 ;

AU5: 31.10.85

Sans entrer dans des détails qui ne concernent pas les données retenues pour nos analyses, il faut préciser que

1° toutes les séries comprenant des prélèvements effectués aux 3 stations I, III, V;

2° aux 4 premières dates, des prélèvements successifs ont été effectués (en chaque station) à 3 phases d'un cycle de marée: jusant, marée basse et flot.

Quant aux techniques diverses de carottage, signalons que l'extraction des eaux interstitielles a été effectuée grâce à des presses portatives à air comprimé, conçues et construites par le Laboratoire de Géologie Marine de l'Université de Nantes.

1.2. Les variables

1.2.1. Comptages et analyses

Faune : Chaque échantillon a été passé au tamis de mailles 45 μm, pour retenir le meiobenthos et de 250 μm, pour arrêter le mixobenthos. On a fait les recensements des groupes et espèces faunistiques à la loupe binoculaire, avec une cuve de Dolfuss sur un quadrillage de 200 carrés, dont 50 seulement,

choisis au hasard, ont été recensés. Les résultats ont été rapportés à un volume de base de 10 cm³.

Sédiments : Les mesures comprennent:

granulométrie, par tamisage et densimétrie;

perméabilité, par perméamètre à niveau variable;

matière organique totale, par la perte au feu à 450° C; par valeur correspondant en Loire, à 2 fois la matière organique *sensu stricto* .

carbonates, au calcimètre Dietrich-Scheibler (6)

chlorophyles (a,b,c) par la méthode Lorenzen (5).

eaux interstitielles : après le passage des sédiments, les eaux ont été filtrées et conservées au froid pour les analyses chimiques. Seul NH₄ a été dosé immédiatement par la méthode de Solorzano (9) le reste a été dosé en différé.

salinité: par Mohr-Knudsen;

silice dissoute, nitrates, nitrites, phosphates: par auto analyser II, technian.

1.2.2. Tableau des variables

Même s'il est un peu familier avec la biologie et la sédimentologie marine, le lecteur aura avantage à s'arrêter sur les 4 tableaux qui décrivent quelques caractéristiques des variables retenues. Il en remarquera l'hétérogénéité; et pour les variables mêmes qui sont de même nature, la diversité des ordres de grandeur; avec notamment pour les numérations d'individus un minimum 0 réalisé dans plusieurs cas; hétérogénéité et diversité qui justifient le codage adopté.

1.2.3. Le codage

Bien que cette étape ait été pour nous la plus longue et la plus délicate de l'étude, nous nous bornerons ici à quelques remarques générales renvoyant à la thèse, le lecteur intéressé par les détails pratiques.

1°) Pour tenir compte de la diversité des points de prélèvement, on a choisi de coder séparément les variables afférentes aux 3 stations I, III, V.

2°) Dans une ou deux stations, le codage d'une variable peut être sans objet, si celle-ci se réfère à une espèce toujours absente. En ce cas l'absence est notée par -- sur nos tableaux.

3°) En principe, après examen des histogrammes on a choisi des bornes pour découper chaque variable en 3 modalités, faible, moyenne et forte. Mais souvent, du fait notamment de la fréquence élevée de la valeur zéro, on s'est borné à deux modalités: présence et absence (ou quasi absence). Sur les tableaux, le nombre de modalités est noté par un nombre de signe+.

4°) Au total on a retenu pour décrire l'état instantané du milieu étudié, 181 variables découpées en 487 modalités; avec, respectivement, pour les stations I, III et V: (60 var.; 158 mod.); (61, 168) et (60, 161).

	STATION V				STATION III				STATION I			
	Densité (nombre/10cm ³)		Découpage		Densité (nombre/10cm ³)		Découpage		Densité (nombre/10cm ³)		Découpage	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
PROTOZOAIRES	0	23	+++	+++	0	26	+++	+++	3	20	+++	+++
Protohydra leuckarti	0	30	+++	+++	0	30	+++	+++	0	43	++	++
TURBELLARIES	2	104	+++	+++	2	90	+++	+++	10	74	+++	+++
NEMATODES	430	2006	++	++	454	1796	+++	+++	247	1090	+++	+++
Streblospio benedicti	0	25	+++	+++	0	13	++	++	0	16	++	++
Manayunkia aestuarina	0	140	+++	+++	0	18	++	++	--	--	--	--
Paranais frici	2	200	+++	+++	5	179	+++	+++	2	134	+++	+++
Amphichaeta sannio	5	89	+++	+++	10	164	+++	+++	1	38	+++	+++
Ostracodes	3	102	+++	+++	3	45	++	++	2	14	+++	+++
Tachidius discipes	11	210	+++	+++	6	120	+++	+++	0	103	+++	+++
Stenelia palustris	20	179	+++	+++	12	185	+++	+++	0	45	+++	+++
Nannopus palustris	0	185	+++	+++	0	247	+++	+++	0	46	+++	+++
Autres Harpacticoides	80	215	++	++	10	240	++	++	2	141	++	++
Nauplii	0	325	+++	+++	3	45	+++	+++	0	15	+++	+++
Macoma balthica	0	41	+++	+++	20	110	+++	+++	0	21	++	++
Hydrobia ulvae	0	21	++	++	0	51	+++	+++	0	9	+++	+++
Densité totale	918	2686	+++	+++	821	2704	+++	+++	362	1425	+++	+++
Protohydra leuckarti	0	29	+++	+++	0	37	+++	+++	0	30	+++	+++
TURBELLARIES	3	72	+++	+++	2	40	+++	+++	6	77	+++	+++
NEMATODES	105	812	++	++	127	857	+++	+++	17	827	+++	+++
PHOLOE sp.	--	--	--	--	--	--	--	--	0	22	++	++
NEPHTYS sp.	--	--	--	--	--	--	--	--	0	14	++	++
Streblospio benedicti	0	51	++	++	0	25	+++	+++	0	46	+++	+++
Manayunkia aestuarina	2	224	+++	+++	0	94	+++	+++	0	20	++	++
Polydora ciliata	0	20	++	++	1	22	++	++	0	20	++	++
Eteone longa	--	--	--	--	0	25	++	++	2	28	++	++
Nereis diversicolor	2	44	+++	+++	2	25	+++	+++	--	--	--	--
Paranais frici	9	184	+++	+++	10	247	+++	+++	12	186	++	++
Amphichaeta sannio	10	112	+++	+++	0	207	+++	+++	1	54	+++	+++
Tubifex costatus	0	42	++	++	0	28	+++	+++	0	25	+++	+++
T. heterochaetus	0	25	++	++	0	48	+++	+++	0	29	+++	+++
OSTRACODES	6	50	+++	+++	0	32	+++	+++	1	122	+++	+++
Tachidius discipes	15	148	++	++	13	162	+++	+++	10	92	++	++
Stenelia bispinosa	4	115	+++	+++	15	95	+++	+++	5	50	+++	+++
Nannopus palustris	0	192	+++	+++	0	312	+++	+++	0	165	+++	+++
Autres Harpacticoides	63	192	+++	+++	67	151	+++	+++	10	199	+++	+++
Corophium volutator	0	29	++	++	0	22	++	++	0	31	++	++
Macoma balthica	1	46	++	++	10	121	++	++	0	29	++	++
Hydrobia ulvae	0	28	++	++	0	52	+++	+++	0	13	++	++
Densité totale	591	1407	+++	+++	482	1835	+++	+++	216	1223	+++	+++

COMPOSITION
DU
MEIOBENTHOS

COMPOSITION
DU
MIXOBENTHOS

PROPRIETES CHIMIQUES DES SEDIMENTS	EXPRESSIONS DES RESULTATS	STATION V			STATION III			STATION I		
		MIN	MAX	Décapage	MIN	MAX	Décapage	MIN	MAX	Décapage
Perte au feu 450°	%	8	20	++	7	19	++	5	19	++
CaCO3	%	6	16	++	7	15	++	7	15	+++
CHLOROPHYLLE a	mg/m ³	16,4	100,7	+++	6,2	171,4	+++	6,3	62,6	+++
CHLOROPHYLLE b	mg/m ³	0,8	55,3	+++	2,3	62,4	+++	1,4	46,5	+++
CHLOROPHYLLE c	mg/m ³	5,3	40,4	+++	1,2	104,1	+++	1,0	42,3	+++
PHEOPHYTINE	mg/m ³	6,8	279,2	++	1,7	364,2	+++	5,5	132,3	+++
PROPRIETES PHYSIQUES DES SEDIMENTS										
TENEUR EN EAU	%	98	395	+++	125	236	+++	82	221	+++
POROSITE	%	71	94	++	66	88	++	65	85	+++
PERMEABILITE	m ³ /sec	1x10 ⁻⁶	1x10 ⁻⁵	+++	1x10 ⁻⁶	1x10 ⁻⁵	++	1x10 ⁻⁵	1x10 ⁻⁴	+++
DENSITE HUMIDE	-	1,14	1,32	+++	1,16	1,30	+++	1,1	1,47	+++
FRACTION FINE	%	75,6	98,9	++	81,1	98,1	+++	58,3	89,3	++
MEDIANE	%	2,5	10,7	++	1,5	20,2	++	3,0	40,5	++
TEMPERATURE	°C	4,5	24,8	+++	6,0	25,5	+++	6,0	22,5	+++
CHIMIE DES EAUX INTERSTITIELLES	EXPRESSION DES RESULTATS	STATION V			STATION III			STATION I		
		MIN	MAX	Décapage	MIN	MAX	Décapage	MIN	MAX	Décapage
SALINITE	g/kg	5,0	22,6	++	5,0	23,0	++	3,4	25,5	++
(NH4) AMONIAQUE	µatg/l	20,4	132,0	+++	21,9	192,2	+++	30,6	203,0	+++
(NO3) NITRATE	µatg/l	12,0	351,0	+++	5,9	364,0	+++	7,2	158,0	+++
(NO2) NITRITE	µatg/l	0,9	11,2	+++	1,0	6,0	+++	0,8	12,5	+++
(PO4) PHOSPHATE	µatg/l	0,5	8,4	+++	0,8	17,6	+++	0,4	19,3	++
(SiO2) SILICATE	µatg/l	20,0	225,0	+++	11,0	275,0	+++	16,2	202,7	+++

1.3. Les tableaux analysés

Ces tableaux, en (0,1) croisent tous un ensemble E d'états instantanés avec un ensemble M de modalités; avec à l'intersection de la ligne e et de la colonne m le nombre 1 si l'état 1 rentre dans la modalité m, et zéro sinon.

Un état instantané, e, est rapporté à une date d (considérée comme représentant une saison; cf. § 1.1.3) et une phase p de la marée (jusant, marée basse ou flot). En fait, aux quatre premières dates (de AU3, ET4) on a relevé 3 états; mais aux 5 dernières dates (de AU4 à AU5) on a seulement des relevés à marée basse. L'ensemble E est donc un ensemble de 17 couples (d,n) ($17=(3 \times 4)+5$). Nous considérerons d'une part l'ensemble E tout entier; d'autre part, afin d'équilibrer les rôles dévolus aux trois phases, le sous-ensemble E', (3×4) des états afférents aux 4 premières saisons.

L'ensemble M étant divisé en trois blocs à peu près égaux (cf. § 1.2.3, 4°) on pourra effectuer des analyses partielles, relatives à une seule station (I, III ou V); avec pour ensembles de modalités respectifs M_I , M_{III} , M_V . Avec en plus des variantes de codage; élimination éventuelle de certaines variables (densité totale notamment). Dans la mesure où les conclusions de toutes ces analyses se confirment les unes les autres, nous ne rendrons compte ici que de l'analyse globale (tableau ExM); avec quelques aperçus sur une analyse complémentaire (E'xM).

2. L'analyse globale E x M: états x modalités

Nous adressant à des statisticiens non spécialistes de l'hydrobiologie et de la sédimentologie des estuaires, nous croyons sage de borner le présent exposé aux grandes lignes de l'interprétation. Après avoir décrit la structure, très simple, de la représentation de E dans l'espace engendré par les 3 premiers axes, nous considérerons, pour chacune des 4 saisons, les associations de modalités que l'analyse a révélées.

2.0. Représentation de l'ensemble E des 17 états instantanés

2.0.1. Le plan 2x3

Sur le plan (2,3) les quatre saisons apparaissent nettement disposées chacune suivant l'un des demi-axes; et c'est pourquoi nous considérons d'abord ce plan. Pour chacune des saisons, (cf. §1.1.3) on dispose de plusieurs descriptions d'états instantanés; d'une part (en 83-84) 3 relevés quasi simultanés suivant trois phases de la marée ((b=basse; f=flot; j=jusant); d'autre part un relevé isolé de marée basse (2 pour l'automne). Bien que l'attribution des relevés aux saisons ne soit qu'approximative, on voit que les relevés de marée basse afférents à chacune des saisons sont étroitement groupés à l'extrémité d'un demi-axe: F2+ pour l'hiver; F2- pour l'automne; F3+ pour le printemps; F3- pour l'été. Les relevés de flot et de jusant, tout en s'associant aux tendances de ceux de marée

basse sont moins excentriques. Cette disposition n'est pas due au petit nombre de relevés f et j, car elle se montre aussi dans l'analyse E'xM où les trois phases de la marée ont le même poids (avec pour chacune un relevé à chaque saison).

	vp3=0,25		
	taux=16%	pr4b	
		pr5b	
	<u> B:Printemps </u>		
	pr4j		
		pr4f	
au4b			vp2=0,33
au3b	au3f		taux=20%
<u> D:Automne </u>	au3j	hv4f	<u> A:Hiver </u>
			hv4b
			hv4j
au5b	et4j		hv5b
	et4f		
	<u> C:Eté </u>		
		et4b	
		et5b	

2.0.2. Le plan (1,2).

Dans le demi-plan ($F1 > 0$), l'hiver ($F2 > 0$) s'oppose à l'automne ($F2 < 0$); tandis que printemps et été sont confinés au voisinage du demi-axe ($F1 < 0$).

Si l'on concentre son attention sur les abscisses des points sur l'axe 1, on trouve du négatif au positif la succession: été, printemps, automne, hiver.

Ainsi le facteur 1, clairement interprétable en terme de température, sépare dans l'espace rapporté aux axes (1,2,3) les 4 demi-axes dévolus dans le plan (2,3) aux 4 saisons.

		vp2=0,33			
		taux=20%			hv4b
					hv5b
					<u>A:Hiver</u>
					hv4j
		pr5b			
et5b			pr4f	hv4f	vp1=0,40
<u>et4b</u>	pr4b	<u>B:Printemps</u>			taux=25%
	<u>C:Eté</u>		pr4j		
		et4j		au3f	
				au3j	
		et4f			
				<u>D:Automne</u>	
				au4b	
				au3b	
				au5b	

2.0.3. Le plan (1,3)

La figure est toute analogue à celle du plan (1,2); à ceci près que c'est dans le demi-plan ($F1 < 0$) que se séparent deux saisons (le printemps et l'été), tandis que l'automne et l'hiver suivent le demi-axe ($F1 > 0$).

2.0.4. L'axe 4

Sans entrer dans les détails on peut signaler qu'on trouve, au-delà de l'espace (1,2,3) dominé par l'interprétation en terme de saisons, des faits qui intéressent le biologiste. Aussi l'axe 4 met en évidence les fluctuations de débit de la Loire en automne durant les années d'observation. Un débit élevé, sans être codé dans le fichier des données se manifeste par ses effets: faible densité méiobenthique, forte teneur en silicates, forte biomasse phytobenthique, faible taux de fractions fines, faible salinité. Dans nos données, un débit

exceptionnellement faible ($200 \text{ m}^3/\text{s}$) a été noté en automne 1985; au contraire en 1984 la saison d'automne connut un débit élevé lors de nos relevés.

	pr4b	vp3=0,25		
	pr5b	taux=16%		
	<u> B:Printemps </u>			
	pr4j			
	pr4f	au4b au5b	vp1=0,40	
		au3f	<u> D:Automne </u>	taux=25%
	et4j	au3j	hv4f	
		au5b	hv4j	
	et4f			hv4b
			<u> A:Hiver </u>	
	<u> C:Eté </u>			hv5b
	et4b			
	et5b			

2.1. La zone A: l'hiver

2.1.1. Caractéristiques générales

Cette zone est caractérisée par les modalités suivantes:

a) méiobenthos: densités minimales d'*Amphichaeta sannio*, de *Streblospio benedicti* et densités moyennes à maximales des Protozoaires, de *Nannopus palustris* et de l'amphipode *Corophium volutator*.

b) mixobenthos: densités minimales des Nématodes et de *Eteone longa*; densités moyennes à maximales des Turbellariés de *Manayunkia aestuarina*, de *Polydora ciliata* de *Paranais frici*, de *Nannopus palustris*, de *Tachidius discipes*, des Ostracodes, de *Corophium volutator*.

c) propriétés physiques des sédiments: niveaux minima de fraction fine, de la température; niveaux moyens de la perméabilité, de la porosité, de la médiane granulométrique et le taux maximal de la teneur en eau.

d) propriétés chimiques des sédiments: taux moyens des phosphates, des chlorophylles b, c: taux minima de chlorophylle a et des phéopigments.

e) propriétés chimiques des eaux interstitielles: valeurs minimales de salinité: taux moyens des nitrites, des phosphates, des silicates; valeurs maximales de NH_4 et des nitrates.

2.1.2. Cycle de marée

La période de marée basse, en hiver, concentre une plus grande quantité d'organismes méio-et-mixobenthiques que les périodes de jusant et flot. En haut du profil, les méiobenthontes prédominent sur les mixobenthontes. Le même rapport s'observe dans la station intermédiaire. Cependant, on constate une diminution du nombre des organismes méiobenthiques au niveau du chenal où les courants, en cette saison, sont les plus violents; le méiobenthos est alors plus abondant en jusant, mais très réduit en flot; le mixobenthos prédomine ainsi sur la méiofaune.

2.1.3. Les niveaux intertidaux

En hiver, les stations d'échantillonnage présentent quelques conditions physico-chimiques particulières: les valeurs maximales de la teneur en eau sont en haut et en bas du profil, tandis que les valeurs minimales de fraction fine apparaissent uniquement au niveau du chenal. Les niveaux supérieurs et intermédiaires détiennent les taux moyens en fractions fines et en chlorophylles b et c, alors qu'ils sont minima dans le niveau inférieur. En ce qui concerne la composition des deux catégories faunistiques, la station V et la station III présentent une densité maximale pour les grands Nématodes et par conséquent la densité maximale de mixobenthos, tandis que les valeurs minimales de ce groupe sont en haut de l'estran.

2.2. La zone B : le printemps

2.2.1. Caractéristiques générales

Cette zone est caractérisée par les modalités suivantes:

a) méiobenthos: valeurs des densités méiobenthiques, qui reflètent les densités maximales des Nématodes et des Turbellariés: *Protophydra leuckarti*, *Streblospio benedicti*, *Paranais frici*, *Tachidius discipes*, nauphi, Ostracodes, *Macoma balthica* et *Hydrobia ulvae* présentent des densités moyennes.

b) mixobenthos: densités moyennes de *Protophydra sp.*, *Streblospio benedicti*, *Nereis diversicolor*, *Eteone longa*, *Manayunkia aestuarina*, *Tubifex costatus*, *Tubificoides heterochaetus*, *Amphichaeta sannio*, *Tachidius discipes*,

Stenhelia bispinosa, *Macoma balthica* et *Hydrobia ulvae* densité maximale des Turbellariés.

c) propriétés physiques des sédiments: taux maximaux de fractions fines et densité humide maximale; perméabilité, porosité et teneur en eau moyennes, comme la température.

d) propriétés chimiques des sédiments: teneur en matière organique, en chlorophylle et carbonate minimales: teneurs en phéopigments et chlorophylles a et c moyennes.

e) propriétés chimiques des sédiments: valeurs moyennes des nitrites, nitrates NH_4 , silicates, phosphates et de la salinité.

2.2.2. Cycle de marée

D'une façon générale, la marée basse concentre les valeurs maximales des densités méiobenthiques et mixobenthiques sauf pour celles des mollusques: les larves et jeunes de *Macoma balthica* présentent leurs valeurs maximales pendant le flot, tandis que celles des jeunes de *Hydrobia ulvae* ont lieu en jusant et en flot. Parfois, sous l'effet du jusant (émersion minimale) les Copépodes Harpaticoïdes *T. discipes* et *S. bispinosa* sont légèrement plus nombreux qu'à marée basse.

2.2.3. Le niveau intertidal

Les conditions printanières mettent en évidence la similitude entre le milieu et le bas du profil, en ce qui concerne les densités mixobenthiques. Par rapport à celles du méiobenthos, il n'y a pas de différences entre les stations. Les propriétés physico-chimiques des sédiments sont plutôt similaires entre les niveaux extrêmes et parfois différentes du niveau intermédiaire. Les propriétés chimiques des eaux interstitielles montrent des comportements similaires sur les 3 stations du transect.

2.3. La zone C : l'Eté

2.3.1. Caractéristiques générales

Cette zone est caractérisée par les modalités suivantes:

a. Les méiobenthos: densités minimales des Protozoaires, de *Paranis frici*, de *Nannopus palustris*, de *Tachidius discipes*, de nauplii et de *Macoma balthica*: densités moyennes et maximales de *Protohydra sp.*, *Amphichaeta sannio*, *Stenhelia bispinosa* et *Hydrobia ulvae*.

b. Le mixobenthos: densités minimales de *Paranis frici*, *Polydora ciliata*, *Nannopus palustris*, *Tachidius discipes* et *Corophium volutator*: densités moyennes de *Eteone longa* et *Macoma balthica*: densités maximales pour *Protohydra sp.*, *Amphichaeta sannio*, *Tubifex costatus*, *Tibificoides*

heterochaetus, *Nereis diversicolor*, *Streblospio benedicti* , ainsi que pour les Nématodes que conditionne la densité maximale du mixobenthos.

c. Les propriétés physiques des sédiments: valeurs minimales de la teneur en eau, de la porosité, de la médiane granulométrique; les valeurs maximales de la perméabilité et la température.

d. Les propriétés chimiques des sédiments: valeurs minimales des chlorophylles b, c, des phosphates et des phéopigments; valeurs moyennes des chlorophylles a et de la matière organique.

e. Les propriétés chimiques des eaux interstitielles: valeurs minimales des nitrites, moyennes des nitrates, ammoniacque et silicates; valeurs maximales des phosphates et de la salinité.

2.3.2. Le cycle de marée

Les densités maximales des composants méio-mixobenthiques sont plutôt caractéristiques de la marée basse. Toutefois, quelques groupes sont plus nombreux en jusant (*Turbellariés*, *yunkia aestuarina*, *Nereis diversicolor*, *Ostrocodes*, *Hydrobia ulvae*). Seul *Amphichaeta sannio* présente ses densités maximales en flot. Les propriétés physiques des sédiments sont similaires entre le jusant et le flot, tandis que les propriétés chimiques des sédiments sont très variables: les chlorophylles a, b, c, et la phéopitine sont plus élevées en jusant, comme les phosphates. Pour les propriétés chimiques des eaux interstitielles, les taux des nitrites et des nitrates sont plus élevés en jusant que ceux de l'ammonique en flot.

2.3.3. Le niveau intertidal

Par rapport aux densités des groupes méiobenthiques, les niveaux extrêmes se ressemblent puisqu'ils regroupent les composants faunistiques avec les valeurs des densités minimales ou maximales selon les espèces. Pour les groupes avec les densités moyennes, le haut et le milieu du profil présentent des valeurs similaires. Les groupes mixobenthiques présentent leurs densités minimales ou maximales en milieu et en bas de l'estran, tandis que ceux des densités moyennes sont retrouvés en haut et au niveau du chenal. Les valeurs maximales ou minimales des propriétés physico-chimiques des sédiments et celles des eaux interstitielles mettent en évidence une plus grande similitude entre les niveaux extrêmes, les valeurs moyennes rapprochent les caractéristiques des niveaux intermédiaires et inférieurs du transect.

2.4. La zone D : Automne

2.4.1. Caractéristiques générales

Cette zone est caractérisée par les modalités caractéristiques suivantes:

a. Le méiobenthos. L'automne montre surtout une diminution du nombre des Nématodes qui conditionne alors la densité minimale du méiobenthos. Les Turbellariés et *Amphichaeta sannio* sont aussi numériquement très réduits. Nous retrouvons aussi les densités moyennes de *Stenhelia palustri*, *Hydrobia ulvae* et *Macoma balthica* ; par contre celles de *Paranais frici* sont maximales.

b. Le mixobenthos. Valeurs minimales des densités des Nématodes et en conséquence valeurs minimales des densités mixobenthiques; de même pour *Manayunkia aestuarina*, *Paranais frici* et *Stenhelia bispinosa*. Les densités moyennes se rapportent aux Turbellariés, *Nereis diversicolor*, *Eteone longa*, *Nannopus palustris*, *Corophium volutator* et Ostracodes.

c. Les propriétés physiques des sédiments: valeur minimale à moyenne de la teneur en eau, de la porosité, de la perméabilité, de la fraction fine, de la densité humide, de la médiane granulométrique et de la température.

d. Les propriétés chimiques des sédiments : valeur maximale en chlorophylles a, b, c et moyenne en phéopitines. La matière organique est variable et les teneurs en phosphates sont minimales.

e. Les propriétés chimiques des eaux interstitielles: valeurs moyennes des teneurs en nitrites, nitrates, et maximales en ammoniacque, phosphates et silicates. La salinité présente des valeurs moyennes.

2.4.2. Le cycle de marée

La marée basse regroupe, dans la plupart des cas, les valeurs maximales des densités faunistiques comme des paramètres du milieu. En ce qui concerne le méiobenthos, les densités de *T. Discipes*, et *P. Frici* sont maximales pendant le flot. En revanche, l'effet des stades de la marée dynamique est plus marqué sur les densités mixobenthiques, opposant la marée basse au flot.

Pour les propriétés physico-chimiques des sédiments, la marée basse détient leurs valeurs maximales sauf pour la teneur en eau et la température qui sont maximales pendant le jusant et le flot. Les chlorophylles a, b, et c présentent leurs valeurs minimales pendant le flot également. De cette façon, les effets de jusant et de marée basse sont plutôt similaires et s'opposent à ceux du flot. Le comportement des propriétés chimiques des eaux interstitielles s'avère très différent dans un cycle de marée. Elles sont, sauf pour les silicates, généralement maximales en flot, alors que les nitrates le sont en jusant.

2.4.3. Le niveau intertidal

Les densités méiobenthiques semblent être stables aux trois points du profil, alors que pour la mixofaune le niveau intermédiaire s'avère différent des niveaux extrêmes puisqu'il concentre la plus grande quantité des variables à densités moyennes. Les conditions physico-chimiques des sédiments présentent, elles aussi, des comportements différents entre les niveaux: la médiane

granulométrique est minimale en haut du profil et maximale au milieu et au niveau du chenal. Les taux en matière organique sont moyens en haut et en bas, mais maxima au niveau intermédiaire. Les phéopigments ont leur maxima en haut et au milieu, mais leur minima en bas de l'estran; les phosphates sont maxima en bas et moyens au milieu et en haut du transect, tandis que les taux de chlorophylle sont équivalents et maxima dans les trois stations. Les propriétés chimiques des eaux interstitielles sont plutôt similaires entre les niveaux extrêmes.

3. Conclusion

Le milieu que nous avons étudié intègre les effets d'influences multiples et complexes. Sur l'axe 1 apparaît d'abord l'importance de la température; mais on voit dans l'espace (1,2,3) engendré par les trois premiers axes que chaque saison a son système propre, que nous nous sommes appliqués à décrire séparément d'après les résultats de l'analyse factorielle. C'est surtout à marée basse que les oppositions se révèlent nettement, alors que les sédiments sont complètement découverts et exposés à l'air; flot et surtout jusant sont des phases de remaniement par les courants affectant directement les sédiments, et par suite les faunes; estompant dans une certaine mesure les caractères saisonniers. Nous pensons que notre étude multidimensionnelle offre de l'ensemble des données une synthèse fidèle et utile.

Références bibliographiques

(1) BOUCHER G. (1979). Les Nématodes libres des sables fins infralittoraux. Etude " in situ" et expérimentale de la communauté. Thèse de Doctorat-ès-Sciences, Université de Paris Sud, 236 p.

(2) BOUCHER G. (1981). Effets à long terme des hydrocarbures de l'Amoco-Cadiz sur la structure des communautés de Nématodes libres des sables fins sublittoraux. *In* : Amoco-Cadiz. Conséquences d'une pollution accidentelle par hydrocarbures; CNEXO Paris, pp. 539-549.

(3) BOUCHER G., CHAMROUX S., RIAUX C. (1984). Modifications des caractéristiques physico-chimiques et biologiques d'un sable sublittoral pollué par hydrocarbures. *Mar. Environ. Res.*, 12, pp. 1-23.

(4) FONSECA-GENEVOIS V. et OTTMANN F. (1987). Influences de la position intertidale et des propriétés physiques des sédiments sur la méiofaune d'une vasière atlantique (Estuaire de la Loire, France); *C. R. Acad. Sci.*, Paris, t. 304, sér. III, 7, 161-166p.

(5) LORENZEN C.J. (1967). Determinator of chlorophyll and pheopigments spectrophotometric quations. *Limol. Oceanogr.*, 12(2), p. 343-346.

(6) MARCHAND J. et ELIE P. (1983). - Contribution à l'étude des peuplements benthiques de l'estuaire de la Loire. Rapport comité scientifique pour l'environnement de l'Estuaire de Loire, (C.S.E.E.L.), 128 p.

(7) OTTOMAN F. (1978). - Résumé des conditions hydrologiques et caractéristiques des eaux dans l'estuaire de Loire. (Synthèse réalisée début 1978 à partir des travaux existants). Laboratoire de Géologie Marine, ERA 606- Aménagement du littoral

(8) RENAUD-MORNANT J., BODIN P., BODIOU J.-Y., BOUVÉE F., CASTEL J., COINEAU N., COURTIES C., GOURBAULT N., GUIDI L., LASSERRE P., SOYER J. et TOURNIER T. (1984). - Estimation du rôle énergétique et dynamique spatio-temporel du méiobenthos en milieu littoral : Echantillonnage et méthodologie. APT-CNRS, 982002, Rapport final, 232 p.

(9) SOLORZANO L. (1969). - Determinator of ammonia in natural waters by phenolypochorite method. Limnol. Oceanogr., 14 (5), p. 799-801.

Appendice : petit glossaire à l'usage des Statisticiens

- BENTHOS: ensemble des organismes végétaux et animaux vivant pendant toute leur vie ou pendant une période, fixés sur le fond.

Quant à la dimension, le benthos est divisé en quatre catégories:

- le macrobenthos composé par des organismes dont la taille dépasse 2 mm,
- le mixobenthos de 21 mm à 500 microns,
- le méiobenthos de 500 à 45 microns,
- le microbenthos moins de 45 microns.

Le mixobenthos, aussi appelé "la petite macrofaune" est formé par divers groupes d'invertébrés, comme par exemple: les Cnidaire (*Protohydra leuclarti*), les Turbellariés, les Nématodes, les Annélides Polychètes (*Streblospio benedicti*, *Manayunkia aestuarina*, *Polydora ciliata* ; jeunes de *Pholoe sp.*; *Nephtys hombergii*, *Nereis diversicolor*, *Eteone longa*) ; les Annélides Oligochètes (*Amphicaeta sannio*, *Paranais frici*, et jeunes de *Tubifex costatus*, *Tubificoides heterochaetus*) ; les Ostracodes, les Copépodes Harpatcticoïdes (*Tachidius discipes*, *Nannopus palustris*, *Stenhelia palustris*), les Mollusques (larves et

jeunes de *Macoma balthica* et *Hydrobia ulvae*). Le méiobenthos inclue en plus divers Protozoaires Ciliés.

- CYCLE DE MAREE: période de douze heures environ correspondant à une marée basse et une marée haute. Dans les estuaires, la marée montante, dite flot est plus courte que la marée descendante ou jusant. Le cycle de marée correspond donc à une courbe dissymétrique.

- SEDIMENTS: matériaux d'origine minérale ou biologique qui se déposent sur la berge ou le fond, mélangé avec de l'eau. On les divise en:

- FRACTION GROSSIERE: formée d'éléments $>45 \mu\text{m}$, ce sont en général des sables avec ou sans débris de coquilles.

- FRACTION FINE: formée d'éléments fins $< 45 \mu\text{m}$, poudre de minéraux pu argiles.

- VASE: parmi ces sédiments, la vase formée d'éléments fins, très riches en eau est la plus fréquente dans les estuaires. Elle peut être plus ou moins sableuse. On en considère plusieurs propriétés physiques:

PERMEABILITE "K": quantité d'eau qui s'écoule à travers une unité de surface pendant une seconde, exemple m^3 par m^2 par seconde = m/sec.

POROSITE: "n" pourcentage des vides entre les grains remplis d'eau par rapport au volume total du sédiment.

TENEUR EN EAU: " ω " rapport, exprimé en pourcentage du poids d'eau par rapport au poids de sédiment sec (peut-être $> 100\%$).