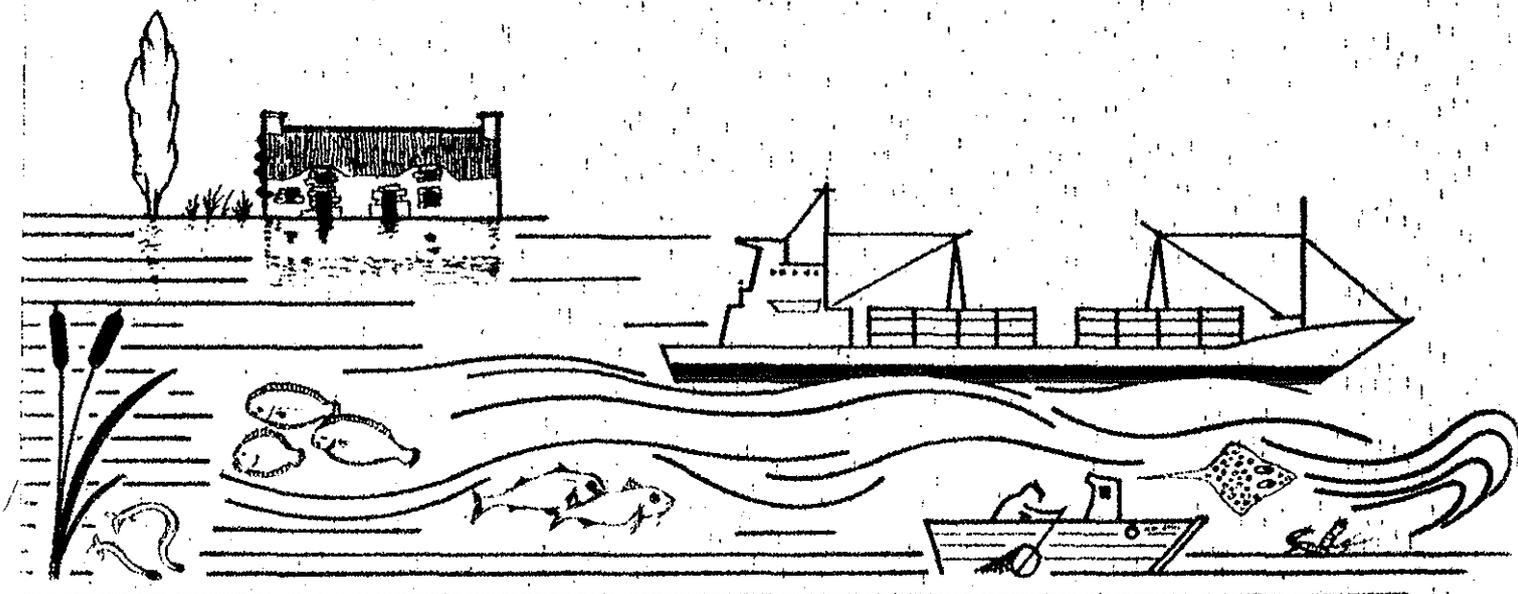


MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT

MINISTÈRE DE LA MER

COMITE
SCIENTIFIQUE pour
l'ENVIRONNEMENT de
l'ESTUAIRE de la
LOIRE

SYNTHÈSE DES ÉTUDES 1981-82 SUR
LA QUALITÉ DES EAUX
ET
LE MILIEU VIVANT
DE L'ESTUAIRE DE LA LOIRE
CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS



INSTITUT SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE
DES PÊCHES MARITIMES

Rue de l'île d'Yeu - B.P. 1049 - 44037 NANTES CÉDEX

COMITÉ SCIENTIFIQUE POUR L'ENVIRONNEMENT
DE L'ESTUAIRE DE LA LOIRE

SYNTHÈSE DES ÉTUDES 1981-82 SUR
LA QUALITÉ DES EAUX
ET
LE MILIEU VIVANT
DE L'ESTUAIRE DE LA LOIRE
CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

JUILLET 1983

LA QUALITE DES EAUX ET LE MILIEU VIVANT
DE L'ESTUAIRE DE LA LOIRE

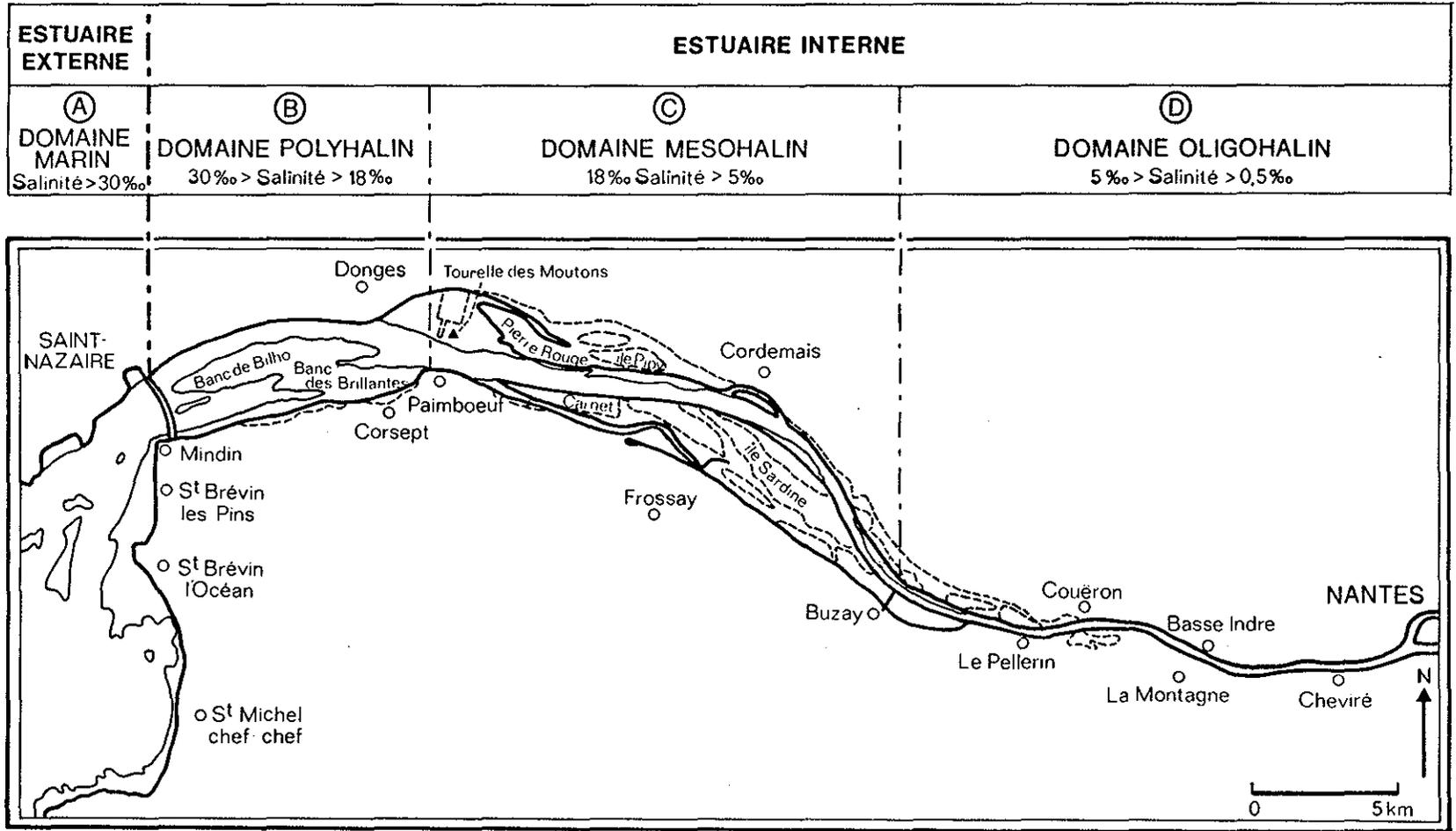
S O M M A I R E

	Page
Chapitre I.- Les rejets et la qualité des eaux dans l'estuaire de la Loire	9
I - Les rejets dans l'estuaire de la Loire	9
II - La qualité des eaux dans l'estuaire de la Loire	21
III - Conclusions	35
Chapitre II.- Les caractéristiques des peuplements planctoniques	39
I - Phytoplancton	39
II - Zooplancton	41
III - Conclusion	42
Chapitre III.- Les peuplements benthiques de l'estuaire	45
I - Caractéristiques faunistiques des secteurs de l'estuaire interne de la Loire	45
II - Contribution des composantes spécifiques à la richesse des communautés	57
III - Conclusion	59
Chapitre IV.- Les ressources benthodémersales de l'estuaire Biologie et écologie des principales espèces	65
I - Caractéristiques générales des ressources benthodémersales	67
II - Bioécologie des principales espèces au cours de leurs écophases estuariennes	75
III - Bilan des relations trophiques dans l'estuaire de la Loire	96
IV - Conclusion	101
Chapitre V.- Conclusions et Recommandations	103

TABLE DES ILLUSTRATIONS

	Page
Hors texte.- Carte de l'estuaire	6
Chapitre I.- Les rejets et la qualité des eaux dans l'estuaire de la Loire	
Fig. 1.- Rejets urbains dans l'estuaire de la Loire	10
Tabl.1.- Flux résiduels rejetés par les stations d'épuration urbaines	12
Fig. 2.- Rejets industriels dans l'estuaire de la Loire	13
Tabl.2.- Flux résiduels rejetés dans l'estuaire par les industriels	14
3.- Tableau récapitulatif des flux urbains et industriels	16
4.- Apports journaliers de la Loire à Montjean dans trois conditions de débit	18
Fig. 3.- Concentrations en nitrates, phosphates et silicates à Ste-Luce de 1979 à 1981	22
Tabl.5.- Concentrations moyennes en sels nutritifs dans la Loire et la Seine (1976-81)	23
Fig. 4 et 5.- Apports par la Loire en azote total minéral dissous et en phosphore (1979-81)	24
Tabl.6.- Apports en sel nutritifs (t/an) (7 fleuves)	25
Fig. 6.- Concentrations en silicates dans l'estuaire à P-M et B-M	26
7.- Concentrations en silicates (selon S°/‰)	26
8.- Concentrations en phosphates (selon S°/‰)	26
9.- Concentrations en azote dans l'estuaire en novembre	28
10.- Concentrations en oxygène et azote en septembre	28
11.- Concentrations moyennes en DBO5 à Sainte-Luce	30
12.- Apports de la Loire en DBO5 (1976-81) à Ste-Luce et Montjean	30
13.- Concentrations en O ² et MES dans l'estuaire en septembre	30
14.- Concentrations en oxygène dans l'estuaire de la Loire en vive-eau et morte-eau	30
15.- Concentrations en O ² dissous dans l'estuaire à concentration en DBO5 et débit différents	31
16.- Concentrations en chlorophylle "a" à Sainte-Luce (1979-81)	32
17.- Concentrations en chlorophylle "a" et phéopigments dans l'estuaire (septembre 1981)	32
18.- Concentrations en phéopigments en V-E et M-E (septembre 1981)	32
19.- Concentrations en métaux dissous dans l'estuaire de la Loire	32
Tabl.7.- Concentrations en métaux dissous dans les estuaires de la Loire et de la Seine (1981)	34
8.- Concentrations en oxygène retenues comme critères de qualité	36
Chapitre II.- Les caractéristiques des peuplements planctoniques	
Tabl.1.- Phytoplancton : groupes dominants, densité de peuplement, biomasse pigmentaire sur les trois secteurs	39
2.- Zooplancton : groupes dominants, densité de peuplement sur les trois secteurs	41
Chapitre III.- Les peuplements benthiques de l'estuaire	
Carte.- Divisions de l'estuaire de la Loire en "Domaines halins" et données de production zoobenthique	44
Fig. 1.- Répartition des communautés benthiques dans le secteur oligohalin	46
2.- Répartition des communautés benthiques dans le secteur mésohalin	46
3.- Synthèse des données édaphiques et biologiques relatives au zoobenthos du secteur de Pipy	47

Fig. 4.- Variations saisonnières des taux d'accroissement des biomasses zoobenthiques dans l'estuaire	48
Tabl.1.- Comparaison des biomasses moyennes annuelles selon le type sédimentaire	49
Fig. 5.- Répartition spatiale des densités du zoobenthos dans le secteur polyhalin	50
6.- Répartition spatiale des communautés benthiques dans le secteur polyhalin	52
7.- Synthèse des données édaphiques et biologiques relatives au zoobenthos du secteur de Bilho	54
Tabl.2 et 3.- Répartition spatiale des biomasses microphytobenthiques (estran de Bilho-sud) et macrozoobenthiques (Imperlay et Bilho-sud)	55
Fig. 8.- Evolution des densités zoobenthiques selon les caractéristiques édaphiques dans les 3 secteurs estuariens	56
9.- Mollusques filtreurs sur le dépôt de Bilho : répartition spatiale des pourcentages	56
10.- Principales modifications dans la répartition des communautés benthiques depuis les travaux (1980)	60
 Chapitre IV.- Les ressources benthodémersales de l'estuaire Biologie et écologie des principales espèces	
Fig. 1.- Variations saisonnières de la contribution des secteurs aux caractéristiques des ressources en ichthyofaune	70
2.- Variations saisonnières de la contribution des secteurs aux caractéristiques des ressources en crustacés	72
3.- Crevette grise juvénile : localisation dans l'estuaire et répartition des densités (%) entre les stations	76
4.- Schéma du cycle biologique de la crevette grise dans l'estuaire	78
5.- Cycle biologique du flet dans l'estuaire	82
6.- Distribution des classes d'âge de flets dans les trois secteurs	83
7.- Spectres trophiques des jeunes flets (0+) dans l'estuaire	83
8.- Cycle biologique de la sole dans l'estuaire	86
9.- Distribution des classes d'âge de la sole dans les trois secteurs	87
10.- Spectres trophiques des jeunes soles dans l'estuaire	87
11.- Merlan : localisation dans l'estuaire et répartition des densités (%) entre les stations	90
12.- Spectres trophiques du merlan dans l'estuaire	91
13.- Bar : localisation dans l'estuaire et répartition des densités (%) entre les stations	92
14.- Spectres trophiques du bar dans l'estuaire	94
15 et 16.- Deux exemples de réseaux trophiques en secteurs polyhalin et méso-oligohalin	98
17.- Prédateurs : localisation préférentielle dans l'estuaire et contribution respectives aux peuplements ichthyologiques des trois secteurs	100



INTRODUCTION

La vie intense présente dans l'estuaire, sous des formes très diverses, et le milieu qui l'abrite ont été, dans les dernières décennies, le sujet de nombreuses observations et recherches. Toutefois celles-ci apparaissaient, en général, fragmentaires et ponctuelles. Le Comité Scientifique pour l'Environnement de l'Estuaire de la Loire, mis en place en juin 1980, a de suite constaté le besoin, en ce domaine, de coordonner des études pluridisciplinaires et complémentaires. Il s'imposait donc de faire tout d'abord le point des connaissances acquises sur les milieux vivants de l'estuaire et leur environnement. Le CSEEL fût alors entreprendre une recherche bibliographique presque exhaustive. Cette bibliographie terminée, en février 1981, le CSEEL était en mesure de préciser le programme des études à entreprendre et leur ordre de priorité.

Pour améliorer la connaissance de l'environnement hydrobiologique de l'estuaire de la Loire et la compréhension des processus biologiques complexes s'y développant, il apparut que les recherches devaient porter sur les objectifs primordiaux suivants :

- . les rejets et la qualité des eaux dans l'estuaire de la Loire, avec l'inventaire et l'analyse comparative des flux polluants, et les conséquences en résultant quant à la qualité de l'eau ;
- . les caractéristiques des peuplements planctoniques, principalement leurs variations spatio-temporelles ;
- . les peuplements benthiques : en raison de leur quasi-sédentarité, ils constituent un indicateur biologique fidèle de la qualité du milieu ; il convenait donc d'en établir une cartographie, de suivre l'évolution saisonnière de certains peuplements de zones riches pour en estimer la production annuelle, d'évaluer grâce à ces données l'état actuel des peuplements et de le comparer à celui d'autres estuaires ;
- . les ressources benthodémersales, principalement celles présentant un intérêt économique : il s'imposait de les inventorier du mieux possible, par diverses méthodes, afin d'en recueillir les différents stades de croissance présents dans l'estuaire et d'observer l'évolution de leurs densités et biomasses ; pour certaines espèces d'intérêt économique une étude de répartition spatio-temporelle et de leur régime alimentaire a été effectuée afin de localiser leurs nourriceries et d'établir ainsi l'importance du rôle écologique de l'estuaire pour ces espèces.

Aussi, dans la présente synthèse, ces quatre priorités vont-elles être examinées successivement. Après quoi, les diverses conclusions partielles seront rassemblées et des recommandations seront proposées.

Les rapports d'études repris dans cette synthèse et qui rendent compte de manière détaillée de l'analyse des données collectées et des résultats obtenus, ont été fournis dans le cadre des contrats passés par le C.S.E.E.L. avec des laboratoires spécialisés ; ils ont été établis :

- pour "Les rejets et la qualité des eaux dans l'estuaire de la Loire", par Mr B. GALLENNE (Port autonome de Nantes-Saint-Nazaire),

Mr J.F. GUILLAUD (CNEXO-Centre Océanologique de Bretagne)

qui ont interprété, respectivement, les documents du P.A.N.S.N. sur les rejets urbains et industriels et les résultats des études hydrologiques et de chimie des eaux ;

- pour "Les caractéristiques des peuplements planctoniques", par Mr Y. RINCÉ (Université de Nantes, laboratoire de Biologie marine)

chargé de l'Etude du plancton et de la qualité des eaux ;

- pour "Les peuplements benthiques" et "Les ressources benthodémersales" par Mme J. MARCHAND (Université de Nantes, laboratoire de Biologie marine)

chargée de l'Etude des peuplements benthiques et de l'Ichthyofaune"

assistée de Mr P. ELIE (Université de Rennes, lab. d'Ecophysiologie)

mis à la disposition de l'Institut des Pêches maritimes par le C.S.E.E.L., et dont le premier travail fut l'Etude bibliographique préalable.

CHAPITRE I

LES REJETS ET LA QUALITE DES EAUX DANS L'ESTUAIRE DE LA LOIRE

I. LES REJETS DANS L'ESTUAIRE DE LA LOIRE

L'inventaire et l'évaluation des apports dans l'estuaire de la Loire ont été faits depuis l'amont au niveau de Montjean jusqu'à Saint-Nazaire-Mindin à l'aval. Ce bilan a été établi, en relation avec les études du CSEEL, à partir des données des années 1981-1982 recueillies par enquêtes auprès des Industriels et des services techniques ou administratifs.

La démarche entreprise pour quantifier les flux a consisté à déterminer un débit moyen journalier de rejet pour chaque activité, auquel il a été affecté les concentrations moyennes des indicateurs caractéristiques de l'activité (eaux de refroidissement, de process, de lavage, de station d'épuration, ...).

Les données relatives à ces deux paramètres ont été d'abord relevées sur les arrêtés d'autorisation des prises et rejets d'eau disponibles, pour les plus récentes, au Port Autonome de Nantes-Saint-Nazaire. Les renseignements fournis par les autres services concernés -le service d'assistance technique aux stations d'épuration pour les petits rejets urbains et la Direction Interdépartementale de l'Industrie pour les rejets industriels- ont permis d'apporter des compléments utiles.

Il a ensuite été procédé à une enquête auprès de chaque industrie déversant des effluents en Loire et auprès des Services Techniques des collectivités Nantes et Saint Nazaire équipées des stations d'épuration les plus importantes du bassin versant de l'estuaire.

Enfin des prélèvements et analyses effectués sur les déversements les plus importants se sont avérés indispensables pour vérifier, compléter et mettre en cohérence les données recueillies.

Les flux élémentaires déversés dans l'estuaire ayant ainsi été précisés, il a été possible de déterminer un flux global par polluant considéré qui a été comparé au flux continental transité par la Loire avant son entrée dans la partie fluvio-maritime.

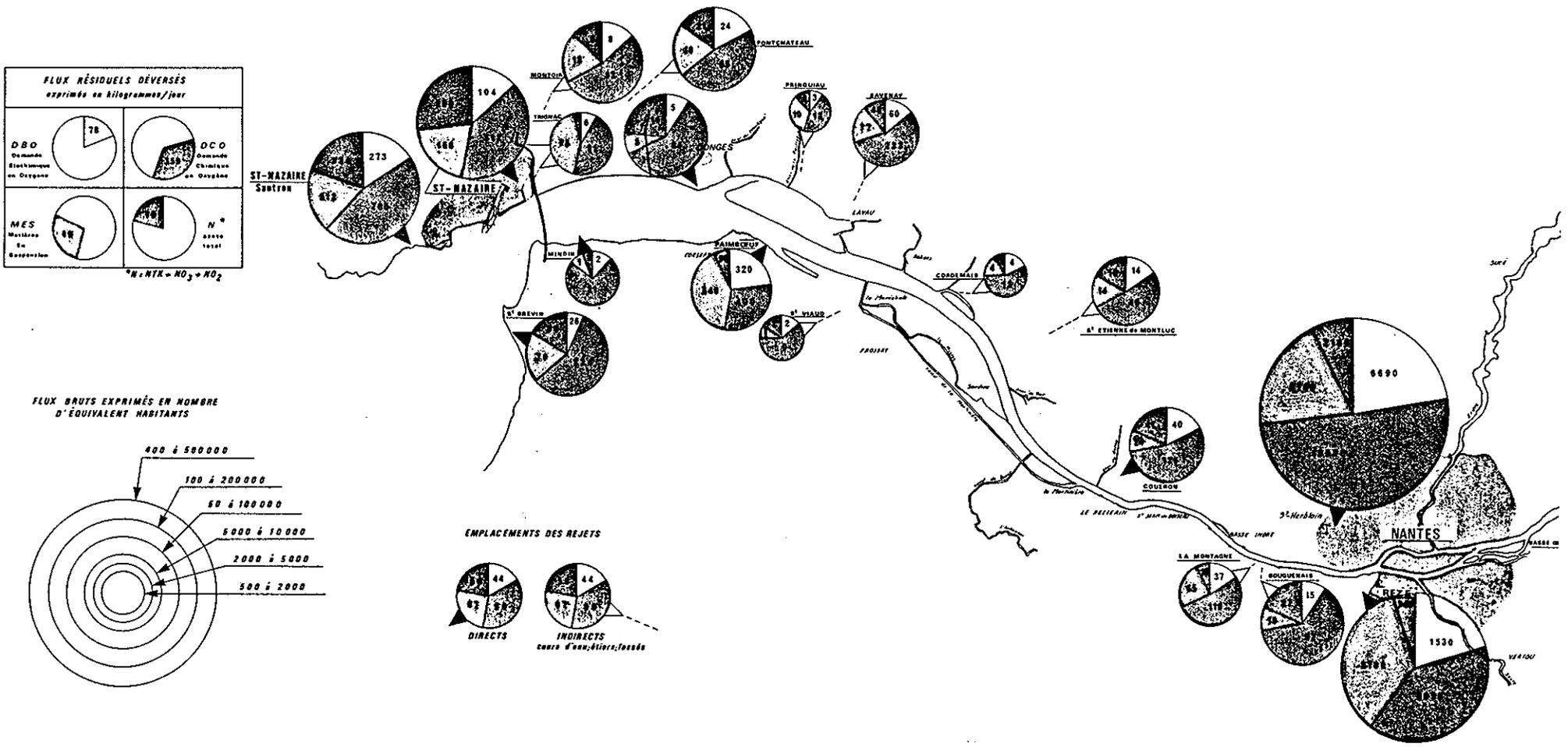


Fig. 1 .- Rejets urbains dans l'estuaire de la Loire.

Ce flux continental a été calculé à la station de Montjean pour trois débits : 100 m³/s, 800 m³/s, 3 000 m³/s, correspondant respectivement à l'étiage, au module et à une crue moyenne.

Les paramètres qualitatifs qui ont servi de base au calcul sont les moyennes mensuelles sur deux ans des résultats d'analyses d'échantillons d'eau prélevés en cinq points de la section transversale de la Loire à Montjean, dans le cadre des études CSEEL, par le Laboratoire départemental d'Hygiène.

1. INVENTAIRE ET CARTOGRAPHIE DES REJETS

En première approche, les rejets urbains ont été distingués des rejets industriels parce qu'ils représentent traditionnellement des pollutions de nature différente.

Les rejets des collectivités sont chargés en matières organiques tandis que l'on attribue les pollutions d'origine chimique aux établissements industriels.

A l'évidence, les choses ne sont pas aussi tranchées. Certains secteurs d'activités industrielles comme celui de l'agro-alimentaire ont des effluents très chargés en matières organiques, alors qu'il n'est pas rare de déceler en quantités dosables des substances chimiques polluantes dans les eaux résiduaires des collectivités.

1.1. Rejets urbains (fig. 1)

En matière d'assainissement collectif, le dimensionnement des ouvrages d'épuration nécessite d'apprécier le flux de pollution brut à traiter à l'entrée dans les stations.

A cette fin, il doit être pris en compte le nombre d'habitants à raccorder à l'ouvrage mais aussi certaines usines et diverses activités produisant des eaux résiduaires. Pour ce faire, il s'est avéré utile d'établir une unité de mesure permettant de convertir le flux d'une usine en un nombre d'habitants théoriques équivalents. La quantité de pollution brute est généralement exprimée en équivalent-habitants ; elle correspond à 90 g/j de M.E.S., 57 g/j de matières oxydables, 15 g/j d'azote, 4 g/j de phosphore.

Ce mode d'évaluation a été adopté pour permettre de hiérarchiser l'importance des sources de pollutions urbaines dans la représentation cartographique. Chaque source est signalée par un disque dont le rayon varie selon le nombre d'équivalent-habitants, l'éventail des flux bruts se situant dans l'intervalle compris entre 500 et 500 000 éq.-ha.

En revanche, les quatre éléments (DBO, DCO, MES, Azote) qui caractérisent les flux résiduels déversés en Loire figurent à l'intérieur des disques. Ils déterminent quatre secteurs circulaires dont les ouvertures sont respectivement proportionnelles au poids de chaque élément dans la charge déversée. Pour chaque élément considéré, la valeur du flux déversé, exprimée en kg/jour, est indiquée par le chiffre inscrit dans les secteurs correspondants. Le bilan des flux résiduels rejetés par les stations d'épuration urbaines figure sur le tableau 1.

	Q m ³ /j	DBO ₅ kg/j	DCO kg/j	MES kg/j	N ₂ kg/j
<u>RIVE DROITE de l'AMONT</u>					
<u>à l'AVAL</u>					
INGRANDES	400	160	200	270	45
VARADES boues activées	270	4	27	36	7,4
ANCENIS boues activées	3690	26	133	44	22
OUDON boues activées	132	4	14,8	9,6	2,3
LE CELLIER	129	0,8	4	1,3	0,7
MAUVES Hôpital Droitière	49	3,7	9,2	3,4	2
MAUVES boues activées	237	83	275	213	14,2
<u>NANTES nord</u>	72000	6690	15000	5760	2160
COUERON CHABOSSIÈRE	504	21,7	52,4	13,1	15,6
COUERON Verrerie	1165	13,9	65,2	9,3	22,7
COUERON	82	4	8,5	2,1	2,9
ST ETIENNE DE MONTLUC école Gaz	220	4,8	12,9	8,7	1,7
ST ETIENNE DE MONTLUC	331	8,9	33	5,3	13,9
CORDEMAIS	127	4	13	3,8	2
SAVENAY	1240	59,5	233	77	48
PRINQUIAU	240	2,9	13,4	9,8	3,5
DONGES I + II	1125	5,1	34,1	4,7	13,8
PONT-CHATEAU boues activées	955	23,8	64,9	29,6	20,6
MONTOIR DE BRETAGNE I lits bactériens	170	5,4	23,1	10,4	6,4
MONTOIR DE BRETAGNE II boues activées	188	2,6	9	1,7	1,1
TRIGNAC	96	5,8	30,7	28	2,5
SAINT NAZAIRE - GRON abattoirs Méan	5200	104	312	156	208
SAINT NAZAIRE - SAUTRON	7800	273	780	312	330

	Q m ³ /j	DBO ₅ kg/j	DCO kg/j	MES kg/j	N ₂ kg/j
<u>RIVE GAUCHE DE l'AMONT</u>					
<u>à l'AVAL</u>					
SAINT FLORENT LE VIEIL	400	160	200	270	45
HAUTE GOULAINÉ boues activées	263	1,8	10,5	3,1	2,4
BASSE GOULAINÉ bourg	555	155	299	24	20,8
<u>NANTES sud</u> Petite Californie	18000	1530	3096	2700	340
BOUGUENAIÉ ancienne lits bactériens	400	6	44,5	7,5	12
BOUGUENAIÉ nouvelle boues activées	770	8,5	52,4	7,7	15,4
LA MONTAGNE lits bactériens	630	36,9	119	55,3	16,2
PAIMBOEUF	1000	320	400	540	90
ST VIAUD	38	2,1	9,1	1,3	2,4
ST BREVIN Rochelets boues activées	2000	22	211	72	63
ST BREVIN Hôpital	124	3,7	13,4	4,5	2,8
ST BREVIN Mindin boues activées	139	1,7	10,6	1,4	0,9
	120669	9758,6	21813,7	10695,6	3557,2

Tabl. 1.- Flux résiduels rejetés par les stations d'épuration urbaines dans l'estuaire de la Loire.

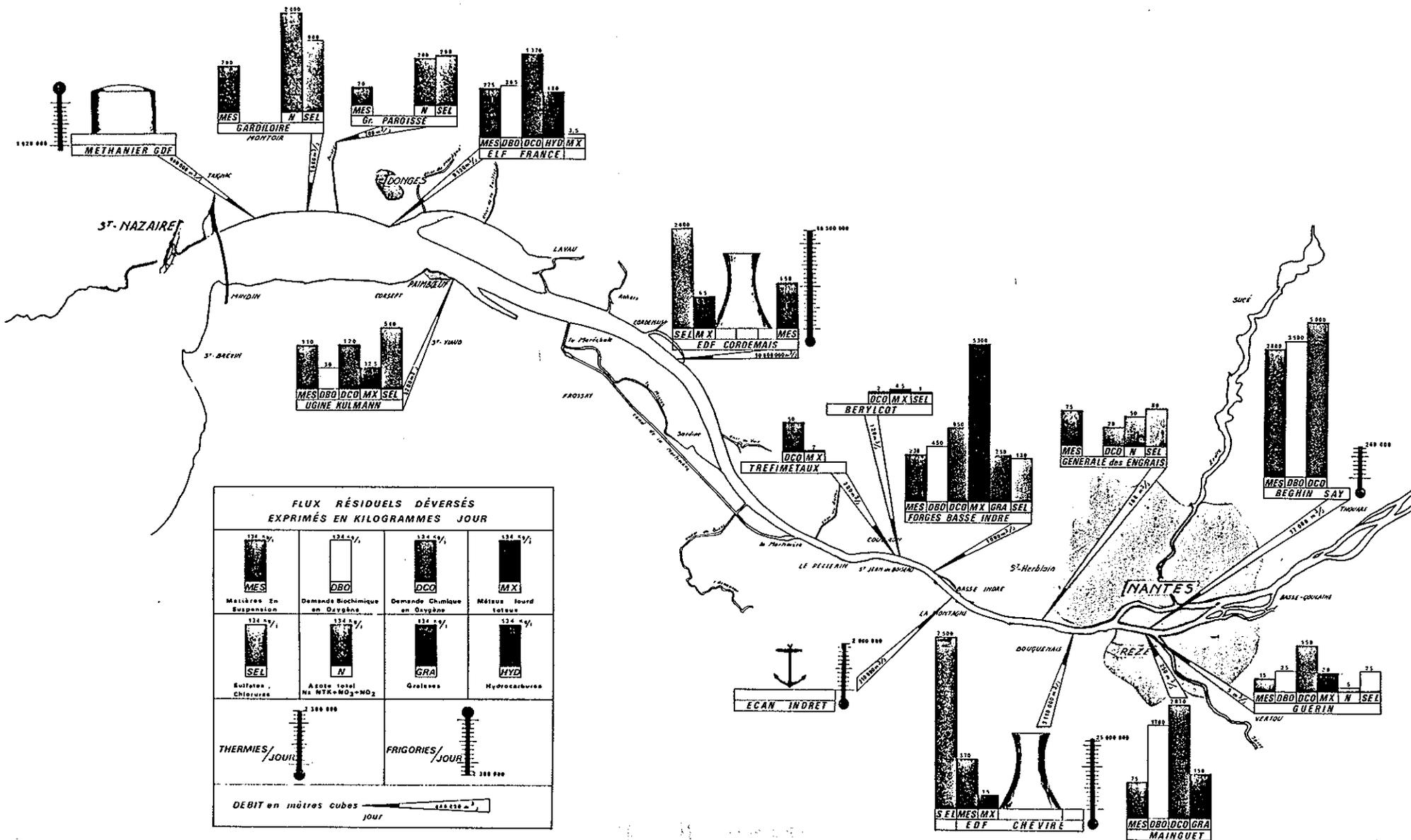


Fig. 2 .- Rejets industriels dans l'estuaire de la Loire.

Dénomination des INDUSTRIES	T°	Q. m ³ /j	DBO ₅ kg/j	DCO kg/j	MES kg/j	Métaux kg/j	Sels kg/j	Azote kg/j	Graisses	Hydrocarb.
<i>1-INDUSTRIES CHIMIQUES</i>										
Pechiney-Ugine Kuhlmann	26°	5 200	30	120	110	Pb 24 } Al 8,5 } 32,5	540 cl			
Générale des Engrais	30°	168		20	75		80	50		
Gardiloire	30°	1 680			200		900	2 000		
Guerin	35°	5	25	150	15	Cr 20	25	5		
Grande paroisse	30°	700			20		290	200		
<i>2-PRODUCTION D'ENERGIE</i>										
Centrale de Cheviré	32°	3 110 000			370	Fe 9,5 } N. 0,5 } 15 Zn 5 }	7 500 (5 075 sulf.)			
Centrale de Cordemais	32°	10 800 000			150	Fe 37 } Zn 28 } 65	2 000 (1 800 sulf.)			
Méthanier (abaisse la T°)	-2°	960 000								
Raffinerie de Donges	30°	9 120	365	1 370	275	Pb 2,5 } Cr 1 } 3,5				180
<i>3- METALLURGIE</i>										
Forges de Basse-Indre	30°	1 000	450	950	230	Fe 5 240 Sn 60	130		250	
ECAN Indret	40°	360 000								
Berylcot Cabot	30°	120		2		Cu 4,5	1			
Tréfinmétaux		200		50		Cu 1,8 à 2				
<i>4-INDUSTRIES AGRO-ALIMENTAIRES</i>										
Beghin Say	35°	17 000	3 500	5 000	2 800					
Laiterie de St Florent	35°	1 200	1 800	4 400	780				500	
Maignuet S.A.	35°	250	1 700	2 870	75				150	

Tabl. 2 - Flux résiduels rejetés dans l'estuaire par les industriels.

L'essentiel des apports se trouve situé au niveau des grandes agglomérations. En amont de l'estuaire on note l'importance du rejet de la station d'épuration de Nantes-nord (72 000 m³/j et 500 000 éq.-ha.) et de la station de la Petite-Californie de Nantes-sud (18 000 m³/j et 200 000 éq.-ha.). En aval de l'estuaire, au niveau de Saint Nazaire (160 000 éq.-ha.) on trouve les rejets de Saint-Nazaire-Sautron (7 800 m³/j) et Saint-Nazaire-Gron (5 200 m³/j). L'amont de Nantes et l'estuaire central ne représentent quant à eux que 50 000 éq.-ha. et 100 000 éq.-ha.

1.2. Rejets industriels (fig. 2)

La palette des éléments présentés dans les rejets industriels est plus large. Les indicateurs retenus sont au nombre de huit dont les valeurs peuvent varier de 1 kg/jour à 7 500 kg/jour (MES, DCO, DBO₅, Azote, Sels, Métaux, Hydrocarbures, Graisses).

Ils sont représentés par des bâtons dont la hauteur est fonction du flux rejeté. Sur chaque bâton sont portées les valeurs des différents flux exprimés en kg par jour et à l'intérieur de la flèche de localisation de la source figure le volume d'eau rejeté exprimé en m³ par jour.

La présence du thermomètre à proximité d'un établissement indique qu'il s'agit d'un flux thermique dont la température est en moyenne supérieure à 30°C pour les rejets chauds.

Les flux résiduels industriels dans l'estuaire sont regroupés dans le tableau 2.

2. ANALYSE COMPARATIVE DES FLUX POLLUANTS

La classification synthétique des flux urbains et industriels établie en fonction des données disponibles est présentée sur le tableau 3. Les flux transités par la Loire à Montjean pour les trois débits sont résumés sur le tableau 4.

Afin de comparer les différents apports entre eux, il a été choisi d'analyser les éléments communs suivants : MES, DBO₅, DCO, Azote, Phosphates, Métaux, Température.

2.1. Les matières en suspension (M.E.S.)

La masse de M.E.S. déversée quotidiennement dans l'estuaire est de 50 t/j dont 15 t pour les rejets urbains et industriels et 35 t pour les rejets de deux types d'activité qu'il convient de dissocier et qui sont :

- d'une part des déversements des boues issues des stations de traitement d'eau de Loire pour la production d'eau potable ou d'eau industrielle, ces boues se composent pour la majeure partie de matières minérales associées au sulfate d'alumine en général ;

BILAN DES FLUX URBAINSDébit : 120 669 m³/j

DB05	9 758,6 kg/j	Azote	3 557,2 kg/j
DCO	21 813,7	Phosphates	1 155
MES	10 695,6	Sels	10 000

BILAN DES FLUX INDUSTRIELSDébit : 236 000 m³/jRejets "thermiques" 15 230 000 m³/j ($15,2 \cdot 10^6$ m³/j)

DB05	7 870 kg/j	Cr	21 kg/j
DCO	14 932	Al	8,5
MES	5 100	Zn	33
Azote	2 255	Graisses	900
Fe	5 286	Sulfates	10 926
Pb	26,5	Chlorures	540
Cu	6,3	Phosphates	820

BILAN DES FLUX INDUSTRIELS ET URBAINSDébit : $356\,700\text{ m}^3/\text{j} + 15,2 \cdot 10^6 = 15,6 \cdot 10^6\text{ m}^3/\text{j}$ soit 180 m³/s

DB05	17 650 kg/j	Métaux	5 400 kg/j
DCO	36 750	Graisses	900
MES	15 800	Sels	21 500
Azote	5 800	Phosphates	2 000

Tabl. 3.- Tableau récapitulatif des flux urbains et industriels (en kg/jour) déversés dans l'estuaire de la Loire.

- d'autre part, des activités sablières en plein développement sur les rives de l'estuaire et produisant des eaux résiduaires, tant au cours des opérations de déchargement par refoulement qu'au niveau des trémies de lavage.

Les apports annuels de M.E.S. par la Loire fluviale sont de l'ordre de 1 à 2 millions de tonnes, l'essentiel de ces apports (60 à 70 %) se faisant lors des périodes de crue. Ces matériaux d'origine continentale qui ont transité tout au long de la Loire fluviale s'accumulent au sein de l'estuaire sous la forme d'un "bouchon vaseux" et de "crème de vase". Ces accumulations turbides, constamment recyclées dans l'estuaire par le jeu des marées, représentent une masse de matériaux de l'ordre de 600 000 à 1 million de tonnes.

Pour apprécier l'importance relative de ces apports en M.E.S. il faut noter qu'ils ne représentent que 10 % environ du flux journalier de la Loire en période d'étiage (430 t/j). Exprimés en flux annuels, ces mêmes déversements ne représentent que 5 % du stock sédimentaire de l'estuaire.

2.2. La demande biologique en oxygène (DBO₅)

La DBO₅ représente la consommation d'oxygène par les micro-organismes au bout de 5 jours.

Le bilan global des flux journaliers de DBO₅ déversés en Loire est de 18 tonnes dans lequel la fraction représentée par les effluents urbains est de 10 t, soit plus de 50 %. Dans cette charge, le poids de la station d'épuration de Nantes-nord est de 6,7 t en situation actuelle et de 1,5 t pour la station de Nantes-sud.

La charge en DBO₅ rejetée par les industriels est de l'ordre de 8 t/j, l'industrie agro-alimentaire intervenant pour près de 90 % dans la partie amont de l'estuaire (laiterie Saint Florent, Beghin-Say, Mainguet).

En se référant à Montjean, il ressort que le flux total en DBO₅ rejeté dans l'estuaire représente 35 % des apports amont de la Loire en étiage, 10 % du module, et tombe à moins de 2 % en période de crue.

Il apparaît donc que le flux de DBO₅ rejeté dans l'estuaire, abstraction faite des apports "naturels" du bassin versant (Acheneau, Sèvre, Erdre, Brivet, étiers) prend une importance significative en période d'étiage, en particulier au niveau de Nantes et en amont (85 % des rejets).

2.3. La demande chimique en oxygène (DCO)

La DCO représente la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder l'ensemble de la matière organique biodégradable ou non.

La charge totale en DCO rejetée dans l'estuaire est de 37 t/j environ, dont 22 t pour les rejets urbains et 15 t pour les rejets industriels ; à noter que la ville de Nantes, avec un flux résiduel de 15 t, intervient pour 40 % dans la charge totale déversée dans l'estuaire.

PARAMETRES	Débit = 100 m ³ /s Qj = 8,6.10 ⁶ m ³ /j		Débit = 800 m ³ /s Qj = 70.10 ⁶ m ³ /j		Débit = 3000 m ³ /s Qj = 260.10 ⁶ m ³ /j	
	Concentration	Flux	Concentration	Flux	concentration	Flux
M.E.S.	50 g/m ³	430 t/j	50 g/m ³	3500 t/j	55 g/m ³	15000 t/j
D.C.O.	35 g/m ³	300 t/j	25 g/m ³	1750 t/j	30 g/m ³	7800 t/j
D.B.O. ₅	6 "	52 "	3 "	210 "	4,5 "	1170 "
NH ₄	0,05 "	0,430 "	0,10 "	7 "	0,6 "	156 "
NO ₂	0,04 "	0,350 "	0,07 "	5 "	0,15 "	39 "
NO ₃	3,5 "	30 "	9 "	630 "	12 "	3120 "
Cl ⁻	23 "	200 "	20 "	1400 "	20 "	5200 "
SO ₄ ⁻⁻	20 "	170 "	20 "	1400 "	20 "	5200 "
PO ₄ ³⁻	0,05 "	0,430 "	0,5 "	35 "	0,4 "	104 "
Cu	4 mg/m ³	34,4 kg/j	4 mg/m ³	280 kg/j	4 mg/m ³	1 t/j
Fe	115 "	990 "	115 "	8 t/j	115 "	30 "
Pb	1,47 "	12,6 "	1,47 "	103 kg/j	1,47 "	380 kg/j
Cr	3 "	26 "	3 "	210 "	3 "	780 "
Zn	149,6 "	1290 "	149,6 "	10,5 t/j	149,6 "	40 t/j

Tabl. 4.- Apports journaliers de la Loire à Montjean
dans trois conditions de débit (Q).

Les rejets dans l'estuaire ont cependant une charge faible en DCO, tant en valeur absolue qu'en valeur relative, puisqu'ils ne représentent que 12 % du flux de la Loire en période d'étiage et 2 % en débit moyen.

Le calcul des rapports entre la DCO et la DBO constitue une indication de l'importance des matières polluantes peu ou pas biodégradables.

Dans l'estuaire, l'ensemble des rejets a un rapport DCO/DBO de 2,1 ce qui témoigne, d'un point de vue global, d'une pollution à dominante organique. Par contre à Montjean on trouve dans la Loire un rapport moyen DCO/DBO de 7, signe de la présence de matières polluantes plus difficilement biodégradables.

2.4. Azote

Dans la présente étude, on trouve désigné par azote total la somme de l'azote organique et ammoniacal (azote Kjeldahl NTK) avec les formes oxydées soit :

$$N = NTK + NO_3 + NO_2$$

La somme totale des flux journaliers d'azote organique déversés dans l'estuaire est de 5,8 t, soit environ 20 % du flux amont en étiage et 1 % en débit moyen.

Cette comparaison permet de fixer les idées en valeur relative, mais il convient cependant de noter que les rejets azotés sont concentrés en deux points de l'estuaire :

- au niveau de Nantes, les stations de Tougas et Petite-Californie totalisent un flux journalier de 2,5 t, soit 43 % de l'ensemble des déversements, Tougas représentant à elle seule plus de 35 % ;
- au niveau de Saint-Nazaire, les usines d'engrais (Gardiloire, Grande Paroisse) et les stations d'épuration de Saint-Nazaire-Gron et Saint-Nazaire-Sautron déversent un flux journalier de 2,7 t dans lequel l'usine de Gardiloire participe pour 75 %.

Ces deux "foyers" de rejet se partagent 85 % du flux global azoté déversé quotidiennement dans l'estuaire.

2.5. Phosphates

La charge totale déversée dans l'estuaire peut être évaluée à 2 t/j. Les rejets urbains représentent 1,2 t/j dont la moitié pour la station d'épuration de Nantes-Tougas. Les rejets industriels représentent 0,8 t/j dont 0,4 t/j pour la Générale des Engrais de Basse-Indre et 0,4 t/j pour les industries d'engrais de l'aval. Il convient de noter que 60 % des apports se font à l'amont de l'estuaire.

En période d'étiage la charge totale rejetée paraît importante puisqu'elle représente plus de 4 fois le flux amont de la Loire. En période de débit moyen en revanche, le flux amont est de 35 t, les rejets n'en représentant que 6 % environ.

2.6. Les métaux

Dans ce rapport, il n'est question que des rejets de métaux dosés dans la phase soluble des effluents industriels, alors que la phase particulaire joue un rôle majeur comme agent vecteur des métaux. C'est pourquoi les deux remarques préliminaires suivantes s'imposent.

. D'une part on peut supposer que les flux mesurés sont inférieurs à la réalité puisque les contrôles systématiques effectués sur les rejets industriels ne portent que sur l'eau. En outre, les rejets urbains ne font généralement pas l'objet de dosages des éléments métalliques sauf à l'occasion d'études spécifiques menées sur les agents inhibiteurs des filières biologiques de traitement.

. D'autre part, on constate l'intérêt qui s'attache à contrôler des déversements potentiellement nocifs pour l'environnement estuarien, en raison de la fonction d'accumulation et rétention assurée par le bouchon vaseux et la crème de vase, et les phénomènes de sorption qui y sont associés.

Les principaux éléments métalliques rejetés dans l'estuaire sont:

- le fer : 5,2 t/j essentiellement par les Forges de Basse-Indre ; à noter qu'en 1983 ces apports ont fortement diminué par suite des travaux d'amélioration entrepris;
- l'aluminium : 8,5 kg/j, au niveau de Paimboeuf à Ugine-Kuhlman, il faudrait cependant prendre en compte les rejets de boues des stations d'épuration (alumine);
- le zinc : 30 kg/j, au niveau des parcs à cendres et à charbons (Cheviré, Cordemaïs, Montoir);
- l'étain : 60 kg/j, aux forges de Basse-Indre (étamage);
- le cuivre : 6,5 kg/j, provenant des établissements Tréfinmétaux et Berylcot à Couéron ; à titre indicatif ces apports représentent 20 % des apports de la Loire en période d'étiage;
- le chrome : les deux sources principales proviennent de la tannerie Guérin (20 kg/j) à Nantes et de la raffinerie de Donges (1 kg/j) ; comparés au flux amont estimé à 210 kg/j pour un débit de Loire de 800 m³/s, ces rejets représentent 10 % ; il convient de signaler que les établissements Guérin ont cessé leur activité en 1983;
- le plomb : le flux total de plomb rejeté dans l'estuaire est de 26,5 kg/j soit le double des apports de Loire en période d'étiage (12,6 kg/j) et 25 % par débit moyen (103 kg/j) ; la principale source de rejet de cet élément se situe au niveau de Paimboeuf et provient des établissements Octel-Kuhlman qui déversent en Loire, après traitement, 24 kg par jour de plomb total.

2.7. La température

Dans nos régions, en hiver, l'eau continentale est plus froide que l'eau marine, mais plus chaude en été. Le maximum de température est atteint au mois d'août (28°C) et le minimum en janvier (0,5°C).

La zone de transition que constitue l'estuaire connaît d'importantes variations saisonnières. Le profil longitudinal montre une décroissance de la température d'amont en aval en été et une croissance en hiver. C'est lorsque la température augmente ou diminue fortement au printemps et à l'automne que l'écart thermique entre les points de l'estuaire est le plus grand, jusqu'à 6°C.

L'influence de la marée est nette en toute saison et l'écart thermique de la tranche d'eau superficielle sur une marée peut atteindre 0,1 à 4° avec une moyenne de l'ordre de 2°C.

La variation de température dans l'estuaire est en outre liée aux rejets thermiques qui s'échelonnent dans cet estuaire. Diverses industries utilisent l'eau de l'estuaire comme réfrigérant et déversent ainsi des flux thermiques plus ou moins considérables. Il est retenu cinq grandes sources thermiques totalisant un débit de $15 \cdot 10^6$ m³/jour, soit 96 % du volume total des rejets dans l'estuaire. A titre de comparaison cela équivaut à 170 m³/s, soit deux fois le débit d'étiage de la Loire en 1976 à Montjean.

D'une part il s'agit des rejets d'eaux chaudes qui déversent dans l'estuaire une quantité de chaleur de l'ordre de $115 \cdot 10^6$ thermies par jour :

- la centrale thermique de Cheviré avec des rejets maximaux de 3 millions de m³/j, un Δt de +7°C au rejet et un panache thermique de +1°C sur 15km environ ;
- la centrale thermique de Cordemais (tranches 1 à 5) avec des rejets maximaux de 10 millions de m³/j, un Δt de +8°C au rejet et un panache thermique de +1°C collé en rive nord sur 31 km (Donges) ;
- l'Ecan d'Indret qui rejette 360 000 m³/j d'eaux chaudes (refroidissement des essais moteur, générateur de vapeur, ...) avec un Δt voisin de +20°C.

D'autre part, il s'agit du terminal méthanier qui constitue au niveau de Montoir une source froide de $2 \cdot 10^6$ frigories/jour environ avec un rejet maximal de 1 million de m³/jour, un Δt de -2°C et un panache thermique de -1°C sur 150 m.

II. LA QUALITE DES EAUX DANS L'ESTUAIRE DE LA LOIRE

Les paramètres pris en compte dans l'étude du C.S.E.E.L. sur la qualité des eaux sont les sels nutritifs (silicates, phosphates, azote), les teneurs en oxygène dissous et la demande biologique en oxygène (DBO₅), les concentrations en chlorophylle et en phéopigments ; enfin il est fourni quelques valeurs de concentrations en métaux dans l'estuaire de la Loire.

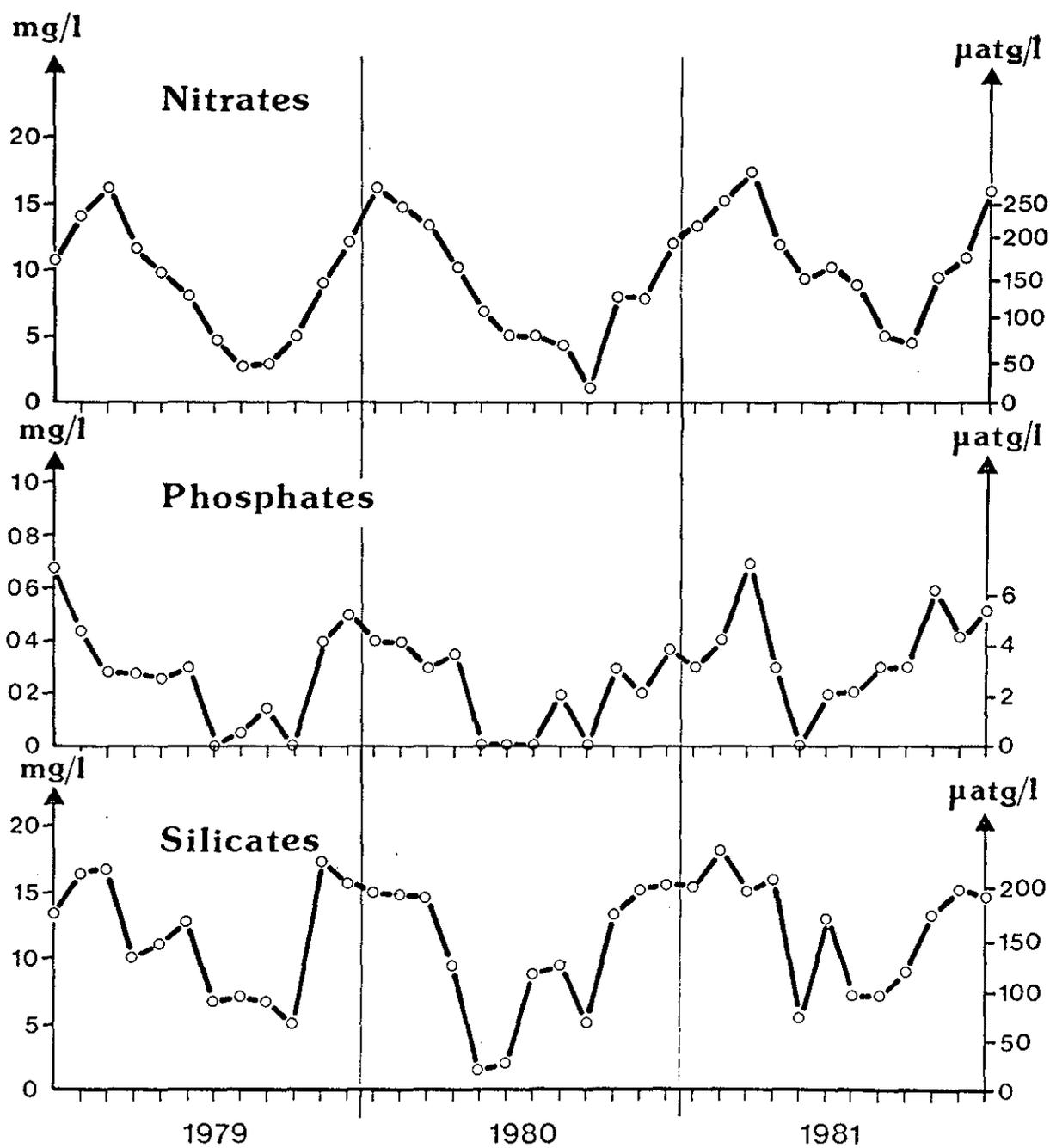


Fig. 3 .- Concentrations en nitrates, phosphates et silicates dans la Loire à Sainte-Luce de 1979 à 1981 (Agence de Bassin Loire-Bretagne).

1. LES SELS NUTRITIFS (fig. 3 à 9)

Les concentrations en sels nutritifs dans l'estuaire de la Loire sont régies par deux phénomènes essentiels qui sont les teneurs dans les eaux douces ligériennes à l'entrée de l'estuaire et, d'une part les apports de l'agglomération nantaise, d'autre part la dilution de ces eaux douces dans les eaux marines au sein de l'estuaire.

Les concentrations en sels nutritifs dans les eaux de la Loire à l'amont de Nantes varient en fonction des saisons ; elles sont en général maximales en hiver à cause des apports par lessivage du bassin versant et elles chutent en période estivale du fait de la diminution du lessivage et de la consommation par les végétaux planctoniques. Les variations des concentrations à Sainte-Luce (données de l'Agence de Bassin Loire-Bretagne: ABLB) en nitrates, phosphates et silicates illustrent bien ce phénomène. Les concentrations moyennes annuelles pour les différents sels nutritifs à Sainte-Luce se révèlent inférieures à celles mesurées en Seine ; seuls les silicates font exception du fait de la nature géologique du bassin versant de la Loire (tabl. 5, fig. 3).

mg/l	Loire Sainte Luce	Seine Courval
NO	8,8	18,3
NH	0,3	1,3
PO	0,3	3,1
SiO	13,6	9,5

Tabl. 5.- Concentrations moyennes en sels nutritifs dans la Loire et la Seine (1976-1981).

Les apports en sels nutritifs par la Loire exprimés en tonnes/jour varient de façon croissante avec les débits du fleuve ; à débit égal, les apports ligériens d'azote et de phosphates sont inférieurs à ceux de la Seine. Ils s'élèvent en moyenne par an à 60 000 t d'azote, 100 000 t de silice et 2 400 t de phosphore (fig. 4 et 5).

Ces apports peuvent être comparés à ceux d'autres grands fleuves français ou étrangers (tabl. 6).

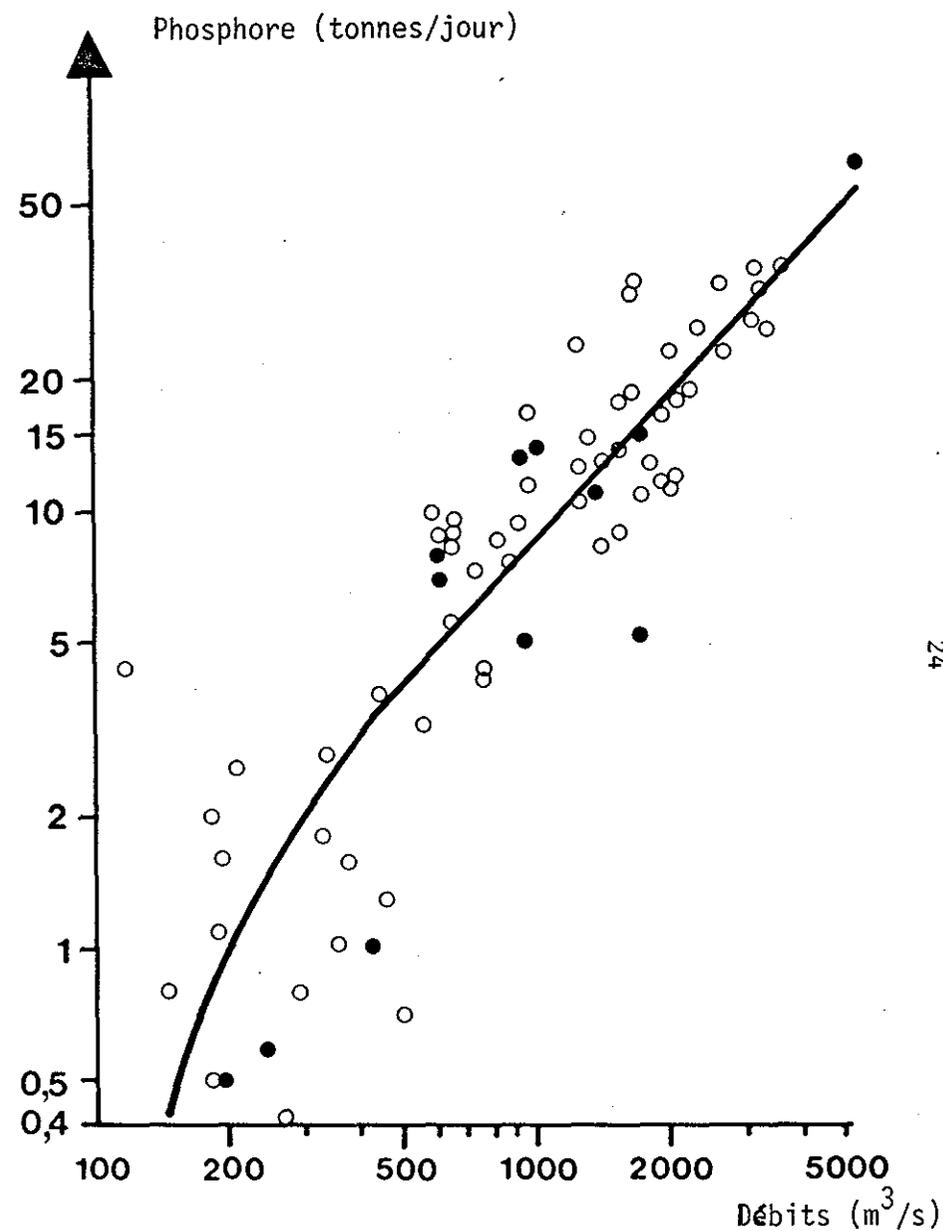
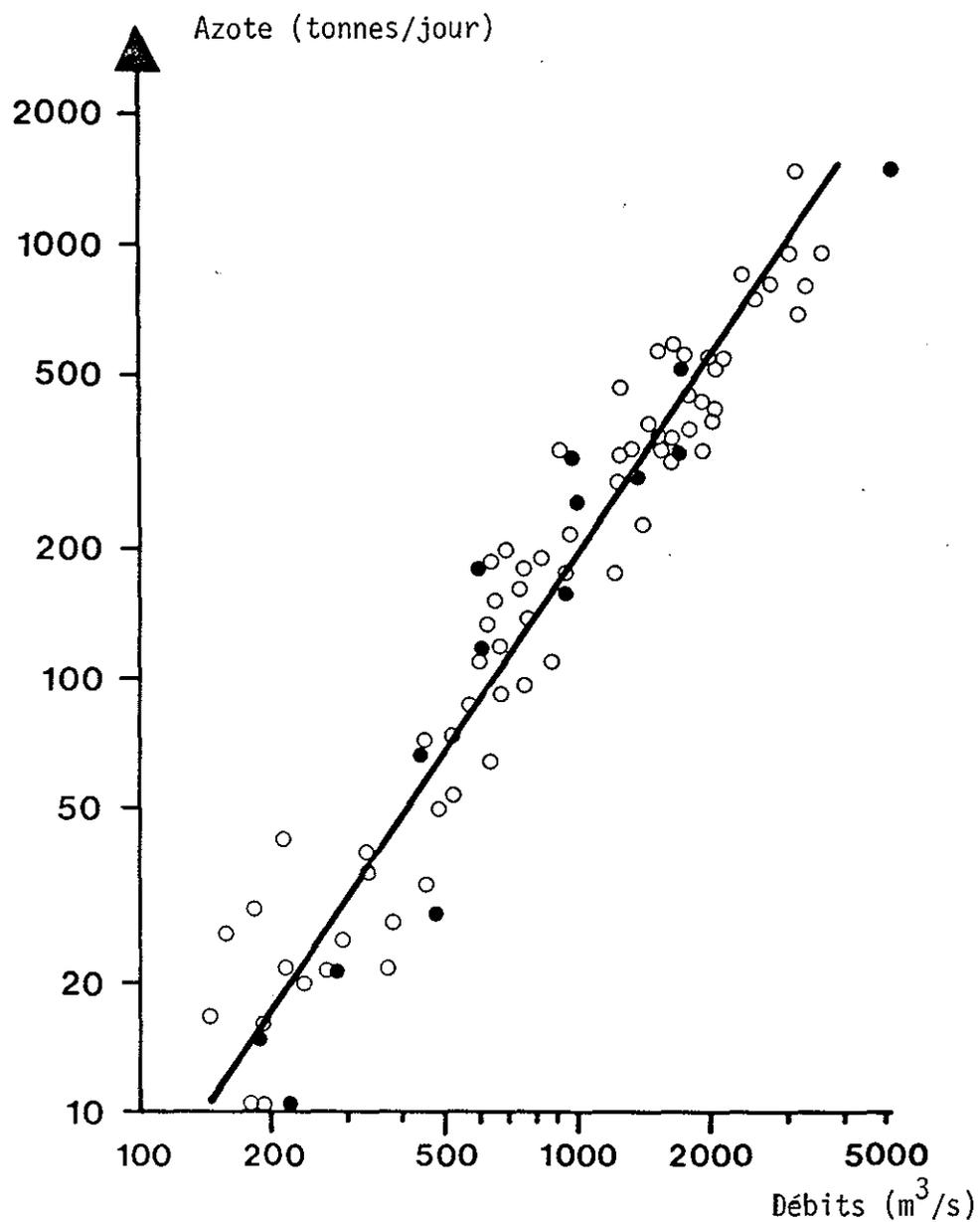


Fig. 4 et 5 .- Apports par la Loire en azote total minéral dissous et en phosphore (P-PO₄) (1979-1981) à Ste-Luce (cercles évidés, Agence de Bassin Loire-Bretagne)⁴ et à Montjean (cercles pleins, thèse de Manickam).

Fleuves	Azote t/an	Phosphore t/an	Silice t/an	Sources
Loire	60 000	2 400	100 000	présente étude
Gironde	29 700	2 030	-	Philipps - 1980
Seine	66 000	10 300	-	Guillaud - 1983
Rhin	263 000	13 500	37 600	R.N.O. - 1978
Escaut	18 500	1 400	-	Wollast - 1976
Potomac	16 500	4 850	-	Jaworsky - 1972
Hudson	58 400	4 740	-	Malone - 1980
Hudson + New York	123 500	22 500	-	Mueller - 1976

Tabl. 6.- Apports en sels nutritifs (t/an).

Au vu de ce tableau, on constate que les apports de la Loire dans l'estuaire restent relativement modérés notamment en phosphore.

Dans l'estuaire de la Loire, les sels nutritifs, essentiellement apportés par les eaux douces, sont dilués au cours du mélange avec l'eau marine beaucoup moins riche en nutriments. Cette dilution explique les gradients décroissants de l'amont vers l'aval que l'on peut par exemple observer pour les silicates en novembre 1981. On note aussi un déplacement vers l'aval des courbes d'isoteneurs lorsque l'on passe de la pleine mer à la basse mer ; enfin, les concentrations sont plus élevées en surface qu'au fond car la proportion d'eau douce y est plus grande (stratification des eaux) (fig. 6).

Afin de mieux cerner les mécanismes de mélange dans l'estuaire, il est utile d'examiner comment varient les concentrations en sels nutritifs en fonction de la salinité ; s'il y a une simple dilution dans l'eau de mer plus pauvre en sels nutritifs, les points du graphique salinité-sels nutritifs vont s'aligner sur une droite : on dit alors que le mélange est de type conservatif ; dans le cas contraire on peut mettre en évidence des phénomènes de production (points au-dessus de la droite de dilution théorique) ou de disparition (points au-dessous de la droite de dilution théorique) des sels nutritifs dans l'estuaire.

1.1. Les silicates (fig. 7)

L'examen des concentrations en silicates dans l'estuaire en fonction des salinités montre qu'en période hivernale (novembre 1981) les concentrations dans l'eau douce sont très élevées et que les phénomènes de simple mélange régissent les concentrations dans l'estuaire ; les points sont en effet assez proches de la droite de dilution théorique ;

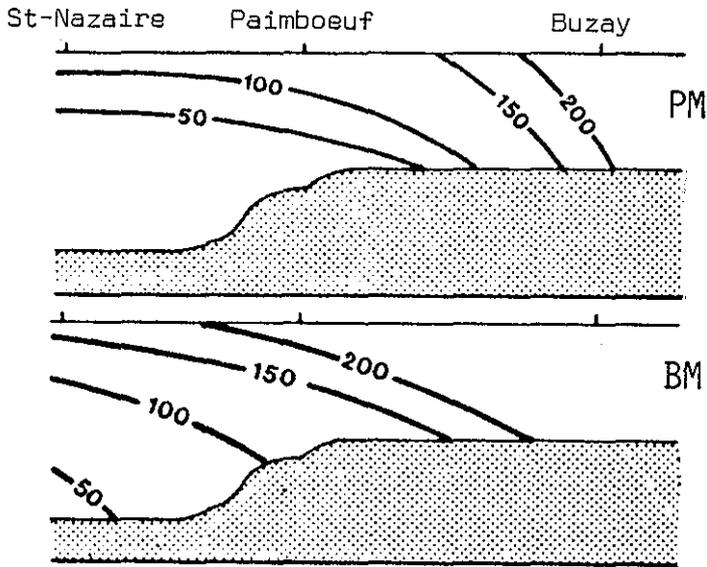


Fig. 6 .- Concentrations en silicates dans l'estuaire de la Loire à pleine mer et basse mer (19 nov.1981) (Si en $\mu\text{atg/l}$).

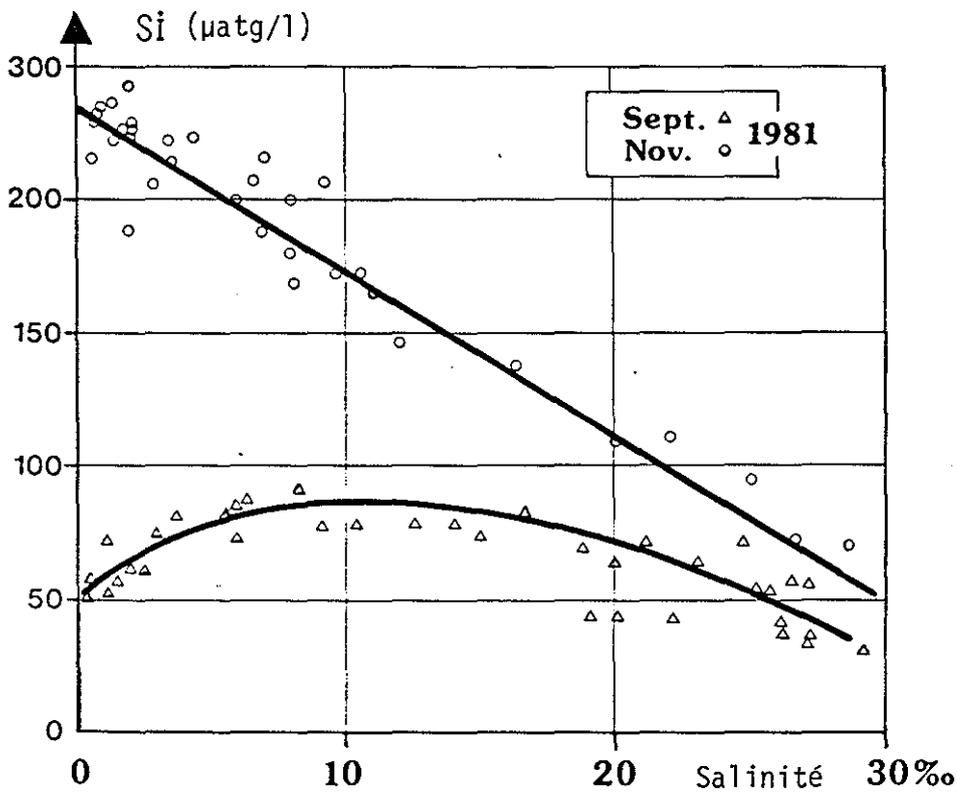


Fig. 7 .- Concentrations en silicates dans l'estuaire de la Loire.

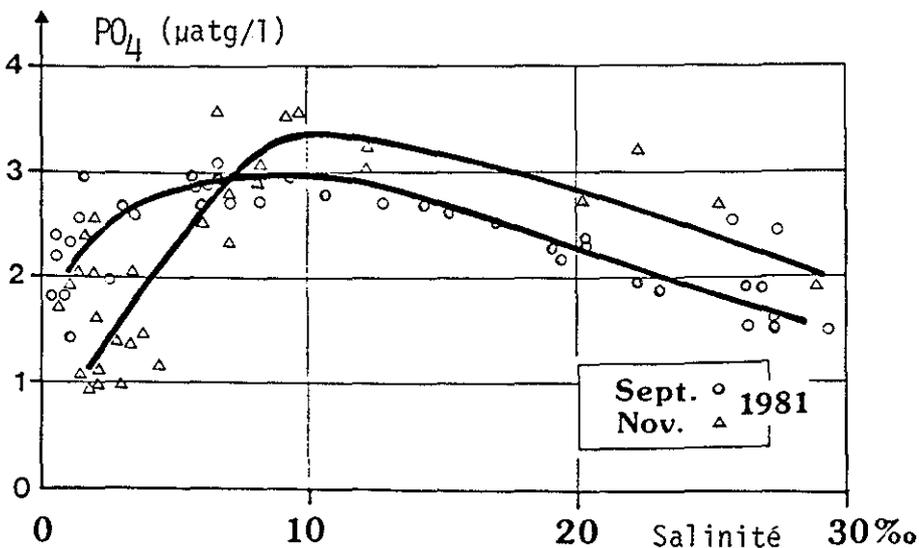


Fig. 8 .- Concentrations en phosphates dans l'estuaire de la Loire.

par contre, en période estivale (septembre 1981), les concentrations dans l'eau douce sont 5 fois plus faibles et il apparaît une production de silicates dans l'estuaire qui trouve très probablement son origine dans des processus de reminéralisation au niveau des sédiments mis en suspension au sein du bouchon vaseux ; HELDER *et al.* (1983) ont mis en évidence un phénomène similaire de production estivale de silicates dans l'estuaire de l'Ems-Dollard (Pays Bas). Par ailleurs, il faut rappeler que les vasières latérales de l'estuaire se sont aussi révélées comme un lieu de production de silice (BOUTELIER, 1979).

Les silicates ne semblent donc pas pouvoir être un élément susceptible de limiter la production du phytoplancton et notamment des diatomées, dans l'estuaire de la Loire.

1.2. Les phosphates (fig. 8)

Les concentrations en phosphates subissent une augmentation à la hauteur de l'agglomération nantaise, notamment en période estivale ; elles croissent ainsi en été de 0,3 à 0,5 $\mu\text{atg/l}$ à l'amont à 1 ou 2 $\mu\text{atg/l}$ à l'aval de Nantes ; ensuite, dans l'estuaire, lors du mélange eau douce-eau marine, on observe une nouvelle production de phosphates due vraisemblablement à une désorption à partir des matières en suspension du bouchon vaseux ; les concentrations atteignent alors des valeurs de 3 à 4 $\mu\text{atg/l}$.

Enfin l'on observe lors de certaines campagnes (février 1982) des valeurs élevées de phosphates (10 $\mu\text{atg/l}$) dans la partie aval de l'estuaire qui pourraient provenir soit des rejets nazairiens, soit des usines de fabrication d'engrais.

1.3. L'azote (fig. 9)

En période hivernale, les concentrations en nitrates dans les eaux de la Loire qui arrivent dans l'estuaire sont élevées (de l'ordre de 250 $\mu\text{atg/l}$) et l'on assiste à une simple dilution des nitrates dans l'estuaire ; par contre on observe une production d'ammoniaque et dans une moindre mesure de nitrites, dans la partie médiane de l'estuaire ; cette production est vraisemblablement due à l'oxydation ou minéralisation des matières organiques présentes dans l'estuaire.

En période estivale et lorsque les concentrations en oxygène dissous deviennent très faibles, comme ce fut le cas en septembre 1981, on peut observer une chute rapide des nitrates au sein de l'estuaire qui correspond très probablement à un phénomène de dénitrification, c'est-à-dire de réduction des nitrates en nitrites ; ces derniers voient alors leurs concentrations augmenter dans l'estuaire ; les nitrites seront à leur tour réduits en azote gazeux et éventuellement en ammoniaque dans les sédiments ; ces phénomènes sont le signe d'une désoxygénation importante (fig. 10).

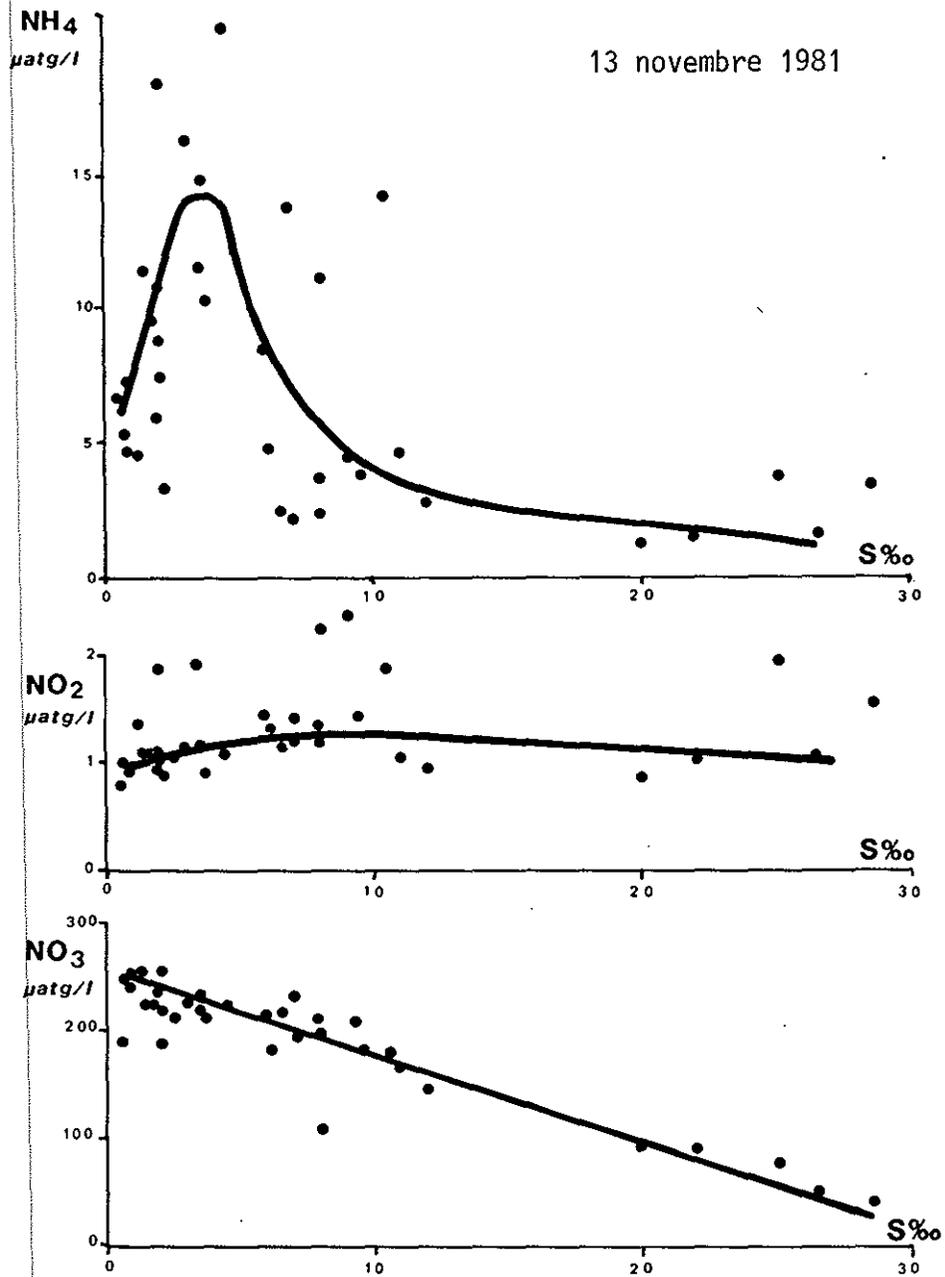


Fig. 9 .- Concentrations en azote dans l'estuaire en novembre.

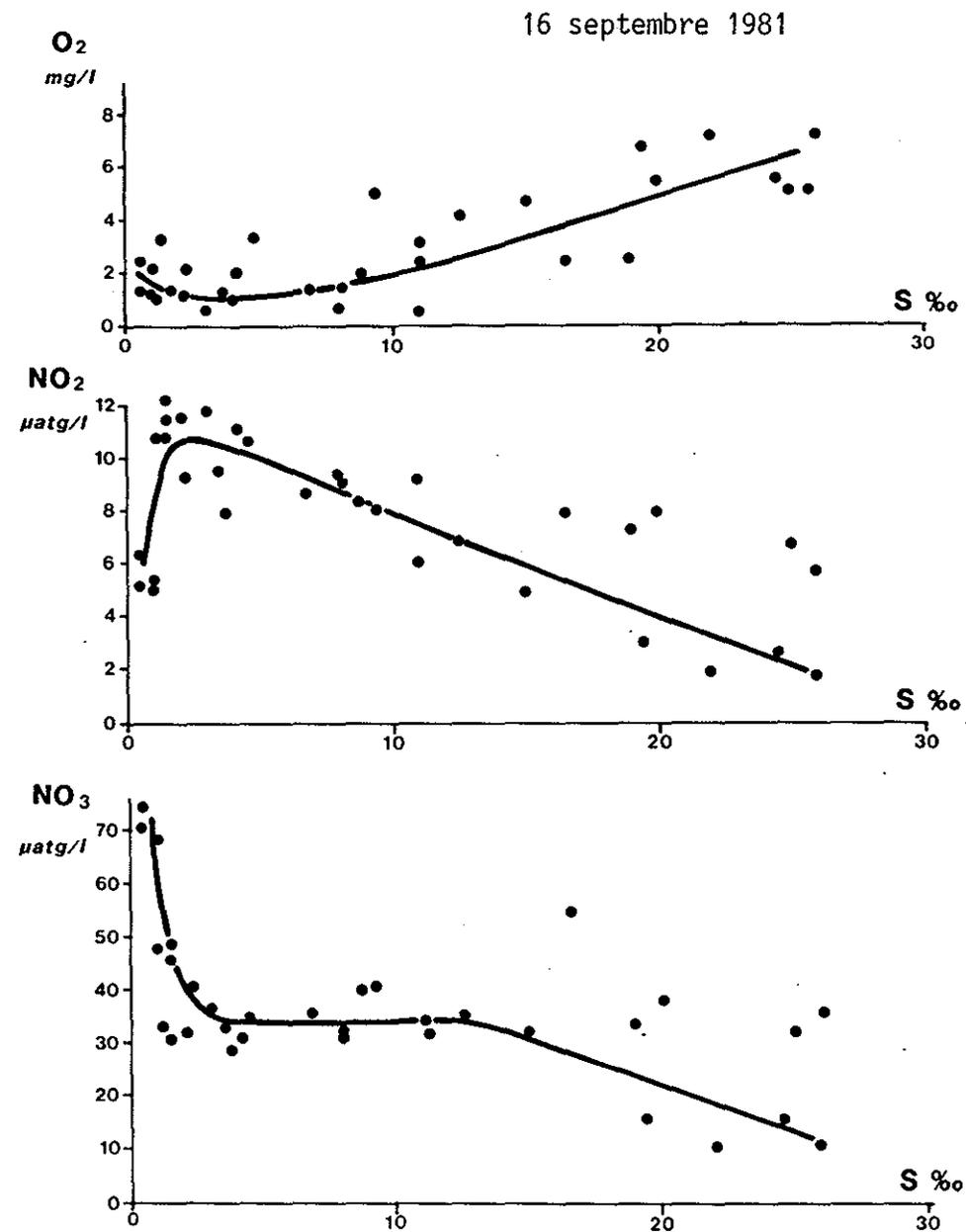


Fig.10 .- Concentrations en oxygène et azote en septembre.

Il faut noter que les apports d'ammoniaque par les rejets urbains de l'agglomération nantaise (de l'ordre de 2 t/j) peuvent devenir, en période estivale de faible débit, supérieurs aux apports de la Loire (de l'ordre de 0,5 t/j pour un débit de 100 m³/s) ; ces apports d'ammoniaque vont contribuer au déficit en oxygène dissous.

Par ailleurs, on peut remarquer la présence, dans la partie aval de l'estuaire, des concentrations plus élevées en azote dues comme pour les phosphates aux rejets industriels ou urbains de l'agglomération de Saint-Nazaire.

2. L'OXYGENE DISSOUS ET LA DBO₅ (fig. 11 à 15)

L'examen des concentrations moyennes en demande biologique en oxygène (DBO₅) dans les eaux de la Loire en amont de Nantes (données à Sainte-Luce de l'ABLB) montre une élévation durant les mois d'été due à la présence d'une masse importante de phytoplancton (fig. 11).

Néanmoins, le calcul des apports en DBO₅ par la Loire à Sainte-Luce, effectué en multipliant les débits par les concentrations, révèle que ces apports croissent avec le débit fluvial. Il faut rappeler que les apports de l'agglomération nantaise, qui se surajoutent aux apports ligériens, sont de l'ordre de 18 t/j et représentent 35 % des apports de la Loire en étiage (100 m³/s) (fig. 12).

Dans l'estuaire, les concentrations en oxygène dissous durant la période hivernale sont à un niveau tout à fait satisfaisant, en général supérieur à 7 mg/l. Par contre, en période estivale et post-estivale, lorsque les températures de l'eau sont élevées, on peut observer des concentrations en oxygène dissous égales ou inférieures à 1 mg/l (septembre 1981). Ces chutes en oxygène dissous se produisent en aval de Nantes et correspondent à l'emplacement du bouchon vaseux. Il existe de plus, au mois de septembre 1981, une relation inverse entre les teneurs en matières en suspension dans l'estuaire et les concentrations en oxygène dissous ; les déficits en oxygène dissous sont, comme les teneurs en matières en suspension, plus importants en période de vives-eaux qu'en période de mortes-eaux (fig. 13 et 14).

Il semble donc que durant les périodes estivales, au cours desquelles les températures élevées favorisent les processus d'oxydation et ~~en~~ les faibles débits entraînent un temps de séjour plus important des eaux douces dans l'estuaire, les déficits en oxygène dissous soient dus à une oxydation des matières organiques associées au bouchon vaseux. Les mêmes mécanismes ont été mis en évidence par MORRIS et al. (1982) dans l'estuaire du Tamar (G.B.).

L'examen des concentrations en oxygène dissous dans l'estuaire de la Loire à trois époques différentes montre que (fig. 15) :

- en septembre 1981, le déficit est important et localisé dans la partie amont de l'estuaire ; le temps de renouvellement des eaux douces est de l'ordre de 10 jours et la température est de 18°C ; les apports de DBO₅ sont de 100 t/j par la Loire et de 18 t/j par l'agglomération nantaise ;

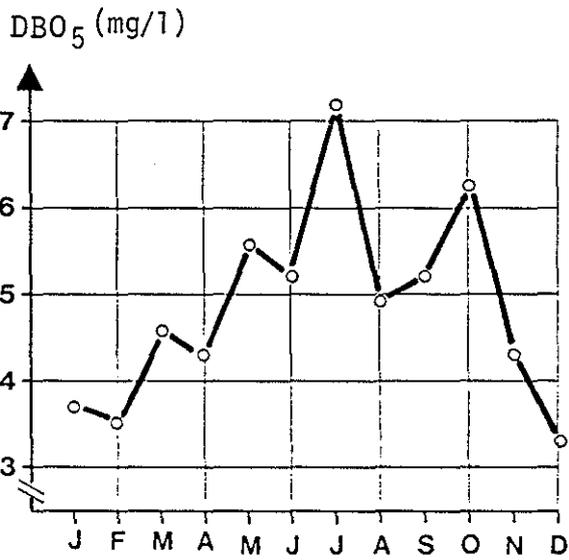


Fig.11.- Concentrations moyennes en DBO₅ dans la Loire à Ste-Luce (1976-81) (Agence de Bassin Loire-Bretagne).

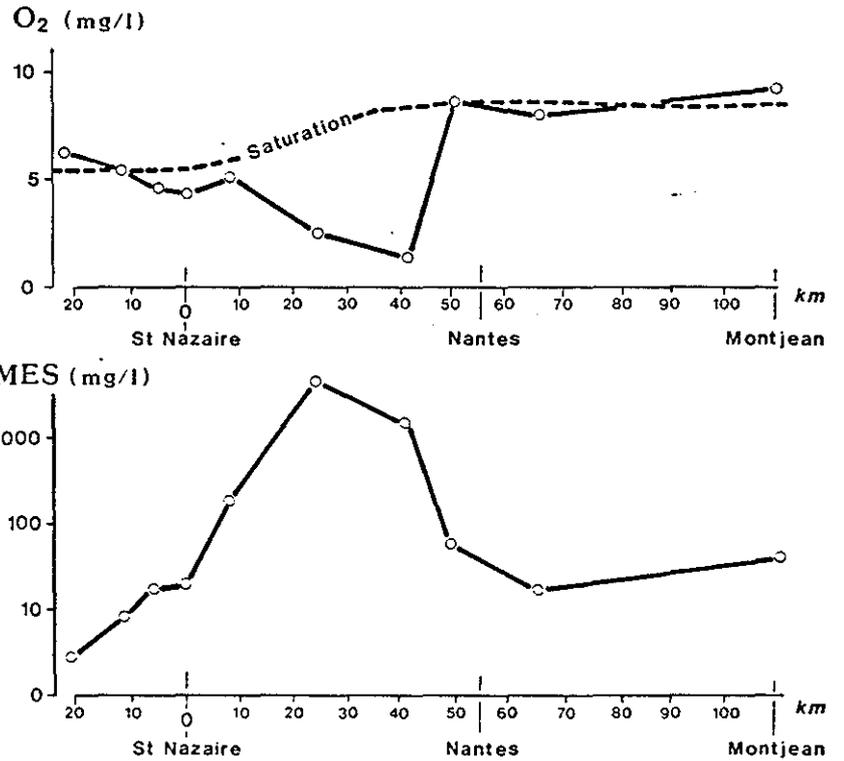


Fig.13.- Concentrations en O₂ et MES dans l'estuaire de la Loire (septembre 1981).

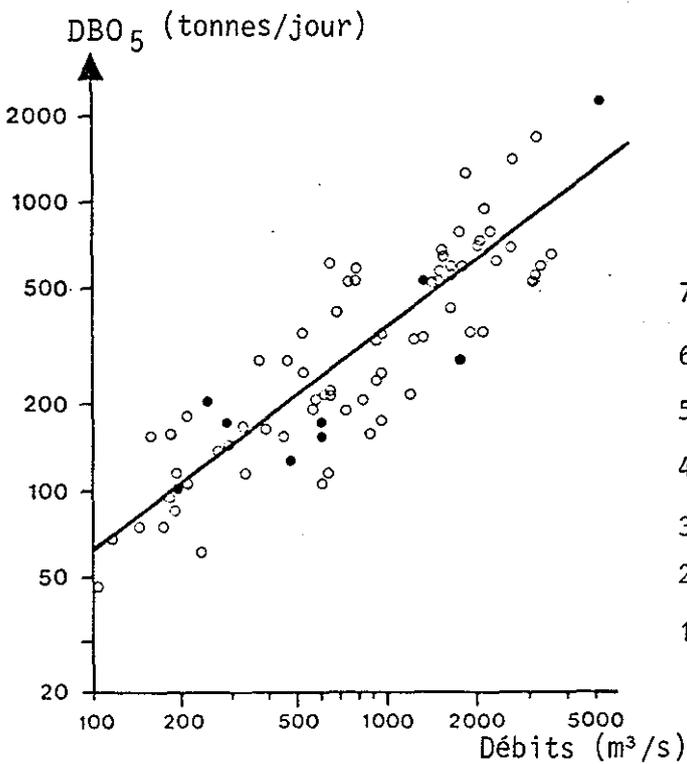


Fig.12.- Apports par la Loire en DBO₅ (1976-81) à Ste-Luce (cercles évidés, Agence de Bassin) et à Montjean (cercles pleins, thèse de Manickam).

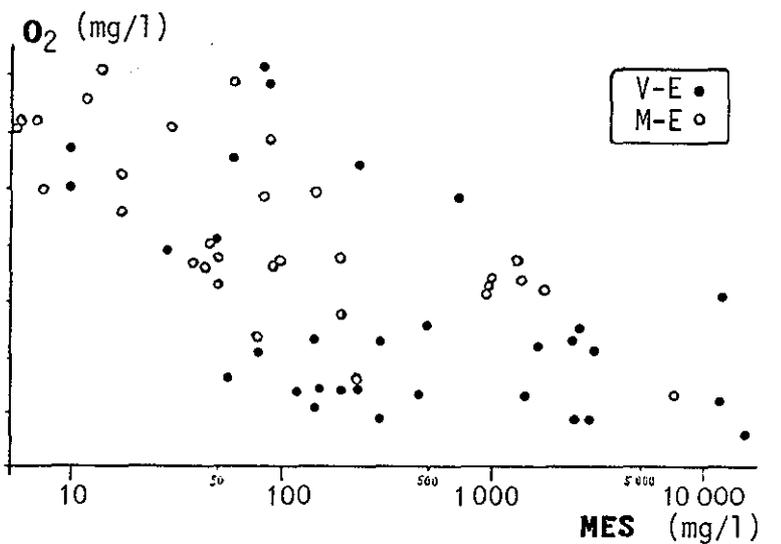


Fig.14.- Concentrations en oxygène dans l'estuaire de la Loire en vive-eau et morte-eau (septembre 1981).

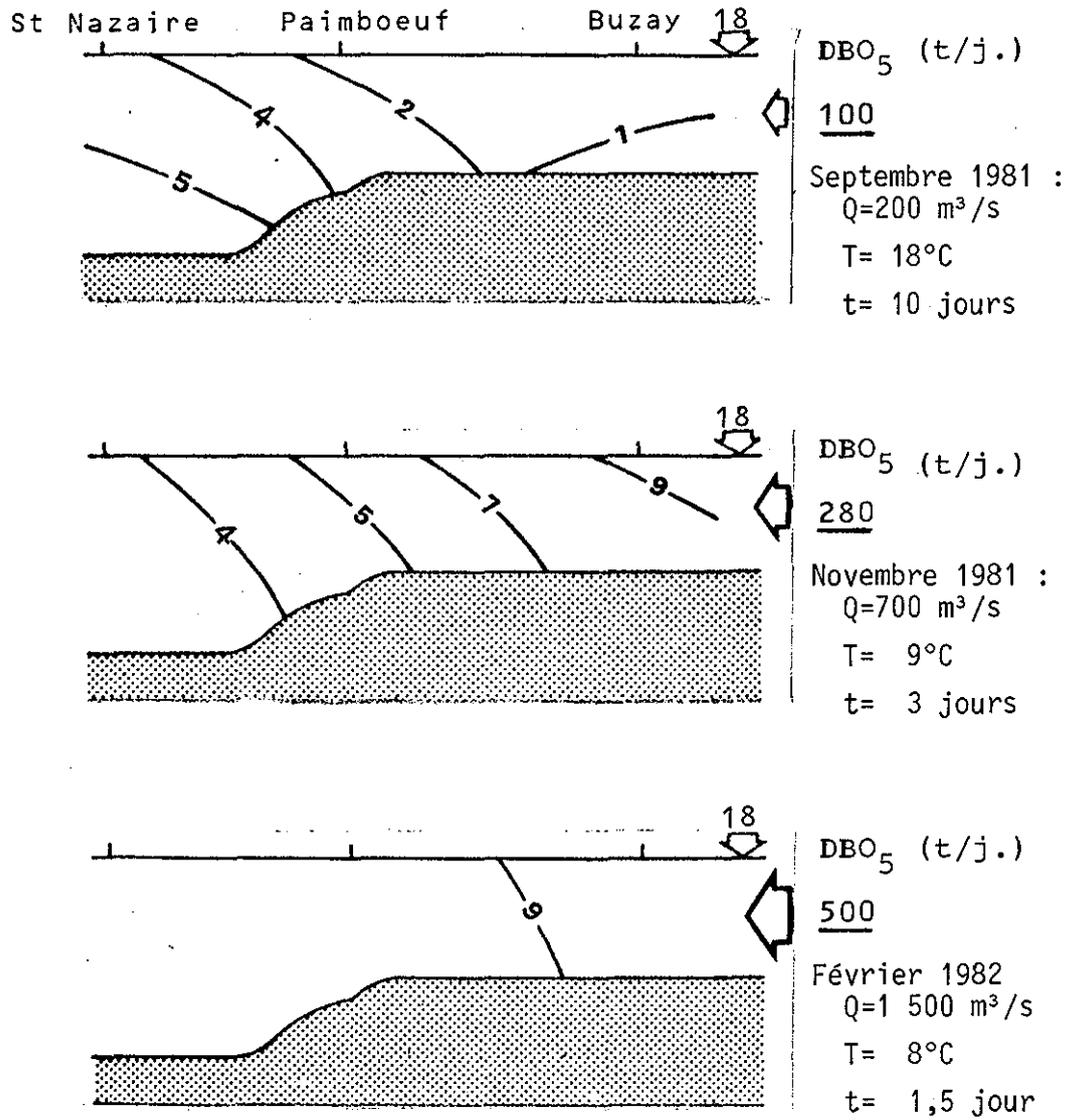


Fig. 15 .- Concentrations en oxygène dissous (mg/l)
dans l'estuaire de la Loire.

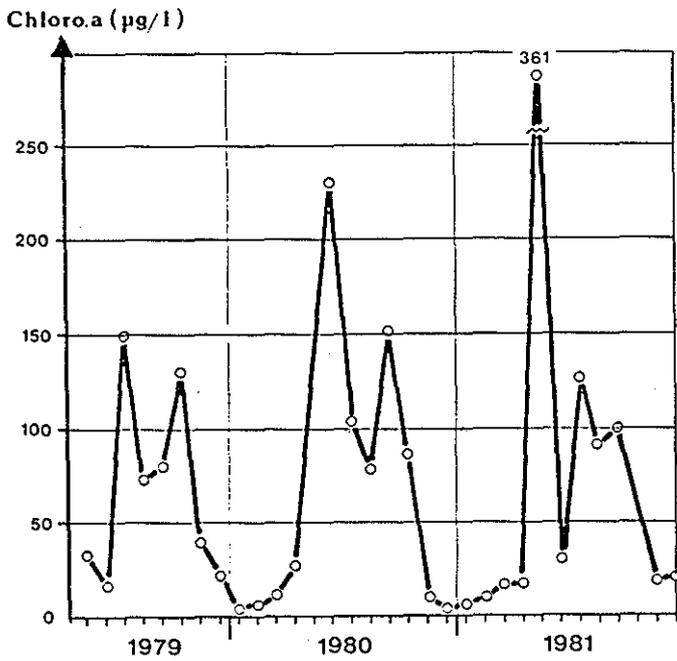


Fig.16.- Concentrations en chlorophylle "a" dans la Loire à Sainte-Luce(1979-1981) (Agence de Bassin Loire-Bretagne).

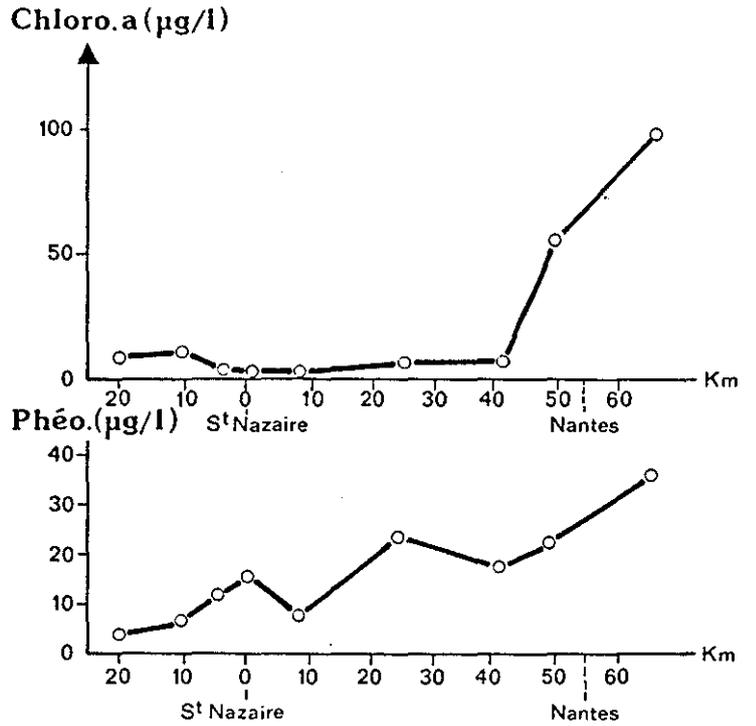


Fig.17.- Concentrations en chlorophylle "a" et en phéopigments dans l'estuaire de la Loire (septembre 1981).

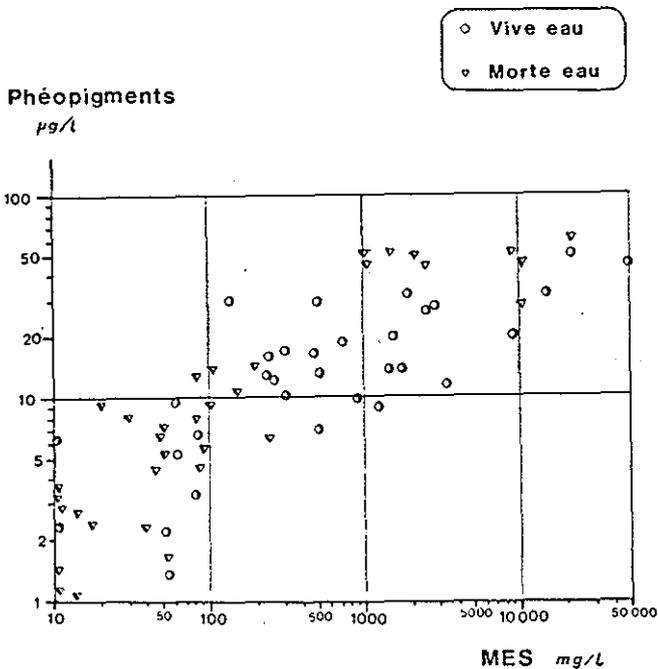


Fig.18.- Concentrations en phéopigments dans l'estuaire de la Loire en vive- et morte-eau (sept. 1981).

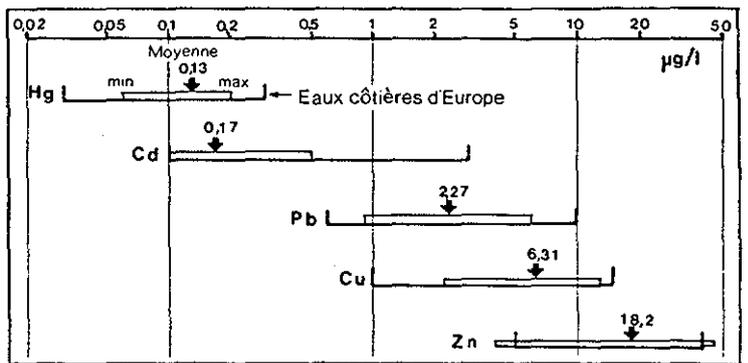


Fig.19.- Concentrations en métaux dissous dans l'estuaire de la Loire (Paimboeuf RNO 1981).

- en novembre 1981, le déficit en oxygène dissous est moins important, bien que les apports de la Loire en DBO₅ soit de 280 t/j ; ce déficit se trouve reporté dans la partie aval de l'estuaire ; la température n'est plus que de 9°C et le temps de séjour des eaux douces est de 3 jours, ce qui limite les processus d'oxydation ;
- en février 1982, malgré des apports en DBO₅ de plus de 500 t/j, il n'y a pas de déficit marqué en oxygène dissous.

3. LA CHLOROPHYLLE (fig. 16 à 18)

Les concentrations en chlorophylle "a" peuvent être considérées comme un paramètre de qualité des eaux car les fortes valeurs seront le signe de processus d'eutrophisation.

Dans la Loire, en amont de Nantes (données de l'ABLB à Sainte-Luce), les concentrations en chlorophylle varient fortement en fonction des saisons ; les valeurs maximales sont observées au printemps et en été et elles peuvent dépasser 200 µg/l, elles sont alors le signe d'une eutrophisation importante (CROUZET, 1983) et sont très supérieures aux quelques mesures dont on dispose pour le début du siècle ; il est à remarquer que les valeurs de chlorophylle sont en général plus fortes à Sainte-Luce que plus en amont, à Montjean ; il y a donc une production phytoplanctonique dans la Loire qui se poursuit jusqu'à l'amont immédiat de Nantes (fig. 16).

Dans l'estuaire, en période printanière ou estivale, les teneurs maximales en chlorophylle restent comprises entre 30 et 60 µg/l ; les teneurs hivernales sont beaucoup plus faibles. On peut noter par exemple en septembre 1981 une chute des concentrations en chlorophylle dans l'estuaire, par rapport à la Loire en amont de Nantes (fig. 17).

Dans l'estuaire, les teneurs en phéopigments (pigments de dégradation de la chlorophylle) se maintiennent à un niveau qui n'est que légèrement inférieur à celui de la Loire amont ; il est donc logique que le pourcentage de chlorophylle active (rapport entre la chlorophylle "a" et les pigments totaux) passe par un minimum au sein de l'estuaire.

L'ensemble de ces paramètres montre que la zone estuarienne n'est pas un secteur où la production primaire phytoplanctonique est très active ; cette production est très certainement limitée par la forte turbidité des eaux. En revanche, l'estuaire est une zone où s'accumule du phytoplancton d'origine fluviale (et peut-être marine) en voie de dégradation ; ceci est mis en évidence par la relation qui existe entre les concentrations en phéopigments et les teneurs en matières en suspension (fig. 18).

La matière organique végétale qui provient en grande partie du fleuve où la production phytoplanctonique est très importante contribue en période estivale à consommer l'oxygène disponible dans le milieu ; CROUZET (1983) a par exemple montré que les apports en chlorophylle "a" par la Loire équivalaient en été à un flux de DBO₅ compris entre 180 et 390 t/j.

Les apports de matière organique de l'agglomération nantaise, bien que plus limités (18 t/j de DBO₅) viendront s'ajouter aux apports fluviaux.

4. LES METAUX (fig. 19)

Bien que l'étude systématique des métaux dans l'estuaire de la Loire n'ait pas été faite dans le cadre du CSEEL, les mesures réalisées par le Réseau National d'Observation (R.N.O.) en 1981 à Paimboeuf, fournissent un ordre de grandeur des concentrations rencontrées dans l'eau ; elles ne permettent pas cependant d'expliquer les mécanismes complexes d'échanges de métaux entre l'eau et les matières en suspension dans l'estuaire et pour lesquels il apparaît que la matière organique particulaire joue un rôle important.

Les valeurs rencontrées en 1981 à Paimboeuf (moyenne et mini-maxi) peuvent être comparées d'une part à celles de l'estuaire de la Seine (station RNO de Honfleur) et d'autre part à la gamme de variation des concentrations en métaux dans les eaux côtières d'Europe (RNO, 1981) (tabl. 7).

En µg/l	Loire		Seine		Eaux côtières européennes
	moyenne	min - max	moyenne	min - max	
Hg	0,13	0,06 - 0,20	0,02		0,03 - 0,30
Cd	0,17	0,10 - 0,50	0,25	0,10 - 0,50	0,10 - 3,00
Pb	2,27	1,00 - 6,00	0,37	0,10 - 0,80	0,60 - 10,00
Cu	6,30	2,40 - 13,2	2,70	1,50 - 5,00	1,00 - 15,00
Zn	18,20	4,00 - 47,6	22,70	10,00 - 46,00	5,00 - 40,00

Tabl. 7.- Concentrations en métaux dissous dans l'estuaire de la Loire et de la Seine (µg/l), 1981.

Rappelons aussi que MARTIN et WHITFIELD (1981) donnent comme concentrations moyennes mondiales pour les fleuves non pollués les valeurs suivantes (en µg/l) : Cd = 0,2 ; Pb = 1 ; Cu = 10 et Zn = 30.

Il apparaît ainsi, au vu des résultats des mesures faites à Paimboeuf en 1981, que :

- . les valeurs des concentrations en métaux dans les eaux de l'estuaire de la Loire sont comprises dans la gamme de variation des eaux côtières européennes (fig. 19) ;
- . les valeurs moyennes sont inférieures aux concentrations moyennes mondiales précitées, à l'exception du plomb ;
- . les valeurs de plomb et de cuivre dans la Loire dépassent celles que l'on rencontre dans l'estuaire de la Seine.

Il ne semble donc pas exister de problème crucial de pollution métallique dans l'estuaire de la Loire ; néanmoins, il convient de rester vigilant en ce qui concerne les teneurs et les rejets de plomb et de cuivre dans l'estuaire.

III. CONCLUSIONS

Il apparaît tout d'abord que dans l'estuaire de la Loire, les *sels nutritifs ne sont jamais limitants pour la production primaire* phytoplanctonique ; cette production est limitée par la *forte turbidité* des eaux et ce phénomène contrôle en fait toute croissance excessive du phytoplancton au sein même de l'estuaire.

Il existe dans l'estuaire *en période estivale un déficit très important en oxygène dissous* qui est associé à l'oxydation des matières organiques contenues dans le bouchon baseux ; ceci explique que ces déficits soient maximaux en vives-eaux lorsque les remises en suspension sont importantes.

Il convient donc de mesurer de façon continue, notamment en aval de Nantes et en période estivale, les concentrations en oxygène dissous à l'aide de stations automatiques. Par ailleurs, on doit s'efforcer de *réduire les apports en matières oxydables* dans l'estuaire, lesquelles ont deux origines principales. En premier lieu il s'agit des apports amont en provenance du bassin versant, lesquels, en période estivale, sont essentiellement dus à la prolifération des algues planctoniques dans la Loire ; le programme général de lutte contre l'eutrophisation, engagé par l'Agence de Bassin Loire-Bretagne et visant notamment à réduire les rejets de phosphates le long du cours de la Loire, doit être poursuivi car il contribuera aussi à améliorer la qualité des eaux au sein de l'estuaire. En second lieu, il est nécessaire, en période estivale, de limiter les rejets de matières oxydables en provenance de l'agglomération nantaise ; il apparaît en effet que les apports en DBO₅ et en ammoniac ne sont pas négligeables par rapport aux apports amont lorsque la Loire est en période d'étiage marqué ; ces efforts de réduction doivent être faits en particulier au niveau des industries agro-alimentaires, des usines d'engrais et de la station d'épuration de Nantes-Tougas. La réduction des apports en phosphates au niveau de l'agglomération, qui deviennent importants en étiage, semble moins prioritaire car : les phosphates ne sont pas consommateurs d'oxygène dissous, leur utilisation par le phytoplancton est limitée dans l'estuaire par la turbidité, les concentrations semblent stabilisées dans l'estuaire à un niveau de 3 à 4 µatg/l grâce aux échanges avec les matières en suspension.

Il est à noter que toute *action en faveur du soutien des débits d'étiage* améliorera la situation en oxygène dissous dans l'estuaire.

On peut ensuite tenter de fixer *des critères de qualité pour l'oxygène dissous* car si les concentrations deviennent trop basses, plusieurs types de phénomènes risquent d'apparaître :

- . mortalité de la faune qui a besoin d'oxygène pour son métabolisme,
- . réduction des nitrates en nitrites et azote gazeux (dénitrification),
- . réduction des sulfates et libération d'hydrogène sulfuré.

ESTUAIRES	CRITERES	REMARQUES	REFERENCES
Potomac	5 mg/l	La commission Inter Etats de Bassin juge les teneurs inférieures comme néfastes pour la vie piscicole.	CLARK, 1977
Ohio	3 mg/l	Valeur minimale demandée par la Commission Sanitaire de la Rivière.	THOMANN, 1972
Delaware	3,5 mg/l	Valeur minimale demandée par la Commission de Bassin pour les zones fortement industrialisées de l'estuaire.	THOMANN, 1972
Estuaires de Virginie (Potomac, James, Rappahannock, ...)	4 mg/l	Critère proposé par le State Water Control Board.	STATE WATER CONTROL BOARD VIRGINIE, 1980
Hudson	3 mg/l	Critère proposé par la commission Sanitaire Inter Etats.	INTERSTATE SANITATION COMMISSION-NEW YORK-NEW JERSEY-CONNECTICUT
Tamise	30 % saturation	Moyenne minimale durant le trimestre d'été fixé par le Thames Water Authority.	CASAPIERI, 1980.
Zones estuariennes.	4 mg/l	Recommandation générale proposée par Batelle.	ASTON, 1980

Tabl. 8.- Concentrations en oxygène retenues comme critères de qualité.

Ce type d'évolution du milieu a par exemple été mis en évidence dans la Tamise, et a nécessité la mise en place d'un important programme de lutte contre les rejets de matières oxydables.

Différents critères de qualité pour les estuaires ont été définis notamment aux Etats Unis ; ils sont regroupés dans le tableau 8.

Une première approche consisterait à choisir a priori un critère en s'alignant sur ceux existant par ailleurs et qui ont été jugés acceptables. C'est ainsi qu'on pourrait fixer comme objectif à moyen terme une *concentration minimale supérieure ou égale à 3 mg/l*. Il conviendrait alors de déterminer, à l'aide d'un *modèle mathématique de l'oxygène dissous* dans l'estuaire (comprenant notamment les phénomènes sédimentaires liés au bouchon vaseux), les taux de réduction qu'il faudrait appliquer à la fois aux apports amont de matières oxydables et aux rejets de l'agglomération nantaise pour parvenir à des concentrations en oxygène dissous supérieures ou égales au critère de qualité fixé. Les mesures en continu de l'oxygène dissous dans l'estuaire constitueraient alors une base de données permettant de caler le modèle mathématique.

L'impact des *rejets thermiques* doit faire l'objet de programmes de suivis détaillés car toute élévation excessive de température contribue à accélérer les phénomènes d'oxydation et donc à diminuer les concentrations en oxygène dissous.

En ce qui concerne les *métaux*, il convient non seulement d'exercer un contrôle suivi des concentrations dans l'eau, mais aussi d'étudier la phase particulaire des rejets en relation avec une étude générale des teneurs dans les matières en suspension dans l'estuaire.

Enfin, une étude portant sur les *rejets bactériens* et le devenir des micro-organismes dans le système estuarien doit être entreprise assez rapidement.

CHAPITRE II

LES CARACTERISTIQUES DES PEUPEMENTS PLANCTONIQUES

I. LE PHYTOPLANCTON

Les peuplements végétaux planctoniques de l'estuaire de la Loire, dominés par les Diatomées et les Algues vertes sont composés d'organismes marins et d'organismes réputés d'eaux douces ou d'eaux saumâtres.

1. CYCLES DE VARIATIONS

Le cycle annuel du phytoplancton traduit le contexte saisonnier hydrologique avec une période automnale caractérisée par l'abondance, pendant l'étiage, des Chlorophycées et des Cyanophycées, une phase hivernale marquée par les crues et la dominance des Diatomées et un développement printanier de flagellés accompagnés de Diatomées.

Les variations du débit fluvial se font sentir sur la densité des peuplements et la biomasse pigmentaire ; elles jouent également sur la composition des peuplements. La diversité spécifique est ainsi plus faible dans les trois secteurs de l'estuaire pendant la crue printanière. Dans les secteurs méso-et oligo-halin elle est maximale lors de l'étiage automnal. L'augmentation du débit tend à appauvrir le phytoplancton.

	STATION 1 Saint-Nazaire	STATION 2 Lavau	STATION 4 Buzay
Groupes dominants	Diatomées Chlorophycées Cyanophycées	Diatomées Chlorophycées Cyanophycées	Diatomées Chlorophycées Cyanophycées
Densité de peuplement en cell./m ³	4.10 ⁷ à 2.10 ⁹	1,8.10 ⁸ à 2.10 ⁹	5.10 ⁸ à 9.10 ⁹
Biomasse pigmentaire en mg chl. "a"/m ³	0,6 à 15	1,5 à 32	1,6 à 67

Sur un cycle de coefficients de marée, l'opposition entre vive-eau et morte-eau se manifeste nettement dans le secteur polyhalin où la présence d'espèces marines n'est notée qu'en marée de vive-eau. Dans le secteur mésohalin cette répartition ne se produit plus en période de crue où la diversité du peuplement phytoplanctonique dépend de la richesse en espèces de l'apport fluvial. Dans le secteur oligohalin, l'apport marin en espèces est très faible; en marée de morte-eau les peuplements phytoplanctoniques sont sensiblement plus riches en formes typiquement planctoniques; en vive-eau s'y ajoutent des formes benthiques d'eau douce.

En ce qui concerne la biomasse pigmentaire, les teneurs maximales de chlorophylle "a" sont relevées en marée de vive-eau pendant l'étiage et en marée de morte-eau pendant les crues et en débit moyen. C'est en étiage que sont atteints les maximums de teneur en phéopigments (résultant de la dégradation de la chlorophylle).

Dans les secteurs méso- et polyhalin, là où l'apport marin est le plus net, le phytoplancton est plus franchement dulçaquicole en jusant et à dominante marine au flot ; ce contraste disparaît lors des crues. Dans le secteur oligohalin, l'apport en espèces marines est très faible.

2. IMPACT DE LA QUALITE DES EAUX

La teneur des eaux en matières en suspension (M.E.S.) est susceptible de limiter la photosynthèse et, de ce fait, la production primaire par le phytoplancton. Cela ne ressort guère de l'augmentation constatée des teneurs en chlorophylle "a" parallèlement à celle des teneurs en M.E.S. en débit d'étiage. Cependant, il faut souligner que les cellules, alors plus regroupées, sont fréquemment altérées et que les teneurs en phéopigments sont supérieures aux concentrations en chlorophylle.

Les teneurs en oxygène dissous et celles en sels nutritifs ne constituent à aucun moment un facteur limitant de la production végétale planctonique. En particulier la hauteur du rapport azote/phosphore, toujours au moins égal à 15, et l'absence de corrélation entre pourcentages de diatomées dans les échantillons et teneurs des eaux en silicium confirment que les éléments minéraux dissous sont présents en quantité non limitante.

La qualité des eaux influant sur les peuplements phytoplanctoniques, ceux-ci peuvent en retour, si l'on se réfère au système des saprobies, donner quelques indications sur le degré de pollution de l'estuaire par des matières organiques (milieu saprobe = riche en matières organiques en décomposition). Dans les pires conditions de sous-oxygénation, quand augmentent la D.B.O. et la D.C.O., le caractère mésosaprobe des eaux de l'estuaire de la Loire s'affirme. La présence des deux diatomées β -mésosaprobiontes : *Melosira varians* et *Asterionella formosa* en témoigne. En revanche, d'autres espèces illustrent la tendance α -mésosaprobe des eaux post-estivales, alors que plusieurs espèces de diatomées pérennantes dans l'estuaire caractérisent des eaux oligo-saprobies.

Les biomasses pigmentaires relevées dans l'estuaire restent inférieures à celles que l'on observe dans le cours fluvial de la Loire ; elles montrent que le milieu estuarien, même en période estivale, n'est pas dans une situation critique d'eutrophisation.

II. LE ZOOPLANCTON

Les principaux groupes constitutifs du zooplancton de l'estuaire de la Loire sont des Crustacés : Copépodes, Mysidacés, Amphipodes, Isopodes, Cladocères et Ostracodes. Les éléments accessoires sont représentés par des Vers Annélides, des Mollusques, des Cnidaires, des Cténares et des Chaetognathes.

1. CYCLES DE VARIATIONS

Le cycle annuel du zooplancton consiste en une phase hivernale où apparaissent les effectifs les plus élevés, notamment à la station 2, une phase printanière où les peuplements sont les plus diversifiés, une phase estivale où la dominance des Copépodes s'atténue, une phase automnale où celle-ci atteint sa plus forte valeur ; la proportion de Mysidacés est maximale à la fin de cette dernière saison (novembre).

	STATION 1 Saint-Nazaire	STATION 2 Lavau	STATION 4 Buzay
Groupes dominants	Copépodes (55-99 %) Mysidacés (0,9-32 %)	Copépodes (68-99 %)	Copépodes d'eau douce (56-100 %) Ostracodes (0-37 %)
Densité de peuplement en indiv./m ³	200 - 15 000	4 000 - 300 000	800 - 64 000

La répartition temporelle des Copépodes paraît peu liée au débit fluvial, en revanche celle des Mysidacés est affectée par la crue (minimum en février). La période d'étiage durant laquelle le front de salinité remonte vers l'amont voit se raréfier les espèces dulçaquicoles.

D'ailleurs sur l'ensemble du cycle annuel, la répartition spatiale du zooplancton est tributaire de la zonation haline de l'estuaire ; les espèces marines et les espèces d'eau douce ne supportant pas les variations de salinité sont cantonnées dans leurs secteurs respectifs : poly- et oligohalin, alors que le secteur mésohalin abrite un mélange d'espèces euryhalines. A l'intérieur du cycle annuel, des variations liées au cycle de coefficients de marée se font jour : effectifs plus élevés et diversité maximale aux stations 1 et 2 en vive-eau, effectifs renforcés et diversité plus grande à la station 4 en morte-eau. Sur un cycle journalier l'effet du flot et du jusant n'est sensible qu'aux stations 1 et 2 et se marque particulièrement sur la diversité des peuplements (stations 1 et 2 ; diversité maximale à pleine mer et au flot). Il semble que la stratification des eaux tende à abaisser la diversité.

Il faut noter aussi qu'aux stations 1 et 2, le printemps et l'été sont des périodes caractéristiques où les peuplements s'enrichissent des oeufs et larves d'un très grand nombre d'espèces dont le cycle biologique comporte des phases de reproduction, soit dans l'estuaire même, soit dans les eaux côtières.

2. IMPACT DE LA QUALITE DES EAUX

Il est certain que la charge des eaux en M.E.S., sans déterminer rigoureusement les effectifs zooplanctoniques, s'avère préjudiciable à la survie du plancton animal.

L'oxygénation des eaux, en revanche, lui est plutôt indifférente sauf pour le Mysidacé *Neomysis integer*.

La présence de matière organique, particulièrement évidente pendant l'étiage post-estival, a été soulignée par l'augmentation des effectifs de Cladocères ; mais, même si la composition globale du zooplancton de l'estuaire évoque celle d'un milieu tendant à l'eutrophisation, aucune des espèces recensées n'indique que ce stade de croissance soit atteint.

III. CONCLUSION

Schématiquement, le fonctionnement du compartiment biologique de l'écosystème estuarien peut se résumer de la manière suivante. Les apports en énergie lumineuse et en sels nutritifs stimulent le développement du plancton végétal. Ce phytoplancton (algues vertes et diatomées pour l'essentiel) est consommé par des organismes planctoniques herbivores alors que le zooplancton détritivore vit aux dépens d'éléments en suspension dans l'eau, d'origine détritique ou bactérienne. Ces consommateurs sont à leur tour la proie de consommateurs de second ordre, l'extrémité des chaînes alimentaires étant représentée par des poissons dont les populations peuvent constituer un capital halieutique précieux dans l'estuaire. Sur cet édifice biologique, les composantes physico-chimiques peuvent exercer une action à tous les niveaux.

L'*étage planctonique végétal* est dépendant de la fertilité potentielle des eaux et celle-ci relève d'apports largement suffisants en azote, en phosphore et en silice. Plus préjudiciable pour le plancton chlorophyllien, la teneur en M.E.S. qui limite le rendement énergétique photosynthétique ne peut guère être abaissée artificiellement. Il faut donc espérer qu'aucune modification de la topographie du fleuve ne viendra à nouveau augmenter de manière sensible la masse turbide ou allonger la durée de séjour du bouchon vaseux dans l'estuaire.

Parmi les composantes du phytoplancton, l'apport végétal provenant des marais adjacents est important. Il permet d'inoculer dans des eaux porteuses de peuplements éprouvés par les rejets urbains et industriels du secteur amont, des individus susceptibles de relayer les espèces défaillantes. Il est donc tout à fait souhaitable que dans l'aménagement de l'estuaire soit prévu le maintien, voire l'amélioration, des échanges entre la Loire et les marais voisins.

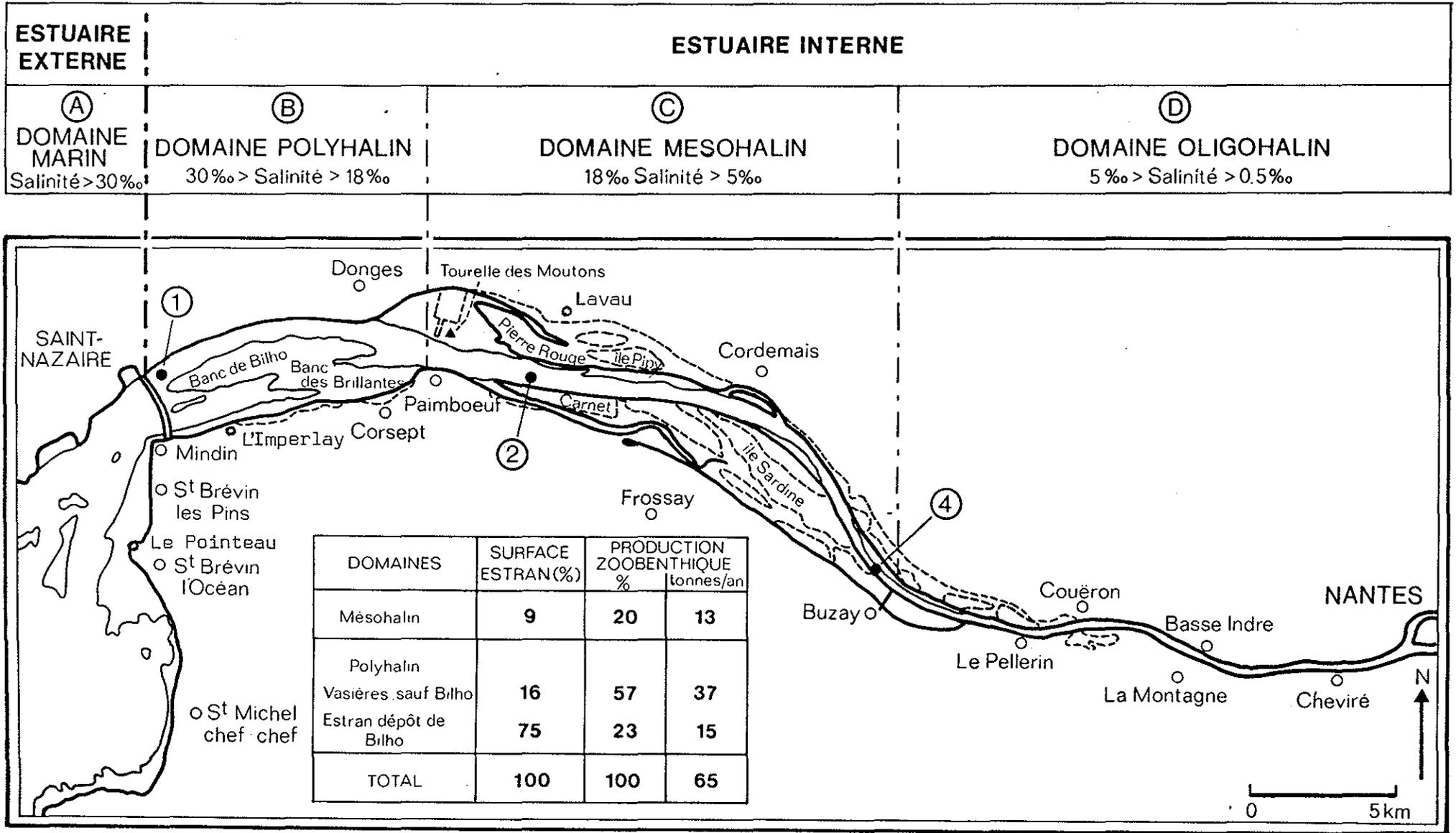
Un des points les plus sensibles de la qualité des eaux est la plus forte consommation en oxygène, en période d'étiage, qui se traduit par une sous-oxygénation marquée et aboutit souvent à une mortalité importante de poissons. Un contrôle plus strict des apports en matière organique fluviale des rejets urbains et industriels, ainsi qu'un soutien des débits les plus faibles pour limiter la progression du bouchon vaseux permettraient

de maintenir à un niveau satisfaisant les teneurs en oxygène dissous. Sinon le risque est grand de voir s'étendre une zone médiane critique où dans des eaux désoxygénées, fortement turbides et trop salées s'accumuleront bactéries et Cyanophycées.

Pour *les peuplements d'animaux planctoniques*, l'impact des différents critères de qualité des eaux reste diffus pour le risque de pollution par les sels dissous. Par contre, il est incontestable que le cycle d'abondance du groupe dominant, celui des Copépodes, reproduit l'évolution inverse de la charge en M.E.S. De même, une espèce de Mysidacé (second constituant en abondance du zooplancton) est affectée par la sous-oxygénation des eaux. Ces deux points méritent d'être soulignés car la biomasse que représentent Copépodes et Mysidacés est phénoménale à certaines périodes et constitue un apport alimentaire irremplaçable pour nombre de poissons de l'estuaire. Compromettre la vie de ce zooplancton revient à compromettre aussi celle de leurs prédateurs.

L'étude réalisée, si elle permet de conclure à la relative "bonne santé" de l'estuaire de la Loire, met surtout en évidence la fragilité de l'écosystème. L'estuaire reste productif, mais le risque de déséquilibre (eutrophisation) peut se concrétiser si les recommandations déjà anciennes, reformulées ici, ne sont pas suivies : stabilisation de la masse turbide dans ses caractéristiques actuelles, préservation de l'oxygénation par contrôle des apports d'éléments oxydables et soutien des débits d'étiage.

10
11
12
13
14
15



Divisions de l'estuaire de la Loire en "domaines halins" (1,2,4 : stations d'étude hydrobiologique)

CHAPITRE III

LES PEUPELEMENTS BENTHIQUES DE L'ESTUAIRE

I. CARACTERISTIQUES FAUNISTIQUES DES SECTEURS DE L'ESTUAIRE INTERNE DE LA LOIRE

L'estuaire interne de la Loire est subdivisé en 3 grands domaines halins dont les caractéristiques et les aires respectives d'influence varient au cours des saisons (carte ci-contre).

1. LE SECTEUR OLIGOHALIN "D" (fig. 1)

Ce secteur (de Buzay à Cheviré) est faunistiquement le plus pauvre de l'estuaire. Les substrats bordant le chenal de navigation sont essentiellement rocheux (endiguement) avec parfois une bordure vaseuse ou sableuse de faible largeur. En raison d'un hydrodynamisme violent, la faune n'est représentée que par des larves d'insectes et deux espèces de Vers Annélides Oligochètes (*Tubifex tubifex* et *Limnodrilus hoffmeisteri*) en très faibles densités : la diversité spécifique n'y dépasse pas 0,85 (moyenne : 0,22).

2. LE SECTEUR MESOHALIN "C" (fig. 2 et 3)

Dans ce secteur (de Buzay à Paimboeuf), les bordures vaseuses sont mieux représentées que dans le secteur précédent ; elles sont localisées le long de la rive nord, essentiellement de la tourelle des Moutons à Cordemais. Les peuplements caractéristiques de ces milieux sont constitués de 8 espèces et ont une faible diversité spécifique ($H_n = 0,81$). Les principaux constituants sont des Oligochètes (*Limnodrilus hoffmeisteri*, *Tubifex tubifex*) dont les densités vont croissant de l'amont vers l'aval. Il faut y distinguer le sous-secteur C₁ qui fait la transition entre les secteurs B et C. La biocénose, constituée de 11 espèces, y subit deux influences antagonistes : l'une polyhaline très marquée en période d'étiage où l'on assiste à la remontée des larves de Mollusques Lamelibranches (*Scrobicularia plana* et *Macoma balthica*), l'autre mésohaline la majeure partie de l'année avec dominance des Oligochètes typiques du secteur C.

Dans la zone de l'île Pipy, le suivi mensuel de 4 stations choisies pour leur diversité édaphique a permis de montrer que la composition de la communauté et son abondance sont essentiellement liées à la qualité du substrat.

a) Les sables propres constituant le banc de Pipy sont pauvres aussi bien en faune (biomasse moyenne : $\bar{B} = 0,013 \text{ g/m}^2$) qu'en microphytobenthos ($\bar{B} = 30 \text{ mg/m}^2$). Ils sont directement soumis à l'influence des courants du chenal de navigation (tabl. 1).

b) Les sables vaseux et les vases sableuses faisant le passage entre le banc et la vase marginale sont nettement moins pauvres. Leurs teneurs en particules minérales fines, en matière organique détritique et en pigments végétaux augmentent de façon importante comparativement aux sables propres.

Vases à :

-  *Limnodrilus hoffmeisteri*
-  Larves d'Insectes
-  *Tubifex tubifex*

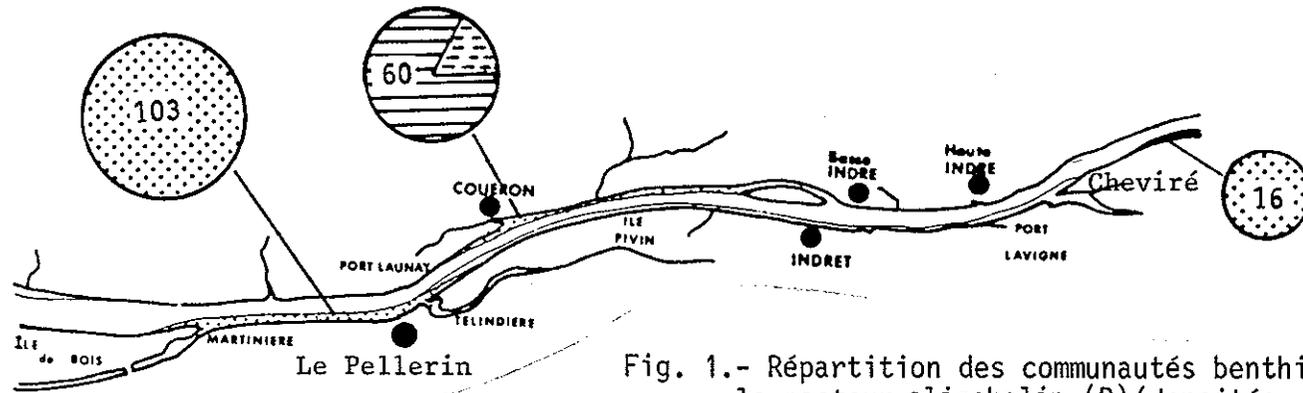


Fig. 1.- Répartition des communautés benthiques dans le secteur oligohalin (D) (densités: N / 100 l).

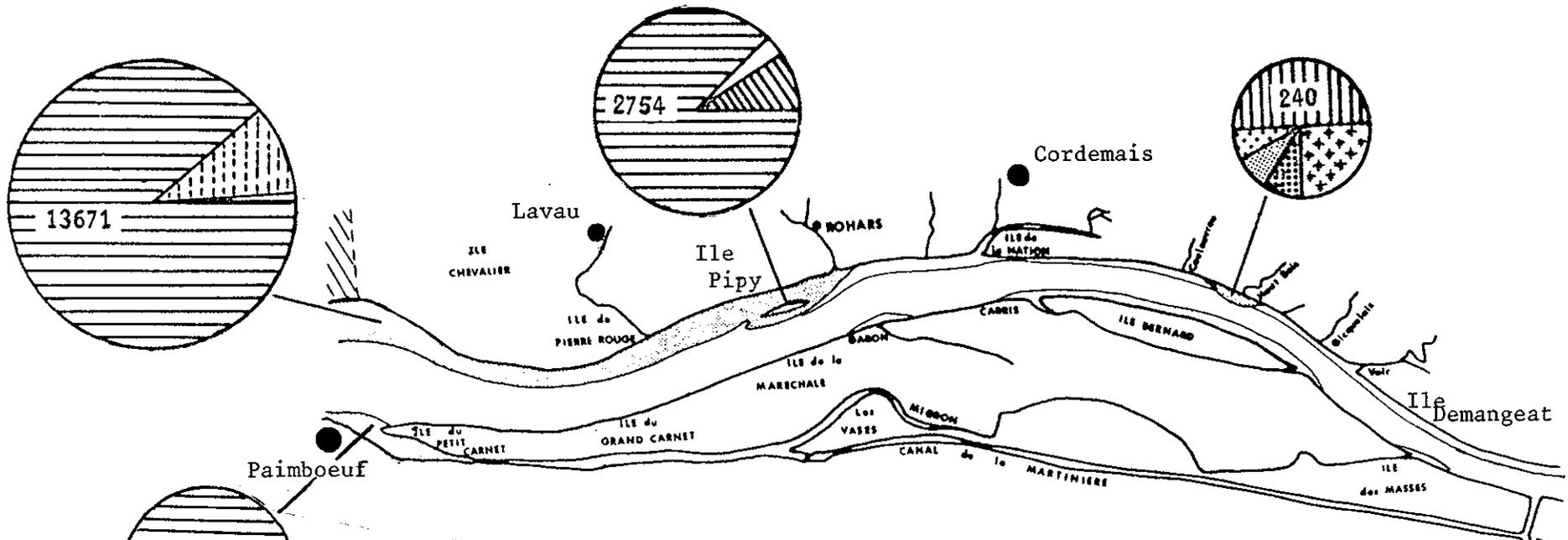


Fig. 2.- Répartition des communautés benthiques dans le secteur mésohalin (C) (densités; N / 100 l).

- | | | |
|---|---|---|
|  <i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> |  <i>Streblospio shrubsolii</i> |  <i>Cyathura carinata</i> |
|  <i>Monopylephorus rubroniveus</i> |  Insectes |  <i>Corophium lacustre</i> |
|  <i>Nereis diversicolor</i> | |  <i>Gammarus zaddachi</i> |

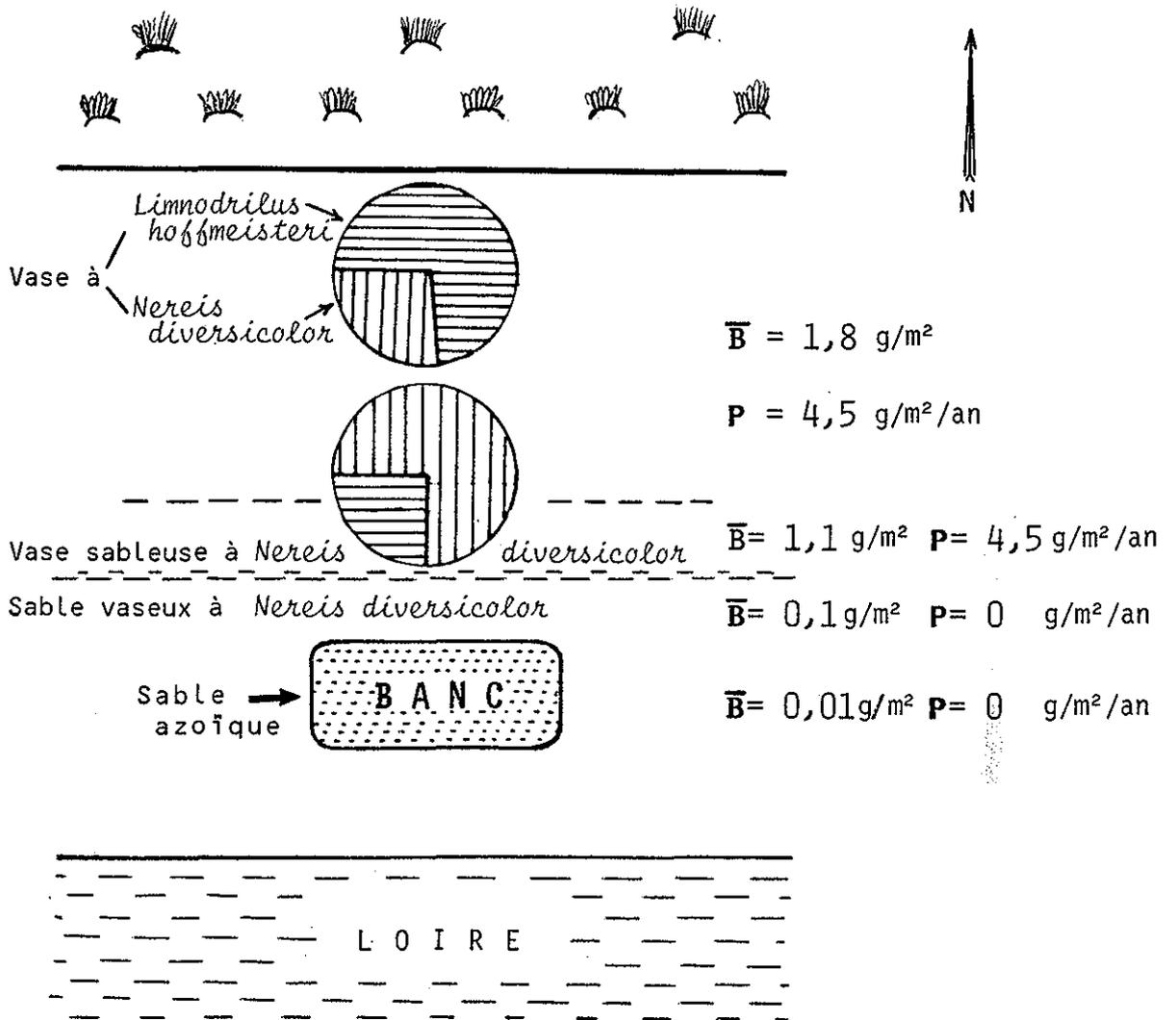


Fig. 3 .- Synthèse des données édaphiques et biologiques relatives au zoobenthos du secteur de Pipy.
(\bar{B} =biomasse moyenne annuelle, P=production)

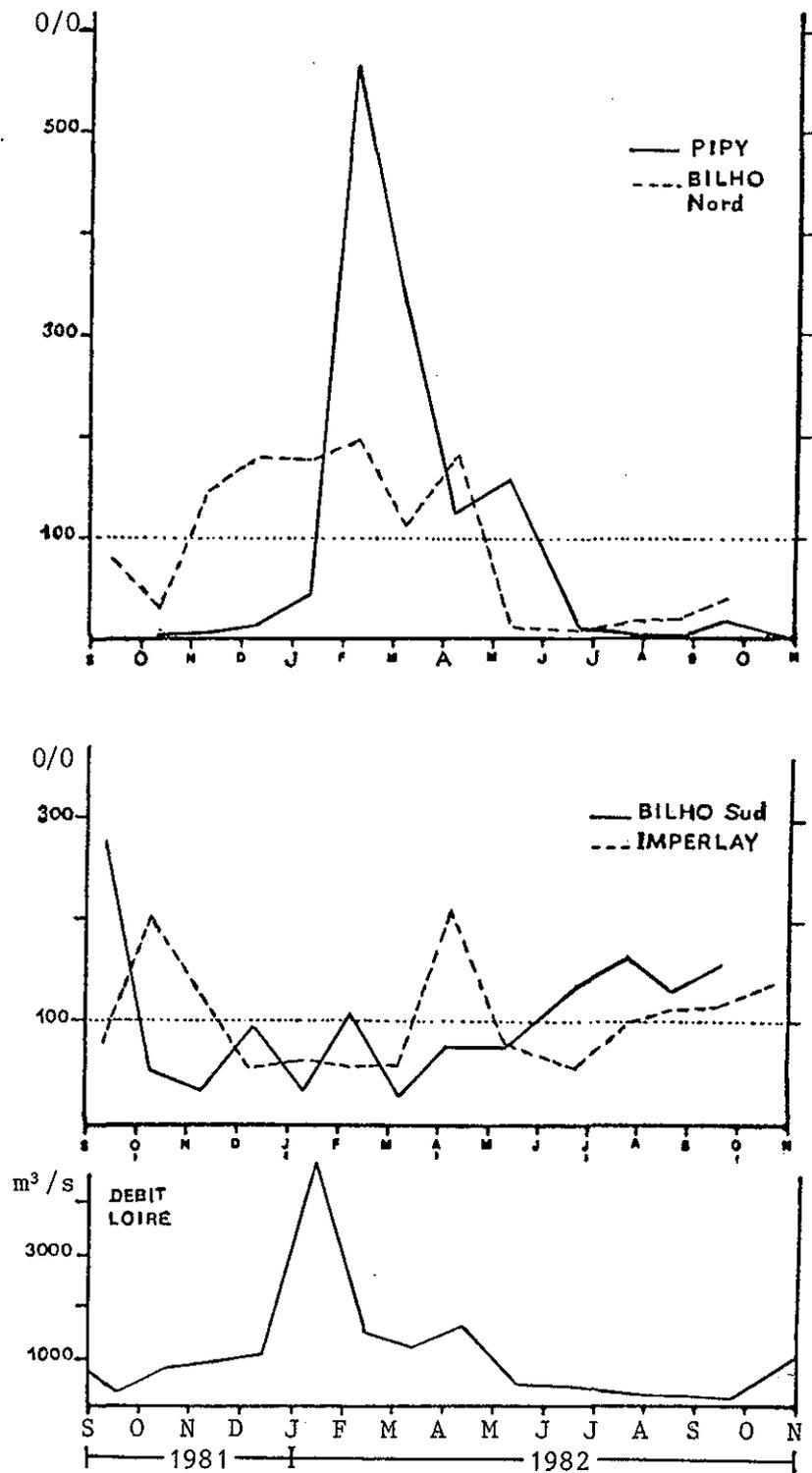


Fig. 4 .- Variations saisonnières des taux d'accroissement des biomasses zoobenthiques dans l'estuaire de la Loire.

Ces facteurs favorisent l'installation de la macrofaune benthique dépositivore adaptée à ce milieu peu salé. Mais ces substrats et en particulier les sables vaseux restent la plupart du temps peu productifs (tabl. 1).

c) Les vases franches occupant les zones abritées de ce secteur sont de loin les sédiments les plus riches en faune et en microflore benthiques. Les fluctuations saisonnières des abondances y sont très marquées :

- . biomasse microphytobenthiques maximales en été et minimales en hiver ;
- . densités et biomasses animales maximales en hiver et très réduites en période d'étiage (tabl. 1).

Zones	Pipy		Imperlay		Bilho	
	V.	A.	V.	A.	V.	A.
Sédiments						
Vase franche (molle ou compacte)	118	1,8	309	22,2	148	5
Vase sableuse	107	1,1			189	7,9
Sable vaseux	70,4	0,11			77,7	0,61
Sable propre	30	0,013			24	0,05

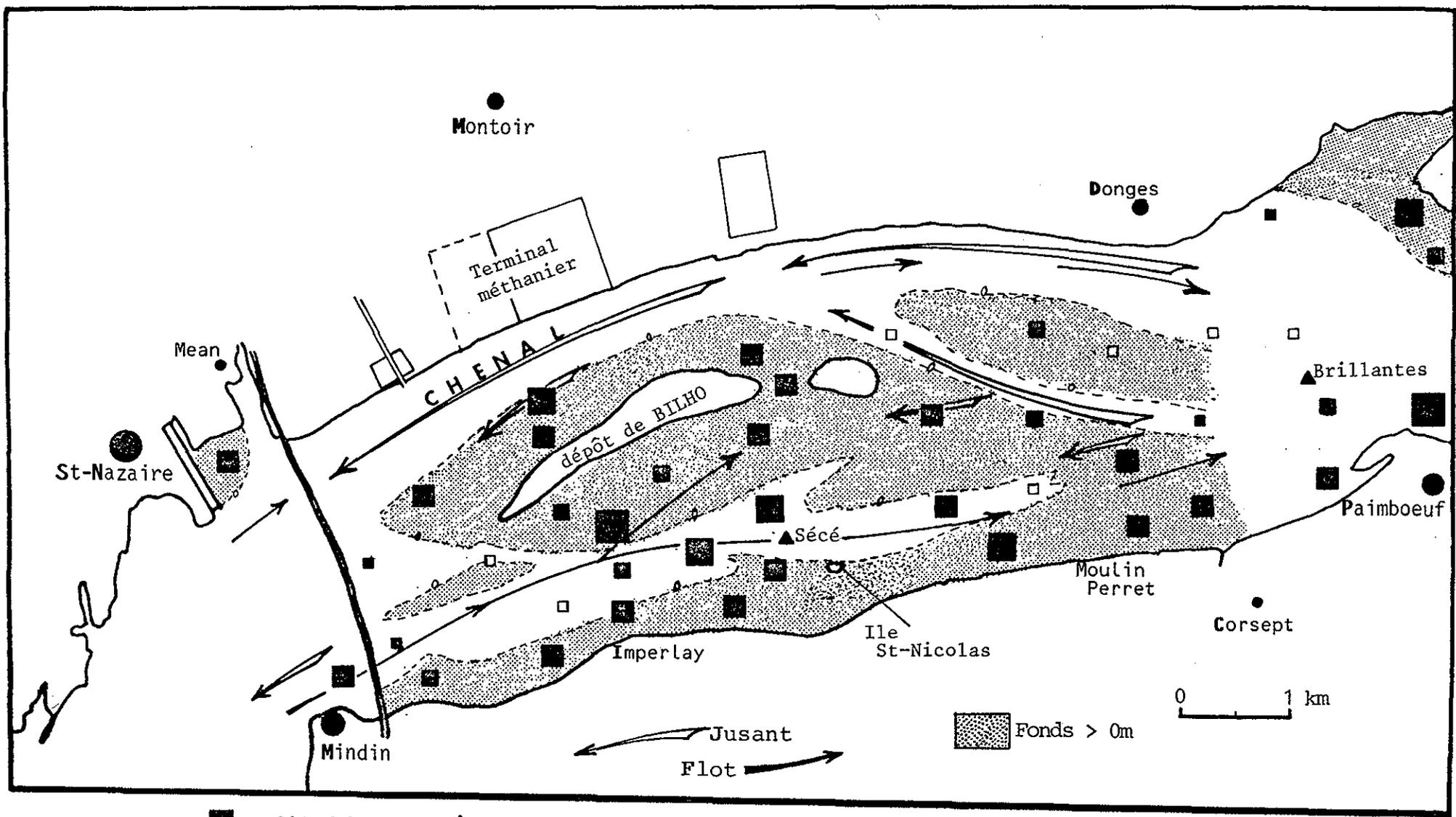
Tabl. 1.- Comparaison des biomasses moyennes annuelles des peuplements étudiés selon le type sédimentaire (V = microphytobenthos en mg/m^2 (chl. "a" + phéopig.); A = benthos animal en g/m^2)

Cette succession d'abondance de la microflore et de la faune correspond à des exigences spécifiques distinctes vis-à-vis des différents facteurs écologiques :

. Le microphytobenthos est le plus productif en été lorsque la température et la lumière sont maximales et lorsque ses consommateurs sont rares. La chute brutale observée au milieu de la période d'étiage pourrait s'expliquer par l'évolution de la composition spécifique du peuplement.

. La macrofaune (constituée d'Oligochètes de petite taille) est la plus dense (2 à 5 fois le niveau moyen) et la plus productive en période hivernale ($4 \text{ g}/\text{m}^2/\text{an}$). A cette époque, l'enrichissement du milieu en matière organique et les conditions de température et de salinité favorisent le déclenchement du cycle reproducteur de l'Annélide Oligochète *Limnodrilus hoffmeisteri* qui est l'espèce-pilote de la communauté (fig. 4).

Par ailleurs, lorsqu'en période d'étiage (été 1982) le milieu est soumis à une forte influence mésohaline, il existe une succession des espèces occupant ces milieux : d'abord *Monopylephorus rubroniveus* (Ver Oligochète), puis *Boccardia ligerica* (Polychète sédentaire). Toutefois, la qualité de la vase est un des facteurs limitant la stabilité des populations : sa fluidité estivale ne permet pas une colonisation durable du substrat par les Annélides (présence du bouchon vaseux et de la crème de vase) qui migrent alors vers l'amont (île Demangeat). Un autre facteur



□	0	■	201- 2 000	} DENSITÉS N/100 l
■	1-20	■	2001- 20 000	
■	21-200	■	≥ 20 001	

Fig. 5 .- Répartition spatiale des densités du zoobenthos dans le secteur polyhalin.

limitant peut être le déficit en oxygène de ce secteur en période d'étiage, le brassage des eaux y étant réduit. La mortalité et la migration estivales de tout ou de certaines fractions des populations sont responsables du niveau moyen de la production zoobenthique annuelle : 4 g/m²/an (de janvier à mars, la quantité de matière organique produite s'élève à 12 g/m²).

3. LE SECTEUR POLYHALIN "B" (fig. 5 et 6)

. La répartition des peuplements

De Donges à Saint-Nazaire (rive nord) et de Paimboeuf à Mindin (rive sud), ce secteur présente une composition faunistique plus variée (14 espèces) et une diversité spécifique supérieure à celles des autres secteurs ($H_n = 1,18$).

La caractéristique essentielle de sa cartographie zoobenthique est une micro-répartition en mosaïque de nombreuses petites communautés associées à des conditions édaphiques et hydrodynamiques locales.

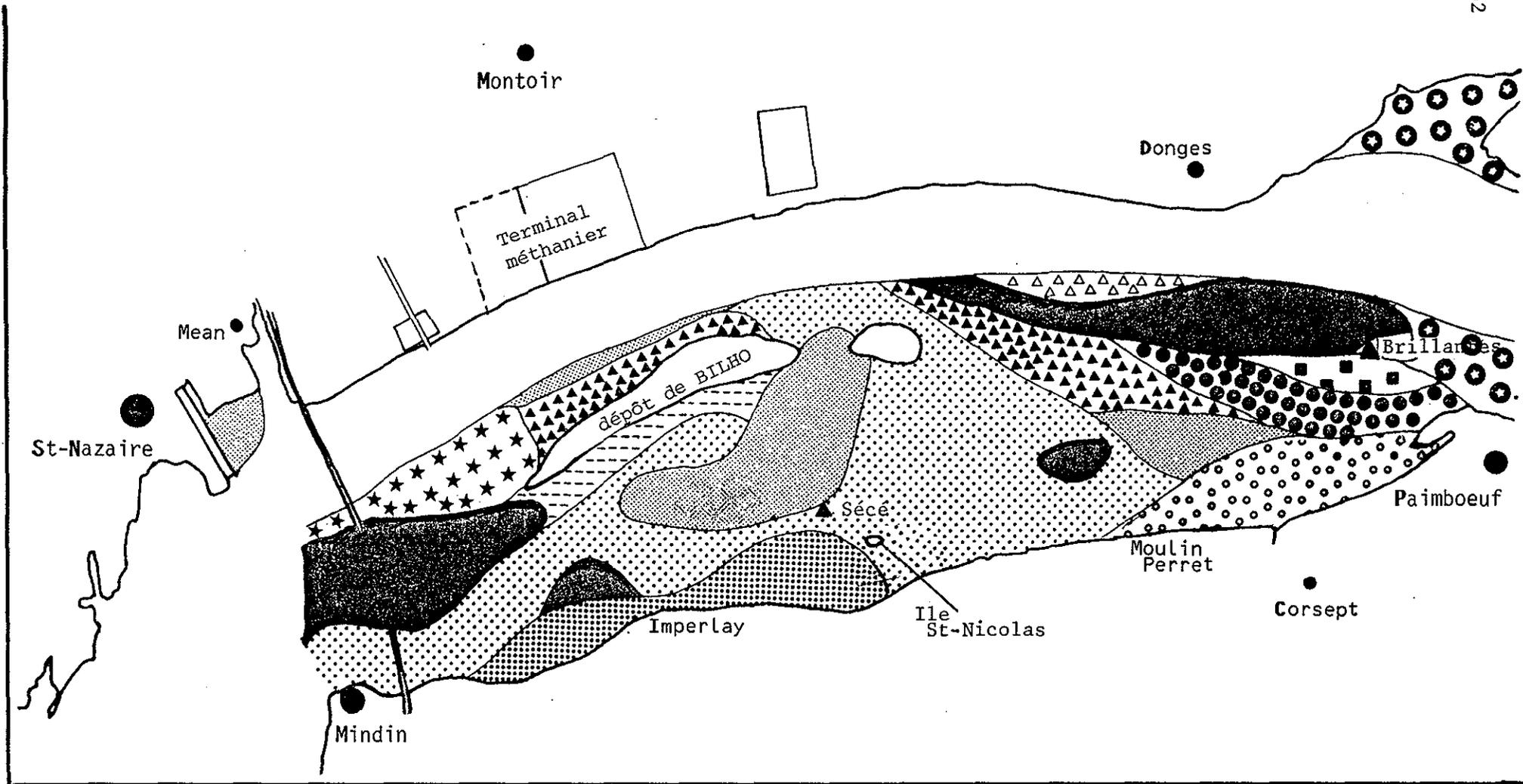
a) *Les sables propres* sont, soit azoïques lorsqu'ils sont situés en position subtidale, soit très pauvres dans les zones intertidales. Dans ce dernier cas, l'espèce représentée est le Mollusque Lamelibranche *Cerastoderma edule* (la coque) ; la surface de ce type de substrat peut être estimée à 23 % de l'aire étudiée.

b) *Les sables vaseux* sont limités à la rive sud de Bilho (communauté à Mollusques Lamelibranches *S. plana* et *M. balthica*) et à la bordure du chenal nord (de navigation) le long des Brillantes. Leur superficie ne dépasse guère 11 % du total.

c) *Les vases sableuses* constituent le biotope le mieux représenté : 46 % de la surface de ce secteur. Elles accueillent des communautés variables :

- *Nereis succinea* (Ver) (5 %) (sud des Brillantes)
- *Corophium volutator* (Crustacé) et *Macoma balthica* (33 %), ou *Cyathura carinata* (Crustacé) et *Scrobicularia plana* (rive nord de Bilho) (8 %).

d) *Les vases franches*, molles ou compactes, représentent 19 % des surfaces ; il s'agit de la banquette-relique de l'ancien banc de Bilho (2 %), peuplée de *C. volutator*, et de vases bordant la rive sud de Mindin à Paimboeuf, avec *N. diversicolor*, *S. plana* (7 %) et *M. balthica*, *Hydrobia ulvae* (Mollusque Gastéropode) (8 %). Le faciès à micro-Annélides ne représente que 2 % de la surface et est localisé à la limite faisant la transition entre les secteurs B et C. Les peuplements où les densités sont maximales sont tous situés en zone intertidale dans des sédiments plus ou moins envasés localisés hors des courants de marée.



<p>Vases à:</p> <p> <i>Macoma balthica</i> <i>Hydrobia ulvae</i></p> <p> <i>Nereis diversicolor</i> <i>Scrobicularia plana</i></p> <p> Micro-Annélides</p>	<p>Vases sableuses à:</p> <p> <i>Nereis succinea</i></p> <p> <i>Corophium volutator</i> <i>Macoma balthica</i></p> <p> <i>Cyathura carinata</i> <i>Scrobicularia plana</i></p>	<p>Vases compactes et sableuses:</p> <p> <i>Corophium volutator</i></p> <p>Sables propres à:</p> <p> <i>Cerastoderma edule</i></p> <p>Sables à:</p> <p> <i>Corophium volutator</i> <i>Cyathura carinata</i></p>	<p>Sables vaseux à:</p> <p> <i>Corophium volutator</i> <i>Mya arenaria</i></p> <p> <i>Scrobicularia plana</i> <i>Macoma balthica</i></p> <p> Zones azoïques</p>
--	--	---	---

Fig. 6.- Répartition spatiale des communautés benthiques dans le secteur polyhalin.

Toutefois, il est peu probable que cette cartographie établie en 1981 (et 1982) ne soit pas déjà très sensiblement modifiée, étant donnée l'instabilité des peuplements de ces biotopes.

. Le suivi annuel des peuplements

Le suivi annuel des peuplements benthiques a été effectué sur trois transects localisés dans des zones édaphiques et hydrodynamiques caractéristiques du secteur polyhalin : vasière naturelle de l'Imperlay (rive sud), estrans sud et nord du dépôt de dragage du Bilho. Il met en évidence les faits suivants.

a) *La nature, l'abondance et la production des peuplements benthiques sont liées aux qualités édaphiques du biotope* (fig. 7 et 8)

- Dans les sédiments de faible médiane, riches en fines et en matière organique, quel que soit le transect, les biomasses microphytobenthiques et macrozoobenthiques sont toujours importantes. C'est le cas de la vasière de l'Imperlay (tabl. 1) ; c'est également le cas pour la rive nord du Bilho où, toutefois, ces valeurs sont 3 à 4 fois plus faibles. Les espèces pilotes sont :

- . à l'Imperlay : *S. plana*, *M. balthica*, *N. diversicolor* et *N. succinea* ;
- . sur la rive nord du Bilho : *S. plana*, *C. carinata* (et *Mya arenaria*).

Il faut distinguer dans cet ensemble la banquette-relique de l'ancien banc du Bilho, située en bordure du chenal nord ; elle est constituée de vases compactes litées, très réduites où domine pendant l'hiver *Corophium volutator*, crustacé benthique à caractère opportuniste, doté d'une importante capacité migratoire.

- Dans les sables propres ou peu envasés, comme ceux de la rive sud de Bilho, le faible niveau des biomasses est lié à l'instabilité des substrats et à leur pauvreté en fines et en matière organique.

b) *Le niveau tidal des sédiments conditionne la répartition des peuplements*

- Pour le microphytobenthos, ce facteur, associé à la qualité du sédiment, conditionne son développement (tabl. 2). Les stations situées en haut de l'estran subissent une longue période d'émersion (donc de lumière) permettant la production primaire. Cette production microalgale sera d'autant plus élevée que les facteurs seront favorables (teneur en eau, en sels nutritifs, etc.).

- Pour la macrofaune benthique, le rapport horaire émersion/immersion est un facteur de répartition qualitative et quantitative.

D'un point de vue qualitatif, la zonation tidale des espèces est liée à leurs exigences écologiques, plus particulièrement trophiques. Les espèces à régime filtreur (suspensivores) nécessitent de longues périodes d'immersion : elles seront donc essentiellement localisées au bas de l'estran

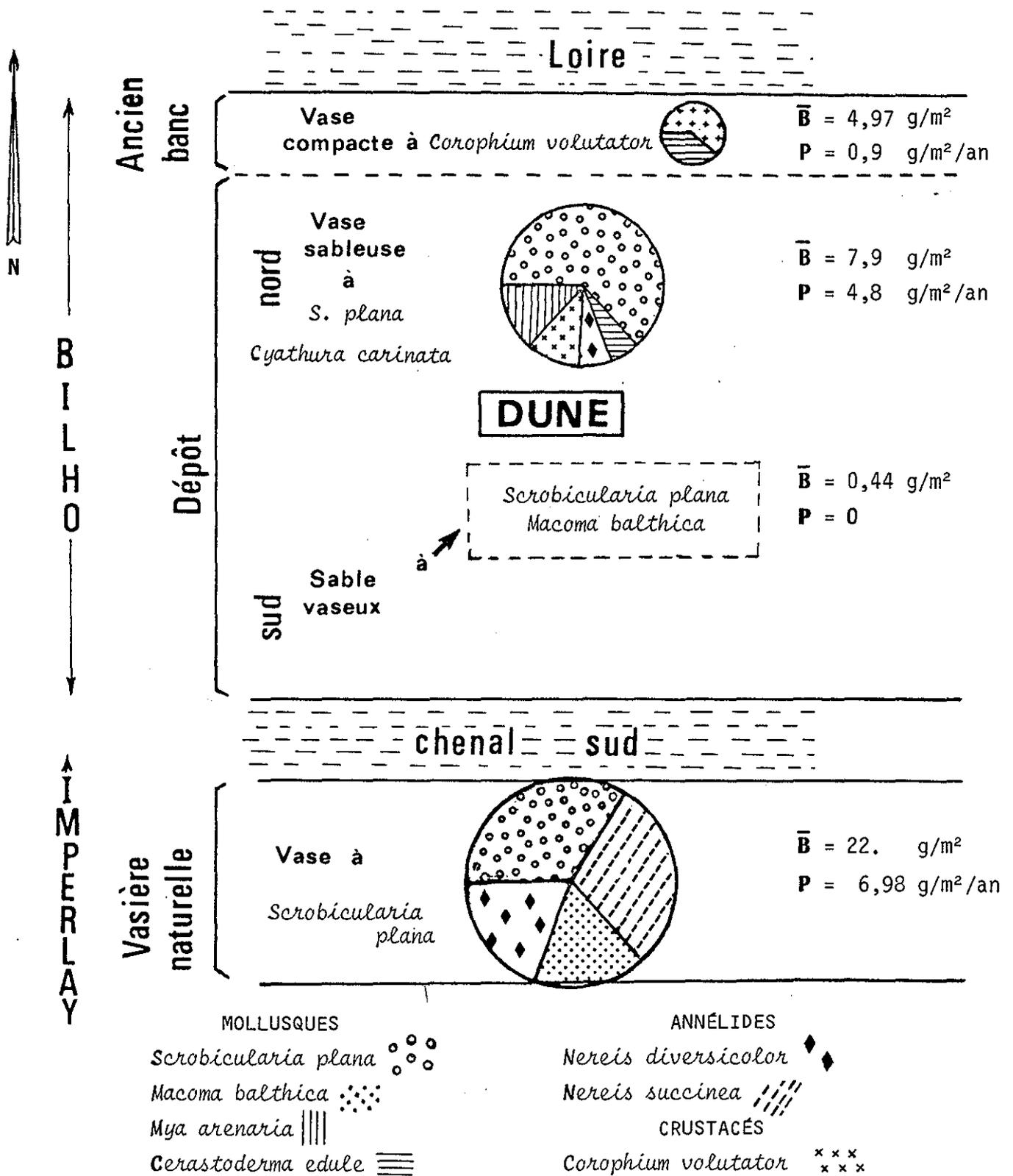


Fig. 7 .- Synthèse des données édaphiques et biologiques relatives au zoobenthos du secteur de Bilho (\bar{B} =biomasse moyenne annuelle; P =production).

dans des zones alimentées par des masses d'eau riches en plancton. C'est le cas observé sur les deux rives de Bilho avec les Mollusques Lamellibranches *Cerastoderma edule* et *Mya arenaria*. Ces espèces sont absentes de l'Imperlay où le substrat vaseux et les eaux turbides leur sont défavorables (fig. 9).

D'un point de vue quantitatif, les répartitions faunistiques varient selon les zones :

. à l'Imperlay, les biomasses macrozoobenthiques sont équivalentes sur les 3/4 de l'estran; seules les stations les plus basses présentent des caractéristiques plus faibles (tabl. 3) ;

. sur le dépôt de Bilho, les biomasses animales ne sont pas quantifiables au-dessus du niveau moyen des basses mers de mortes-eaux, même lorsque la nourriture y est abondante (présence de microphytobenthos) ; il est vraisemblable que les substrats y soient trop instables.

Niveau	Bilho-sud	
	station	sable
haut	4	133,2
↓	5	109,7
	6	134,4
	7	100,9
bas	8	54,5

Tabl. 2 : Répartition spatiale des biomasses microphytobenthiques sur l'estran sableux de Bilho-sud (mg/m²).

Niveau	Imperlay		Bilho	
	stat.	vase	stat.	sable
haut	5	20,0	4	0,05
↓	4	37,6	5	0,33
	3	30,2	6	0,39
	2	14,3	7	0,68
bas	1	8,9	8	0,81

Tabl. 3 : Répartition spatiale des biomasses macrozoobenthiques à l'Imperlay et à Bilho sud (mg/m²).

c) *Les effets des conditions hydrologiques saisonnières varient selon les divers milieux étudiés (fig. 4)*

- A l'Imperlay, les débits fluviaux ne provoquent de mortalités hivernales que pour des valeurs supérieures à 1000 m³/s : les biomasses régressent mais restent toujours supérieures à 50 % de la quantité moyenne. Ce bas niveau ne dure que les trois mois d'hiver et deux mois au printemps. La reconstitution cyclique des peuplements semble s'effectuer dans de bonnes conditions en été et en automne. L'hydrodynamisme modéré des masses d'eau au niveau de ces vasières latérales permet le renouvellement des populations des espèces-pilotes.

- Sur la rive sud de Bilho, la sensibilité du peuplement aux variations du débit est plus grande. Les mortalités se produisent dès que celui-ci atteint 825 m³/s (niveau moyen). Les biomasses restent inférieures à la moyenne, pendant neuf mois, ce qui laisse peu de temps pour le renouvellement des populations ; les biomasses doublent ou triplent au cours des trois mois d'été avec une contribution non négligeable mais fugace d'une espèce d'origine marine : *Cerastoderma edule*, la coque.

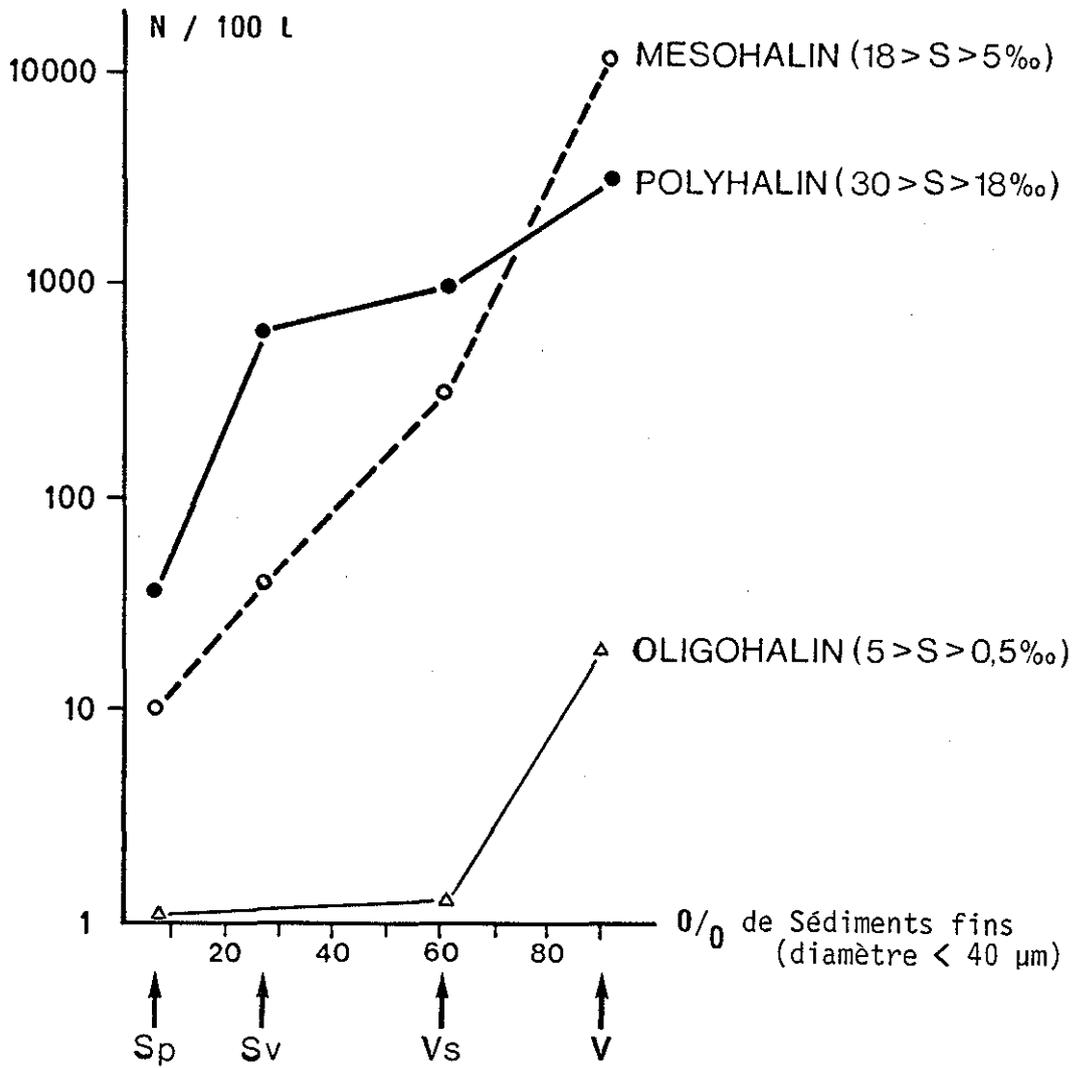


Fig. 8 .- Evolution des densités zoobenthiques selon les caractéristiques édaphiques dans les trois secteurs estuariens (B=polyhalin, C=mesohalin, D=oligohalin) (Sp =sables propres, Sv =sables vaseux, Vs =vases sableuses, V =vases).

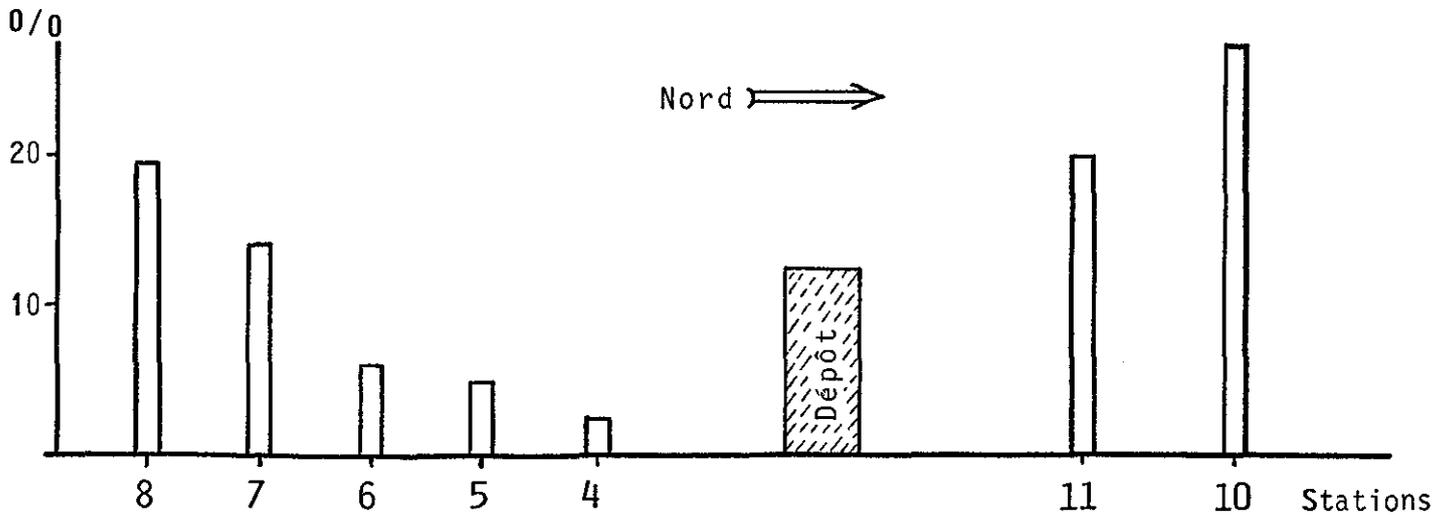


Fig. 9 .- Mollusques filtreurs sur le dépôt de Bilho: schéma de la répartition spatiale des pourcentages.

- Sur la rive nord de Bilho l'évolution des biomasses est très différente.

• Les valeurs sont maximales en hiver et au printemps et représentent 200 % de la biomasse moyenne. Ces accroissements sont dus à la présence de deux crustacés benthiques :

Corophium volutator au niveau de la banquette-relique du banc,
Cyathura carinata au niveau de l'estran du dépôt.

Il est possible que ces deux espèces constituent un support trophique hivernal important, lorsque les milieux avoisinants sont appauvris par la mortalité affectant leurs composantes biologiques.

• Les valeurs minimales sont estivales et automnales. Les biomasses sont alors de 13 % inférieures à leur niveau moyen. Les espèces précédentes ont disparu du milieu et sont remplacées par les stades juvéniles de Lamellibranches marins transportés par les courants tidaux (*C. edule*). Ces jeunes Lamellibranches disparaissent pour des débits supérieurs à 900 m³/s.

II. CONTRIBUTION DES COMPOSANTES SPECIFIQUES A LA RICHESSE DES COMMUNAUTES

1. LE SECTEUR DE LAVAU

Densité et biomasse

Les Oligochètes Tubificidés sont les espèces qui dominent en densité (95 %) et en biomasse (92 %) ; l'espèce la plus abondante numériquement est *Limnodrilus hoffmeisteri* (79 %) suivie de *Monopylephorus rubroniveus* (16 %). Les densités des Polychètes sédentaires sont négligeables (*Boccardia ligeria* : 3 % ; *Streblospio shrubsolii* : 0,8 %) ; par contre, alors que les effectifs de *Nereis diversicolor* sont minimes (0,2 %), leur biomasse est importante et représente plus de 50 %. Ceci est dû au fait que le poids moyen individuel d'un Néreidé est 500 fois supérieur à celui d'un Oligochète Tubificidé. Toutes ces espèces appartiennent au même embranchement ; celui des Annélides qui constituent 99 % des effectifs et 87 % des biomasses. Les Mollusques Lamellibranches tels que *Scorbicularia plana* et *Macoma balthica*, en dépit de la brièveté de leur présence dans ce secteur, représentent néanmoins 13 % des biomasses totales. Quel que soit le groupe zoologique considéré, il s'agit d'organismes qui sont tous des mangeurs de dépôts ; leur présence est donc liée à la richesse nutritive des sédiments vaseux.

Production

La production biologique de ces substrats, effective durant les trois mois de la période hivernale, est due essentiellement aux Oligochètes (76 % de la matière biologique produite). *Nereis diversicolor* est responsable des 24 % de production complémentaire.

2. LE SECTEUR DE L'IMPERLAY

Densité et biomasse

Le premier rang des densités est occupé par *N. diversicolor* (46 %), suivi de *M. balthica* (30 %) et *S. plana* (13 %). En terme de biomasse,

S. plana est dominant (67 %), *N. diversicolor* vient en deuxième (20 %), puis *M. balthica* (10 %). Cette inversion du classement est liée au fait que le poids moyen individuel de *S. plana* est 10 fois supérieur à celui de *M. balthica* et 12 fois supérieur à celui de *N. diversicolor*.

L'essentiel des abondances est constitué par deux groupes zoologiques :

- les Annélides Polychètes errantes : 48 % des densités, 22 % des biomasses,
 - les Mollusques Lamellibranches : 43 % des densités, 77 % des biomasses,
- dont les espèces présentes, limitées au nombre de 5, sont toutes des consommateurs primaires, les vases de l'Imperlay étant très riches en matière organique vivante (microphytobenthos, etc.) et détritique.

Production

Dans ce secteur, les Annélides sont responsables de l'élaboration de 62 % de la matière vivante, le reste étant produit par les Lamellibranches.

3. LE SECTEUR DE BILHO

. Sur la rive sud

Densité et biomasse

Le Gastéropode *Hydrobia ulvae* vient au premier rang des densités (44 %), mais en raison de son très faible poids individuel lié à sa petite taille (3 à 5 mm), il n'est situé qu'à la 4ème place pour les biomasses (3 %). Numériquement, viennent ensuite *M. balthica* (20 %) et *S. plana* (12 %). Pour les biomasses, *Mya arenaria* de poids individuel élevé (7 mg) vient en tête (55 %), suivi de *S. plana* (27 %) et *M. balthica* (8 %).

Trois groupes zoologiques sont diversement représentés :

- . Annélides Polychètes errantes : 1,3 % des densités, 1,7 % des biomasses;
- . Mollusques Lamellibranches : 43 % des densités, 91 % des biomasses;
- Gastéropodes : 44 % des densités, 3 % des biomasses;
- . Crustacés Péracarides : 7,7 % des densités, 4,1 % des biomasses.

Trois catégories trophiques leur correspondent :

- . les brouteurs (*H. ulvae*) : 44 % des densités, 3 % des biomasses;
- . les dépositivores : 41 % des densités, 40,8 % des biomasses;
- . les suspensivores ou filtreurs : 11 % des densités, 56,1 % des biomasses.

L'abondance pondérale des filtreurs montre que la nourriture planctonique est disponible dans ce secteur.

Production

Les conditions hydrologiques sont telles qu'elles ne permettent pas la survie hivernale des populations installées en période de recrutement (été). La production globale y est donc nulle.

. Sur la rive nord

Densité et biomasse

La dominance numérique de *Corophium volutator* est nette (46 %). Viennent ensuite *Cyathura carinata* (18 %) et *S. plana* (16 %). Cette dernière espèce occupe le premier rang des biomasses (58 %) ; *C. carinata* occupe le deuxième (22 %) et *M. arenaria* le troisième (9 %). En raison de son très faible poids individuel *C. volutator* n'occupe que la quatrième place (6 %) malgré ses densités élevées.

Les groupes zoologiques représentés ici sont les mêmes que ceux de l'estran sud de Bilho, au nombre de trois :

- . Annélides Polychètes errantes : 1,2 % des densités, 1,3 % des biomasses;
- . Mollusques [Lamellibranches : 30 % des densités, 70,5 % des biomasses;
Gastéropodes : 1,8 % des densités, 0,2 % des biomasses;
- . Crustacés Péracarides : 64 % des densités, 28 % des biomasses.

Les trois catégories trophiques correspondantes sont :

- . les brouteurs : 1,8 % des densités, 0,2 % des biomasses ;
- . les dépositivores : 83 % des densités, 89 % des biomasses ;
- . les filtreurs : 12 % des densités, 10,4 % des biomasses.

Production

Elle est essentiellement due à *S. plana* (98 %). Les autres espèces, de faibles poids individuels et subissant de fortes variations démographiques (*C. volutator*, *C. carinata*), ne peuvent assurer qu'une petite partie de la production.

III. CONCLUSION

1. CONSEQUENCES POUR LES PEUPEMENTS BENTHIQUES DES DERNIERS AMENAGEMENTS

La nouvelle cartographie des peuplements benthiques qui vient d'être établie montre que les derniers travaux d'aménagement : dépôt de dragage en 1980, creusement d'une zone d'évitage à Montoir, approfondissement du chenal de navigation, ont eu les conséquences suivantes pour les peuplements benthiques (fig. 10).

a) Le secteur le plus affecté par ces aménagements est la zone de Bilho. Le dépôt de sédiments remaniés sur le banc de Bilho a provoqué une redistribution des peuplements avec :

- disparition des faciès à "Micro-Annélides" dépositivores, tels que les Oligochètes et les Polychètes (*Streblospio shrubsolii*, *Boccardia ligerica*), qui ne représentent plus que 2 % de la superficie totale ;

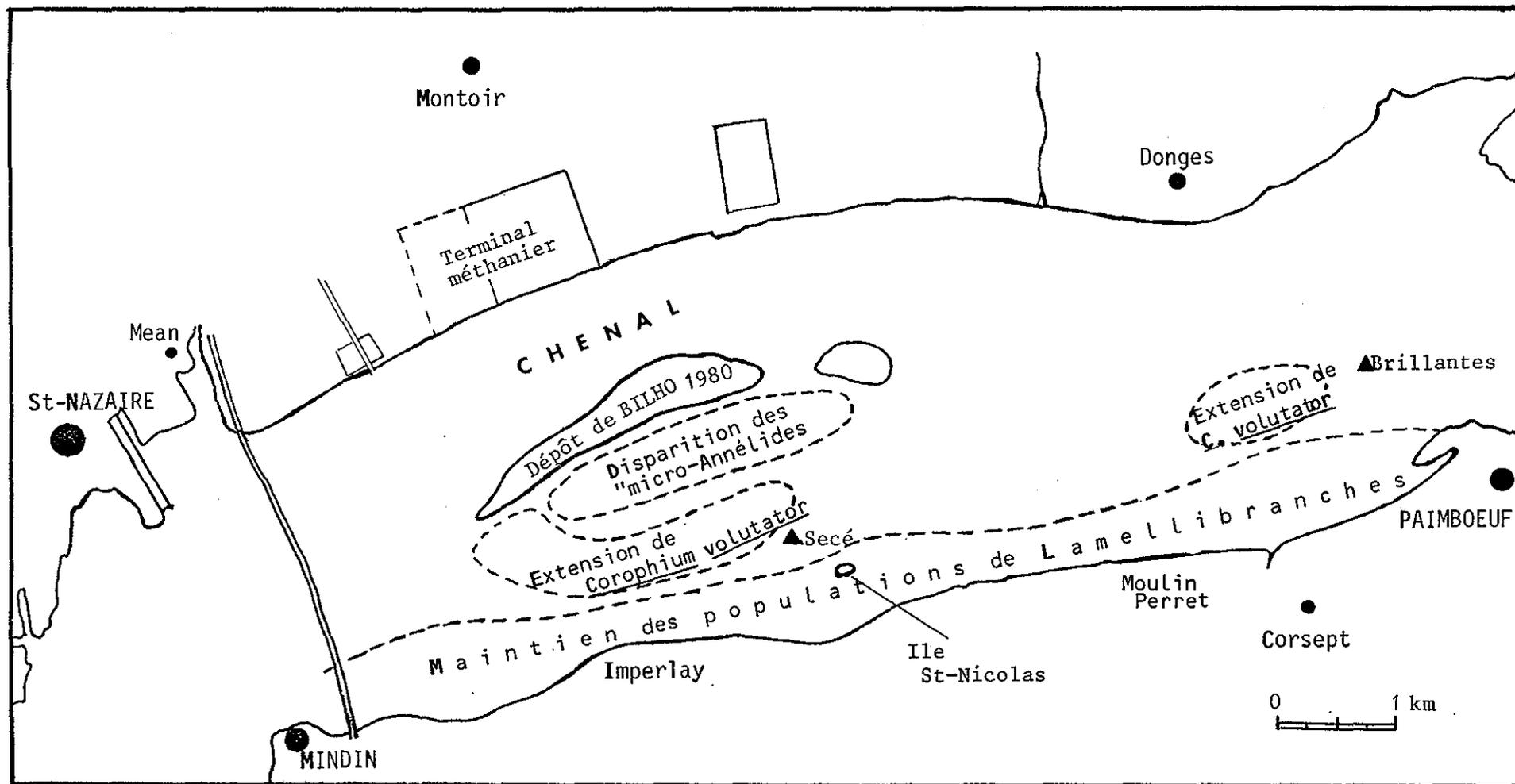


Fig. 10 .- Principales modifications dans la répartition des communautés benthiques depuis les travaux récents d'aménagement (1980), par comparaison avec un échantillonnage de 1979.

- régression des faciès à Mollusques Lamellibranches filtreurs telle *Mya arenaria* (notée "abondant" pour 9 % des surfaces seulement) ;
- régression et redistribution des faciès à Mollusques Lamellibranches dépositivores (*S. plana* et *M. balthica*) ;
- développement des populations de *Corophium volutator*, Crustacé dépositivore, qui devient l'espèce pilote dans 43 % des surfaces.

Cette évolution est due à deux principaux facteurs :

- . la redistribution des sédiments entraînant l'ensablement du chenal sud, l'envasement de la passe des Brillantes ainsi que la mobilité permanente du substrat ;
- . la modification de la courantologie, les courants de jusant n'empruntant plus le chenal sud et étant canalisés au nord de Bilho dans le chenal de navigation, les courants de flot utilisant préférentiellement le chenal nord mais également, en partie, le chenal sud en venant buter sur la zone envasée des Brillantes, sans pour autant la dégager ; un nouveau courant traversier de jusant orienté de Paimboeuf vers Gardiloire s'est établi et a remplacé ceux de la passe traversière du Priory et du sud des Brillantes, se situant donc plus en aval que l'ancien.

b) Les vasières latérales de Mindin à Paimboeuf n'ont été touchées qu'indirectement par les aménagements. Le faciès à Mollusques Lamellibranches y est toujours bien représenté. Toutefois, on peut craindre un envasement et un exhaussement progressif de cette zone qui n'est plus soumise qu'à un très faible hydrodynamisme.

c) La répartition amont-aval des espèces a été légèrement modifiée et entraîne une remontée de quelques kilomètres de la limite de pénétration de certaines espèces euryhalines vers l'amont. Bien que le seuil de salinité ne remonte que faiblement vers l'amont, l'influence des eaux marines étant plus accentuée le risque principal est d'assister à une diminution de l'aire de la zone de transition à caractère polyhalin ; mais son extension vers l'amont deviendrait-elle effective qu'il n'y aurait pas pour autant compensation, la zone Cordemais - Le Pellerin étant moins propice à l'installation de peuplements productifs en raison de l'étroitesse des vasières latérales et de l'endiguement des berges.

2. BILAN DE LA PRODUCTION BENTHIQUE PAR LE SUIVI MENSUEL DES PEUPELEMENTS

a) La contribution des différentes stations d'un transect à la richesse d'un secteur est très variable (voir la carte en début de chapitre).

- Dans le secteur C (mésohalin)

Seules les stations vaseuses sont productives, les sables plus ou moins envasés étant pauvres. Nous verrons (chapitre suivant) le rôle joué par les vasières de Pierre-Rouge à Cordemais vis-à-vis de l'ichthyofaune. On peut estimer à 13 t/an la quantité de matière organique produite dans ce secteur.

- Dans le secteur B (polyhalin)

Sur l'estran vaseux de l'Imperlay toutes les stations ont une contribution équivalente. Il y a homogénéité et stabilité du milieu. La biomasse animale produite sur les vasières entre Mindin et Paimboeuf peut être estimée à 37 t/an.

Rive nord du dépôt de Bilho, seules les stations situées au-dessous du niveau de basse mer de mortes-eaux sont productives. L'extrapolation à l'ensemble de la rive nord est délicate, étant donné la mosaïque des peuplements. Cependant, on peut estimer à un maximum de 15 t/an la biomasse produite, la banquette-relique en représentant 3 à 5 % à elle seule.

Rive sud du dépôt de Bilho, les sédiments ne sont pas productifs. Les mauvaises conditions édaphiques dues à la nature du substrat et à sa mobilité, la sensibilité du milieu aux conditions de dessalure font que le mauvais recrutement des espèces et leur mortalité importante sont responsables d'une *perte* de biomasse estimée à 4 kg/ha/an, soit 1,5 t/an pour l'ensemble de la zone sud.

- Au total, la production macrozoobenthique de l'estuaire interne de la Loire peut être évaluée très grossièrement à 65 t/an de matière organique, soit :

- . le secteur mésohalin 20 %, sur les estrans représentant 9 % des surfaces intertidales globales ;
- . le secteur polyhalin 80 %, la biomasse zoobenthique étant produite par : les vasières marginales 57 % pour 16 % des surfaces, les estrans du dépôt de Bilho 23 % seulement pour 75 % des surfaces.

Cette approche permet d'évaluer et de noter le rôle joué par les vasières naturelles dans la richesse de l'estuaire.

b) La recolonisation des deux rives du dépôt de Bilho ne se fait pas de façon identique :

- la rive sud ne présente pas de signe effectifs de recolonisation, l'ensablement de cette zone par les sédiments originaires de la dune terrestre est un handicap sérieux pour l'avenir de cet estran ;

- la rive nord est en cours de recolonisation par deux espèces de Mollusques Lamellibranches ; les populations de *Scrobicularia plana* y sont nettement productives ; celles de *Mya arenaria* semblent trouver sur cet estran des conditions favorables à leur réinstallation, donc à leur production future ; seul un suivi durant une ou deux autres années pourrait apporter des renseignements sur cette évolution.

c) L'estuaire de la Loire se situe à un niveau de production moyen (4 à 7 g/m²/an), comparativement à ce qui est observé dans d'autres estuaires européens :

- . 14,4 g/m²/an dans l'estuaire du Grevelingen (Pays Bas),
- . 13,3 g/m²/an dans l'estuaire de la Lynher (Grande-Bretagne).

En définitive, le maintien de la productivité d'un milieu tel que l'estuaire de la Loire, sur qui repose la vie de très nombreuses espèces, passe par l'intégrité des facteurs suivants :

- . le flux énergétique de sels minéraux et de matières organiques fluviales et maritimes ;
- . la qualité du support hydrologique : absence de pollution chimique ;
- . la qualité du support sédimentaire permettant l'installation de communautés benthiques productives; la richesse des sédiments en fraction fine est indispensable au maintien des peuplements animaux et végétaux d'où l'importance des vasières latérales ;
- . l'étendue des aires intertidales productives et leur stabilité hydrodynamique.

Actuellement, ces conditions sont réunies en plusieurs zones de l'estuaire qui méritent d'être préservées de tout aménagement :

- . les vasières bordant la rive nord, de l'île de Pierre-Rouge jusqu'à Cordemais,
- . les vasières longeant la rive sud entre Mindin et Paimboeuf.

CHAPITRE IV

LES RESSOURCES BENTHO-DEMERSALES DE L'ESTUAIRE

BIOLOGIE ET ECOLOGIE DES PRINCIPALES ESPECES

Introduction

Dans l'estuaire de la Loire, les poissons et les crustacés benthodémersaux peuvent être classés en plusieurs groupes en fonction de leur biologie et de leur dépendance vis-à-vis du milieu estuarien.

Les espèces endémiques

Les espèces euryhalines et eurythermes qui accomplissent la totalité de leur cycle biologique dans l'estuaire de la Loire sont peu nombreuses ; nous en avons remarqué deux : la crevette blanche : *Palaemon longirostris* et un Gobiidé : *Pomatoschistus minutus*.

Une autre espèce de crevette est endémique du système estuarien, *Palaemonetes varians*, mais absente dans les échantillons car elle séjourne de préférence dans les étiers et les zones humides annexes de la Loire.

Les espèces amphibiotiques

Ces espèces sont représentées par les poissons migrateurs qui changent deux fois de milieu au cours de leur cycle :

mer \rightleftharpoons estuaire \rightleftharpoons fleuve.

Selon l'ampleur de leur migration, elles peuvent être regroupées en trois ensembles :

- les espèces à migration spatiale limitée ; ce sont l'éperlan (*Osmerus eperlanus*) qui se reproduit à la limite amont de la marée dynamique ne s'éloignant guère des eaux de l'estuaire externe, et le mullet (*Liza ramada*) qui a une aire de ponte estuarienne et peut pénétrer jusqu'aux limites de la marée dynamique ;

- les espèces à migration spatiale de moyenne importance, représentées par le flet (*Platichthys flesus*) dont l'aire de ponte marine est située sur l'isobathe des 30 mètres et qui peut coloniser la partie basse et moyenne du bassin versant ;

- les espèces à très vaste migration spatiale :

. la lamproie fluviatile (*Lamprolaima fluviatilis*) dont les aires de ponte sont fluviales mais dont on ignore la limite d'extension vers l'aval qui dépend du "poisson support" ;

. la lamproie marine (*Petromyzon marinus*) dont seule la phase continentale du cycle biologique est connue ;

. l'alose vraie (*Alosa alosa*) et l'alose feinte (*Alosa fallax*) dont on connaît les aires fluviales de ponte, mais dont certaines écophases sont méconnues (dévalaison des juvéniles) ;

. l'anguille (*Anguilla anguilla*) espèce au cycle complexe et à vaste aire de répartition (mer des Sargasses, océan Atlantique, continents européen et nord-africain) ; cette espèce est capable de "coloniser" le haut des bassins-versants (zone à salmonidés) ;

. dans cette catégorie, on peut classer des Salmonidés tels que la truite de mer (*Salmo trutta trutta*), le saumon atlantique (*Salmo salar*) et l'esturgeon (*Acipenser sturio*) qui n'ont pas été échantillonnés par les engins que nous avons utilisés.

Les espèces euryhalines

La plupart de ces espèces peuvent être qualifiées de "l'aféro-estuariennes" car elles sont surtout inféodées aux bordures d'estuaire et aux marais annexes :

- celles d'origine marine, dont la répartition estuarienne, qui se fait à l'occasion de certaines écophases de leur cycle biologique, est d'une ampleur variable selon les espèces :

la crevette grise (<i>Crangon crangon</i>)	le bar (<i>Dicentrarchus labrax</i>)
le syngnathe (<i>Syngnathus acus</i>)	l'anchois (<i>Engraulis encrasicolus</i>)
le sprat (<i>Sprattus sprattus</i>)	la sole (<i>Solea solea</i>)

- celles d'origine fluviale :

le poisson chat (<i>Ictalurus melas</i>)	le sandre (<i>Stizostedion lucioperca</i>)
la carpe (<i>Cyprinus carpio</i>)	l'épinoche (<i>Gasterosteus aculeatus</i>)
la brème (<i>Abramis brama</i>)	

Si l'estuaire représente pour les espèces endémiques le support vital de tout le cycle biologique, il devient pour les autres nécessaire et d'une importance capitale durant certaines de leurs écophases.

Du fait de sa situation privilégiée par rapport à l'ensemble de l'hydrosystème, le rôle de l'estuaire est multiple et primordial. Pour les espèces amphibiotiques il est un lieu de passage obligatoire pour les migrations d'amontaison ou d'avalaison (trophique, colonisatrice, génésique, etc.), un lieu de sédentarisation de certaines fractions de la population, un lieu d'alimentation durant des écophases particulières. Pour les espèces euryhalines d'origine marine il est un site privilégié servant de support trophique aux fractions juvéniles des populations (nourricerie).

I. CARACTERISTIQUES GENERALES DES RESSOURCES BENTHO-DEMERSALES

1. Les ressources benthodémersales inventoriées par pêche planctonique

Une étude des échantillons recueillis par pêches planctoniques permet d'établir un schéma de la dispersion des stades planctoniques de certaines espèces de crustacés et de poissons.

Crustacés

Les "post-larves" de crevette grise apparaissent en avril dans le secteur polyhalin B et en mai plus en amont, dans le secteur mésohalin C.

Les larves aux stades zoé-mégaloopes des Décapodes marcheurs (crabes et pagures) sont limitées à l'estuaire maritime pendant l'hiver. Elles pénètrent dans le secteur de Bilho dès le mois d'avril et peuvent même être transportées jusque sur le banc de Lavau en période d'étiage (la salinité peut y atteindre 17 ‰ à marée haute). Il est vraisemblable que lors du jusant, ces larves soient de nouveau localisées plus en aval, dans une masse d'eau correspondant aux exigences écologiques de cette écophase, ce qui leur assure une plus grande chance de survie.

Poissons

Les "post-larves" de certaines espèces semblent avoir des migrations limitées :

- . celles du sprat apparaissent dès février dans le secteur marin A et ne migrent pas au-delà de Bilho ; la salinité minimale acceptable pour ces stades est estimée à 19 ‰ par GASCUEL en Loire et en Vilaine ;

- . celles des autres Clupéidés (hareng et sardine) ont également une pénétration limitée au Bilho au début de l'étiage estival (juin).

En revanche, les post-larves de poissons plats (flets) en provenance des aires marines de pontes pénètrent dans l'estuaire interne en mars ou en avril selon les années. Elles migrent vers le secteur amont (C mésohalin) où leur présence est quelquefois remarquée dès le début du mois de mars. Ce mouvement de migration est étalé dans l'espace et dans le temps, jusqu'à la fin du printemps.

La migration des post-larves d'éperlan provenant des aires de pontes fluviales (étude en cours) se fait en sens inverse de celle des espèces précédentes. Selon les années, les larves apparaissent dans le secteur oligohalin soit en mars (1982), soit en avril. Profitant des débits fluviaux, les post-larves quittent l'estuaire interne en mai ou juin. Les conditions hydrologiques influent sur la durée de leur passage dans chacun des secteurs.

La civelle d'anguille, mai échantillonnée par le filet à plancton, semble pénétrer en Loire en janvier et arriver dans le secteur de Cordemais en février-mars. Selon ELIE, la pénétration en Loire de cette écophase se fait de la fin octobre à la fin mai, avec en début de saison une vaste extension sur l'ensemble du front salin de Saint-Nazaire à Cordemais.

Les observations sur les stades planctoniques des ressources benthodémersales dans l'estuaire de la Loire complètent celles faites par GASCUEL sur les captures accessoires de la pêche civellière à Saint-Nazaire et celles faites par l'ISTPM au niveau de la Centrale de Cordemais. La phase essentielle de "colonisation estuarienne" est printanière ; lorsque les crues provoquent la stratification haline des eaux dans le secteur aval, la pénétration des post-larves des espèces marines dans l'estuaire se fait par l'intermédiaire du "coin salé" ou de la "langue salée intermédiaire" en direction des zones amont où le mélange des eaux est meilleur. Parallèlement, mais en sens inverse, les masses d'eaux fluviales, qui circulent en surface, entraînent vers le secteur maritime les post-larves des espèces qui se sont reproduites en amont.

2. Les ressources benthodémersales inventoriées par pêche à pied

L'étude sur huit mois des variations qualitatives et quantitatives des stades suprabenthiques récoltés dans les mares et la première vague de flot permet les constatations suivantes.

- Les mares constituent des micro-biotopes dans lesquels les organismes apportés à chaque marée par le flot sont piégés au jusant. Ce piégeage, qui protège toutefois contre l'hydrodynamisme, concerne essentiellement les espèces capables de s'enfouir partiellement ou totalement dans le substrat : jeunes crevettes grises et poissons plats (plie, flet, sole). Outre le piégeage, il se produit même une concentration, les densités et les biomasses dans les mares étant quatre fois supérieures à celles qui arrivent avec le flot. Ces mares qui subissent un apport cyclique à chaque jusant (jusqu'à une capacité d'accueil maximale) sont de véritables foyers de dispersion partielle à chaque flot : elles sont un facteur d'enrichissement du milieu.

- La crevette grise (*Crangon crangon*) est l'espèce-pilote de ces communautés ; le phénomène de concentration est particulièrement marqué pour cette espèce dont les densités dans les mares sont cinq fois celles de la première vague de flot ; le piégeage ne concerne cependant que les très jeunes individus (10 mm), ceux de taille supérieure ayant une meilleure capacité natatoire.

- La présence de ces stades dans l'estuaire interne comporte plusieurs phases temporelles :

- . une phase printanière dominée par *C. crangon* (première période reproductrice), *Pleuronectes platessa*, puis *Platichthys flesus* avec *Neomysis integer* et *Mesopodopsis slabberi* (Mysidacées) ;

- . une phase estivale avec *C. crangon* (deuxième période reproductrice) et *Solea sp.* dont la reproduction est plus tardive que celle des poissons plats cités précédemment ; en dépit de l'abondance des Gobies dans la vague de flot, leur présence dans les mares est réduite ;

- . une phase automnale avec réduction des densités ; de plus, la topographie de l'estran s'est modifiée, faisant disparaître les mares dès le mois de novembre ; les organismes n'étant plus au stade "suprabenthique", leur comportement et leurs exigences biologiques ont évolué ; la plupart d'entre eux migrent de nouveau vers les eaux marines (*C. crangon*, *Solea sp.*, etc.).

Cette première étude montre l'importance des mares comme potentiel d'enrichissement du secteur de Bilho en ressources benthodémersales. Il y aurait intérêt à ce que ces légères dépressions sédimentaires (20 cm de profondeur) persistent dans ces zones afin d'offrir des capacités d'accueil lors de l'arrivée des jeunes stades sur ces aires moins hostiles. Les mares intertidales du dépôt de Bilho contribuent au rôle de nourricerie joué par ce secteur vis-à-vis de la crevette grise et des poissons plats.

3. Les ressources benthodémersales chalutées : caractéristiques qualitatives et quantitatives, évolutions spatio-temporelles

a) Caractéristiques générales des ressources benthodémersales de l'estuaire

Pour l'ensemble de l'estuaire, la biomasse moyenne s'élève à 4,5 kg/ha en poids frais. Dominent 4 espèces : le flet, la sole, l'éperlan et la crevette grise.

Les poissons représentent 51 % de la densité totale et 94 % de la biomasse totale.

Les Crustacés en constituent respectivement 47 et 5 %.

Les Mollusques Céphalopodes sont des éléments mineurs (1 %), essentiellement localisés dans l'estuaire externe.

Globalement, la richesse spécifique de l'estuaire est due au secteur maritime (A) qui constitue, soit une réserve d'espèces euryhalines d'origine marine ayant une écophase estuarienne (migration trophique), soit une voie de passage vers les milieux marins profonds ou les milieux dulçaquicoles (migration génétique). On y trouve aussi bien des espèces marines (38 % au maximum) que des espèces euryhalines (jusqu'à 59 %) auxquelles s'ajoutent les amphibiotiques (18 % au maximum).

De l'aval vers l'amont, la diversité spécifique décroît de 2,54 (secteur A) à 1,62 (secteur B), puis à 1,34 (secteur C). Cette décroissance correspond à la dominance progressivement croissante d'une seule espèce : le flet.

b) Variations saisonnières des caractéristiques globales des ressources benthodémersales

Les densités globales du peuplement sont sensibles aux variations des conditions hydrologiques : elles sont maximales en période d'étiage et minimales pour des débits moyens et forts.

Les biomasses globales fluctuent irrégulièrement sans liaison apparente avec l'hydrologie.

La richesse spécifique de l'estuaire est maximale en étiage (24 espèces) et minimale en période de crues (10 espèces).

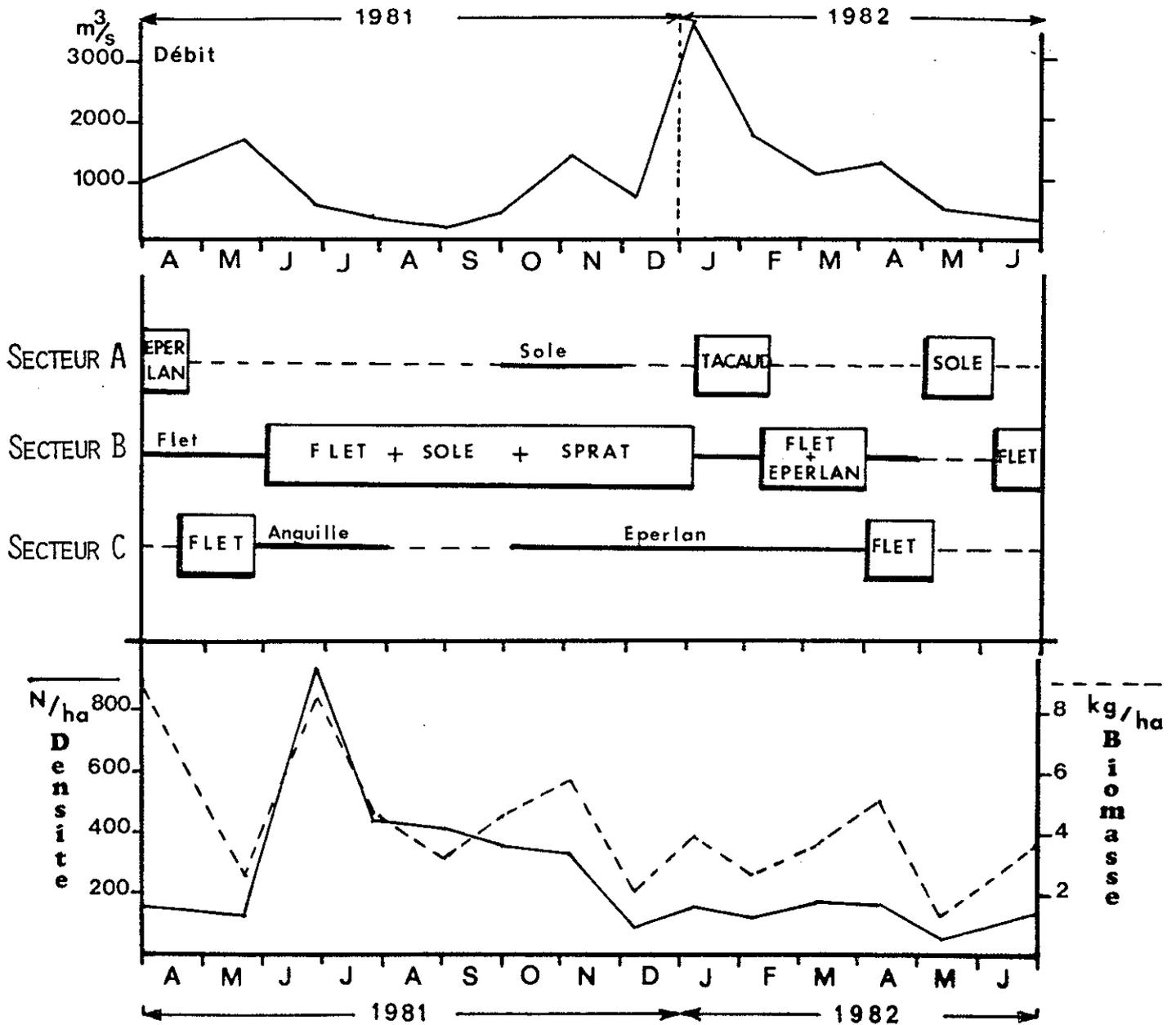


Fig. 1.- Variations saisonnières de la contribution des secteurs aux caractéristiques des ressources en ichthyofaune.

La diversité spécifique est constante dans le secteur maritime et est de plus en plus fluctuante au fur et à mesure qu'on s'éloigne de l'embouchure de la Loire en direction de l'amont. Elle peut devenir nulle dans les cas extrêmes lorsque le flet devient l'unique espèce du peuplement (dans le secteur C).

c) Contribution des secteurs aux caractéristiques générales des ressources estuariennes

Que l'on considère la totalité des ressources ou uniquement l'ichthyofaune, le secteur B est le premier facteur de richesse de l'estuaire. A lui seul, il représente plus de 53 % des biomasses et 56 % des densités. Les deux autres secteurs (marin A et mésohalin C) participent au reste de façon à peu près équivalente (entre 18 et 24 %).

Pour les crustacés, le secteur A est fondamental pour les biomasses (56 %) et le secteur B pour les densités (57 %). La contribution du secteur C est mineure.

Poissons (fig. 1)

La richesse spécifique de l'ichthyofaune a essentiellement pour origine l'estuaire externe. Cependant, en période de crues, les secteurs B et C y contribuent notablement par l'apport d'espèces euryhalines d'origine dulçaquicole.

Evolution des densités et des biomasses

.En périodes estivale et automnale où les débits fluviaux sont faibles, les densités et les biomasses de poissons sont maximales. Leur concentration est effective dans le secteur polyhalin (B), plus particulièrement au nord du dépôt de Bilho et sur les vasières latérales de Corsept. Les espèces qui contribuent à ces abondances sont le flet, la sole et l'éperlan. Il ne faut toutefois pas négliger le rôle des vasières de la rive nord du secteur mésohalin (C) où le flet et l'anguille sont la base des abondances, suivis par l'éperlan (et les gobies pour les densités).

.En période de crues, les trois secteurs interviennent de façons différentes ; le secteur A est riche en tacauds dans la zone des bouchots ; le secteur B est essentiellement fréquenté par le flet et l'éperlan sur la rive nord du dépôt de Bilho ; le secteur C avec les diguons de l'Ile Demangeat sert de refuge au flet.

.En période de débits moyens printaniers, les vasières de l'estuaire externe situées sur le Grand Traict de Saint-Nazaire sont riches en soles alors que celles du secteur mésohalin (Pierre-Rouge, Lavau, Ile Bernard) le sont en flet. Dans ce type d'hydrodynamisme, le secteur de Bilho intervient peu.

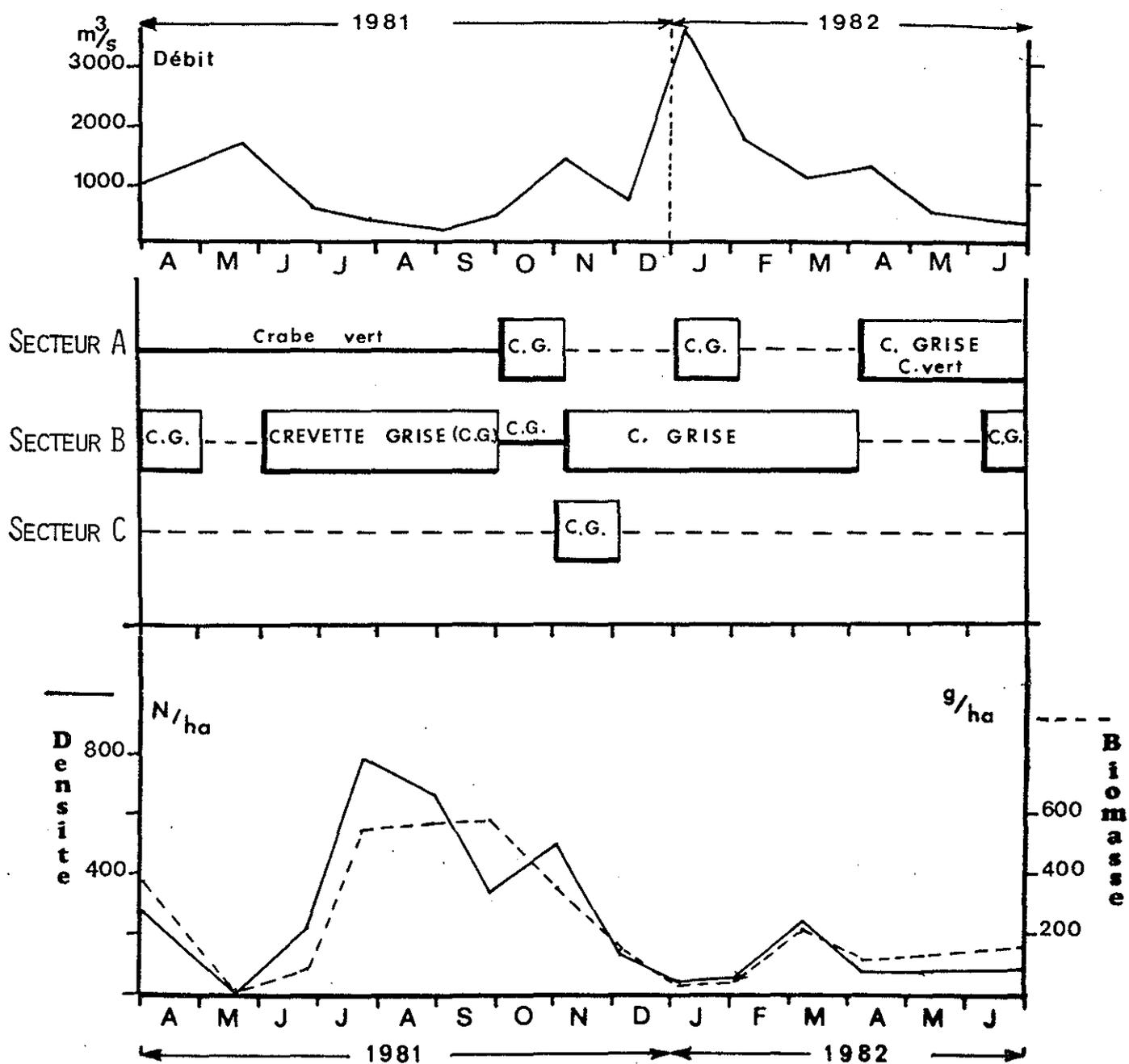


Fig. 2.- Variations saisonnières de la contribution des secteurs aux caractéristiques des ressources en crustacés.

Crustacés Décapodes (fig. 2)

La richesse spécifique dans les ressources chalutées est limitée à cinq espèces. Les secteurs A et B en sont les principaux responsables.

Evolution des densités et biomasses

.En période d'étiage estival et automnal, les densités et les biomasses de crevettes grises sont surtout concentrées dans le secteur B et plus particulièrement au niveau des vasières latérales bordant la rive sud de l'estuaire interne. Il faut noter, dans ce cas précis, la contribution momentanée mais réelle de la vasière de Pierre-Rouge. La participation de l'estuaire externe (A) est fondée sur les biomasses de *Carcinus moenas* (crabe vert) dont la population est principalement localisée dans la zone des bouchots.

.En période de crues, la crevette grise est encore abondante numériquement dans le secteur de Bilho, mais est essentiellement concentrée dans la zone des bouchots et sur le Grand Traict de Saint-Nazaire (secteur A).

.En période de débits moyens printaniers, le secteur A constitue l'aire de localisation préférée de la crevette grise. Sa population est située à ces moments-là, soit dans la zone des bouchots, soit le long de la rive sud devant Saint-Michel-Chef-Chef.

4. Conclusion

L'examen de cet ensemble de résultats nous permet de mettre en évidence le rôle respectif des différents secteurs estuariens.

Secteur polyhalin (secteur B)

C'est la zone fondamentale de l'estuaire de la Loire et sa contribution à la richesse du système estuarien en ressources benthodémersales est primordiale. Toutefois, les diverses zones de ce secteur ne contribuent pas de la même façon à sa richesse ; deux d'entre elles y participent de manière effective.

. La rive nord du banc du Bilho, zone intertidale proche du chenal de navigation, constitue une zone de concentration d'ichthyofaune et de crevettes durant la période hivernale. La banquette-relique de l'ancien banc y prend une place remarquable.

Nous avons vu également que cette rive présente des dépressions permettant des concentrations importantes de post-larves de crevettes grises (450 000 ind./ha) et de poissons plats (sole, plie, flet : 3 400 ind./ha). Ces mares constituent de véritables réserves d'organismes qui, à chaque flot, peuvent se disperser sur les aires intertidales de nourrissage situées aux alentours et particulièrement riches en Invertébrés benthiques.

. La rive sud de l'estuaire, constituée de vasières intertidales naturelles proches de l'ancien chenal sud, constitue la seconde zone de richesse. Cette dernière est marquée durant la période estivale par une forte abondance d'ichthyofaune sur la vasière de Corsept, et de crevettes grises plus particulièrement sur les vasières de l'Imperlay.

En revanche, la rive sud du dépôt de Bilho, dont la sédimentologie a été modifiée par les dépôts de dragages, est remarquable par l'absence de contribution à la richesse de ce secteur.

Il apparaît donc que les zones préférentielles de fréquentation et de regroupement des espèces dans le secteur polyhalin sont les milieux naturels et anciens qui n'ont pas directement subi les aménagements récents.

Ces résultats sont importants car ils confirment ceux obtenus dans l'étude du benthos. En effet, les zones déterminées comme constituant les principales réserves de macrozoobenthos (*Corophium volutator* et *Cyathura carinata* pour la rive nord du banc de Bilho, et *Macoma balthica*, *Scrobicularia plana*, *Nereis sp.* pour les vasières de la rive sud de l'estuaire) se révèlent être les plus accueillantes pour l'ichthyofaune et les crevettes grises.

La puissance des liens existant entre la faune des deux principaux compartiments benthodémersaux (Poissons et Crustacés) et leur support trophique sera précisée plus loin dans le bilan des relations trophiques. Mais d'ores et déjà, on suppose tout l'intérêt que l'on aura à préserver les derniers milieux "naturels" de ce secteur polyhalin qui constitue, par le niveau de richesse qu'il atteint encore, le "poumon" de l'estuaire.

Secteur maritime (secteur A)

De "second ordre", il n'a pas la même permanence dans la contribution à la richesse du système estuarien que celle du secteur précédent. Cependant, il est essentiel et joue un rôle non négligeable à divers titres et à différents moments du cycle biologique de quantités d'espèces déjà citées.

Son étude a permis d'y distinguer trois grandes zones.

. La zone des bouchots qui est recherchée durant la période hivernale par le tacaud et la crevette grise ; cette dernière apparaît d'ailleurs comme la proie préférée du tacaud.

. La rive sud (du Pointeau au Cormier) constituée de sables vaseux est fréquentée au printemps et en été par la crevette grise, la sole, l'éperlan et le sprat.

. La rive nord, et plus particulièrement les vasières intertidales du Grand Traict de Saint-Nazaire, où le flet, la sole et les gobies présentent des abondances printanière et estivale remarquables. L'association de ces espèces, typiques du secteur polyhalin (B), est un fait important car il marque ici le seul prolongement de l'estuaire interne dans le secteur maritime ; ce résultat est confirmé par le cortège faunistique composant le macrozoobenthos de cette zone (*S. plana* et *C. volutator*).

Secteur méso-oligohalin (secteur C)

Il mérite attention et en particulier les deux zones suivantes.

. Les vasières naturelles de la rive nord (de la tourelle des Moutons au bras de Cordemais) où poissons et Crustacés sont toujours présents et abondants. Comme nous l'avons vu précédemment, ces zones sont des milieux riches en Oligochètes dont la production est équivalente à celle de l'estran nord du banc de Bilho. La faune de ces vasières naturelles constitue donc une base trophique de première importance.

. Les sables vaseux bordant l'Ile Demangeat (station la plus amont) qui, en dépit de leur pauvreté, semblent être une zone de refuge pour le flet en hiver ; l'analyse de ses contenus digestifs nous renseignera sur son régime alimentaire pendant cette période de crues. De plus, il faut mentionner la pauvreté quasi permanente de l'Ichthyofaune et des Crustacés au droit de la centrale de Cordemais (banc des Bernards).

II. BIOÉCOLOGIE DES PRINCIPALES ESPÈCES AU COURS DE LEURS ECOPHASES ESTUARIENNES.

Parmi les espèces participant à la richesse des différents secteurs estuariens, cinq d'entre elles ont été choisies pour un examen plus poussé permettant d'apporter une contribution à la connaissance de leur biologie et de leur écologie.

Ce choix s'est avéré difficile car il était possible aux chercheurs responsables de cette étude d'ensemble de fournir beaucoup de données nouvelles sur chacune des espèces précédemment citées, tant ce système estuarien bien particulier se trouvait être méconnu, n'ayant jusqu'à présent suscité qu'un faible intérêt. Mais, un temps étant imparti pour produire les résultats et afin de limiter ceux-ci à l'essentiel, il a semblé préférable aux auteurs de l'étude de procéder à une sélection parmi les espèces ayant retenu leur attention.

Plusieurs critères ont guidé cette sélection d'espèces appartenant aux deux principaux compartiments benthodémersaux, Crustacés et Poissons :

- 1) espèce dont la bioécologie est peu ou mal connue en France et pourtant caractéristique des estuaires européens,
- 2) espèce d'intérêt halieutique général et surtout local,
- 3) espèce dont l'aire de répartition amont \rightleftharpoons aval est suffisamment vaste pour permettre d'embrasser le fonctionnement de sa population à l'intérieur de l'ensemble du système estuarien,
- 4) espèce plus particulièrement caractéristique d'un secteur de l'estuaire.

Ainsi, les cinq espèces retenues sont les suivantes :

- la crevette grise, *Crangon crangon* :
 - . caractéristique des estuaires européens,
 - . d'intérêt halieutique important dans le golfe de Gascogne et plus encore localement,
 - . basant la richesse des secteurs A et B de l'estuaire,
 - . espèce euryhaline d'origine marine ;

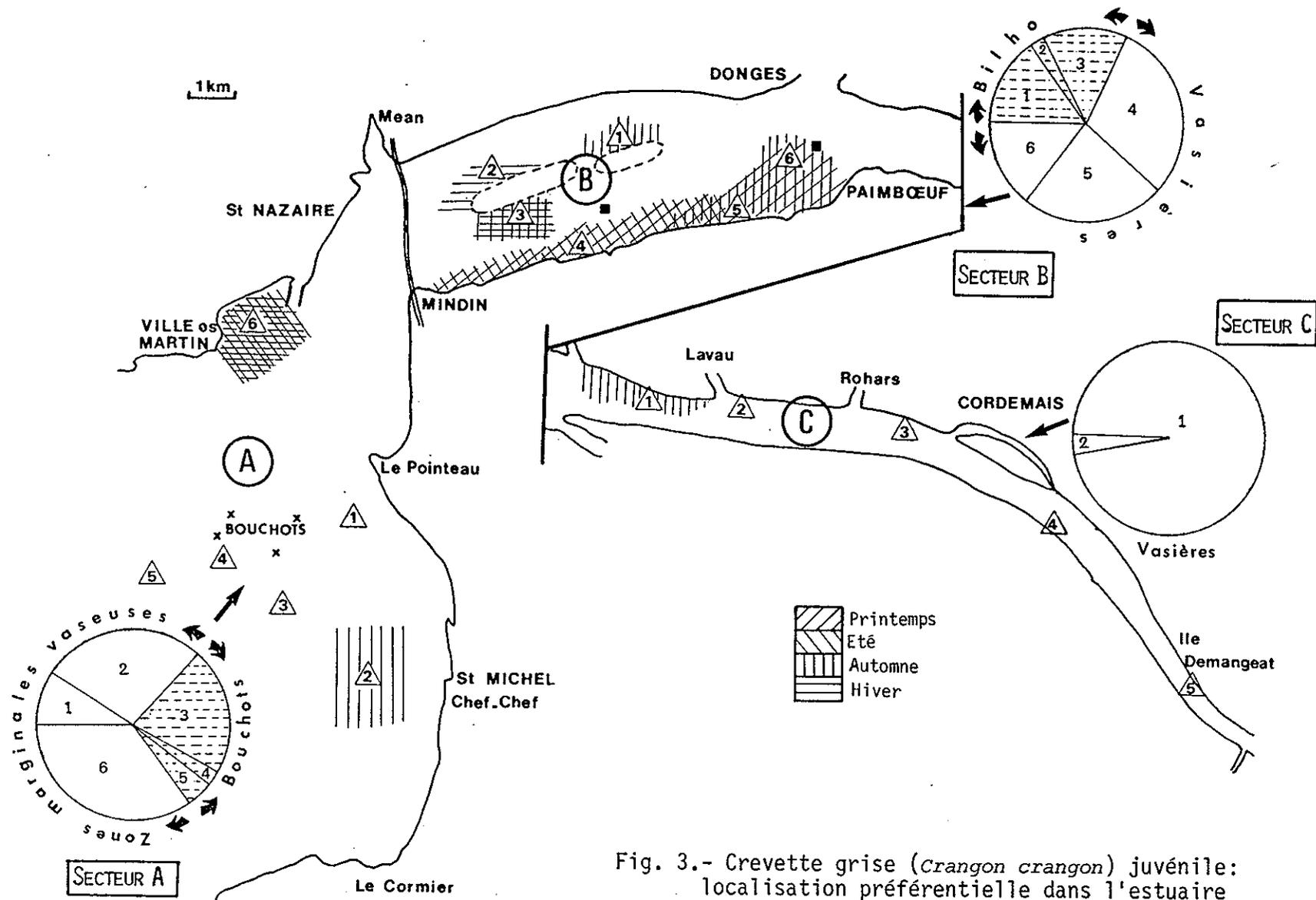


Fig. 3.- Crevette grise (*Crangon crangon*) juvénile: localisation préférentielle dans l'estuaire de la Loire et, pour les trois secteurs (A,B,C), répartition des densités (en ‰) entre les stations (figuré dans les cercles).

- le flet, *Platichthys flesus* :
 - . caractéristique des estuaires européens,
 - . intérêt halieutique marqué au niveau local,
 - . bioécologie peu connue au niveau français et en particulier dans le golfe de Gascogne,
 - . basant la richesse de l'ensemble du système estuarien,
 - . espèce amphihaline dont l'ampleur de la migration est moyenne ;

- la sole, *Solea solea* :
 - . caractéristique de la communauté faunistique des estuaires européens,
 - . intérêt halieutique important au niveau général et local,
 - . bioécologie peu ou mal connue dans le milieu estuarien,
 - . basant la richesse des secteurs A et B de l'estuaire,
 - . espèce euryhaline d'origine marine ;

- le merlan, *Merlangius merlangus* :
 - . intérêt halieutique important au niveau général,
 - . phase juvénile estuarienne peu connue,
 - . participant de façon relativement importante à la richesse du secteur de notre estuaire ;

- le bar, *Dicentrarchus labrax* :
 - . intérêt halieutique très important au niveau du golfe de Gascogne,
 - . phase estuarienne et autre très peu connue sauf dans des cas très ponctuels.

1. Bioécologie de la crevette grise (*Crangon crangon*) durant ses écophases estuariennes

a) Importance de la crevette grise dans les ressources benthodémersales de l'estuaire (fig. 3)

En densité et en biomasse, la crevette grise est l'espèce-pilote de la communauté des Décapodes nageurs dans les trois secteurs estuariens (plus de 99 % en moyenne). Vis-à-vis de l'ensemble des ressources benthodémersales, la crevette grise représente :

. secteur A :	64 % des densités et	7 % des biomasses,
. — B :	51 %	5 %
. — C :	23 %	1 %

Globalement, la présence de la crevette grise dans les divers secteurs estuariens suit un rythme saisonnier :

- . en hiver : localisation préférentielle dans la zone centrale de l'estuaire externe (bouchots) (avec extension certaine vers le large) ;
- . du printemps à l'automne : localisation préférentielle dans l'estuaire interne (jusqu'à Cordemais à la fin de l'été) et au sud du Pointeau (estuaire externe) (fig. 3).

b) Cycle biologique de la crevette grise (fig. 4)

L'étude du cycle biologique de la crevette grise permet de distinguer trois générations.

Cycle de la génération hivernale

A partir de l'aire de reproduction hivernale dans l'estuaire externe (bouchots et certainement plus au large), les larves restent en mer jusqu'au début du printemps. Leur métamorphose (en post-larves) se fait alors qu'elles pénètrent dans le secteur polyhalin de l'estuaire interne où leur sexualisation va s'effectuer au cours de l'été. Ces individus deviennent adultes au début de l'automne dans l'estuaire interne et y effectuent leur maturation gonadique. Leur migration vers les eaux salées de l'estuaire externe se fait en décembre-janvier. Leur première reproduction s'effectue dans le secteur des bouchots (donc à l'âge d'un an). Ces individus vont pondre une seconde fois en avril-mai.

Cycle de la génération printanière

Issues des aires de ponte localisées au sud du Pointeau, les larves deviennent des post-larves, puis des juvéniles au début de l'été (à partir de juin). La localisation de ces juvéniles est essentiellement limitée à la vasière de l'Imperlay. Au début de l'automne, se produit la sexualisation qui est suivie, à la fin de cette saison, par la mue de puberté. Il faut remarquer que les mâles ne dépassent pas la limite du secteur polyhalin (Brillantes) tant qu'ils sont immatures. Il est possible que leur capacité osmorégulatrice soit réduite avant la mue de puberté.

En hiver, ces jeunes adultes migrent vers l'estuaire externe et y effectuent leur maturation gonadique. Au moment de leur première période de reproduction, les jeunes femelles muent (avril-mai). Leur seconde ponte se produira au cours de l'été après une autre exuviation.

Cycle de la génération estivale

Il est très probable que les larves nées au cours de l'été dans la zone comprise entre le Pointeau et l'Imperlay restent dans ce secteur jusqu'à leur métamorphose. Le stade juvénile est atteint en automne dans les secteurs poly- et mésohalin de l'estuaire interne. Contrairement aux générations précédentes, ces juvéniles, puis les immatures sexués, restent durant l'hiver dans l'estuaire interne (zone du Bilho) et ne dépassent guère en aval le Grand Traict de Saint-Nazaire (sauf en période de crues exceptionnelles). Dès le printemps, leur croissance (très active) se fait au niveau des vasières de l'Imperlay et de Corsept où ils deviennent adultes en été. Leur première ponte s'effectue à cette époque ; elle est suivie d'une exuviation en septembre. La seconde ponte n'interviendra qu'au début de l'hiver suivant à une taille supérieure à 50 mm.

Comme de nombreux auteurs l'ont déjà remarqué, la crevette grise est une espèce à cycle court, c'est-à-dire qu'elle possède un taux élevé de renouvellement de sa population, dû à sa croissance rapide et à

l'acquisition précoce de sa maturité sexuelle (à l'âge d'un an). Sa concentration dans les zones littorales en période de reproduction est à l'origine d'une importante activité halieutique. Malgré un "turn-over" élevé ($P/\bar{B} = 6$ selon REDANT), il est constaté une diminution régulière des pêches de crevette grise dans l'estuaire externe (intense activité halieutique de mars-avril à octobre) : de 174 tonnes en 1975 à 50 tonnes en 1982 (port de Saint-Nazaire) (soit une perte de 71 % en 8 ans). La taille commerciale individuelle actuellement admise (30 mm) autorise la capture, non seulement des adultes (essentiellement des femelles), mais également des immatures qui constituent le potentiel reproducteur de la population. Cette atteinte au stock des futurs géniteurs est très probablement une des causes essentielles de l'appauvrissement observé. De plus, cette espèce ayant une aire de distribution limitée à la frange littorale peut être considérée comme inféodée à un milieu "fermé" dans lequel l'apport de populations "extérieures" est réduit. Les aménagements estuariens entrepris depuis plusieurs années sont vraisemblablement une des autres causes d'appauvrissement. Ils agissent par :

- . une réduction des aires de nourricerie par comblement de vasières (Moutons) et par dépôt de dragage (Bilho) ;
- . le caractère anoxique du bouchon vaseux faisant obstacle à la pénétration de la crevette grise dans les eaux estuariennes ;
- . une augmentation de la turbidité due à l'entretien du chenal de navigation par des dragages réguliers.

Malgré la diminution effective de la densité de crevette grise dans l'estuaire de la Loire depuis environ une dizaine d'années, les vasières latérales naturelles continuent à jouer le rôle fondamental de zone de nourricerie pour cette espèce. Les jeunes crevettes (post-larves, juvéniles et immatures) viennent s'y nourrir et y grandir en profitant de l'abondance saisonnière d'un petit nombre de proies estuariennes (micro-crustacés, micro-vers). Leurs phases trophiques s'exercent préférentiellement dans les zones abritées de l'estuaire (Imperlay, Corsept, Pierre Rouge, Pipy) dans des conditions de salinité et de température convenant à leurs exigences biologiques.

On conçoit donc aisément la nécessité de maintenir les zones de vasières intertidales dans l'estuaire de la Loire.

2. Bioécologie du flet (*Platichthys flesus*) durant ses écophases estuariennes

a) Importance du flet dans les ressources benthodémersales de l'estuaire

Le flet occupe le premier rang au sein de l'ichthyofaune en fréquence : 84 %, densité : 54 %, biomasse : 66 % :

- . secteur A : 21 % des densités (29 ind./ha) et 34 % des biomasses (973 g/ha) ;
- . secteur B : 59 % des densités (272 ind./ha) et 60 % des biomasses (3,5 kg/ha) ;
- . secteur C : 68 % des densités (117 ind./ha) et 71 % des biomasses (2,2 kg/ha).

Dans l'ensemble des ressources ichthyologiques, le flet apparaît comme l'espèce pilote de cette communauté dans les domaines poly- et mésosalin.

b) Cycle biologique du flet (fig. 5 et 6)

Des opérations de marquage ont permis de localiser les aires de ponte du flet dans la région : elles se situent de part et d'autre de l'estuaire externe, dans le nord entre les îles Dumet et Hoëdic et dans le sud au large des Sables-d'Olonne, sur des fonds sableux par sondes de 20 à 30 mètres. La ponte a lieu en hiver, mais peut durer au-delà du mois d'avril.

A l'éclosion, les larves subissent un transport tout d'abord passif vers les aires trophiques. Leur migration (phase active du transport) se fait lorsque les individus sont suffisamment développés (post-larves).

Dans l'estuaire de la Loire, les larves apparaissent à la taille de 10-12 mm, à la limite des secteurs A et B à partir de la mi-mars. On les retrouve un peu plus tard au niveau de Cordemais (avril-mai) (1 sur la figure 5).

Ces individus devenant ensuite des juvéniles constituent le groupe 0^+ ; ils sont essentiellement localisés dans les secteurs polyhalin et mésohalin où leur densité est maximale de juin à septembre-octobre. Au cours de cette période, il y a translation progressive de l'aire de distribution de cette cohorte (ou classe annuelle) à partir du secteur le plus en amont, en direction des vasières de Pierre-Rouge, puis de Corsept et des substrats de la rive nord de Bilho. Ces juvéniles restent pendant l'hiver dans le secteur polyhalin et stabulent dans la zone du Bilho (2-3). La cohorte est légèrement dominée par les mâles. Au printemps suivant, ces juvéniles deviennent des immatures (groupe I^+). Leur localisation est principalement concentrée dans l'estuaire interne (B et C). Toutefois, cette cohorte constitue également la majeure partie de la population présente dans le secteur maritime A, au niveau du Grand Traict de Saint-Nazaire.

Dans l'estuaire interne, ces immatures vont se disperser entre le dépôt de Bilho et l'île Demangeat vers laquelle ils migrent en hiver. Il est possible que cette aire "d'hivernage" s'étende vers le bassin versant. Au cours de cette phase, la maturation gonadique s'effectue et permet aux individus de cette cohorte de participer à la reproduction dès qu'ils appartiennent au groupe des 2 ans révolus (II^+) (5). A partir de ces aires de ponte, les adultes se dispersent et peuvent, soit se maintenir sur le plateau continental, soit revenir en estuaire (6). Au cours de cette nouvelle dispersion il semble que les femelles suivent préférentiellement la seconde voie. Le devenir des classes les plus âgées pourra être précisé par l'analyse des captures des professionnels.

c) Régimes alimentaires du flet (fig. 7)

L'étude, par l'analyse des contenus digestifs, du régime alimentaire des juvéniles de flet sur les stations et les secteurs qu'ils fréquentent montre que la qualité du support trophique (taille des proies) et son abondance constituent la "force d'attraction" dans les secteurs estuariens pour ces jeunes individus.

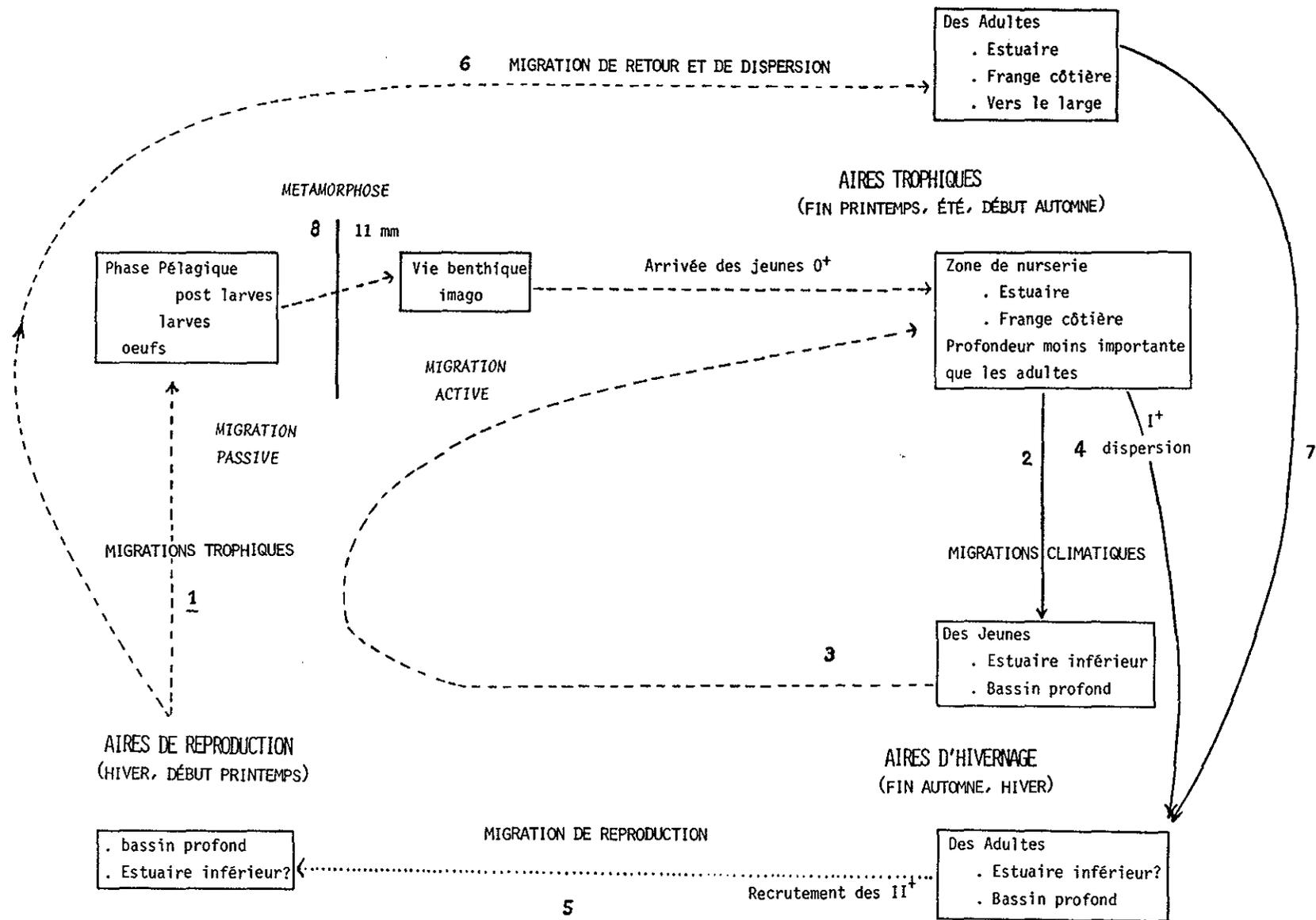


Fig. 5.- Cycle biologique du flet dans l'estuaire de la Loire.

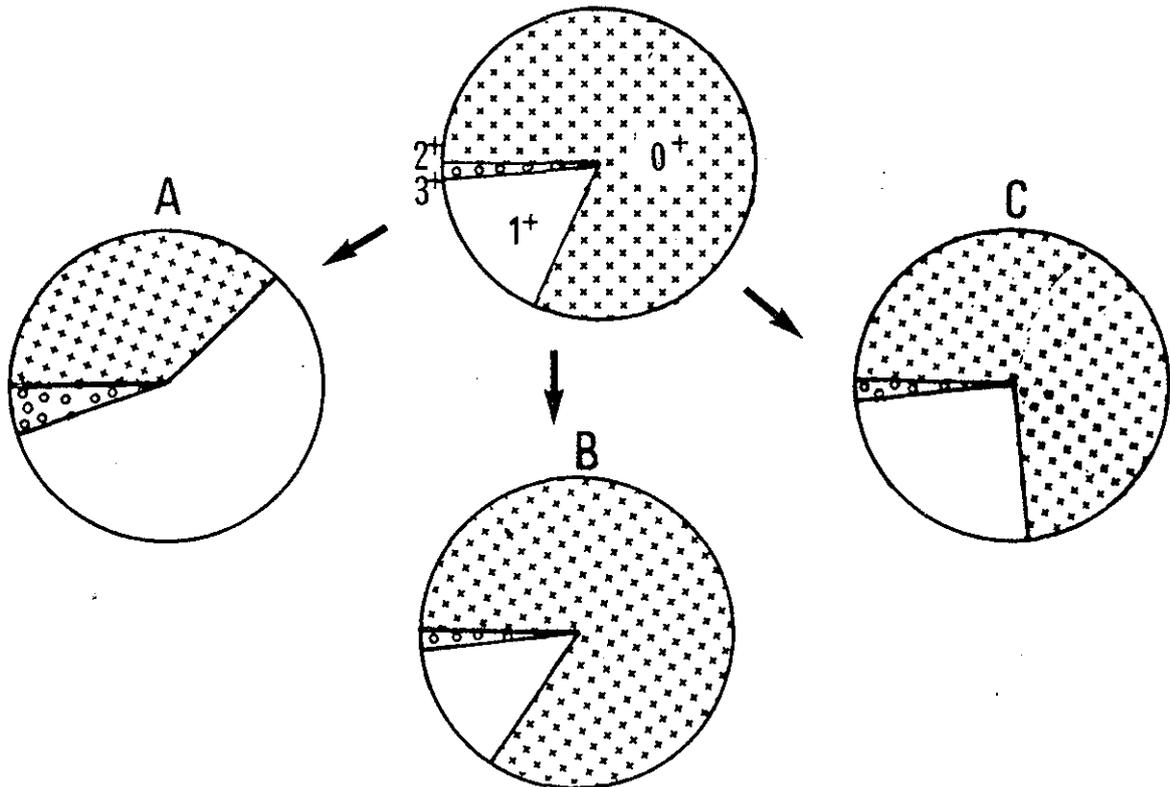


Fig. 6.- Distribution des classes d'âge de flets dans les trois secteurs estuariens.

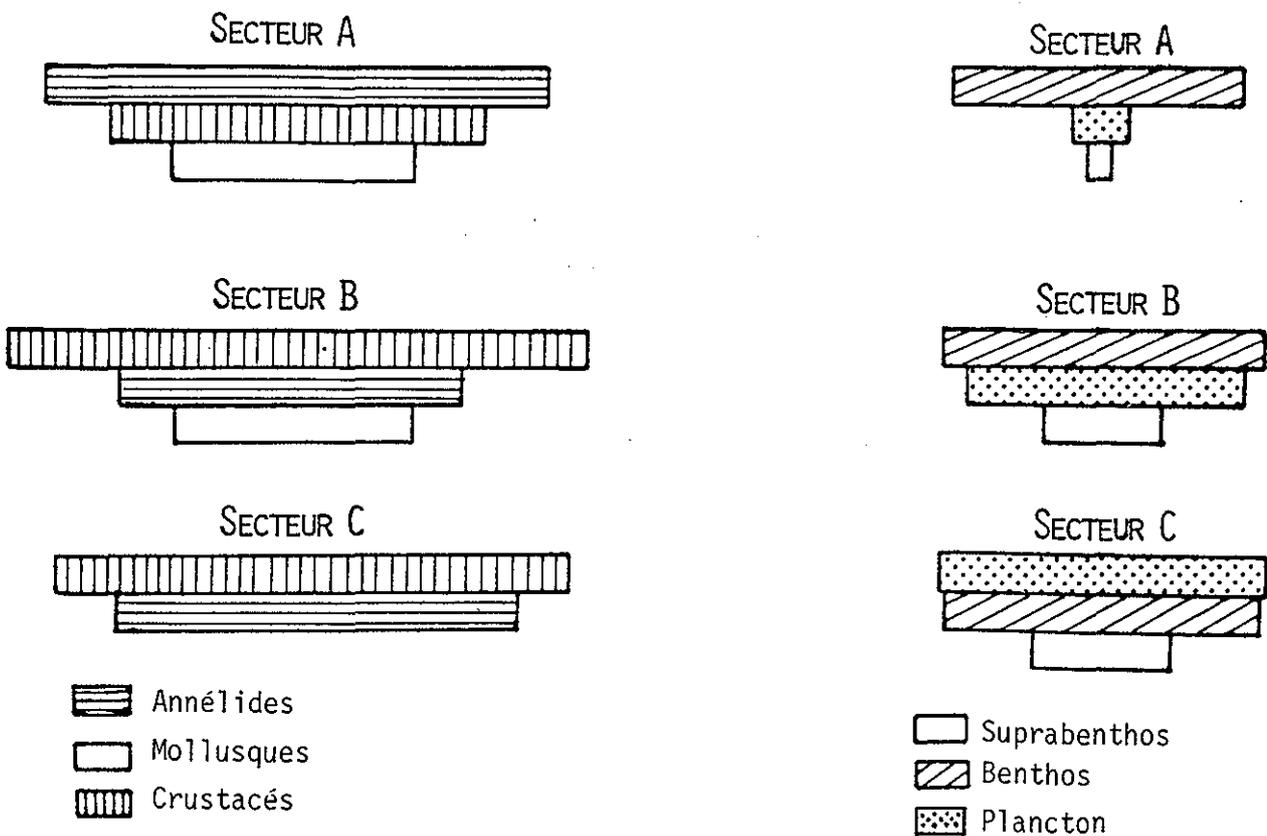


Fig. 7.- Spectres trophiques des jeunes flets (0⁺) dans l'estuaire de la Loire.

Leurs principales proies sont :

- . au printemps et en été, le Crustacé copépode *Eurytemora hirundoïdes* qui recherche les eaux saumâtres chaudes des vasières latérales où abonde la matière détritique lui servant de nourriture ;
- . en été, les Spionidés et autres Vers "micro-annélides" dont l'extension des populations est maximale lors de l'envasement des substrats ;
- . en hiver et au début du printemps, les Crustacés *Corophium volutator* (Bilho) et Gammaridés (Lavau) dont l'abondance est favorable au maintien des jeunes cohortes de flet dans l'estuaire.

La faible fréquentation par les juvéniles des substrats de l'estuaire externe peut s'expliquer par le fait que seules deux stations (1 et 6, le Pointeau et Grand Traict de Saint-Nazaire) présentent des communautés trophiques comparables à celles de l'estuaire interne.

On voit donc que, grâce à une succession saisonnière d'un petit nombre de proies (de dimension convenant aux exigences des juvéniles), l'estuaire interne offre aux jeunes flets des supports trophiques variés et permanents leur permettant d'assurer leur première année de croissance dans de bonnes conditions.

Cette étude montre donc comment les diverses écophases du flet évoluent dans l'estuaire au cours du temps et de l'espace et met également en évidence la localisation préférentielle des juvéniles et des immatures. Ces zones de concentration correspondent aux aires de nourricerie, puisque les composantes des communautés benthiques en place se retrouvent dans le spectre trophique des flets, ainsi que le montre l'analyse de leurs contenus digestifs. Parmi ces aires actuellement accessibles en Loire, figurent les vasières naturelles de l'Imperlay à Cordemais, dont on ne soulignera jamais assez le rôle dans la survie d'une activité halieutique littorale et estuarienne suffisamment diversifiée pour que se maintienne le bon équilibre des stocks d'espèces-cibles.

3. Bioécologie de la sole (*Solea solea*) durant ses écophases estuariennes

a) Importance de la sole dans les ressources benthodémersales de l'estuaire

D'un point de vue économique, la sole est l'espèce prépondérante du golfe de Gascogne. Sa présence dans les zones littorales et continentales que couvre cette étude se traduit par une fréquence plus élevée dans les secteurs maritime (A) et polyhalin (B) de l'estuaire que dans le reste de ce système. Toutefois, c'est dans le secteur B que les densités et les biomasses sont les plus fortes.

La pénétration dans le secteur mésohalin (C) ne se fait qu'à la faveur des périodes d'étiage ou de débits moyens avec de forts coefficients de marée.

La présence quasi permanente de la sole dans les secteurs A et B de l'estuaire subit des variations saisonnières qui sont dominées par une abondance d'individus de la fin du printemps au début de l'automne. Ceci est particulièrement net dans le domaine polyhalin qui est une zone de concentration estivale de soles. Dans l'ensemble de l'estuaire et sur la période des études réalisées, la fraction de la population de sole qui y est représentée est ainsi distribuée :

. secteur A :	23 %	des effectifs et	29 %	de la biomasse,
. — B :	76 %	—	70 %	—
. — C :	1 %	—	1 %	—

Par rapport à l'ensemble du peuplement ichthyologique, la sole est en fréquence :

dans le secteur A la 3ème espèce, dans le B au 1er rang avec le flet, dans le C à la 6ème place avec le bar ;

elle représente, toujours sur l'ensemble du peuplement ichthyologique :

. secteur A :	22 %	des densités et	13 %	des biomasses,
. — B :	17 %	—	12 %	—
. — C :	3 %	—	0,7 %	—

b) Cycle biologique de la sole (Fig. 8 et 9)

A l'issue de la période hivernale de ponte qui s'effectue dans des eaux plus profondes (30 à 70 m de sonde) principalement situées au large des Sables-d'Olonne et de La Rochelle, les larves puis les post-larves migrent vers les eaux littorales plus chaudes et dessalées. Elles arrivent dans l'estuaire de la Loire à partir du mois de février et atteignent un maximum d'abondance en avril. Les juvéniles se localisent alors essentiellement dans le secteur B (70 % de la classe annuelle) où ils constituent 82 % de la population de soles présente. La pénétration de ces juvéniles dans l'estuaire amont se limite à Cordemais au début des périodes d'étiage ; toutefois, ils se concentrent principalement sur les vasières latérales (Imperlay, Corsept). A l'automne, leur localisation préférentielle a lieu en secteur maritime, au sud du Pointeau. En hiver, la zone des bouchots représente certainement la limite amont de leur aire d'hivernage dont le centre est situé en zone typiquement marine, tout en restant littorale. Les solettes mesurent alors en moyenne 80 mm (extrêmes : 68 et 92 mm).

Au printemps suivant, leur retour dans l'estuaire amène ces solettes principalement dans le domaine polyhalin (65 % de la cohorte) où elles constituent 17 % de la population des soles présentes. En été et en automne, appartenant alors au groupe I⁺, elles séjournent en estuaire en se limitant cette fois au dépôt du Bilho (surtout estransnord et ouest) et au sud du Pointeau. Leur aire estivale de nourrissage s'étend jusqu'au Grand Charpentier. En hiver, le secteur maritime des bouchots devient à nouveau la zone préférée par le groupe I⁺ mais ne constitue vraisemblablement qu'une petite partie de l'aire d'hivernage. La taille moyenne des individus est alors de 170 à 180 mm.

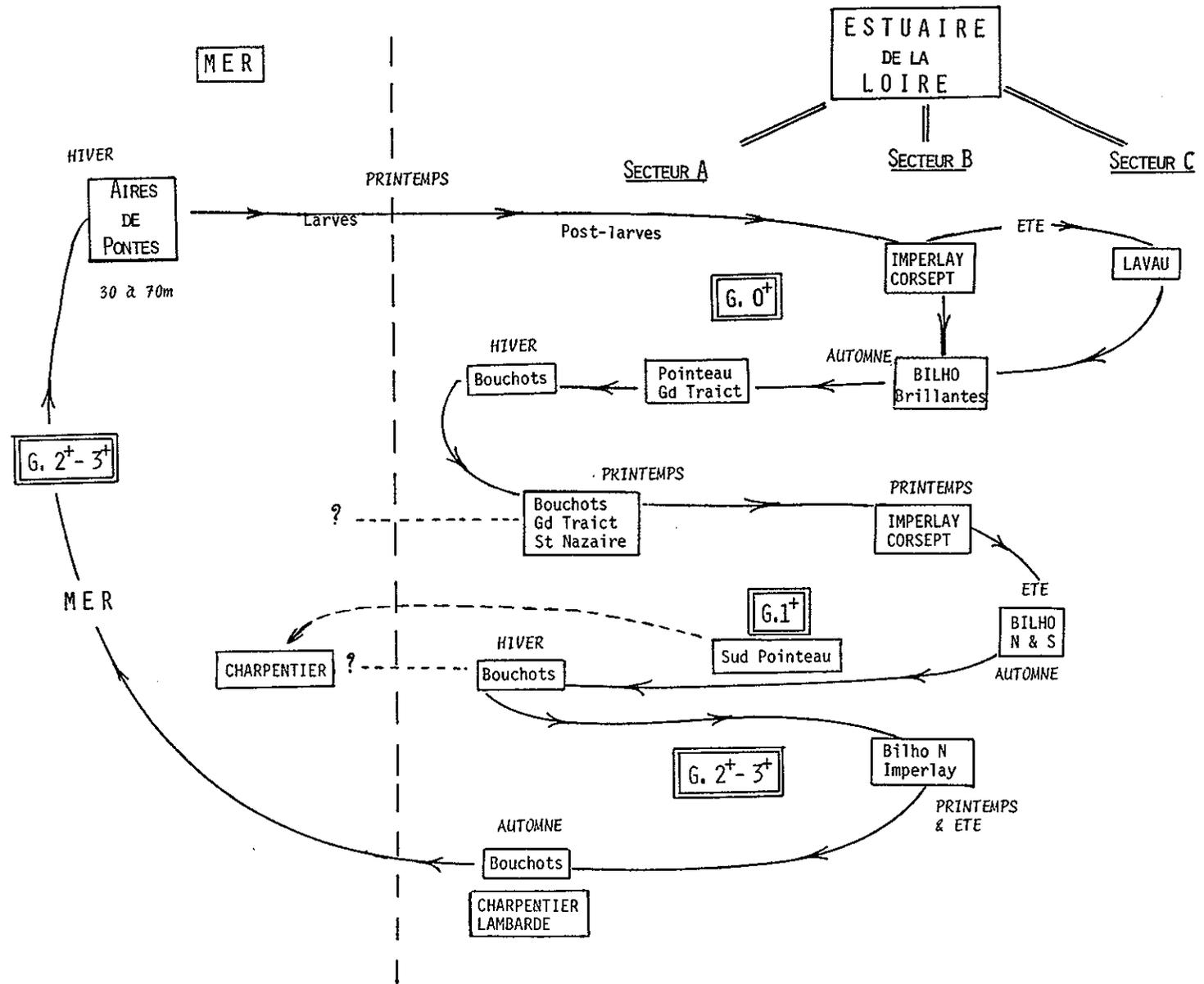


Fig. 8.- Cycle biologique de la sole dans l'estuaire de la Loire.

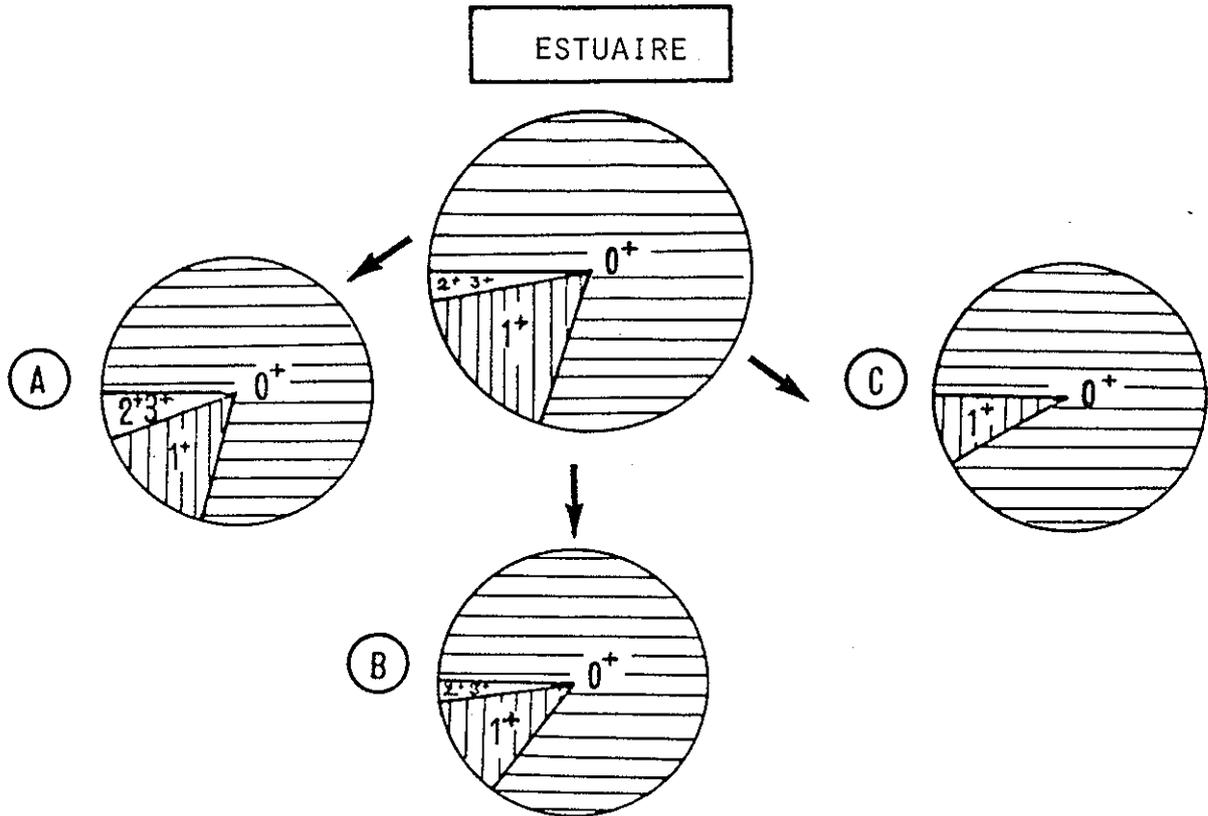


Fig. 9.- Distribution des classes d'âge de la sole dans les trois secteurs estuariens.

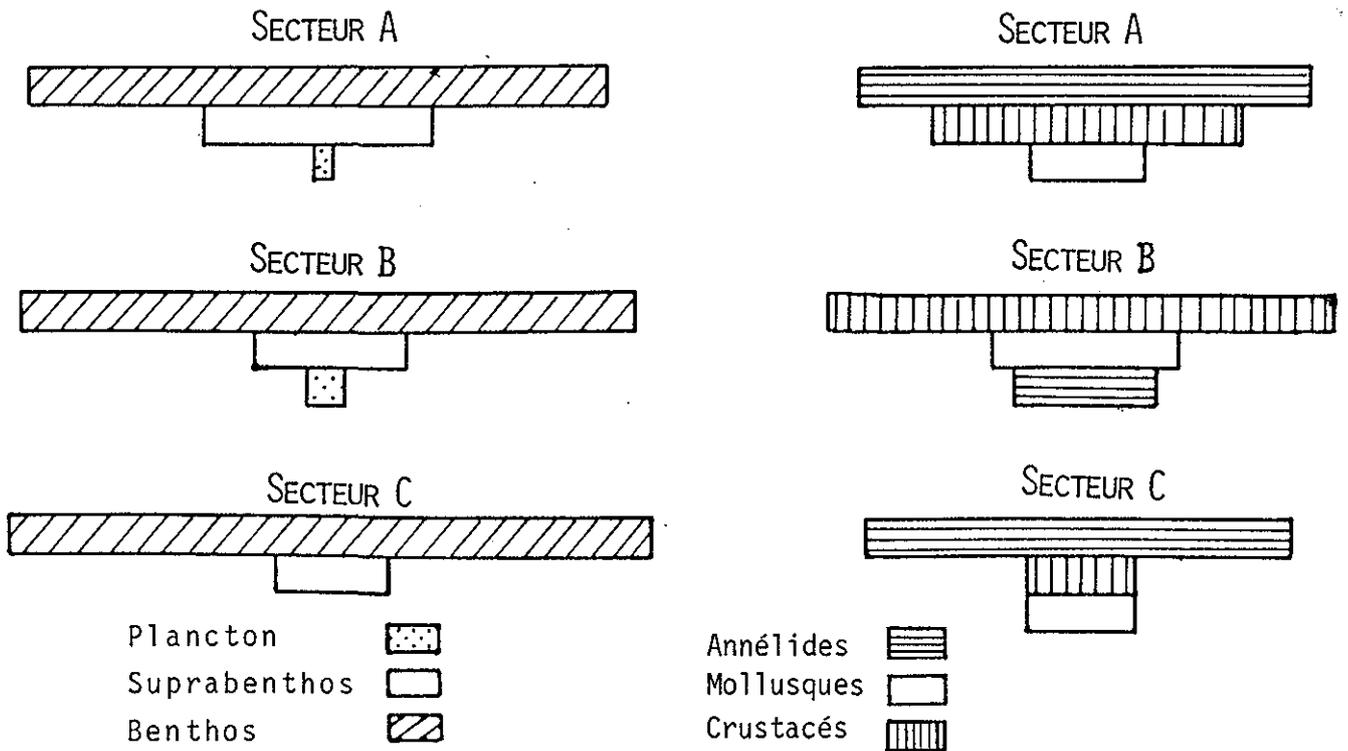


Fig. 10.- Spectres trophiques des jeunes soles dans l'estuaire de la Loire.

Lorsqu'elles atteignent leur troisième année (II⁺), leur période de dispersion en estuaire se réduit au printemps et a lieu uniquement dans la partie aval du domaine polyhalin (Bilho, Imperlay). Dès le début de l'été, elles occupent à nouveau les aires marines de l'estuaire (67 % sont présents dans le secteur A). A ce moment là, le groupe II⁺ représente :

- . 2 % de la population du secteur des bouchots,
- . 71 % de celle du secteur des Charpentiers,
- . 94 % de celle du secteur de la Lambarde.

La taille moyenne des individus à la fin de leur 3^{ème} année d'existence est d'environ 210 à 220 mm.

A partir de ces aires estivales, la population migre progressivement vers les aires de ponte, laquelle débute dès le mois de décembre (S. ARBAULT).

c) Régimes alimentaires de la sole (fig. 10)

Contrairement au flet, les jeunes soles consomment peu de plancton, 6 % de leurs aliments au maximum. Elles ont dès leurs premiers stades benthiques une préférence alimentaire pour la faune endogée et épigée (vivant dans ou sur le sédiment) ; elle est représentée dans leurs régimes alimentaires par des indices de fréquence égaux à 77 % dans le secteur A, 82 % dans le secteur B et 86 % dans le secteur C.

Le suprabenthos par l'intermédiaire de la crevette grise subit une pression de prédation décroissante de l'aval vers l'amont (de 29 % en A à 14 % en C).

Les groupes zoologiques sont diversement consommés :

dans les secteurs A et C, les Annélides représentent respectivement 60 % et 57 % des proies ; il s'agit soit de Neréidés (A) soit de Spionidés (C) ;

dans le secteur B, les Crustacés avec *Corophium volutator* et *Crangon crangon* sont les proies préférées des juvéniles de soles (67 %) ; les Annélides y sont moins consommés (19 %) que les Lamellibranches (*Scrobicularia*) (23 %).

Dans l'estuaire de la Loire, les soles du groupe 0⁺ ont des moeurs alimentaires franchement benthiques et sont des consommateurs, soit d'Annélides, soit de Crustacés selon leur abondance dans les aires de nourricerie.

Comme pour le flet, l'analyse des contenus digestifs montre que la sole se nourrit aux dépens des diverses communautés benthiques de l'estuaire de la Loire en y prélevant les proies les plus abondantes. Ainsi, en présence des populations très denses de Crustacés benthiques (*C. volutator* et *Cyathura carinata*) (rive nord du Bilho) la sole en fait un choix préférentiel. Au niveau des vasières latérales elle se nourrit plutôt de *Nereis* (Annélide) et de siphons de Mollusques.

Il faut souligner l'importance de la crevette grise dans le régime de la sole. Il existe une parfaite concordance de présence spatiale et temporelle entre les aires de distribution estuarienne de la proie (crevette) et de son prédateur (sole). Ce phénomène est particulièrement net dans l'estuaire, soit au printemps au niveau des vasières latérales internes, soit en été au niveau du secteur du Pointeau. Il est certain que la crevette grise constitue un support trophique très attractif pour la sole. Cette concordance spatio-temporelle est facilement observable lors de la pêche crevettière dans l'estuaire externe et a pour conséquence une destruction impressionnante de jeunes soles au cours de cette activité.

4. Bioécologie du merlan (*Merlangius merlangus*) durant ses écophases estuariennes

a) Importance du merlan dans les ressources benthodémersales de l'estuaire

- Pour l'ensemble de l'estuaire

La participation numérique et pondérale du merlan est très faible : cette espèce ne représente globalement que 0,7 % des densités et 0,9 % des biomasses. Sa contribution est maximale au printemps (3 % des densités en avril 1981), et en automne (2 % en novembre 1981).

- Pour les différents secteurs estuariens (fig. 11)

En secteur A, le merlan représente, globalement, au sein du peuplement ichthyologique 4 % des densités et 3 % des biomasses.

Sa contribution à la richesse de ce peuplement est :

- maximale du printemps au début de l'été (9 à 10 % des densités) ;
- inférieure à 5 % des densités et à 7 % des biomasses en dehors de cette période ;
- insignifiante en période d'étiage (moins de 500 m³/s) et de crues exceptionnelles (plus de 3 000 m³/s).

Dans le secteur B, le merlan est une espèce de très faible importance dans le peuplement constituant en moyenne 0,4 % de la densité et 0,7 % de la biomasse de l'ichthyofaune. Sa participation à la communauté ichthyologique benthodémersale n'est sensible qu'au printemps (2 % de la densité et 5 % de la biomasse en avril) et en automne (2 % des densités et des biomasses en novembre).

Dans le secteur C, globalement, le merlan ne représente que 0,1 % de la densité et 0,2 % de la biomasse de l'ichthyofaune. En automne cette proportion augmente légèrement et s'élève respectivement à 0,8 % et 1,8 % (novembre).

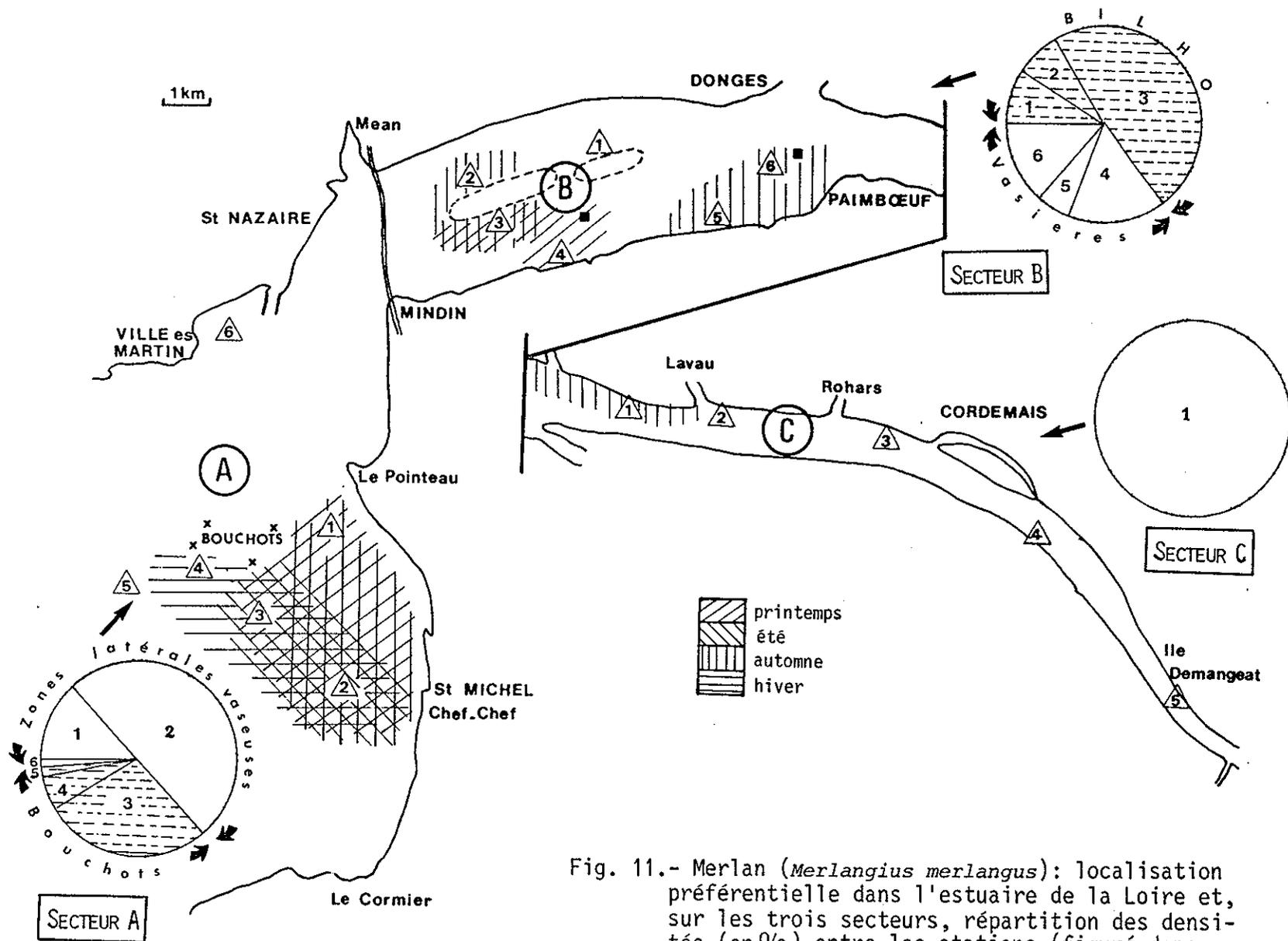


Fig. 11.- Merlan (*Merlangius merlangus*): localisation préférentielle dans l'estuaire de la Loire et, sur les trois secteurs, répartition des densités (en %) entre les stations (figuré dans les cercles).

Par sa faible contribution à la richesse ichthyologique de l'estuaire, notamment les secteurs internes B et C, le merlan ne joue pas un rôle fondamental dans ce milieu. Une prospection plus intense de la partie externe de l'estuaire avec des engins appropriés permettrait de mieux estimer l'importance de cette espèce dans les milieux littoraux adjacents à l'estuaire.

b) Cycle biologique du merlan

Au cours d'un cycle annuel, des merlans du groupe 0⁺ se trouvent dans l'estuaire externe dès le printemps et y restent en été en se localisant de façon préférentielle au sud du Pointeau. En automne, ce groupe d'âge pénètre jusque dans le secteur méso-oligohalin ; toutefois, à cette époque, les densités maximales sont observées dans le domaine polyhalin (secteur B). Dans ce dernier les vasières latérales sont surtout une zone d'accueil automnal, alors que les estrans de Bilho interviennent comme principale zone de concentration tout au long de l'année (sauf en hiver).

c) Régimes alimentaires du merlan (fig. 12)

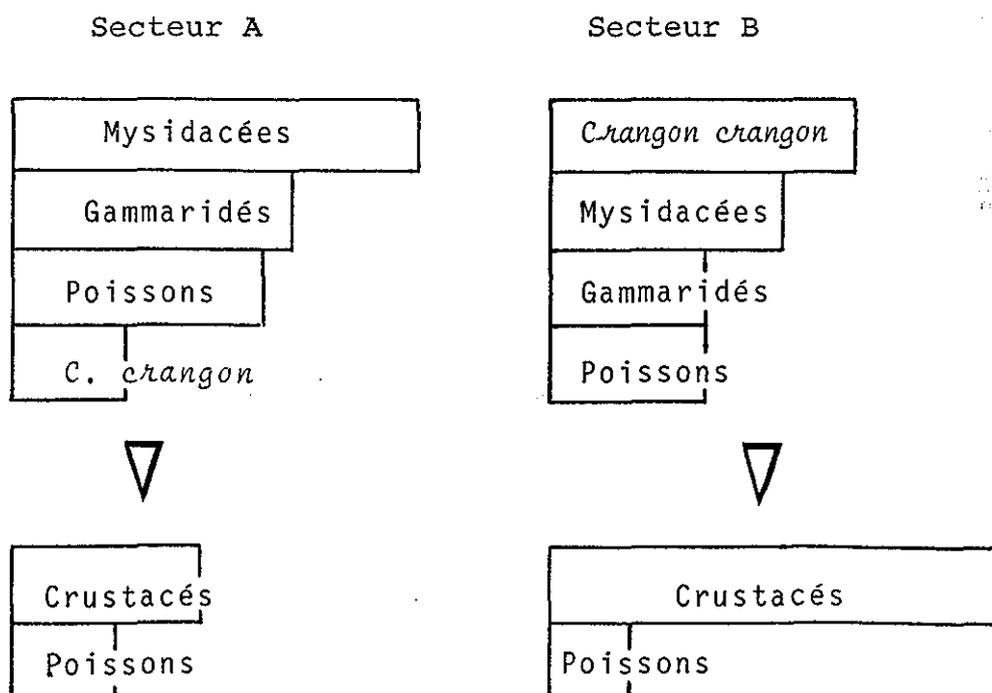


Fig. 12.- Spectres trophiques du merlan dans l'estuaire de la Loire.

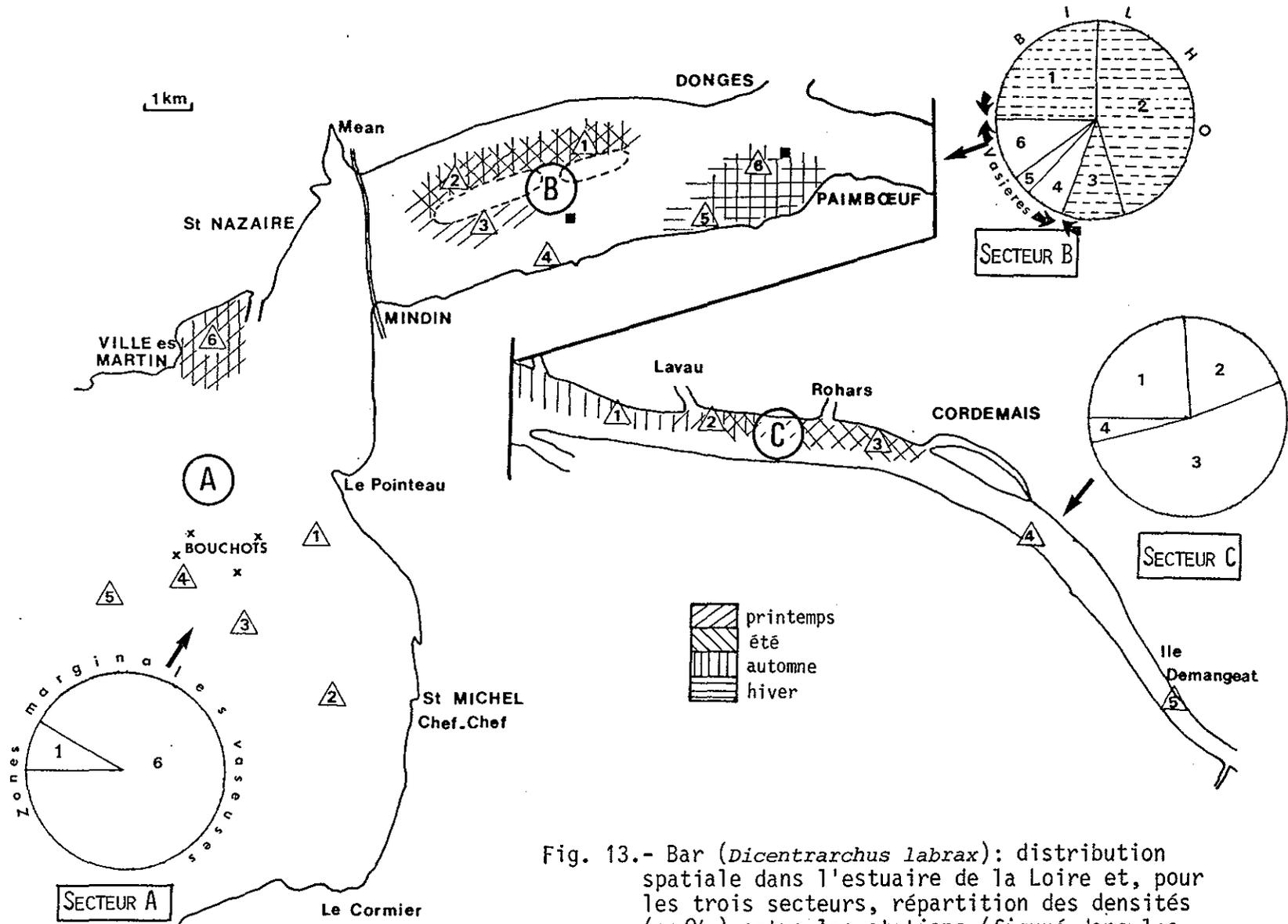


Fig. 13.- Bar (*Dicentrarchus labrax*): distribution spatiale dans l'estuaire de la Loire et, pour les trois secteurs, répartition des densités (en %) entre les stations (figuré dans les cercles).

Quel que soit l'âge ou le secteur considéré, le merlan apparaît comme un prédateur de Crustacés suprabenthiques (crevette grise, Mysidacées, Gammarus). L'abondance de ces proies dans les divers secteurs estuariens constitue le support trophique idéal pour ces jeunes merlans. Il faut souligner, en particulier, la parfaite concordance entre les aires de distribution estuariennes de la crevette grise (*Crangon crangon*) et celles de ce prédateur qui suit les déplacements de sa proie au sein de l'écosystème. Il semble que les jeunes poissons (sprats, gobies) soient une proie secondaire pour les merlans de ces classes d'âge (0⁺ et I⁺) mais ils deviennent dominants dans les régimes des merlans plus âgés qui sont alors devenus ichthyophages.

5. Bioécologie du bar (*Dicentrarchus labrax*) durant ses écophases estuariennes

a) Importance du bar dans les ressources benthio-démersales de l'estuaire de la Loire

- Pour l'ensemble de l'estuaire

Globalement, le bar constitue 0,9 % de la densité et 1,6 % de la biomasse de l'ichthyofaune présente dans l'estuaire de la Loire.

Sa contribution à la richesse de l'estuaire en poissons est maximale :

- à la fin de l'hiver en ce qui concerne la densité (4,3 % en mars),
- au début de l'automne pour ce qui est de la biomasse (9 % en septembre).

- Pour les différents secteurs estuariens (fig. 13)

Dans le secteur A, le bar ne représente, globalement, que 0,3 % de la densité et de la biomasse de l'ichthyofaune du secteur. Il ne contribue que faiblement à la richesse du peuplement, même au début du printemps (1,4 % en avril 1981).

Dans le secteur B, domaine polyhalin, la population de ce poisson représente globalement 1 % de la densité et 2,7 % de la biomasse du peuplement, sa contribution numérique y étant maximale en décembre et en mars (4,3 %), sa contribution pondérale n'y étant notable qu'à la fin de l'été (9,6 % en septembre).

Dans le secteur C, la densité et la biomasse des bars représentent respectivement 0,6 % et 1 % en moyenne de celles du peuplement ichthyologique.

b) Cycle biologique du bar

D'après certains auteurs, la période de reproduction du bar débute en mars pour s'achever en août. Les jeunes bars nés au cours de l'été dans les eaux marines pénètrent en estuaire au début de l'automne

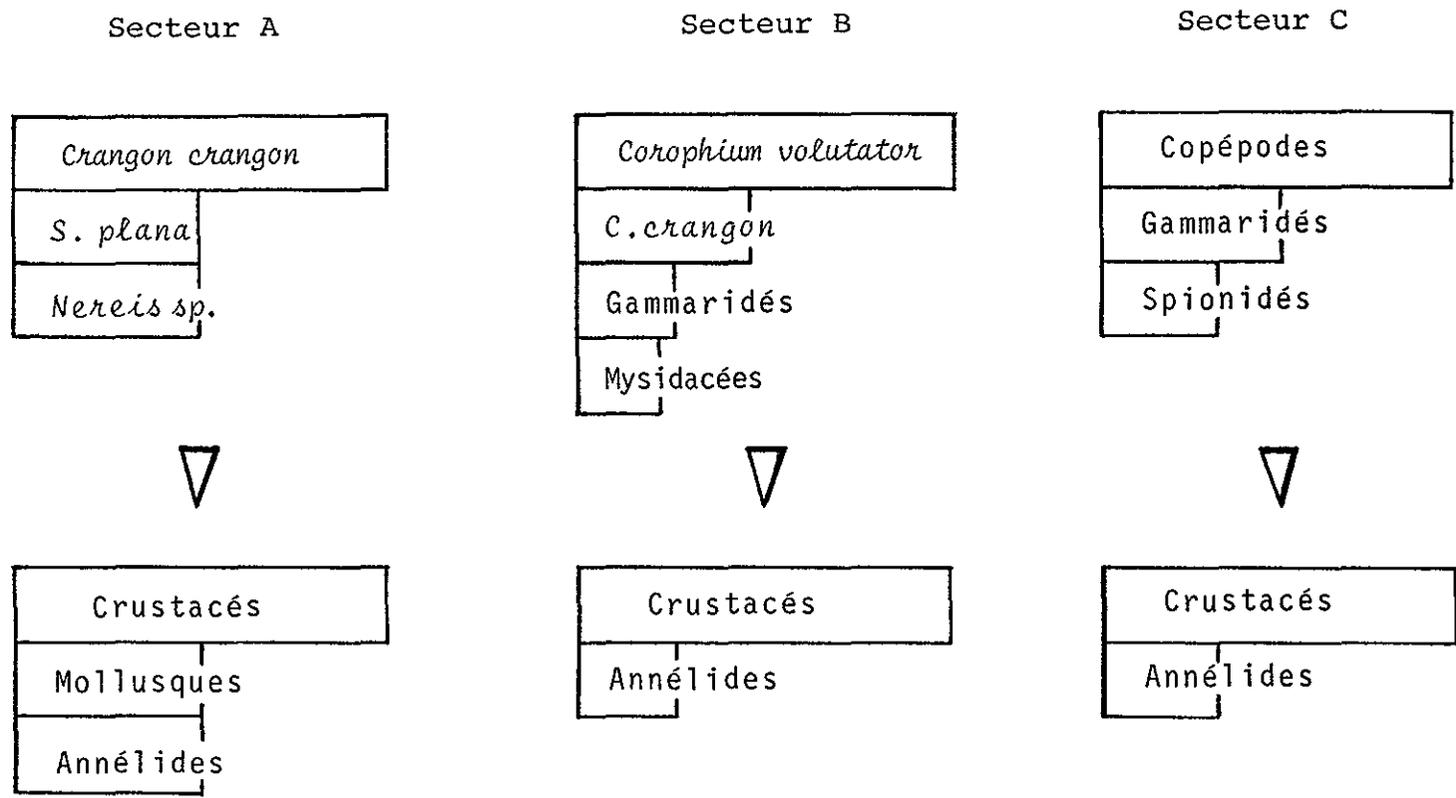


Fig. 14.- Spectres trophiques du bar dans l'estuaire de la Loire.

et migrent jusque dans le secteur situé le plus en amont de leur aire de dispersion (station 3 - Cordemais). Au cours de l'automne, ils occupent préférentiellement les stations estuariennes où les sédiments sont vaseux c'est-à-dire entre l'étier de Lavau et la vasière de Corsept. En hiver, leur aire de dispersion se rétrécit et se limite alors aux stations 5 et 6 du domaine polyhalin (B). Au printemps suivant, cette cohorte fréquente surtout les estrans du dépôt de Bilho et la vasière du Grand Traict de St-Nazaire.

Arrivée à l'âge d'un an (printemps-été), la cohorte (I^+) se disperse essentiellement dans la zone du Bilho qu'elle quitte dès l'été pour migrer vers les eaux plus marines. Cette cohorte peut être accompagnée de quelques individus âgés de plus de 2 ans dont la présence en estuaire est très limitée dans le temps et dans l'espace.

Il apparaît donc que l'estuaire de la Loire joue le rôle d'une zone de concentration des jeunes bars au cours de leur première année de vie. Dès leur deuxième année, l'estuaire n'est plus qu'une zone de présence estivale.

c) Régimes alimentaires du bar (fig. 14)

En automne les jeunes bars nés au cours de l'été pénètrent profondément dans l'estuaire jusqu'au niveau du panache thermique de la centrale de Cordemais. Dans ces nappes d'eau réchauffée prolifèrent les populations automnales de Copépodes (tel *Eurytemora hirundoïdes*) qui constituent la proie préférée des jeunes bars.

En hiver, cette fraction de cohorte séjourne dans le domaine polyhalin, au niveau des vasières latérales où persiste également une partie de la population de crevette grise, laquelle devient alors la proie principale de ces poissons.

Au printemps et en été, les jeunes bars qui atteignent 1 an se localisent surtout au nord du dépôt de Bilho où abonde le crustacé benthique *Corophium volutator* (surtout à la station 2 qui est la banquette relique de l'ancien banc du Bilho) ; celui-ci devient la base trophique des bars de cet âge.

A la fin de l'été, les individus de la cohorte I^+ quittent l'estuaire. Ils y reviennent le printemps suivant ; ils se nourrissent alors en avril essentiellement de *Corophium volutator* (secteur A, station 6) puis au début de l'été de crevettes grises et de *C. volutator* (secteur B, stations 1 et 2). Toutefois, il semble y avoir une évolution du comportement alimentaire du bar qui devient progressivement ichthyophage dès sa deuxième année de vie.

De cette analyse ressort le fait marquant déjà signalé pour d'autres espèces : les vasières de l'estuaire (de Corsept à Cordemais) et la banquette-reliques du Bilho sont les aires de nourricerie des jeunes bars dans l'estuaire de la Loire, aires dont on peut dès lors penser qu'il y a grand intérêt à les voir se maintenir et, le cas échéant, à les préserver.

III. BILAN DES RELATIONS TROPHIQUES DANS L'ESTUAIRE DE LA LOIRE

Introduction

Les travaux réalisés dans le cadre de cette étude générale sur la connaissance de l'environnement biologique estuarien comportent trois volets :

- . la qualité des peuplements planctoniques et l'évolution spatio-temporelle de l'importance relative de leurs principales composantes biologiques,
- . la répartition générale des communautés benthiques et l'évolution spatio-temporelle qualitative et quantitative de leurs populations,
- . la distribution spatio-temporelle des divers constituants des communautés de Poissons et de Crustacés benthodémersaux.

Ces trois éléments permettent, entre autres, d'établir une synthèse montrant la qualité et la diversité des liens trophiques unissant les différentes composantes biologiques des communautés faunistiques estuariennes.

Toutefois, il faut remarquer de suite dans ces bilans l'absence quasi totale de la composante pélagique.

a) Le secteur maritime (A)

Les consommateurs secondaires et tertiaires sont nombreux et ces niveaux trophiques rassemblent 28 espèces. Cependant, seules 6 d'entre elles sont fondamentales représentant, en pourcentage des densités dans l'ordre décroissant : la sole 22 %, le flet 21 %, le tacaud 16 %, le sprat 11 %, l'éperlan 9 %, les gobies 8 %.

Il faut ajouter à ces espèces principales, le merlan (4 % des densités), le callionyme (ou dragonnet) (2 %) et le chinchard (1,6 %). Parmi les espèces regroupées sous la rubrique "Divers", il faut signaler, d'une part l'anguille, d'autre part la motelle, le merlu, l'anchois, le lieu jaune, le rouget et le lançon.

En résumant, dans le secteur maritime de l'estuaire on peut reconnaître, d'une manière large, à la fois deux grandes communautés de prédateurs et, par rapport à celles-ci, deux zones de répartition.

Deux communautés de prédateurs.

. L'une de type *estuarien* basée sur des populations benthodémersales caractéristiques des eaux à salinité variable et comportant des espèces endémiques, euryhalines, amphibiotiques. Sa localisation préférentielle se fait au niveau des faciès sablo-vaseux ou vaseux littoraux.

. L'autre de type *marin* qui ne franchit pas le secteur des bouchots et qui est basée sur des espèces sténohalines en faible quantité et des espèces euryhalines d'origine marine en plus grande quantité (tacaud) recherchant des fonds durs ou sableux.

Deux zones de répartition.

. L'une *latérale* constituée par les étendues littorales (grand traict de St-Nazaire au nord, du Pointeau au Cormier au sud) où dominent des prédateurs typiquement estuariens ; les espèces-proies y sont variées et relativement abondantes ; les crustacés sont le groupe zoologique basant le réseau trophique.

Celui-ci peut être, soit typiquement planctonique avec le sprat comme consommateur de second ordre (espèce à tendance pélagique), soit benthodémersal avec à la base du réseau la matière détritique et au sommet des mangeurs de Crustacés (bar, tacaud, éperlan) ou de Mollusques et d'Annélides (flet, sole, bar : micro-carnivores).

. L'autre *centrale* possède un caractère original par la proximité des bouchots à moules ; les proies y sont peu nombreuses : larves et adultes de Crustacés et Mollusques filtreurs. Les principaux prédateurs appartiennent à la communauté de type "estuarien" mais s'y ajoutent plusieurs espèces "marines" sténohalines. Les chaînes trophiques y sont de deux types :

. planctonique avec la liaison : Copépodes-Sprat ;

. benthodémersal où intervient le suprabenthos (dont la crevette grise) consommé essentiellement par le tacaud ; en période hivernale, il y a concordance entre les aires de distribution de la proie et du prédateur. Cette chaîne plus longue que les précédentes se termine par les macro-carnivores (lançon, lieu jaune, merlu) qui se nourrissent de jeunes poissons.

b) Le secteur polyhalin (B) (fig. 15)

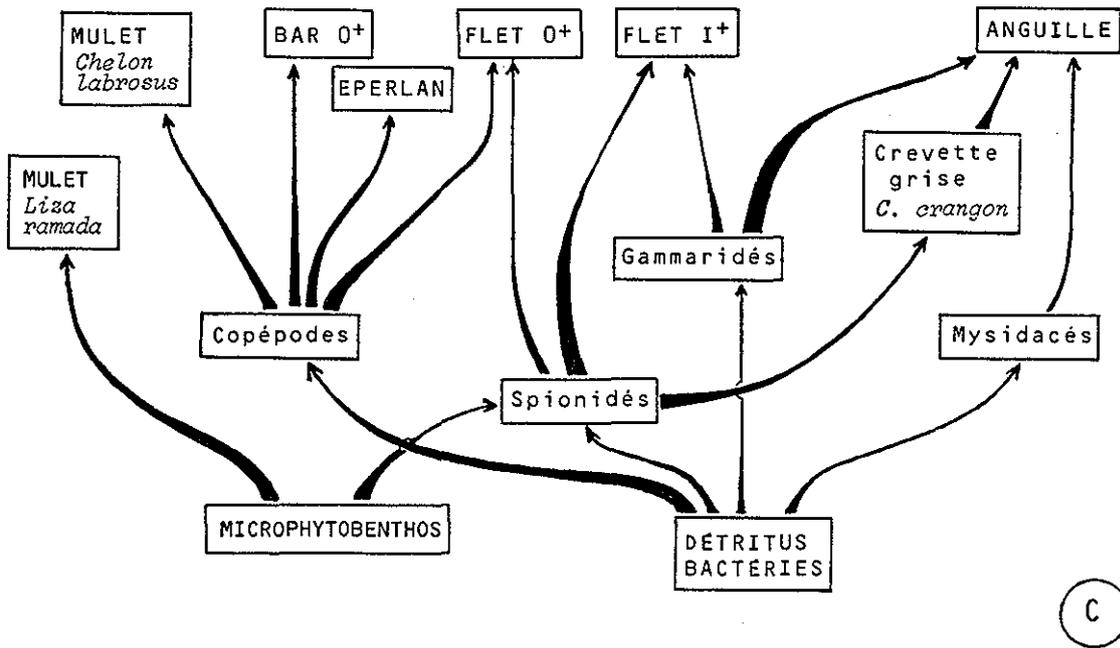
Les communautés des carnivores de ce secteur sont basées sur 22 espèces dont 4 sont essentielles et 3 viennent ensuite, dans l'ordre décroissant de leur pourcentage de contribution aux densités :

le flet (61 %)	le sprat (3 %)
la sole (17 %)	le bar (1,2 %)
l'éperlan (13 %)	l'anguille (1 %)
les gobies (4 %)	

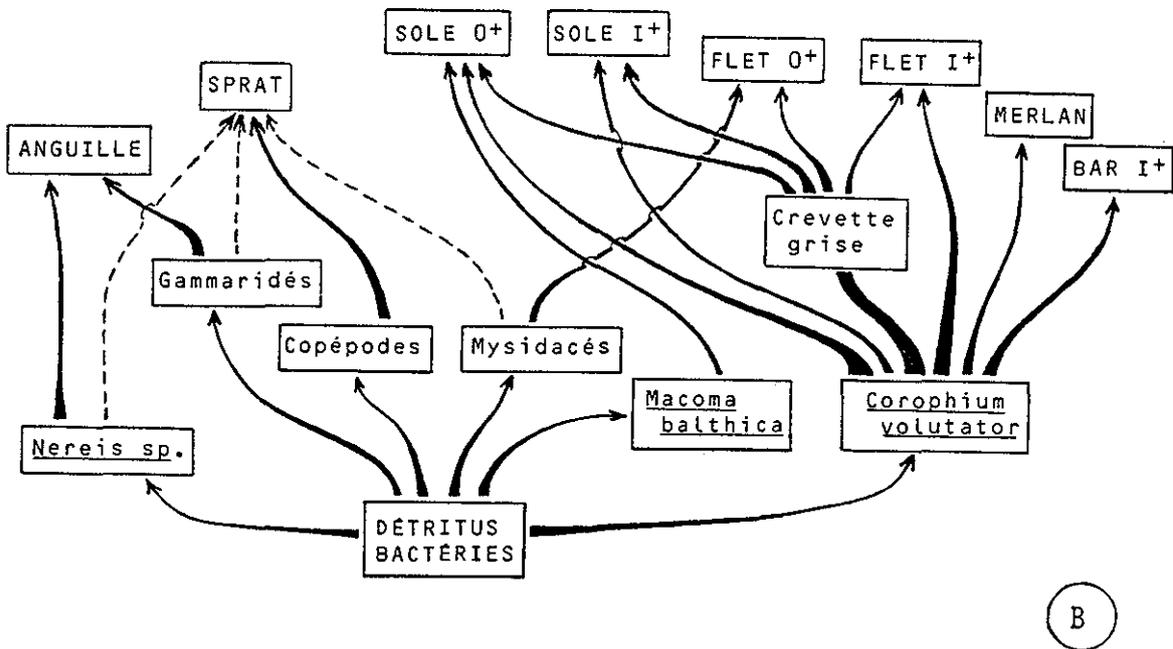
Les espèces euryhalines d'origine marine sont limitées à 10 dont le congre, le chinard, le merlan et le merlu. Des espèces euryhalines d'origine fluviale et latéro-estuarienne complètent cet inventaire (le sandre, la brème, le poisson-chat, l'épinoche).

Une seule communauté, de type estuarien, constitue le compartiment des prédateurs dans le domaine polyhalin. Elle est basée sur le groupe des poissons plats euryhalins d'origine marine et amphibiotiques (78 % des densités) où domine le flet.

Deux zones peuvent toutefois être distinguées dans le domaine polyhalin, correspondant à deux sous-ensembles de consommateurs, basés sur les caractéristiques bio-sédimentaires des supports trophiques considérés.



C



B

Fig. 15 (en bas) et 16 (en haut). - Deux exemples de réseaux trophiques, en secteur polyhalin (B, station 1) et en secteur meso-oligohalin (C, station 3).

. Zone du Bilho où les faciès sablo-vaseux ou vaseux (mais très compacts) attirent les espèces carnivores euryhalines marines comme le bar. Parmi les stations de cette zone, seules celles de la rive nord présentent une richesse faunistique servant de base aux chaînes trophiques qui s'y réalisent. Le faciès le plus propice à l'alimentation des prédateurs est la banquette vaseuse qui est le vestige de l'ancien banc du Bilho. L'abondance du microphytobenthos permet l'établissement d'une chaîne trophique de type limnique et détritique, avec un seul consommateur : le mulot (*Liza ramada*). Les principales chaînes alimentaires ont pour base la matière détritique (et les bactéries). Elles sont de deux types :

benthodémersal, avec les crustacés *Corophium volutator* et *Crangon crangon* comme principales proies du flet, de la sole, du bar, du merlan et de l'anguille ;

planctonique pour le sprat, l'anchois et le flet (groupe 0⁺).

. Zone des vasières latérales où les faciès de vase molle sont propices au regroupement des espèces fouisseuses euryhalines d'origines marine (telle la sole) et amphibiotique (tel le flet).

Les relations trophiques sont essentiellement de type benthodémersal mais également planctonique étant donnée l'abondance de Copépodes au niveau des estrans vaseux.

c) Le secteur meso-oligohalin (C) (fig. 16)

La communauté des prédateurs est basée sur 16 espèces qui sont dominées par 4 d'entre elles : le flet (69 % des densités), l'anguille (8 %), le gobie (8 %), l'éperlan (7 %). Viennent ensuite la brème (4 %) et les mulots (1 %). Les autres espèces sont rares et proviennent essentiellement du domaine euhalin.

Deux ensembles, en résumé, peuvent être déterminés pour les prédateurs du domaine méso-oligohalin de l'estuaire, selon la nature des proies et donc celle du substrat.

. De Donges à Cordemais, les vasières latérales sont fréquentées par une communauté relativement diversifiée d'espèces essentiellement fouisseuses (6 espèces) ; pour certaines d'entre elles Cordemais est la limite amont de leur pénétration estuarienne (bar et gobie).

Il faut y distinguer :

le sous-secteur de transition C1, limité de Donges aux vasières de Pierre-Rouge dans lequel les communautés benthiques sont constituées d'espèces rappelant celles du secteur B ; on y trouve des relations trophiques, d'une part benthodémersales avec l'anguille, le flet et la sole comme consommateurs secondaires ou le mulot comme détritivore-limnivore, d'autre part pélagodémersales où le zooplancton a pour nourriture la matière détritique et non le phytoplancton ;

les vasières latérales de Pierre-Rouge à Cordemais, où le benthos végétal (microalgues) et animal (micro-Annélides) sert de base à tout le réseau trophique dont le point de départ est la matière détritique ; toutefois, la longueur de la chaîne peut varier selon la participation des crustacés : Copépodes, crevette grise et Mysidacées qui constituent un relais non négligeable surtout consommé par les espèces omnivores (le bar, le flet, l'anguille et l'éperlan).

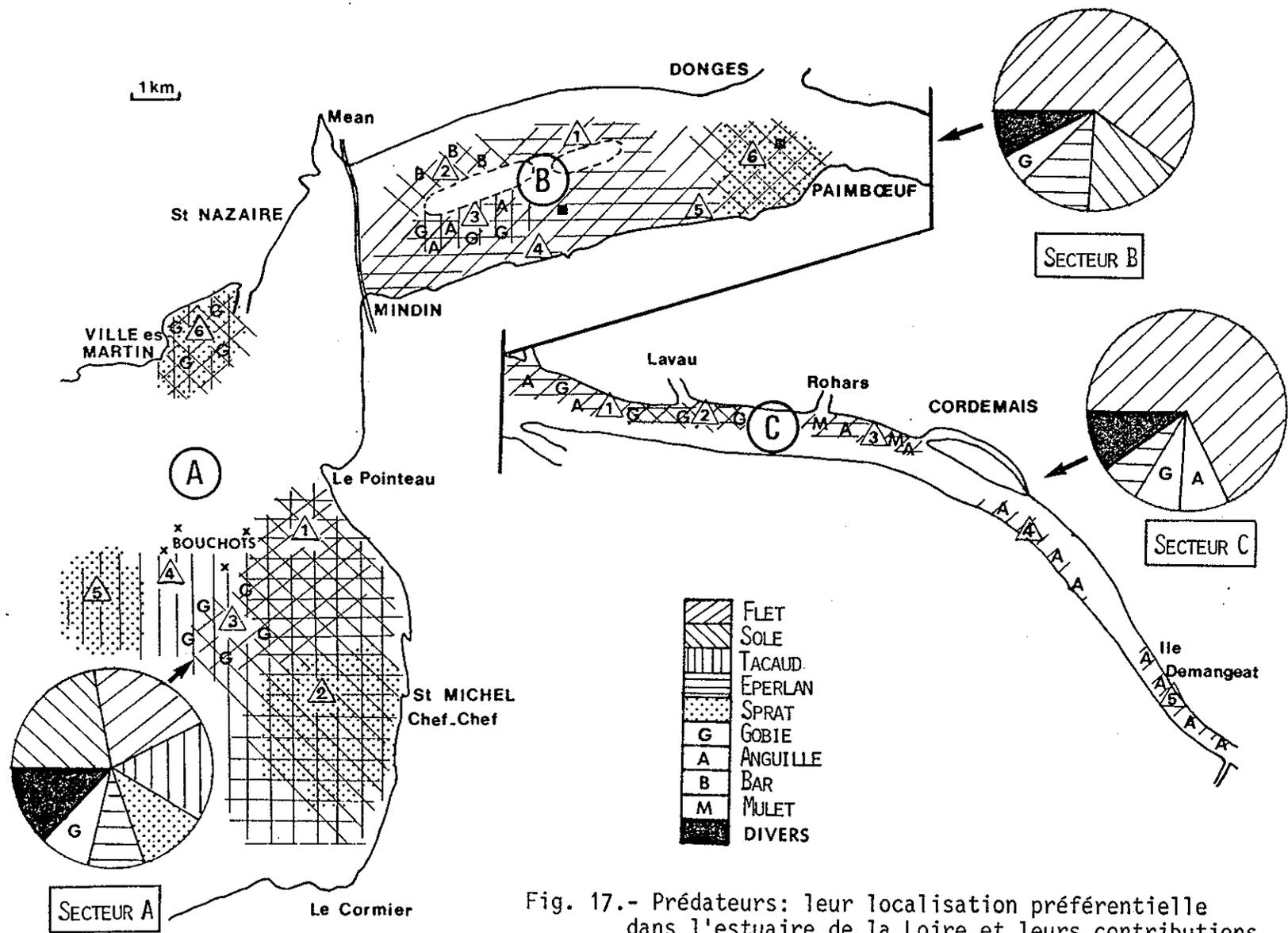


Fig. 17.- Prédateurs: leur localisation préférentielle dans l'estuaire de la Loire et leurs contributions respectives (en nbre %) aux peuplements ichthyologiques des trois secteurs estuariens.

En amont de Cordemais, la communauté n'est pratiquement constituée que d'espèces amphibiotiques : le flet, l'anguille, l'alose et les mullets (*Irisa ramada*). Elles fréquentent essentiellement des fonds sablo-vaseux ou vaso-sableux.

IV. CONCLUSION (fig. 17)

Pour l'ensemble de l'estuaire, les connaissances acquises par cette étude concernent :

- la cartographie des communautés benthiques et la production des espèces les plus représentatives ;
- la distribution spatio-temporelle des prédateurs (Crustacés-Poissons) en fonction de leurs stades biologiques ;
- les variations spatio-temporelles des relations entre espèces.

Les aires de nourricerie, fondamentales dans cet écosystème estuarien, ont pu ainsi être localisées :

- dans l'estuaire externe : Grand Traict de St-Nazaire (prolongement de l'estuaire interne) et zones situées au sud du Pointeau ;
- dans l'estuaire interne : vasières latérales de la rive sud entre Mindin et Paimboeuf, de la rive nord de Donges à Cordemais et de la banquette vaseuse (ancien banc du Bilho) longeant au nord le dépôt de Bilho.

Les autres zones (bouchots, diguons de l'île Demangeat) sont des aires de refuge et de repos hivernal pendant lequel l'activité trophique est ralentie. Elles se situent sur la voie des transits anadromes et catadromes des espèces amphibiotiques.

Cette étude met en évidence plusieurs points .

1) Les prédateurs venant se nourrir en estuaire ne sont pas spécialisés : ils sont omnivores et ont un comportement opportuniste basé sur la disponibilité des proies. On les rencontre essentiellement au niveau des vasières.

2) Dans les zones marquant les limites aval et amont de l'estuaire (bouchots et île Demangeat), il apparaît une simplification des relations trophiques qui sont compartimentées et très peu intriquées. De plus, la spécialisation des régimes s'accroît avec l'apparition des ichthyophages ("super-carnivores") ou des planctonophages vrais.

3) La crevette grise constitue un maillon fondamental dans les réseaux trophiques estuariens. Elle assure la transition entre les consommateurs primaires (benthos, Mysidacées) et les carnivores. Son abondance au niveau des aires de nourricerie que sont les vasières latérales naturelles, principalement, joue un rôle attractif pour l'ensemble des prédateurs.

Aussi faut-il souligner avec insistance l'intérêt de préserver les vasières naturelles qui offrent une diversité et une abondance de proies caractéristiques de ces milieux saumâtres alimentés par une double source d'énergie : le fleuve et la mer.

CHAPITRE V

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

I. CONCLUSIONS

1. Rejets et qualité des eaux

L'évaluation des flux polluants provenant de l'amont et l'inventaire des rejets urbains et industriels déversés en aval de Montjean permettent d'établir quelles sont les caractéristiques principales des eaux de l'estuaire de la Loire.

Si l'on excepte la pollution métallique qui ne pose pas actuellement de problème crucial, trois termes dominant et présentent des interactions importantes :

- . matières en suspension,
- . sels nutritifs
- . oxygène dissous.

Les *matières en suspension*, minérales et organiques, par leur taux, caractérisent les eaux de la Loire. La masse de ces M.E.S. est relativement importante et leur accumulation constitue le "bouchon vaseux", sorte de tissu particulaire, ainsi que le produit de sa décantation "la crème de vase" près du fond. Les particules organiques sont aussi bien des éléments inertes en voie de dégradation que des microorganismes vivants opérant cette décomposition.

Les *sels nutritifs* (phosphates, silicates, nitrates), dont les concentrations varient en fonction des saisons, proviennent essentiellement de l'amont. On note que ces apports sont comparables à ceux d'autres grands fleuves, tout en restant cependant modérés. Aussi l'étude des concentrations et des pourcentages de chlorophylle active montre-t-elle que les sels nutritifs dans l'estuaire ne sont jamais un facteur limitant pour la production primaire phytoplanctonique. Néanmoins même en été, contrairement à ce qui est observé en amont de Nantes où l'on constate des cas d'eutrophisation, cette production primaire n'est jamais très active dans l'estuaire. On peut raisonnablement croire que la production phytoplanctonique de l'estuaire est limitée par la forte turbidité des eaux faisant écran à la lumière indispensable à la photosynthèse et contrôlant de ce fait toute multiplication excessive du plancton.

L'*oxygène dissous* est à la fois indispensable au métabolisme de tout être vivant et à la dégradation de la matière organique inerte, ou minéralisation, productive de sels nutritifs. Ce rappel souligne les multiples besoins en oxygène qui se manifestent au sein de l'écosystème estuarien et donc la grande consommation qui va en être faite à différents

"postes", situation qui peut se trouver aggravée si la température de l'eau s'élève, la teneur en oxygène dissous s'abaissant alors spontanément. L'examen des concentrations en oxygène dissous montre que pendant la majeure partie de l'année, les teneurs en oxygène disponible restent suffisamment élevées dans l'ensemble de l'estuaire. Mais un déficit important se marque en général en août-septembre dans la partie amont de l'estuaire et peut être sensible jusqu'en novembre. Ce déficit estival tient essentiellement à l'élévation générale de la température de l'eau qui favorise en outre les processus d'oxydation, et à la grande concentration en matières organiques trop faiblement diluées par le débit d'étiage et, de plus, retenues en plus grande quantité dans le bouchon vaseux enrichi des remises en suspension de sédiments lors des vives-eaux. A cette époque, une hypoxie sévère entraîne de nombreuses mortalités (dont quantité de poissons, morts ou mourants, échouant sur les rives, ayant vraisemblablement déserté le secteur amont).

Le rapport de la demande chimique à la demande biologique en oxygène indique que la pollution de l'estuaire est à dominante organique.

En définitive, le rôle essentiel de l'oxygène pour la conservation de la qualité des eaux de l'estuaire conduira à proposer les moyens de maintenir à un bon niveau la concentration en oxygène dissous.

2. Caractéristiques des peuplements planctoniques

La trop courte étude qui a été réalisée sur le phyto- et le zooplancton de l'estuaire montre qu'il est en densité moyenne dans des eaux moyennement chargées en matières organiques (mésosaprobies), tendant parfois à une certaine purification ce qu'indiquent des espèces de référence des peuplements phytoplanctoniques pour lesquels on a noté plus haut le frein mis par la turbidité à l'augmentation de leur biomasse.

La diversité spécifique est variable et surtout marquée dans le secteur mésohalin.

Ces peuplements, dans leur ensemble, dépendent étroitement des variations des composantes physico-chimiques du milieu estuarien, dont les teneurs en oxygène et en M.E.S.

On relève comme points particuliers :

- . la présence d'espèces zooplanctoniques détritivores s'alimentant sur le stock de matières organiques, ce qui en résorbe une partie ;
- . la très importante biomasse constituée par les micro-crustacés : copépodes et certaines espèces de mysidacées, indicateurs de la qualité de l'eau car exigeant une faible teneur en M.E.S. et une concentration minimale en oxygène, laquelle toutefois peut être faible ;
- . enfin le rôle d'appoint, parfois de compensation, tenu par le phytoplancton arrivant des marais adjacents.

3. Peuplements benthiques de l'estuaire

La cartographie des peuplements benthiques de l'estuaire et l'évaluation par un premier suivi mensuel sur plus d'une année de la production en biomasse des principaux faciès sédimentaires estuariens sont le premier terme d'un programme de suivi pluriannuel, seul capable de renseigner sur les variations naturelles à moyen ou long terme de ces peuplements et de permettre d'estimer les conséquences biologiques des aménagements.

Les stations de suivi mensuel sont situées dans les secteurs de Lavau (île Pipy), de l'Imperlay, et sur le banc de Bihô rives nord et sud.

L'inventaire des espèces et la caractérisation faunistique des trois domaines halins montrent le contraste existant entre, d'une part le secteur oligohalin pauvre et le mésohalin aux peuplements denses mais peu diversifiés, subissant toutefois l'influence polyhaline en période d'étiage, d'autre part le secteur polyhalin aux nombreuses communautés, variées, sur de faibles étendues, réparties en mosaïque.

Qu'il s'agisse du secteur mésohalin ou du polyhalin, il faut souligner et retenir que la composition faunistique, l'abondance et la production des peuplements benthiques sont essentiellement liées à la qualité du substrat et aux conditions hydrodynamiques locales. Les sables propres sont très pauvres, parfois azoïques, les sables vaseux et vases sableuses sont en situation intermédiaire et souvent peu productifs ; les vases franches, molles ou compactes, sont de loin le faciès le plus riche, mais la qualité de la vase (par exemple, en certaines zones, sa fluidité estivale : crème de vase) est un des facteurs qui peuvent limiter la permanence des populations en empêchant une colonisation durable par certaines espèces. Toutefois on peut s'interroger sur ce qui est le plus profitable à la productivité de l'estuaire : un accroissement de la surface des vasières stabilisées ou un accroissement de la matière organique nutritive consécutif aux mortalités sur fonds instables et au taux de remplacement élevé de la biomasse, phénomène typique des estuaires productifs.

Le niveau tidal des sédiments est un facteur important de la répartition des peuplements benthiques dont les espèces occupent le niveau leur permettant de satisfaire leurs exigences écologiques, plus particulièrement trophiques ; le rapport horaire émerSION/immersion est un facteur de répartition qualitative et quantitative.

Les peuplements sont, en outre, sensibles aux conditions hydrologiques dues aux variations du débit du fleuve.

Il faut noter enfin pour le secteur polyhalin la possibilité d'une évolution plus rapide de la cartographie des peuplements en raison de l'instabilité des fonds modifiés par les aménagements et de la variabilité spatio-temporelle liée aux conditions hydrodynamiques, bathymétriques et hydrologiques.

Ces différents facteurs, auxquels il faut ajouter la teneur des eaux en oxygène, conditionnent donc les peuplements benthiques qualitativement et/ou quantitativement ainsi que leur répartition.

Les résultats du suivi mensuel ont également permis d'établir, pour chacun des quatre secteurs de prélèvement précités, la contribution des espèces ou groupes d'espèces à la richesse des communautés (en précisant les densités et les biomasses en pourcentages), la participation à la production biologique du secteur, la période de production et la catégorie trophique des espèces ou groupes dominants.

La *nouvelle cartographie* (dont certains échantillonnages effectués sur le banc de Bilho et les vasières de l'Imperlay et de Corsept peuvent être comparés à d'autres réalisés en 1979 avant les aménagements du secteur de Bilho) met en évidence un certain nombre de modifications faunistiques consécutives au dépôt sur le banc de sédiments remaniés qui, sans cohésion, se redistribuent, longtemps mouvants, modifiant ainsi le substrat, la bathymétrie (surcreusement et exhaussement) et par la suite la courantologie, tous facteurs dont on vient de voir qu'ils conditionnent la répartition des communautés benthiques, leur permanence, leur participation à une bonne production biologique.

Le suivi mensuel a permis d'estimer très approximativement la production de l'estuaire interne de la Loire à 65 tonnes/an de matière organique sèche pour 2 815 ha environ, se répartissant ainsi :

Secteur	production t/an	% des surfaces totales	% de production totale
mésohalin : estrans	13	9	20
polyhalin :			
vasières marginales	.37	16	57
Bilho estrans rive N	.15	75	23

Mais la rive sud du dépôt de Bilho, aux sédiments sableux meubles improductifs, avec une mortalité des espèces très supérieure à leur recrutement, subit une perte de biomasse de 1,5 t/an.

Ces chiffres indiquent le rôle primordial des vasières naturelles de l'estuaire de la Loire, estuaire dont le niveau de production est moyen, 4 à 7 g/m²/an, comparé à des estuaires européens atteignant 14 g/m²/an (niveaux vraisemblablement très inférieurs au potentiel d'un estuaire dans l'état de nature).

Les vasières de la rive nord, de l'île de Pierre-Rouge à Cordemais, et de la rive sud, entre Mindin et Paimboeuf, rassemblent les conditions du maintien de l'actuelle productivité : flux énergétique de sels minéraux et de matières organiques, qualité du support hydrologique et sédimentaire, stabilité hydrodynamique des aires intertidales ; elles constituent des reliques d'un estuaire probablement beaucoup plus productif avant les aménagements.

4. Ressources benthodémersales de l'estuaire

La recherche des caractéristiques qualitatives et quantitatives des ressources benthodémersales de l'estuaire (crustacés et poissons) et l'étude écologique approfondie particulière à cinq espèces d'intérêt économique (crevette, flet, sole, merlan, bar), enfin l'établissement d'un bilan des relations trophiques dans l'estuaire ont conduit aux constatations et conclusions qui suivent.

L'inventaire des ressources benthodémersales, qui s'est adressé par des moyens appropriés (pêches planctoniques et à pied, chalutages) aux différents stades de développement des espèces, fait ressortir le rôle respectif des différents domaines halins et faciès sédimentaires de l'estuaire ainsi que les localisations saisonnières. Les juvéniles de la crevette grise et ceux de différentes espèces de poissons (flet, sprat,...) pénètrent dans l'estuaire au début du printemps à la faveur de la stratification haline des eaux provoquée par les crues, venant de la mer pour la presque totalité ou de l'amont du fleuve pour certaines (éperlan). Les pêches dans les mares intertidales ont montré que celles-ci constituent au jusant des refuges où se concentrent les juvéniles de la crevette grise et de poissons plats ainsi que des éléments de leur régime alimentaire. Les chalutages ont permis d'établir les caractéristiques globales des ressources et leurs variations saisonnières (densité du peuplement, biomasse, richesse et diversité spécifiques) ainsi que la contribution des différents secteurs à ces caractéristiques.

Le secteur *polyhalin* se révèle être la zone fondamentale dont la contribution à la richesse de l'écosystème estuarien en ressources benthodémersales est capitale. Toutefois, les diverses zones de ce secteur (déjà citées pour les peuplements benthiques) y participent de manière différente ; la rive nord du dépôt de Bilho où apparaît encore une banquette de vase compacte, vestige de l'ancien banc, et la rive sud de l'estuaire constituée de vasières intertidales naturelles (Corsept, Imperlay) sont des zones de fortes concentrations de crevettes grises et d'ichthyofaune.

Le secteur *maritime* (ou estuaire externe), au rôle appréciable mais à la contribution moins constante, se signale par ses secteurs sablo-vaseux au sud (bouchots et littoral sud) et par ses vasières intertidales au nord (Grand traict de Saint-Nazaire).

Le secteur *mésohalin* tire son intérêt essentiellement de l'existence sur sa rive nord de vasières naturelles dont la faune constitue une base trophique de première importance pour les crustacés et l'ichthyofaune qui y sont toujours abondants.

En contraste profond avec ces différentes zones, la rive sud du dépôt de Bilho aux sédiments trop fréquemment remaniés, est actuellement remarquable par son absence de contribution à la grande richesse du secteur polyhalin.

Ces résultats préviennent donc sur les conséquences négatives que pourrait avoir pour la richesse de l'écosystème estuarien une sensible diminution de la surface globale des vasières "stabilisées" de niveau intertidal, milieux de formation naturelle ancienne d'importance primordiale.

L'estuaire constituant un biotope particulier par sa situation entre la mer et l'eau douce et, par ailleurs, sachant la capacité de nombre d'espèces à adapter leur comportement, de manière plus ou moins marquée, au cours de leur vie, il est apparu intéressant d'étudier certaines d'entre elles fréquentant l'estuaire. Elles appartiennent aux groupes des crustacés et des poissons, et ont été distinguées selon quelques critères auxquels elles répondent pour tout ou partie, en particulier : être caractéristiques des estuaires mais à écobiologie mal connue, avoir une aire de répartition

débordant largement de l'estuaire interne, être d'intérêt économique. C'est ainsi qu'ont été choisis, la crevette grise, le flet, la sole, le merlan et le bar.

Les caractéristiques bioécologiques de ces espèces durant leurs phases estuariennes sont exprimées dans cette étude par leur taux de participation aux ressources benthodémersales selon les secteurs et au cours des saisons, par leur cycle biologique et par leur régime alimentaire.

La crevette grise, bien qu'accusant depuis une dizaine d'année, comme dans tous les estuaires industrialisés, une diminution de densité d'après les apports de pêche, demeure néanmoins pratiquement le seul crustacé de son groupe (décapodes nageurs) à fréquenter l'estuaire. Cette espèce représente en secteurs marin et polyhalin plus de 50 % des densités en individus des ressources benthodémersales, mais seulement 5 à 7 % en biomasse en raison de son faible poids à l'unité. La crevette, dans l'ensemble, s'établit préférentiellement en hiver dans l'estuaire externe abandonnant les estrans pour les hauts-fonds proches, tandis que du printemps à l'automne elle se déplace dans l'estuaire interne gagnant même la limite du secteur oligohalin.

Le cycle biologique de la crevette grise est court: 2,5 à 3 ans ; la croissance rapide de l'espèce et une complète maturité sexuelle acquise à un an confèrent aux populations de cette espèce un taux de renouvellement élevé typique des peuplements estuariens. Chaque génération pondant, dans la première moitié de sa deuxième année, deux fois à 4 mois d'intervalle environ, on peut suivre sur une année l'écobiologie de trois générations : hivernale, printanière et estivale. La localisation préférentielle des différents stades a lieu essentiellement sur les différentes vasières latérales de niveau intertidal, rarement en zone vaso-sableuse. Les régimes alimentaires relevés sont en rapport car, passé le stade larvaire qui se nourrit de phytoplancton, les stades ultérieurs s'alimentent principalement d'espèces du benthos endogé et du suprabenthos, presque exclusivement de crustacés de petite taille et de vers annélides ; il faut ajouter que les contenus stomacaux contiennent, selon la saison, de 53 à 81 % de sédiment, lequel inclut des particules organiques.

La crevette grise, d'intérêt économique (national) important, est l'espèce la plus activement pêchée dans l'estuaire externe lors des concentrations de reproduction en zones littorales (le chalutage est interdit dans l'estuaire interne). La diminution des captures évoquée plus haut, en dépit du taux de renouvellement élevé de l'espèce, est certainement due à plusieurs causes dont les influences respectives sont difficiles à évaluer ; on peut envisager comme vraisemblables : la capture de trop grandes quantités d'individus immatures (mais on ignore si la pression des prédateurs naturels ne s'est pas accrue pour des raisons restant à déterminer), les conséquences des aménagements (mais les séries longues de données écologiques relatives à l'estuaire sont trop rares et comportent trop de lacunes sur certains paramètres - M.E.S., oxygène, ...- pour permettre de trancher), enfin les influences de la météorologie sur l'hydrosystème fluvial inférieur et marin littoral et la qualité de l'eau. Or on ne connaît pas encore toutes les modifications intimes et subtiles de la physiologie et du comportement que ces différentes causes peuvent entraîner chez les individus d'une population, en particulier dans le cas présent où l'espèce a une aire de distribution limitée à la frange littorale et est très inféodée, durant la plus grande partie de son existence, à un faciès de vasières dont il se pourrait qu'elle ne supporte pas de possibles altérations.

Le flet (ou plie de Loire), espèce d'intérêt halieutique local, tient dans l'ichthyofaune benthodémersale le premier rang (fréquence de présence 84 %) avec ses meilleures densités dans les secteurs mésohalin (60 %), toutefois déserté en fin d'étiage, et polyhalin (59 %) où sa présence est constante ; les valeurs des biomasses sont du même ordre ce qui en fait l'élément faunistique de base de la richesse du système estuarien.

Après la ponte en mer, le cycle biologique du flet comporte une écophase estuarienne depuis la métamorphose succédant à la vie larvaire pélagique jusqu'à la fin de la deuxième année à partir de laquelle il est apte à se reproduire en mer ; une partie de ces adultes, des femelles surtout, reviendront en estuaire au cours de leur troisième année, et plus peut être ce qui reste à préciser. Ces différents groupes d'âges séjournent sur les vasières des trois secteurs, vasières latérales des rives nord et sud principalement et vasière du flanc nord du banc du Bilho, dont on sait qu'elles sont toutes abondamment colonisées par des communautés benthiques. Celles-ci lui fournissent ses proies comme le confirme l'étude du régime alimentaire du flet, le régime variant avec l'âge et les saisons (micro-crustacés, micro-annélides).

On retiendra donc que les aires de nourrissage des flets se trouvent essentiellement sur les vasières naturelles, principalement celles de la rive sud de la Loire, ce qui accentue encore leur intérêt ; elles offrent une succession de proies de petite taille convenant aux exigences des juvéniles (le groupe est largement dominant en secteurs poly- et mésohalin) qui y trouvent ainsi la variété de supports trophiques couvrant de manière continue leurs besoins durant leur première année de croissance.

La sole, compte tenu de sa haute valeur commerciale, mériterait que sa bioécologie fut précisée, en particulier les phases vécues dans l'estuaire. Elle marque sa préférence pour le secteur polyhalin où elle est aussi fréquente que le flet et deuxième pour la densité ; les 3/4 environ de la population estuarienne de sole se rencontrent dans ce secteur contre presque 1/4 en estuaire marin, le secteur mésohalin étant négligeable.

Ecloses en mer, les larves planctoniques, déjà âgées, se trouvent dans l'estuaire en effectif maximum en avril-mai ; ces larves se métamorphosent alors en juvéniles, à la morphologie adulte asymétrique et prenant le mode de vie benthique, localisés à 70 % dans le secteur polyhalin (soit 82 % de la totalité des soles) où ils se concentrent sur les vasières latérales, essentiellement entre Mindin et Paimboeuf (vasières de l'Imperlay et de Corsept) ; toutefois, par faibles débits du fleuve et forts coefficients de marée, les jeunes montent en secteur mésohalin jusqu'aux vasières situées entre Donges et Cordemais. Les conditions hivernales font refluer l'ensemble des groupes dans l'estuaire externe, en secteur maritime. Le printemps suivant voit le retour dans l'estuaire interne de ces jeunes devenant des solettes dans leur deuxième année, dont 65 % va séjourner à nouveau en secteur polyhalin (soit 17 % des soles présentes) principalement autour du Bilho et sur l'Imperlay ; ce sera encore le cas au printemps de leur troisième année. Les jeunes soles, hors cet intermède estuarien printanier, se tiennent en permanence dans l'estuaire externe.

Les soles juvéniles, sitôt acquis le stade benthique, se nourrissent sur les diverses communautés du benthos de proies dont la crevette grise est une des préférées. D'ailleurs, la présence simultanée de ces deux espèces, sole-prédatrice et crevette-proie, sur les mêmes aires de distribution (les diverses vasières) est remarquable. Ainsi la sole, bien qu'espèce marine, doit durant ses stades jeunes vivre en estuaire essentiellement en raison de besoins trophiques que seul un écosystème estuarien pourvu de vasières productives peut satisfaire. Il faut d'autre part souligner que les répartitions géographiques semblables de la jeune sole et de la crevette grise ont pour conséquence la destruction de quantités importantes de soles immatures lors des campagnes crevettières dans la partie méridionale de l'estuaire externe.

Le merlan, une des espèces courantes des produits de chalutage, effectue fréquemment en mer, à l'approche des estuaires, des regroupements parfois importants de jeunes individus dont une phase peu connue de la vie est estuarienne. Peut être en raison du mode d'échantillonnage, les densités et biomasses observées sont faibles, rapportées à l'ensemble de l'estuaire ou par secteur, à l'exception du secteur marin où elles avoisinent 10 % du peuplement ichthyologique, ce maximum ayant lieu au printemps et début de l'été. Ces merlans, pour la majorité des juvéniles, s'établissent sur les vasières latérales de l'estuaire et le banc de Bilho où ils se nourrissent de crustacés, dont la crevette grise qu'ils suivent dans ses déplacements ; passés deux ans, leur régime sera devenu ichthyophage. C'est donc encore une espèce se plaçant sur la chaîne alimentaire des zones naturelles à haute productivité de l'estuaire.

Le bar, d'intérêt halieutique confirmé, présente une écophase estuarienne dont la connaissance comporte bon nombre de lacunes, par exemple la limite la plus amont atteinte par les jeunes. Les densités et les biomasses, presque toujours inférieures à 5 %, excepté en secteur polyhalin en automne, marquent la faible contribution de l'espèce à la richesse de l'ichthyofaune de l'estuaire (là encore peut-être en raison du mode d'échantillonnage). Les jeunes bars, nés en mer en mai, arrivent en automne et se dispersent dans l'estuaire où ils occupent de préférence les secteurs de rive à sédiments vaseux, tandis que ce sera la zone du Bilho à leur deuxième année. En secteurs mésohalin et polyhalin, les bars de moins de un et deux ans consomment des crustacés, dont la crevette grise, sur les vasières latérales avant de devenir progressivement ichthyophages. Cette espèce vient donc elle aussi en estuaire durant ses deux premières années pour y trouver une nourriture abondante, d'une capture facile appréciée même par ce chasseur rapide ; la qualité de cette alimentation où dominent les crustacés est probablement nécessaire aux premiers stades de la croissance de ces poissons.

5. Bilan des relations trophiques

L'étude de la bioécologie de différents compartiments du milieu vivant estuarien et les observations spécifiques effectuées ont permis de souligner les dépendances existant au plan trophique entre communautés

ou espèces, au moins durant une période de leur vie. Une synthèse a été établie qui montre la qualité et la diversité des liens trophiques unissant les différentes composantes biologiques des communautés faunistiques estuariennes, en relation avec les divers faciès sédimentaires présentés par l'estuaire de la Loire et capables de répondre aux exigences écologiques des diverses écophases estuariennes des espèces ayant ou non un intérêt halieutique.

Ces rapports étroits existant entre milieu, proies et prédateurs pourraient conduire à envisager les conséquences pour ces derniers de modifications des facteurs hydro-sédimentaires susceptibles de provoquer la disparition d'éléments des chaînes trophiques ; l'appauvrissement marqué d'une zone peut en résulter car en estuaire où la sélection des espèces par les conditions du milieu est poussée et où les équilibres sont précaires, les proies de substitution convenant par leur qualité et leur abondance feraient défaut à un prédateur à régime strict.

Heureusement, en ce qui concerne les espèces qui viennent d'être étudiées, le bilan des relations trophiques fait apparaître que les prédateurs venant se nourrir en estuaire ne sont pas spécialisés et profitent des proies diverses disponibles en abondance sur les vasières naturelles.

Il reste à faire de telles études pour les espèces de valeur que sont l'anguille-civelle, la lamproie, le saumon.

6. Conclusion générale

La conclusion générale, regroupant les remarques avancées après le résumé des différentes parties de l'étude du milieu vivant, retient comme acquis essentiel, ce qui était un des objectifs de cette étude, la localisation dans l'estuaire de zones naturelles, à sédiment riche en fraction fine et plus ou moins compact, de bonne stabilité à l'hydrodynamisme, à niveaux supérieurs très productifs en biomasse benthique, qui constituent des nourriceries ; elles sont peuplées par des consommateurs primaires (bactéries, vers, mollusques, crustacés, ...) et accueillent des espèces de niveau intermédiaire dans les réseaux trophiques (dont l'exemple le plus en vue est la crevette grise) ce qui leur confère un rôle fondamental de transfert de la matière énergétique vers les consommateurs de rang plus élevé que sont les carnivores (poissons). Ainsi les nourriceries de poissons (aux stades de larves âgées et de juvéniles) se situent essentiellement sur les aires de fortes productivité biologique où le taux de renouvellement très élevé de la biomasse est dû au flux de matière organique, au support sédimentaire à fraction fine et à une superficie suffisante de ces aires qui doivent s'étager sur les différents niveaux tidaux. En effet il se produit un drainage des éléments trophiques primaires produits dans les faciès supérieurs vers les juvéniles de poissons se tenant le plus souvent sous la limite des basses mers de mortes-eaux.

Ces caractéristiques désignent les vasières naturelles de l'estuaire qui sont situées : sur la rive droite entre Cordemais et Donges et juste en aval de Saint Nazaire (le Grand Traict), sur le bord nord du dépôt de Bilho, sur la rive gauche entre Paimboeuf et Mindin et au-delà en secteur maritime. Le rôle des vasières est donc capital pour la richesse de l'estuaire.

II. RECOMMANDATIONS

Le maintien indispensable et souhaité de la qualité des eaux et de la richesse du milieu vivant de l'estuaire de la Loire appelle, au vu de ces conclusions, certaines recommandations compte tenu :

- . des lacunes de connaissances qui subsistent,
- . des aménagements portuaires qui doivent être mis en place,
- . de l'existence d'établissements industriels,
- . des agglomérations qui effectuent dans l'estuaire des rejets s'ajoutant aux apports du bassin versant,
- . des activités halieutiques exercées en secteur maritime.

1. Qualité de l'eau de l'estuaire

- Les pollutions chimiques et métalliques doivent, de toute évidence, être suivies afin qu'elles ne dépassent pas, au maximum, les teneurs tolérées, ce que doivent pouvoir assurer des contrôles pour le respect des dispositions prises à cette fin.

- Le maintien d'une concentration minimale (3 mg/l) de l'oxygène dans l'eau est primordial, étant donné le rôle multiple de cet élément vital, et nécessite de mener une action d'envergure comportant :

- . la surveillance de la concentration en oxygène en des points sélectionnés et conjointement la surveillance de la température de l'eau ;
- . le soutien des trop faibles débits d'étiage ;
- . la réduction des apports en matières oxydables, consommatrices d'oxygène, qu'elles soient drainées de l'amont (programme de lutte contre l'eutrophisation dans le fleuve) ou apportées par les rejets en estuaire ;
- . le maintien et parfois l'amélioration des communications entre l'estuaire de la Loire et les zones humides adjacentes selon une gestion raisonnée, ces zones humides étant, sous certaines conditions, susceptibles de contribuer au soutien du taux d'oxygène de l'eau de l'estuaire.

Un modèle mathématique est à concevoir (dont le taux de matières en suspension sera une variable importante) pour suivre l'évolution de la concentration en oxygène de l'estuaire.

- L'accroissement de la turbidité naturelle ou la remise en suspension des sédiments suivie de transferts provoqués par des activités humaines (reprise ou extraction de sédiments, dépôts de dragages insuffisamment protégés des forts hydrodynamismes...) doivent être surveillés en raison des aspects négatifs qu'ils peuvent avoir sur le milieu vivant, entre autres par la déstabilisation ou l'exhaussement de zones à forte productivité primaire benthique.

- L'étude qualitative et quantitative des micro-organismes, bactéries et virus, contenus dans les eaux de l'estuaire devrait devenir effective (un programme est en cours d'établissement).

2. Milieu vivant

Il est, dans son ensemble, le tout premier bénéficiaire des recommandations proposées pour assurer la qualité de l'eau de l'estuaire.

- L'amélioration des communications entre l'estuaire et le réseau irriguant les marais adjacents aura pour autres avantages une diversification plus grande de la composition spécifique du plancton, avec des conséquences bénéfiques pour les réseaux trophiques, et un élargissement du biotope de la macrofaune benthodémersale.

- Le maintien des caractéristiques actuelles du bouchon vaseux et la bonne estimation de l'impact hydro-sédimentaire d'aménagements futurs doivent permettre aux populations de copépodes et mysidacées, exigeant une faible teneur de matières en suspension, de conserver leurs fortes densités actuelles qui les font constituer des biomasses très importantes au rôle trophique primaire capital.

- La protection des vasières naturelles, aux modifications faibles et lentes, a pour conditions impératives, d'une part l'estimation la meilleure possible de l'impact hydro-sédimentaire des aménagements estuariens inévitables, d'autre part la mise en oeuvre de moyens appropriés pour réduire les effets de cet impact qui ne pourraient être évités ou compensés. En particulier il faut veiller aux causes d'exhaussement des fonds.

Les vasières intertidales, pratiquement permanentes, du secteur polyhalin sont le faciès de beaucoup le plus productif de l'estuaire, abritant des supports trophiques variés et constants, éléments de base de chaînes trophiques parfois longues :

. les qualités du sédiment (plus de 50 % de fraction fine) et une superficie minimale conditionnent la nature, l'abondance et la production des peuplements benthiques ; l'étalement de la zone par rapport aux niveaux de la marée conditionne la répartition des peuplement ;

. des modifications de la couche sédimentaire de surface peuvent être provoquées par des changements de courantologie (conditions hydrologiques saisonnières et variations de débit), des redistributions de sédiments ; la mise hors de l'espace intertidal peut résulter d'exhaussements ou de surcreusements successifs ;

. si bien que des espèces benthiques, des groupes d'espèces, des communautés entières peuvent régresser, migrer vers l'amont ou l'aval ou mourir remplacés ou non par la suite selon les disponibilités en éléments détritiques et en espèces colonisatrices ; certes toute évolution n'est pas forcément négative ;

. le "bon état" d'une vasière conditionne la présence d'espèces-relais prédatrices de maillons trophiques primaires mais proies de prédateurs supérieurs ainsi attirés sur la vasière et dont font partie les ressources benthodémersales.

- Des études ultérieures devraient donc être proposées afin de quantifier les flux d'énergie et de matière transitant au sein du réseau trophique estuarien et de préciser le rôle de l'estuaire vis-à-vis de l'ensemble de l'ichtyofaune. En effet, l'étude qui s'achève conduit à des

conclusions descriptives dans l'ensemble, après lesquelles s'impose la nécessité de quantifier certaines caractéristiques, soit pour confirmer les premières conclusions, soit pour entreprendre le suivi de certaines composantes. Ces études ultérieures auraient pour objectif :

- . d'estimer le rôle joué par l'estuaire dans la migration d'espèces amphibiotes telles que le saumon, l'alose, l'anguille, etc. ;

- . de connaître les rythmes d'activité trophique des prédateurs dans les divers biotopes estuariens en fonction de l'évolution spatio-temporelle des communautés de proies afin de déterminer et localiser d'éventuels facteurs susceptibles d'interrompre la chaîne trophique (intérêt en ce qui concerne la recolonisation des secteurs aménagés);

- . de définir l'aire de distribution et la cinétique démographique d'espèces pélagiques à écophases estuariennes, absentes de la présente étude, telles que le hareng, le sprat et l'anchois.

Outre ces nouvelles études, un programme de suivi pluriannuel devrait, sans discontinuité marquée, poursuivre de manière simplifiée mais quantifiée les observations sur le banc de Bilho et les vasières.

L'ensemble de ces études, complément indispensable à celles qui viennent d'être réalisées, permettrait d'estimer la valeur relative des zones de nourricerie de l'estuaire de la Loire. Il serait ensuite possible de viser à planifier de manière rationnelle les aménagements futurs pour une stratégie optimale d'utilisation des ressources de ce type de milieu (productif mais complexe et fragile), afin d'assurer la survie de l'activité halieutique de la région.

- Cette activité halieutique régionale, bien que ou parce que n'ayant pu faire l'objet d'un rapport, suscite également des recommandations dont la portée peut dépasser l'estuaire dans la mesure où les jeunes d'espèces d'intérêt économique y ayant effectué leur nourrissage se dispersent ensuite, pour une part plus ou moins grande, au-delà des limites extrêmes de cet estuaire.

On a connaissance que les activités de pêche pratiquées dans l'estuaire sont très diversifiées ; il existe une vingtaine de "métiers", dont seize sont à retenir, les deux plus importants étant la pêche au tamis à la civelle et la pêche au chalut à poisson en "petite pêche" ; les autres engins sont le chalut à crevettes, le filet droit maillant et les bosselles (le chalut est interdit dans l'estuaire interne).

Mais les états réels contrôlés de la composition de la flottille, de la puissance effectivement installée à bord et de la durée des sorties, permettant de connaître l'effort de pêche, n'ont été établis qu'en 1981. Quant aux apports, ceux déclarés sont inférieurs aux mises à terre réelles dans des proportions très variables ; leur étude, par embarquements sur des navires professionnels, commencée en 1982 pour la crevette grise et la sole, permet d'évaluer pour cette année-là les captures en estuaire : pour la crevette elles sont supérieures de 25 % (76 t) aux quantités déclarées (60 t) et pour la sole près de 4 fois supérieures (220 t contre 58 t) ; le cas de la civelle est à ce titre bien connu. Cela s'explique par la grande diversité des pêches pratiquées, par le mode d'exploitation en petit

artisanat (à coûts et profits partagés), par la vente directe au consommateur ou à des "collecteurs" le plus souvent préférée à la mise en marché à la criée sous halle. Les données réelles sont d'ailleurs difficiles à obtenir, qu'il s'agisse du temps de sortie des navires ou des quantités commercialisables d'espèces accessoires (sole,...) capturées avec l'espèce-cible (langoustine, crevette).

Il ne serait donc pas significatif de rapporter l'état d'exploitation halieutique de l'estuaire avec des statistiques aussi biaisées.

Sans s'attarder sur ces premiers résultats, et étant acquises des connaissances sur les écophases estuariennes des juvéniles de certaines espèces halieutiques de valeur, il apparaît nécessaire d'entreprendre des études qui auraient pour objectif :

- . d'acquérir les données les plus exactes possibles sur:
 - les activités et les captures effectives des flottilles opérant dans l'estuaire (quantification des moyens de production, estimation de l'effort de pêche par métier et par secteur);
 - les interactions entre espèces associées dans les captures et entre activités, au plan des ressources, au plan technique et au plan commercial ;
 - le poids économique et social des activités halieutiques ;
- . de réaliser un échantillonnage systématique des espèces amphibiotes (ou amphihalines) transitant par l'estuaire, ce qui implique la mise au point de méthodes quantitatives ;
- . d'établir à l'aide des connaissances acquises un projet d'aménagement des pêches de l'estuaire.

Pour répondre aux questions qui se posent, il faut, dans un premier temps, recommander l'application de la réglementation en vigueur, ou son amendement, ou la prise de nouvelles réglementations si besoin est, en ce qui concerne :

- . l'interdiction de la pêche au chalut dans l'estuaire interne (en amont d'une ligne Saint-Nazaire-Mindin) ;
- . la capture et la vente des "solettes" dans leur deuxième année ;
- . la pêche à la crevette grise ; pour cette espèce, si l'étude en cours démontre que la pression par pêche exercée sur les populations de l'estuaire atteint un pourcentage sensible par rapport à la mortalité naturelle estimée, il pourrait être envisagé une taille commerciale supérieure à 40 mm, respectant un bon pourcentage de femelles immatures, et des zones entièrement interdites à la pêche crevette, ou bien ouvertes pour une durée limitée (secteur du Pointeau par exemple) ;
- . la pêche civellière, dont la date de fermeture serait à reconsidérer, car dès la fin de mars ou au tout début d'avril, remontent les jeunes poissons plats ; la mesure serait en outre bénéfique pour la population de civelles de l'estuaire et du bassin de la Loire.

Cependant et quoi qu'il en soit, ce ne sont pas les mesures réglementaires catégorielles, prises au coup par coup, qui peuvent apporter les solutions aux problèmes existants dans l'estuaire et les baies adjacentes.

Il faut faire naître chez les professionnels une prise de conscience de la nécessité de reconsidérer les modalités de la gestion halieutique du secteur ligérien afin d'en protéger les ressources. L'aménagement halieutique indispensable comporte nécessairement en première phase une approche très globale et correctement quantifiée de tous les aspects de l'exploitation des ressources vivantes, approche devant être effectuée avec le concours de tous les partenaires. Avec les données ainsi acquises, il doit devenir possible d'établir un projet concerté d'aménagement des pêches dans l'estuaire et ses dépendances.

NANTES, mai 1984

Institut scientifique et technique
des Pêches maritimes

A. Vincent