

DATES	VOLUME D'EAU	VOLUME D'EAU	VOLUME D'EAU	BILAN	BILAN	BILAN
	SORTI EN JUSANT en m <sup>3</sup>	ENTRE EN FLOT en m <sup>3</sup>	TOTAL - entré + sorti en m <sup>3</sup>	DE PO <sub>4</sub> SORTI EN JUSANT en kg	DE PO <sub>4</sub> ENTRE EN FLOT en kg	DE PO <sub>4</sub> J - F en kg.
29.03.82		343 206			67	
28.04.82		323 774			48	
24.05.82	1 178 832	1 058 526	+ 120 036	238	264	- 26
25.06.82	645 457	535 364	+ 110 093	226	184	+ 42
22.07.82	589 682	934 869	- 345 187	140	282	- 142
20.08.82	780 813	1 059 025	- 218 212	73	224	- 151
17.09.82	563 120	857 479	- 294 359	85	8	+ 77
19.10.82	1 663 980	1 339 003	+ 324 977	403	218	+ 185
15.11.82	983 017	954 978	+ 28 039	420	331	+ 189
18.01.83	750 531	388 377	+ 362 154	224	119	+ 105
15.02.83	786 906	576 141	+ 210 765	189	148	- 41
17.03.83	857 245	818 550	+ 38 695	246	263	- 17
14.04.83	678 109	466 151	+ 211 958	192	154	+ 38

Tableau XII.1 - A l'embouchure.

	VOLUME D'EAU	VOLUME D'EAU	VOLUME D'EAU	BILAN	BILAN	BILAN
	SORTI DU MARAIS en m <sup>3</sup>	ENTRE DANS LE MARAIS en m <sup>3</sup>	TOTAL SORTI en m <sup>3</sup>	DE PO <sub>4</sub> SORTI DU MARAIS en kg	DE PO <sub>4</sub> ENTRE DU MARAIS en kg	DE PO <sub>4</sub> JUSANT FLOT en kg
10.02.82	47 988	0	47 988	31		
24.05.82	70 458	52 534	17 924	27	9,7	+17,3
16.12.82	84 591	0	84 591	27		

Tableau XII.2 - A l'écluse.

Bilans des phosphates à l'embouchure par cycle de marée.

Ceci est un schéma global, mais nous observons quelques cas particuliers intéressants.

- En juin, les phosphates sont exportés vers la Loire. C'est le résultat de la dégradation et des rejets planctoniques au sein de l'étier.

- En septembre, les eaux de Loire sont si pauvres en phosphates sous l'action des eaux marines que le bilan indique une exportation des phosphates (75 kg) au cours du cycle de marée, provenant probablement des vasières.

Les bilans des phosphates sont donc étroitement liés à l'activité biologique qui appauvrit les eaux en phosphates lors de la consommation phytoplanctonique, et les enrichit grâce à la dégradation des végétaux supérieurs, du phytoplancton, et les excréments du zooplancton.

Le mélange des eaux fluviales riches en phosphates et des eaux marines pauvres en nutriments entraînent également des modifications dans les bilans.

Ces facteurs, souvent étroitement mêlés, ne permettent pas toujours de déterminer aisément l'origine des différents processus intervenant dans l'étier et rendent très délicate l'interprétation des phénomènes observés.

#### 4.2 - A L'ECLUSE

Les quantités de phosphates (tableau XII.2) sont assez faibles à l'écluse comparées à celles de l'embouchure par suite de la différence des volumes d'eau transitant en ces deux lieux de prélèvements.

Les quantités sorties en jusant sont comparables pour les trois cycles observés (environ 30 kg).

Le 24.05.82, il sort du marais trois fois plus de phosphates au cours de la marée descendante qu'il n'en rentre en flot. Ceci confirme les observations antérieures indiquant que le marais est une zone d'accumulation pour les phosphates.

### 5 - CONCLUSIONS

Nous synthétisons dans le tableau XII.3, l'évolution saisonnière des phosphates dans le système étier-marais de Lavau au cours des cycles de marée.

En hiver, à marée descendante, les eaux du marais s'écoulent dans l'étier, et l'enrichissent considérablement en phosphates dont une partie est adsorbée par les sédiments en suspension dans les eaux. Lors de la marée montante, la pénétration des eaux de la Loire, enrichies en nutriments grâce aux lessivages des sols de l'amont, entraîne une augmentation en phosphates dans l'étier. Malgré cet apport, les bilans au cours des cycles de marée indiquent une exportation des phosphates vers la Loire, liée aux volumes d'eaux expulsés de l'étier.

En été, les phosphates s'accumulent généralement dans le marais par suite de la fermeture de l'écluse, alors que les eaux de l'étier sont appauvries en phosphates par la consommation phytoplanctonique et l'arrivée des eaux marines. Par conséquent, les teneurs en phosphates dans l'étier diminuent considérablement, alors que dans le marais, au contraire, on observe une accumulation très importante. L'ouverture de l'écluse, durant cette période, permettrait un mélange des eaux, et des apports dans l'étier, favorisant ainsi l'activité phytoplanctonique et donc une augmentation d'oxygène dissous grâce à la photosynthèse.

## II - VARIATIONS DES PHOSPHATES DANS LES SYSTEMES DE CORDEMAIS ET DU DAREAU

### 1 - A CORDEMAIS

#### 1.1 - DANS L'ETIER

Nous distinguons deux périodes :

- en hiver, nous observons peu de variations dans les teneurs en phosphates, à part une augmentation en fin de jusant à mi-étier (3,2 à 6,3 µatg P/l le 24.08.83),

- en été (fig. XII.8)

- à l'écluse, les teneurs en phosphates diminuent légèrement au cours du jusant (de 4 à 1 µatg P/l le 8.09.82) et augmentent au retour du flot (de 1 à 3 µatg P/l).

SAISONS	MAREE	MARAI	ECLUSE	ENBOUCHURE
PRINTEMPS	JUSANT	<p>Très forte production de <math>PO_4</math> grâce ;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- à l'activité biologique intense,</li> <li>- aux rejets des fermes,</li> </ul>	<p style="text-align: center;">enrichissement en <math>PO_4</math> →</p> <p>Ecluse ouverte : enrichissement en <math>PO_4</math> par les eaux du marais</p> <p>Ecluse fermée : concentration en <math>PO_4</math> très faible</p>	<p>Augmentation de <math>PO_4</math> grâce aux rejets planctoniques et aux eaux du marais</p> <p>Diminution (en août et septembre) due à la consommation microbologique</p>
	ETE	FLOT	<ul style="list-style-type: none"> <li>- aux rejets de la station d'épuration</li> <li>- aux engrais</li> </ul>	<p>Diminution des <math>PO_4</math> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- pénétration des eaux estuariennes,</li> <li>- consommation microbologique.</li> </ul> <p style="text-align: center;">← appauvrissement en <math>PO_4</math></p>
AUTOMNE	JUSANT	<p>Production de <math>PO_4</math> grâce :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- à la dégradation des végétaux supérieurs et du phytoplancton,</li> </ul>	<p style="text-align: center;">appauvrissement en <math>PO_4</math> →</p> <p>Augmentation en <math>PO_4</math> grâce à l'apport des eaux du marais</p>	<p>Diminution des <math>PO_4</math> due à la sorption des sédiments ou à l'activité microbologique</p>
HIVER	FLOT	<ul style="list-style-type: none"> <li>- aux rejets des fermes,</li> <li>- aux rejets de la station d'épuration</li> </ul>	<p>Augmentation en <math>PO_4</math> grâce :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- à la pénétration des eaux estuariennes,</li> <li>- à la désorption par les sédiments</li> <li>- au refoulement des eaux du marais</li> </ul> <p style="text-align: center;">← enrichissement en <math>PO_4</math></p>	<p>Augmentation des <math>PO_4</math> grâce aux apports fluviaux</p>

Tableau XII.3 - Evolutions tidales et saisonnières des phosphates dans le système de Lavau.

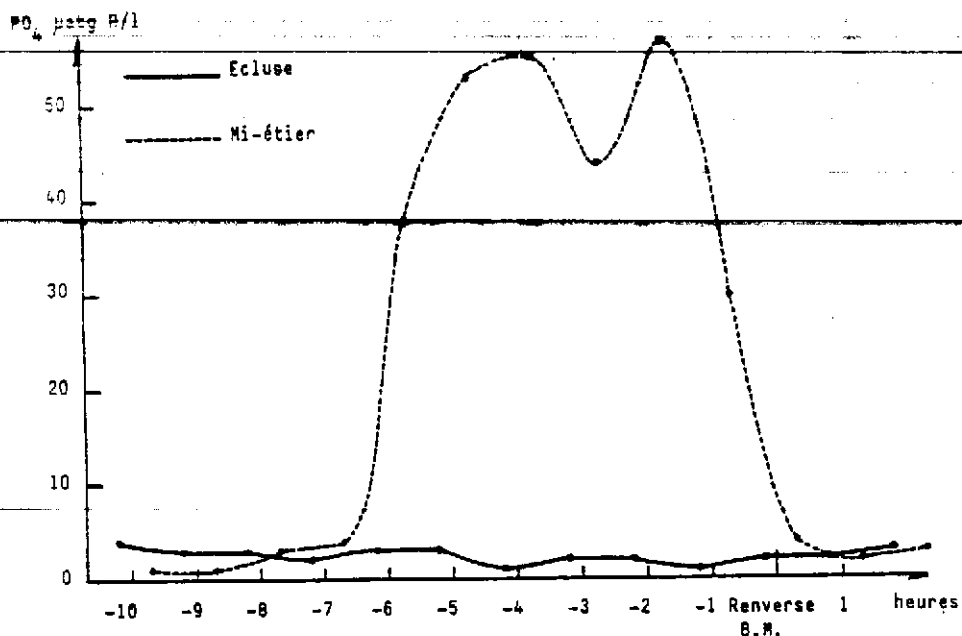


Fig. XII.8 - Variations des phosphates au cours d'une marée (Cordemais le 8.09.82).

- à mi-étier, par contre, les concentrations varient énormément : le 8.09.82, elles augmentent de 1 à 55 µatg P/l pendant le jusant, elles chutent dès la renverse de B.M. à 2,5 µatg P/l. Ces variations considérables sont dues aux rejets de la station d'épuration de Cordemais qui s'écoulent, lors du jusant, vers notre point de prélèvement. Dès que les eaux estuariennes, très pauvres en phosphates l'été, pénètrent dans l'étier, elles diluent les eaux, et provoquent une baisse considérable des teneurs en phosphates.

## 1.2 - DANS LE MARAIS

Dans le marais, les teneurs sont plus élevées en été (de l'ordre de 8 à 10 µatg P/l) qu'en hiver (3,3 µatg P/l). Ceci provient de l'accumulation des phosphates en été dans le marais grâce à la fermeture de l'écluse.

## 2 - AU DAREAU

### 2.1 - LE CYCLE TIDAL (fig. XII.9)

- Pendant le jusant, nous n'observons pas de variation importante : les concentrations sont inférieures à 3 µatg P/l,

- En flot : les teneurs ne varient pas en hiver alors qu'en été les concentrations en phosphates augmentent :

- de 0 à 13 µatg P/l le 23.06.82 à mi-étier,
- de 2,5 à 4,2 µatg P/l le 6.09.82.

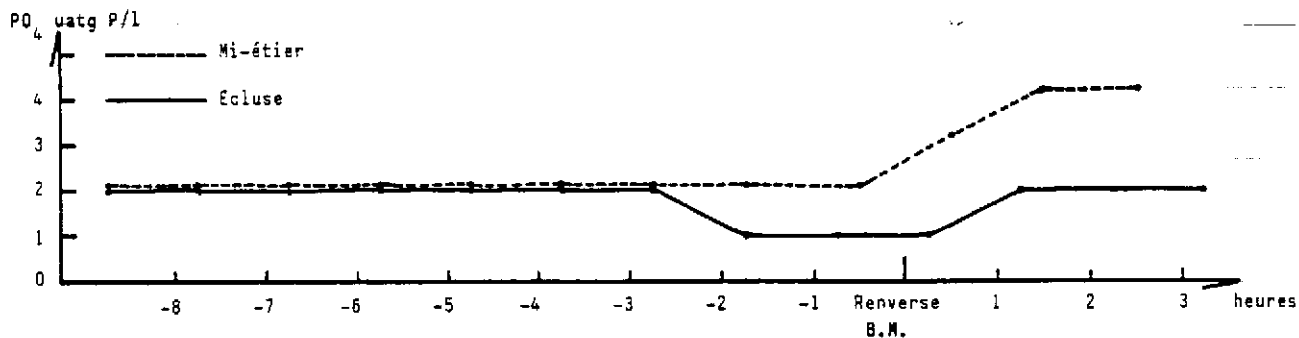


Fig. XII.9 - Variations des phosphates au cours d'une marée (Dareau le 6.09.82).

## 2.2 - LE CYCLE SAISONNIER

Les teneurs en phosphates sont de l'ordre de 0 à 3 µatg P/l dans l'étier en toutes saisons, à l'exception des augmentations au retour du flot, en été, pouvant atteindre 13 µatg P/l le 23.06.82.

Dans le marais, les teneurs en phosphates sont plus élevées en été (3,5 µatg P/l) qu'en hiver (0,6 µatg P/l).

### III - COMPARAISONS ENTRE LES TROIS SYSTEMES

Il est très difficile de comparer les variations des phosphates dans les trois systèmes (tableau XII.4)

LIEUX DE PRELEVEMENTS		ETE (septembre 1982)			HIVER (janvier-février 1983)		
		LAVAU	CORDEMAIS	DAREAU	LAVAU	CORDEMAIS	DAREAU
MARAIS	Max	168,00	37,00	5,26	67,86	6,30	2,10
	Min	0,09	0,00	2,10	3,50	1,05	0,00
	$\bar{X}$	24,13	9,71	3,47	15,29	3,26	0,64
ECLUSE	Max	3,13	4,00	2,00	13,95	4,21	1,00
	Min	0,01	1,00	1,00	5,03	2,10	1,00
	$\bar{X}$	0,42	2,38	1,77	7,46	2,67	1,00
MI-ETIER	Max	0,05	57,00	4,20	3,28	6,30	2,10
	Min	0,02	1,00	2,10	2,82	3,16	1,22
	$\bar{X}$	0,03	22,60	2,63	3,02	3,97	1,00
EMBOUCHURE	Max	2,72			4,42		
	Min	0,01			2,06		
	$\bar{X}$	0,95			3,36		

Tableau XII.4 - Comparaisons des teneurs en phosphates dans les systèmes de Lavau, Cordemais et Dareau (en µatg P/l).

En effet, dans l'étier du Dareau, les variations sont très faibles ormis une augmentation des phosphates au retour du flot en été, alors que dans les deux autres étiers, à la même période, nous observons une diminution des phosphates due à la pénétration des eaux estuariennes.

Dans le marais, les valeurs passent de 0,6 µatg P/l en hiver à 3,5 µatg P/l en été.

Dans l'étier de Cordemais, les rejets de la station d'épuration entraînent l'augmentation des teneurs en phosphates, pouvant atteindre 57 µatg P/l, et perturbent donc l'étude. Dans le marais, les teneurs sont plus élevées que dans le marais du Dareau, passant de 3,3 µatg P/l en hiver à 8 - 10 µatg P/l en été.

Dans l'étier de Lavau, la pénétration d'eau, marine en été, fluviale en hiver, la présence des vasières, et l'écoulement des eaux du marais sont autant de facteurs qui entraînent des modifications des concentrations en phosphates. Dans le marais, si l'on excepte les points recevant les rejets de la station d'épuration, les valeurs passent de 5,6 - 12 µatg P/l en hiver à 5,5 - 7,5 µatg P/l en été et sont ainsi supérieures à celles des deux autres systèmes.

En été, quelques phénomènes généraux se produisent toutefois :

- la pénétration des eaux marines entraîne une diminution des phosphates dans les étiers de Cordemais et de Lavau,

- dans les trois marais, nous observons une augmentation des phosphates, liée à une activité biologique intense, et favorisée par la fermeture de l'écluse. Cette augmentation est particulièrement nette dans les marais de Cordemais et de Lavau.

En conclusion, plus on descend vers l'aval, plus les variations des concentrations en phosphates sont importantes dans les systèmes. On retrouve un phénomène général dans l'estuaire interne, où les phosphates augmentent de l'amont vers l'aval par suite des rejets divers industriels et domestiques, et des apports artificiels des engrais dans les marais et les zones agricoles voisines.

\* \* \* \* \*

CONCLUSIONS GENERALES

Les zones marginales de l'estuaire de la Loire sont encore assez mal connues et les études sont peu nombreuses comparées à celles effectuées dans l'axe du chenal de navigation de l'estuaire. Ce travail a donc été réalisé dans l'objectif d'une meilleure compréhension des phénomènes existant dans les étiers et les marais, et leur rôle dans l'équilibre estuarien.

Nous avons choisi trois systèmes, constitués d'un marais et de son étier, répartis sur la rive nord de l'estuaire de la Loire, de manière à rechercher des influences salines de plus en plus marquées. Ces trois réseaux hydrauliques sont, de l'amont vers l'aval :

- le système du Dareau,
- le système de Cordemais,
- le système de Lavau.

Ces trois systèmes ont leurs propres structures :

- celui du Dareau, de type longitudinal, a une disposition générale parallèle à la Loire et son marais est dépendant des marais voisins,
- ceux de Cordemais et de Lavau, de type transversal, sont disposés perpendiculairement à la Loire et leurs marais sont indépendants, géographiquement, des marais avoisinants.

Ces particularités diversifient l'étude et permettent donc une compréhension plus générale du fonctionnement des marais et des étiers.

## 1 - HYDROLOGIE

Les systèmes sont donc constitués par deux zones aux caractéristiques hydrologiques différentes : un marais et un étier, séparés l'un de l'autre par une écluse.

- Le marais est alimenté par les eaux de pluie et les ruisseaux s'écoulant du sillon de Bretagne, ainsi que par les eaux estuariennes qui s'infiltrent dans les douves et les canaux lors des "envois de marée" pendant la période sèche. Ceux-ci consistent à ouvrir la vanne au cours de la marée montante, laissant ainsi pénétrer les eaux de Loire afin de maintenir le niveau d'eau souhaité dans le marais, pour abreuver le bétail et irriguer les cultures.

- L'étier, bordé de larges vasières découvrant à marée basse, est le lieu de mélange des eaux estuariennes et des eaux du marais qui s'écoulent à marée descendante lorsque l'écluse est ouverte, évacuant ainsi le trop plein d'eau du marais (généralement de l'automne au printemps).

L'étude des trois étiers permet de les comparer à des petits estuaires, subissant des modifications analogues liées à l'influence de la marée et du débit fluvial. Toutefois, les dimensions réduites, la présence des écluses, séparant les marais des cours d'eau en aval, et les vasières, parfois de grande extension, entrent en jeu et confèrent aux étiers leur propre individualité.

### 1.1 - LES PHENOMENES SEDIMENTOLOGIQUES.

Ils dépendent directement de l'hydrodynamique dans les systèmes étudiés.

Dans le marais, l'écluse influe directement sur l'évolution des turbidités :

- en été, les M.E.S. augmentent sous l'action des "envois de marée" qui entraînent les particules en suspension dans les douves et les canaux,



- en période hivernale, l'ouverture de la vanne en jusant, pour évacuer les eaux de pluie ou d'inondations, permet l'expulsion dans l'étiage d'une partie des M.E.S. accumulées pendant l'été.

Dans l'étiage, bien que l'écluse modifie les phénomènes sédimentologiques en accélérant la décantation en flot lorsqu'elle est fermée et en accroissant le processus d'érosion en jusant lorsqu'elle est ouverte, la circulation libre des eaux vers l'aval entraîne des phases d'érosion et de sédimentation assez comparables à celles observées dans l'estuaire.

Au cours d'un cycle de marée, les M.E.S. décantent pendant les renverses de courant et sont remises en suspension dès que les vitesses de flot ou de jusant sont assez élevées. Cette remise en suspension des sédiments est, généralement, plus importante en jusant grâce à l'augmentation des vitesses de courant due à l'évacuation des eaux du marais; elle est diminuée au cours du flot car l'émersion en fin de jusant favorise la fixation de la couche superficielle des vasières (tassement précoce, évaporation, tapis de diatomées ....).

Sur un cycle annuel, ces différents processus sédimentologiques provoquent une érosion de l'automne au printemps, pendant les coefficients de vives eaux, alors que les phénomènes de sédimentation se produisent en été et pour des coefficients de mortes eaux, lorsque la turbulence est faible.

Les étiages sont donc des zones de stockage des vases au cours de l'été et lors des coefficients de mortes eaux, mais sont des sources de sédiments pour l'estuaire de l'automne à l'hiver, et lors des coefficients de vives eaux.

Le bilan sédimentaire annuel met en évidence le piégeage des sédiments en période d'étiage (500 à 2000 tonnes par marée) et l'expulsion vers la Loire, l'hiver, lors des crues (environ 100 tonnes par marée).

#### 1.2 - LES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES (température, pH, chlorosité).

Au cours de cette étude nous avons défini, grâce à l'hydrologie, quatre masses d'eau d'origines diverses:

- les eaux de retrait, en début de jusant, constituées en grande partie par les eaux de flot,
- les eaux de ruissellement, en fin de jusant, mélange des eaux du marais et de celles provenant de l'écoulement sur les vasières,
- les eaux de refoulement, mélange des eaux de ruissellement et des eaux estuariennes, refoulées en début de flot,
- les eaux de flot, provenant uniquement de l'estuaire.

Les variations les plus importantes des paramètres physico-chimiques (température, pH, chlorosité) se produisent dans les eaux de ruissellement, pendant l'émersion, et dans les eaux de flot lors de la pénétration maximale des eaux estuariennes. Ces deux masses d'eau, à caractères chimiques bien marqués, évoluent considérablement selon les saisons suivant la dualité eau douce (crue) - eau marine (étiage). On observe ainsi les chlorosités maximales en été, aussi bien dans les eaux de flot (9,5 g/l) que dans les eaux de ruissellement (4,5 g/l) à l'embouchure, favorisées par le phénomène d'évaporation intense en cette période sur les vasières et dans le marais.

Au cours de l'année, les bilans des chlorures indiquent une rétention par les étiages et les marais en été (entre 2000 et 3000 tonnes par cycle de marée observé) et une expulsion vers la Loire (environ 600 tonnes par cycle de marée observé) pour les coefficients de vives eaux. Il est vraisemblable que pour des coefficients plus faibles, les flux des chlorures soient différents, modérant les apports en été et accentuant les rejets en hiver.

## 2 - LES PARAMETRES BIOCHIMIQUES

Les paramètres biochimiques sont liés eux aussi au mélange "eau douce - eau marine", mais ils dépendent également de l'activité phytoplantonique, intense en été et amoindrie de l'automne à l'hiver.

- L'oxygénation des eaux de ruissellement des étiers est favorisée, en été, par la photosynthèse, la turbulence et la réaération atmosphérique sur les vasières. On observe, en effet, une augmentation de 10 à 50% en oxygène dissous entre les eaux de flot et les eaux de ruissellement. L'apport de ces eaux permet donc un enrichissement en oxygène dissous dans l'estuaire lorsque celui-ci est déficitaire. L'amélioration des teneurs en oxygène dissous, en été, montre l'importance des étiers et des marais dans la réoxygénation estuarienne en période estivale et la nécessité de préserver ces zones indispensables à la vie dans l'estuaire.

- La silice dissoute est généralement, abondante dans tout le système (100 à 300  $\mu\text{atg Si/l}$  à Lavau).

Au cours d'une marée, les variations des teneurs en silice dissoute sont particulièrement importantes en été : la silice dissoute est relarguée par les vasières dans les eaux de ruissellement, grâce au phénomène d'ascension capillaire favorisée par l'évaporation (augmentation de l'ordre de 100 à 500% par rapport aux eaux de flot). Les diatomées, constituant la majorité du phytoplancton avec les péridiniens, consomment une partie de la silice ainsi libérée, qui est ensuite de nouveau dissoute dans les eaux de l'étier lors de la dégradation des frustules de diatomées.

Au cours des saisons, la silice dissoute varie en fonction des apports fluviaux très abondants en hiver, qui augmentent les concentrations, et des arrivées d'eau marine en été qui, au contraire, les diminuent, mais également en fonction de l'activité biologique des diatomées très développés dans tous les systèmes : ces diatomées consomment la silice à la fin du printemps et en restituent une partie en été au cours du cycle production - consommation.

Au cours d'un cycle annuel, l'étier de Lavau exporte environ 2 kg/1000 m<sup>3</sup> par marée, en été, alors qu'il rentre de 1 à 2 kg/1000 m<sup>3</sup>, par marée, en hiver.

- L'ammonification de la matière organique, en hiver dans le marais et du printemps à l'automne sur les vasières, enrichit en permanence les eaux de l'étier en azote ammoniacal (où il peut atteindre des valeurs de 115  $\mu\text{atg N/l}$ ), et représente la source d'azote la plus disponible pour le phytoplancton, en été. On observe, ainsi, une expulsion de l'azote ammoniacal, tout au long de l'année, pouvant atteindre environ 300 kg par marée.

L'azote nitrique se trouve, au contraire, en quantité extrêmement faible en été, l'oxydation de l'azote ammoniacal étant négligeable en cette période. En hiver, les concentrations fortes sont dues aux apports fluviaux, les vasières ont alors un rôle de "rétention" biologique, permettant la transformation d'une partie des nitrates en azote atmosphérique (appauvrissement d'environ 70%).

L'évolution annuelle des quantités de nitrates transitant dans l'étier suit celles des volumes d'eau : on observe ainsi, d'une façon générale, un apport de nitrates dans l'étier en été (de l'ordre de 500 kg par marée) et une expulsion vers la Loire, en hiver, variant de 200 à 2000 kg par marée. Cependant, si l'on s'affranchit des volumes d'eau, on note une "rétention" des nitrates en hiver et une légère exportation en été, ce qui rejoint les constatations faites au cours des cycles tidaux.

- Les phosphates s'accumulent dans le marais, en été, par suite de la fermeture des écluses (5 à 12  $\mu\text{atg P/l}$  dans le marais de Lavau), alors que les eaux des étiers s'appauvrissent à cause de la consommation phytoplantonique et de l'arrivée des eaux marines (0 à 2  $\mu\text{atg P/l}$  dans l'étier de Lavau). En hiver, lors de l'écoulement vers l'embouchure, on assiste à une diminution des phosphates qui proviennent des eaux du marais, et dont une partie est adsorbée par les sédiments en suspension dans l'étier et par les vasières. A l'inverse, les eaux de flot s'enrichissent en phosphates (d'environ 100%) lors de la remontée vers l'écluse, grâce vraisemblablement au refoulement des eaux du marais.

Si nous comparons les trois ensembles étiers - marais, nous remarquons que l'amplitude de variations des différents éléments sur un cycle annuel est généralement plus grande dans le système de Lavau que dans les deux autres.

Ceci provient :

- de la salinité qui diminue la dissolution de l'oxygène,  
- des vasières qui enrichissent les eaux en ammoniacque et en silice en été, et qui retiennent une partie de la silice, des nitrates et des phosphates en hiver.

Les variations observées dans les étiers montrent bien qu'ils ne sont pas simplement des zones de passage des eaux transitant entre le marais et la Loire, mais qu'ils sont aussi, grâce à la présence des vasières, le siège de transformations des éléments en suspension ou dissous dans l'eau. Il eût donc été vain de vouloir étudier les échanges entre les marais et l'estuaire sans connaître les modifications existant dans l'étier et dues principalement aux vasières qui sont des zones de stockage et de relargage des différents éléments.

### 3 - PRECAUTIONS POUR L'ENTRETIEN ET LA PRESERVATION DE CES ZONES MARGINALES.

La fermeture des écluses, en flot, empêchent l'envasement régulier du marais, elle favorise par contre le dépôt des vases dans l'étier. La vase est expulsée grâce à l'ouverture de l'écluse en jusant, en période hivernale, et, lorsque le système est bien entretenu, des chasses d'eau et des dévasages ont lieu deux ou trois fois dans l'année. Ces précautions paraissent suffisantes pour maintenir l'étier et le marais dans de bonnes conditions. Si elles ne sont pas prises, des engorgements se produisent dans les douves et les canaux des marais, et par suite dans les étiers (ex : marais de la Roche à Cordemais, écluse de la Taillée). La présence d'un éclusier est par conséquent absolument nécessaire au bon fonctionnement des étiers et des marais, et ce travail ingrat (ouverture et fermeture des écluses à n'importe quelle heure du jour et de la nuit) doit être encouragé si l'on ne veut pas assisté au déclin de ces zones marginales indispensables à l'équilibre estuarien et dont on a trop souvent tendance à minimiser le rôle.

Les aménagements futurs devront veiller non seulement à conserver l'intégralité de ces zones marginales, mais envisager également les modalités de leur entretien et du bon fonctionnement hydraulique de ces systèmes complexes. Dans le cas contraire, l'équilibre estuarien risque d'être complètement modifié et les conséquences difficiles à prévoir.

\* \* \* \* \*

Cette étude a été limitée à l'observation des eaux transitant entre marais et Loire. Il serait intéressant dans l'avenir de suivre leur évolution dans l'estuaire afin de savoir si elles restent localisées le long des berges ou si elles peuvent rejoindre le chenal.

Une étude complémentaire des sels nutritifs dans les sédiments serait également d'un grand intérêt. Nous avons, en effet, souvent évoqué des phénomènes de "rétention" physiques ou biologiques sur les vasières et il serait utile d'approfondir l'analyse de ces processus.

Il reste, par conséquent, du travail à faire pour estimer la valeur exacte de ces zones marginales, mais nous espérons que cet ouvrage a pu déjà éclaircir de nombreux points sur les échanges entre la Loire et ses marais.

\* \* \* \* \*

**BIBLIOGRAPHIE**

- Allén G.P. (1972)  
Les études des processus sédimentaires dans l'estuaire de la Gironde.  
Thèse d'Etat, Bordeaux I, 314 p.
- Arnaud P., Raimbault R. (1969) -  
~~L'étang de Sables Louats, ses principaux caractères physico-chimiques et~~  
leur variation en 1955-56 et de 1960 à 1968.  
*Rev. Travaux I.S.T.P.M.* 33 (4) p. 355-443.
- Baleaux B., Reboul B., Ranaivojon J., Bontoux J. (1979) -  
Etude en rivière des matières en suspension azotées et de la réduction bactérienne du nitrate dans les sédiments.  
*Journal français d'Hydrologie*, 10, fasc. 3 n° 30, p. 203-208.
- Barbaroux L. (1972) -  
Géologie de la Grande Brière et des régions circumvoisines.  
*Penn Ar Bed* n° 8, 69, p. 231-258.
- Barbaroux L. (1980) -  
Evolution des propriétés physiques et chimiques des sédiments dans le passage continent-océan. L'effet estuarien. (estuaire de la Loire et ses parages).  
Thèse d'Etat, Nantes, 431 p.
- Barrière F. (1970) -  
Le régime de la Loire à Montjean, étudié à partir de 100 années d'observation quotidiennes : 1866-1965.  
*Etudes ligériennes C.E.S.L.*, Orléans 5, 17-28.
- Berthois L. (1956) -  
Comportement du bouchon vaseux dans l'estuaire de la Loire.  
*Les énergies de la mer*, p. 564-568.
- Berthois L., Sully H. (1957) -  
Coefficients de viscosité des eaux de Loire en fonction de leur turbidité à différentes températures.  
*C.R. Acad. Sci.*, Paris, D, t. 245-2, p. 1737-1739.
- Berthois L. (1958) -  
Sédimentation dans l'estuaire de la Loire pendant la crue de mars 1957.  
*C.R. Acad. Sci.*, Paris, D, t. 246, p. 2920-2922.
- Berthois L. (1960) -  
Etude dynamique de la sédimentation dans la Loire.  
*Cahiers océanographiques*, C.O.E.C. n° 12, p. 631-657.
- Berthois L. (1964) -  
Etude de la dynamique estuarienne dans le fleuve Loire.  
4° Congrès int. portuaire, Anvers, Juin 1964, sect. III, 1ère partie, p. 32-41.
- Bertru G. (1975) -  
Etude physico-chimique et microbiologique des échanges sédiments - eau : influence sur la trophie du système et la périodicité du phytoplancton.  
Thèse d'Etat, Rennes.
- Billen G. (1978) -  
A Budget of nitrogen recycling in North sea sediments off the Belgian Coast.  
*Estuarine and Coastal marine Sciences*, 7, p. 127-146.
- Biteau F. (1978) -  
Morphologie du substratum et remplissage alluvionnaire de la vallée de la Loire entre Nantes et St-Nazaire.  
D.E.A., Nantes, 47 p. + annexe.
- Bourcart J, Francis-Boeuf C., Rajeevic B. (1941) -  
Sur le mécanisme de la sédimentation des vases dans les estuaires.  
*C.R. Acad. Sci.*, Paris, D, t. 213, p. 1025-1028.

- Boutelier P. (1979) -  
Le rôle des roselières dans l'estuaire de la Loire.  
Thèse 3<sup>e</sup> cycle, Nantes, 136p.
- Boutelier P., Gouleau D., Nikodic J., Ottmann F. (1982) -  
~~Les échanges transversaux entre le chenal et les vasières latérales dans~~  
l'estuaire de la Loire.  
*Mém. Soc. géol. Fr.*, N.S., n° 144, p. 101-110.
- Boynton W.R., Kemp M.W., Osborne C.G. (1980) -  
Nutrient fluxes across the sediment water interface in the turbid zone of a  
coastal plain estuary.  
*Estuarine Perspectives*, p. 93-109.
- Buttler E.I., Tibbits S. (1972) -  
Chemical survey of the Tamar estuary.  
*Jour. Mar. Biology Ass. U.K.*, 52, p. 681-699.
- Carriker M.R. (1967) -  
Ecology of marine benthic invertebrate : a perspective.  
*Estuaries*, G.H. Lauff Ed. AAAS publ. 83, p. 442-487.
- Chapman V.J. (1958) -  
Salt marshes and salt deserts of the world.  
*Interscience*, London, 392p.
- Dardignac -Corbeil M.J. (1971) -  
Etude d'un milieu ostréicole d'après des observations réalisées en Vendée  
dans le bassin des chasses des Sables d'Olonne.  
*Rev. Trav. Inst. Pêches Marit.*, 35 (4), p. 419-434.
- Debyser J. (1961) -  
Contribution à l'étude géochimique des vases marines.  
Thèse d'Etat, Paris I.F.P. (div. sédiment) 1 vol.
- Delmas D. (1980) -  
Minéralisation de la matière organique et échanges ioniques à l'interface  
eau - sédiment de l'étang de Berre, Méditerranée.  
*Oceanologica Acta*, vol. n° 3, p. 347-356.
- Erhart H. (1963) -  
Sur le cycle de la silice hydratée dans la biosphère.  
*C.R. Acad. Sci.*, Paris, D, t. 256-2, p. 3731-3734.
- Etcheber H. (1981) -  
Comparaison de diverses méthodes d'évaluation des teneurs en matières en  
suspension et en C.O.P. des eaux marines du plateau continental aquitain.  
*Jour. rech. océanogr.*, vol. VI n° 2, p. 37-42.
- Feuillet M., Gouleau D. (1977) -  
Action des épandages de craie (ou CaCO<sub>3</sub>) sur les vases des claires et des  
parcs ostréicoles.  
*Rev. Trav. Inst. Pêches marit.*, 41 (4), p. 417-436.
- Francis-Boeuf C. (1947) -  
Recherches sur le milieu fluvio-marin et les dépôts d'estuaire.  
*Ann. Inst. Ocean*, T. XXIII, p. 149-344.
- Francis-Boeuf C. (1947) -  
Production et consommation d'oxygène par la pellicule superficielle des  
vases fluvio-marines.  
*C.R. Acad. Sci.*, Paris, D, t. 225, p. 820-822.
- Frankenberg D. (1976) -  
Notes and discussion oxygen in a tidal Rivers low tide concentration cor-  
relates linearly with location.  
*Estuarine and coastal Marine Sciences*, 4, p. 455-460.

- Freitas Tarouco E. (1983) -  
Géochimie des eaux libres et interstitielles d'un marais salant au cours des diverses phases du cycle annuel. Région de Guérande - Loire-Atlantique - France.  
Thèse 3° cycle, Nantes, 170p.
- Garrigues B. (1974) -  
Les accumulations turbides de l'estuaire de la Loire. Etude de la crème de vase.  
Thèse 3° cycle, Nantes, 323p.
- Gardner L.R. (1975) -  
Runoff from an intertidal marsh during tidal exposure recession curves and chemical characteristics.  
*Limnology and Oceanography*, v. 20 (1), p. 81-89.
- Gouleau D. (1975) -  
Les premiers stades de la sédimentation sur les vasières littorales atlantiques. Rôle de l'émersion.  
Thèse d'Etat, Nantes, 242p. + 123p. annexe, 8pl.
- Gouleau D. (1976) -  
Ascension capillaire et variation de la teneur en eau de la pellicule superficielle des vasières découvrantes atlantiques.  
*Jour. Rech. océanogr.*, v. I n° 3, p. 19 à 34.
- Gouleau D. (1977) -  
Influence des diatomées benthiques sur le budget de la silice dissoute aux interfaces eau/air/sédiment des vasières littorales découvrantes.  
*Jour. Rech. océanogr.*, v. II n° 1, p. 30.
- Grall J.R., Jacques G. (1964) -  
Etude dynamique et variations saisonnières du plancton de la Région de Roscoff.  
*Cahiers Biol. Mar.*, 5, p. 423-455.
- Gras J. (1983) -  
Etude de la politique du contrôle des eaux dans les étiers de l'estuaire de la Loire (rive droite).  
Rapport C.S.E.E.L., 70 p.
- Guillaud J.F. (1981) -  
Les flux des sels nutritifs dans l'estuaire de la Seine (France). Rôle et importance du bouchon vaseux au cours du mélange estuarien.  
Rapport C.N.E.X.O. - C.O.B.
- Guillaud J.F. (1983) -  
La qualité des eaux dans l'estuaire de la Loire.  
Rapport C.N.E.X.O. - C.O.B., 19p.
- Halgand G. (1973) -  
Etude hydrologique de la Brière.  
D.E.A., Nantes.
- Harris E. (1959) -  
The nitrogen cycle in long Island Sound.  
*Bull. Bingham Oceanogr. Collect.*, 17, p. 31-64.
- Jitts H.R. (1960) -  
The adsorption of phosphate by estuarine deposits.  
*Austr. Jour. Mar. Freshw* 10, p. 7-21.
- Jouanneau J.M. (1982) -  
Matières en suspension et oligo-éléments métalliques dans le système estuarien girondin : comportement et flux.  
Thèse d'Etat, Bordeaux I, 187p. + annexe.
- Ketchum B.H. (1962) -  
Regeneration of nutrients by zooplankton.  
Rapport P.V. Reunions. C.I.E.M. 152.

- Latouche C. (1968) -  
Etude des minéraux argileux de quelques sols nord-aquitaniens.  
*Bull. Inst. Géol. Bassin Aquitaine*, 4, p. 3-189.
- Laurent M. (1972) -  
Cycle biologique de l'azote au sein des étangs : rôle des facteurs écologiques  
Thèse d'Etat, Bordeaux I.
- Le Douarec P. (1978) -  
L'intrusion saline dans l'estuaire interne de la Loire. Etude du front de  
salinité et de ses variations saisonnières.  
Thèse 3<sup>e</sup> cycle, Nantes, 197p. + 1 t. en annexe.
- Lorenzen C.J. (1967) -  
Determination of chlorophyll and pheopigments : spectrophotometric equations.  
*Limnology and Oceanography*, v. 12 n° 2, p. 343-346.
- Lucas J. (1962) -  
La transformation des minéraux argileux dans la sédimentation. Etude sur les  
argiles du Trias.  
*Mem. serv. carte géol. Als. Lorr.*, 23, 202p.
- Manickam S. (1982) -  
Etude hydrologique et sédimentologique de la zone de transition entre la  
Loire fluviale et l'estuaire.  
Thèse 3<sup>e</sup> cycle, Nantes, 281p. + annexe.
- Martin G. (1979) -  
Le problème de l'azote dans les eaux.  
*Technique et documentation IV*, Paris, 279p.
- Martin J.M., Meybeck M., Salvadori F. et Thomas A. (1976) -  
Pollution chimique des estuaires : état actuel des connaissances.  
*Rapport Scient. Techn., C.N.E.X.O. n° 22, 286p.*
- Massio J.C., Décamp H. (1976) -  
Dynamique des matières en suspension dans un bief de la rivière Lot.  
*Bull. français de pisciculture*, 48, n° 260, p. 91-102.
- Mauvais J.L. (1971) -  
Calcul des vitesses moyennes instantanées en Loire maritime.  
*Cahiers océanographiques*, n° 3, p. 251-266.
- Maurin C. (1974) -  
La conchyliculture française.  
*Revue des travaux de l'I.S.T.P.M.*, t. XXXVIII, fasc. 3.
- Meybeck M. (1983) -  
Quantification du déséquilibre en nutriments (C, P, N) dans l'estuaire de la  
Loire.  
Rapport d'activité de juin 1982 à mai 1983 du C.N.R.S.
- Migniot C. (1968) -  
Etude des propriétés physiques de différents sédiments très fins et de leur  
comportement sous des actions hydrodynamiques.  
*La Houille blanche*, n° 7, p. 591-620.
- Minas M. (1974) -  
Distribution, circulation et évolution des éléments nutritifs, en particulier  
du phosphore minéral, dans l'étang de Berre. Influence des eaux duranciennes.  
*Int. Rev. Gesamten Hydrobiol.*, 59, p. 509-542.
- Mook D.H., Hoskin C.D. (1982) -  
Organic determination by ignition : caution advised.  
*Estuarine Coastal and Shell Science*, 15, p. 697-699.
- Nikodić J. (1978) -  
Etude de quelques phénomènes d'échanges transversaux dans l'estuaire de la Loire.  
D.E.A., Nantes, 67p.



- Ottmann F. (1968) -  
Etude des problèmes estuariens.  
*Revue de Géographie physique et géologie dynamique*, v. X, fasc. 4, p. 329-359.
- Ottmann F. (1978) -  
Résumé des conditions hydrologiques et caractéristiques des eaux dans l'estuaire de la Loire.  
Rapport interne.
- Paulmier G. (1969) -  
Le microplancton de Morlaix et de la Penzé.  
*Rev. Travaux I.S.T.P.M.*, 33 (3) p. 311-322.
- Perkins E.J. (1974) -  
The biology of estuaries and coastal waters.  
Academic Press (London), p. 26-37 - p. 104-125.
- Pichinoty F. (1973) -  
La réduction bactérienne des composés oxygénés minéraux de l'azote.  
*Bull. Inst. Pasteur*, 71, p. 317-395.
- Rince Y. (1983) -  
Etude du plancton et de la qualité des eaux dans l'estuaire de la Loire.  
Rapport contrat C.S.E.E.L., 53p.
- Rochford D.J. (1951) -  
Studies in Australian estuarine hydrology.  
*Aust. Jour. of Marine and Freshwater Research*, 2 (1), p. 1-116.
- Rodier J. (1975) -  
L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer.  
Ed. Dunod.
- Salomon J.C. (1972)  
Contribution à l'étude de la structure verticale des courants de marée en Loire maritime.  
Thèse 3<sup>e</sup> cycle, Brest, 111p.
- Sautriot D., Romano J.C., Laborde P. et Daumas r. (1979) -  
Echanges ioniques à l'interface eau/sédiment en Mer de Norvège et en Atlantique intertropical.  
*Oceanologica Acta*, v. 2 n° 1, p. 23-32.
- Simonsen J.F., Harremoes P. (1978) -  
Oxygen and pH fluctuation in rivers.  
*Water research*, v. 12, p. 466-489.
- Solorzano L. (1969) -  
Determination of ammonia in natural waters by the phenolhypochlorite method.  
*Limnology and Oceanography*, v. 14 n° 5, p. 799-801.
- Tuffey T.J, Hunter J.V and Matulevich V.A (1974) -  
Zones of nitrification.  
*Water resources Bulletin*, v. 10 n° 3, p. 555-564.
- Vacelet E. (1969) -  
Rôle des populations phytoplanctoniques et bactériennes dans le cycle du phosphore et de l'azote en mer et dans les flaques supralittorales du golfe de Marseille.  
*Tethys*, 1 (1), p. 5-118.
- Valiela I., Teal J.M. and Sass W. (1973) -  
Nutrient retention in salt marsh plots experimentally fertilized with sewage sludge.  
*Estuarine Coast. Mar. Sci.*, 1 (3), 261-269.
- Van Straaten L.M.J.U., Kuenen Ph.H. (1957) -  
Accumulation of fine grained sediments in the Dutch Wadden Sea.  
*Geologie en Mijnbouw (NW. Ser.)*, 19<sup>e</sup> Jaargang, p. 329-354.

Van Straaten L.M.J.U., Kuenen Ph. H. (1958) -

Tidal action as a cause of clay accumulation.

*Journal of sedimentary Petrology*, v. 28 n° 4, p. 406-413.

Verger F. (1968) -

Marais et wadden du littoral français.

Etude de géomorphologie. 1 v. 541p., Bordeaux Biscaye Fr. Imp.

Wang W.C. (1974) -

Adsorption of phosphate by river particulate matter.

*Water resources bulletin*, v. 10 n° 4, p. 662-671.

RAPPORTS - CARTES - PHOTOGRAPHIES AERIENNES -

Rapport O.R.E.A.M. (1977) -

Etude générale d'environnement dans l'estuaire de la Loire.

Rapport B.C.E.O.M. (1982) -

Etude hydraulique-pédologique-agro-économique des marais du Bassin du Brivet.

Définition d'un programme d'aménagement.

Union des syndicats des marais du bassin du Brivet, département de Loire-Atlantique. Société d'études techniques Fraud.

Carte I.G.N. de Nantes (1974) échelle 1/25.000.

Carte I.G.N. de Savenay (1975) échelle 1/25.000.

Carte I.G.N. de Paimboeuf (1975) échelle 1/25.000.

Photographies aériennes (1979) échelle 1/30.000 - Mission estuaire de la Loire (I.G.N.).

*Liste des figures et tableaux*

Fig. I.1	- Situation géographique des étiers et des marais dans l'estuaire de la Loire. . . . .	9
Fig. I.2	- Frontières et subdivision de la Loire maritime . . . . .	11
Fig. I.3	- Coupe synthétique transversale à l'Ouest de Lavau-sur-Loire. . . . .	12
Fig. I.4	- Coupe transversale de l'Ile de Cordemais . . . . .	12
Fig. I.5	- Organisation longitudinale de la plaine inondable à l'amont de la Centrale thermique . . . . .	13
Fig. I.6	- Organisation transversale de la plaine inondable . . . . .	13
Fig. I.7	- Etier et marais de Lavau . . . . .	14
Fig. I.8	- Etier et marais de Cordemais . . . . .	15
Fig. I.9	- Etier et marais du Dareau. . . . .	16
Fig. I.10	- La circulation des eaux entre Vert et Dareau . . . . .	17
Fig. II.1	- Position des prélèvements dans le système de Lavau . . . . .	21
Fig. II.2	- Perche de prélèvement d'eau. . . . .	22
Fig. II.3	- Schéma de montage des appareils "Sartorius" sur le terrain . . . . .	23
Fig. II.4	- Montage de la canne à pêche et de la pompe péristatique sur le terrain .	24
Fig. II.5	- Position des prélèvements dans le système de Cordemais . . . . .	26
Fig. II.6	- Position des prélèvements dans le système du Dareau. . . . .	26
Fig. III.1	- Débits de la station d'épuration de Savenay. . . . .	31
Fig. III.2	- Débits de la station d'épuration de Cordemais. . . . .	32
Fig. III.3	- Durée du flot. . . . .	41
Fig. III.4	- Décalage des renverses entre l'écluse et l'embouchure. . . . .	43
Fig. III.5	- Evolution des vitesses de courant et des hauteurs d'eau au cours d'une marée. . . . .	48
Fig. III.6	- Evolution annuelle des courants maximaux en flot et en jusant avec les débits de la Loire et les coefficients de marée. . . . .	48
Fig. III.7	- Variations des courants de surface dans les étiers de la Taillée et de Lavau au cours d'une marée (28.04.82). . . . .	49
Fig. III.8	- Profils topographiques de l'étier de Lavau . . . . .	53
Fig. III.9	- Profils topographiques de l'étier de Cordemais . . . . .	54
Fig. III.10	- Profils topographiques de l'étier du Dareau. . . . .	54
Fig. III.11	- Variations annuelles des volumes d'eau entrés et sortis au cours d'une marée, des débits de la Loire et des coefficients de marée . . . . .	58
Fig. IV.1	- Variations des températures pendant un cycle de marée. . . . .	66
Fig. IV.2	- Variations saisonnières des températures à l'embouchure et à la Taillée. .	67
Fig. IV.3	- Variations saisonnières des températures à l'écluse et dans le marais. .	67
Fig. IV.4	- Variations des températures dans le marais. . . . .	68
Fig. IV.5	- Variations des températures au cours d'un cycle tidal dans l'étier du Dareau . . . . .	69
Fig. IV.6	- Variations des températures au cours d'un cycle tidal dans l'étier de Cordemais le 8.09.82 . . . . .	69

Fig. V.1	- Variations des pH pendant un cycle de marée. . . . .	74
Fig. V.2	- Variations saisonnières du pH à l'embouchure et à la Taillée . . . . .	75
Fig. V.3	- Variations saisonnières du pH à l'écluse et dans le marais . . . . .	75
Fig. V.4	- Variations des pH dans le marais . . . . .	76
Fig. V.5	- Variations tidales du pH à Cordemais . . . . .	77
Fig. V.6	- Variations tidales du pH au Dareau . . . . .	77
Fig. VI.1	- Courbes granulométriques des matières en suspension à l'embouchure de l'étier de Lavau . . . . .	82
Fig. VI.2	- Variations saisonnières des rapports M/I et M/K à B.M. et à P.M. . . . .	82
Fig. VI.3	- Diagramme d'isoturbidité (22.07.82). . . . .	84
Fig. VI.4	- Diagramme d'isoturbidité (15.02.83). . . . .	84
Fig. VI.5	- Diagramme d'isoturbidité (18.01.83). . . . .	85
Fig. VI.6	- Variations des M.E.S. au cours d'une marée (24.05.82). . . . .	86
Fig. VI.7	- Variations des M.E.S. au cours d'une marée (17.09.82). . . . .	86
Fig. VI.8	- Relation entre transport des sédiments et vitesse de courant en période d'étiage (17.09.82). . . . .	87
Fig. VI.9	- Relation entre transport des sédiments et vitesse de courant en période de crue (14.04.83). . . . .	87
Fig. VI.10	- Variations des quantités de M.E.S. transportés en flot et en jusant et des débits de la Loire, sur un cycle annuel. . . . .	89
Fig. VI.11	- Variations des M.E.S. au cours d'une marée (2.08.82) . . . . .	100
Fig. VI.12	- Variations des M.E.S. au cours d'une marée (6.09.82) . . . . .	102
Fig. VII.1	- Diagramme d'isochlorosité (28.04.82) . . . . .	109
Fig. VII.2	- Diagramme d'isochlorosité (15.11.82) . . . . .	109
Fig. VII.3	- Diagramme d'isochlorosité (15.02.83) . . . . .	110
Fig. VII.4	- Diagramme d'isochlorosité (24.05.82) . . . . .	110
Fig. VII.5	- Diagramme d'isochlorosité (20.08.82) . . . . .	110
Fig. VII.6	- Variations de la chlorosité au cours d'une marée (24.05.82). . . . .	111
Fig. VII.7	- Variations de la chlorosité au cours d'une marée (17.09.82). . . . .	111
Fig. VII.8	- Variations de la chlorosité au cours d'une marée (20.08.82). . . . .	111
Fig. VII.9	- Variations saisonnières de la chlorosité à l'embouchure et à la Taillée	112
Fig. VII.10	- Variations saisonnières de la chlorosité à l'écluse et dans le marais.	112
Fig. VII.11	- Variations de la chlorosité dans le marais de Lavau. . . . .	113
Fig. VII.12	- Variations de la chlorosité au cours d'une marée (6.09.82) . . . . .	117
Fig. VII.13	- Variations de la chlorosité au cours d'une marée (24.02.83). . . . .	117
Fig. VII.14	- Variations de la chlorosité dans le marais de Cordemais. . . . .	118
Fig. VII.15	- Variations de la chlorosité au cours d'une marée (6.09.82) . . . . .	118
Fig. VIII.1	- Variations saisonnières de la chlorophylle a dans le système de Lavau.	124
Fig. VIII.2	- Variations saisonnières de la phéophytine dans le système de Lavau . .	124
Fig. VIII.3	- Relations entre la chlorophylle a et le C.O.P. . . . .	125

Fig. IX.1	- Variations de l'O <sub>2</sub> dissous au cours d'un cycle de marée à l'embouchure	132
Fig. IX.2	- Variations de l'O <sub>2</sub> dissous au cours d'un cycle de marée à l'écluse . .	132
Fig. IX.3	- Variations saisonnières de l'oxygène dissous à l'embouchure et à la Taillée. . . . .	133
Fig. IX.4	- Variations annuelles des % de saturation en oxygène dissous dans les eaux de flot à l'embouchure et des débits de Loire . . . . .	134
Fig. IX.5	- Variations saisonnières de l'oxygène dissous à l'écluse et dans le marais . . . . .	133
Fig. IX.6	- Variations des teneurs en oxygène dissous dans le marais de Lavau. . .	135
Fig. IX.7	- Variations annuelles des flux des volumes d'eau et de l'oxygène dissous observés au cours d'une marée. . . . .	138
Fig. IX.8	- Variations de l'oxygène dissous au cours d'une marée (24.02.83). . . .	140
Fig. IX.9	- Variations de l'oxygène dissous au cours d'une marée (2.08.82) . . . .	140
Fig. IX.10	- Variations de l'oxygène dissous au cours d'une marée (3.02.83) . . . .	140
Fig. IX.11	- Variations de l'oxygène dissous au cours d'une marée (6.09.82) . . . .	140
Fig. X.1	- Variations de la silice au cours d'un cycle de marée à l'embouchure. .	146
Fig. X.2	- Variations de la silice au cours d'un cycle de marée à l'écluse. . . .	146
Fig. X.3	- Variations saisonnières de la silice dissoute à l'embouchure et à la Taillée. . . . .	148
Fig. X.4	- Courbe de dilution de la silice dissoute en fonction de la chlorosité dans les eaux de flot à l'embouchure . . . . .	148
Fig. X.5	- Courbe de dilution de la silice dissoute en fonction de la chlorosité dans les eaux de ruissellement à l'embouchure. . . . .	149
Fig. X.6	- Variations saisonnières de la silice dissoute à l'écluse et dans le marais . . . . .	150
Fig. X.7	- Courbe de dilution de la silice dissoute en fonction de la chlorosité dans le marais de Lavau. . . . .	151
Fig. X.8	- Variations de la silice dissoute dans le marais de Lavau . . . . .	152
Fig. X.9	- Variations annuelles des flux de silice dissoute et des volumes d'eau observés au cours d'une marée. . . . .	155
Fig. X.10	- Variations de la silice dissoute au cours d'une marée (2.08.82). . . .	157
Fig. X.11	- Variations de la silice dissoute au cours d'une marée (23.06.82) . . .	157
Fig. X.12	- Variations de la silice dissoute au cours d'une marée (6.09.82). . . .	158
Fig. XI.1	- Caractéristiques principales du cycle de l'azote dans un estuaire. . .	162
Fig. XI.2	- Variations de l'ammoniaque au cours d'un cycle de marée à l'embouchure	164
Fig. XI.3	- Variations de l'ammoniaque au cours d'un cycle de marée à l'écluse . .	164
Fig. XI.4	- Variations des nitrites au cours d'un cycle de marée à l'embouchure. .	166
Fig. XI.5	- Variations des nitrites au cours d'un cycle de marée à l'écluse. . . .	166
Fig. XI.6	- Variations des nitrates au cours d'un cycle de marée à l'embouchure. .	168
Fig. XI.7	- Variations des nitrates au cours d'un cycle de marée à l'écluse. . . .	168
Fig. XI.8	- Variations saisonnières de l'ammoniaque à l'embouchure et à la Taillée	170
Fig. XI.9	- Variations saisonnières des nitrites à l'embouchure et à la Taillée. .	170
Fig. XI.10	- Variations saisonnières des nitrates à l'embouchure et à la Taillée. .	172
Fig. XI.11	- Courbe de dilution des nitrates en fonction de la chlorosité dans les eaux de flot à l'embouchure. . . . .	172
Fig. XI.12	- Courbe de dilution des nitrates en fonction de la chlorosité dans les eaux de ruissellement à l'embouchure . . . . .	171

Fig. XI.13	- Variations saisonnières de l'ammoniaque à l'écluse et dans le marais .	173
Fig. XI.14	- Variations saisonnières des nitrites à l'écluse et dans le marais. . .	173
Fig. XI.15	- Variations saisonnières des nitrates à l'écluse et dans le marais. . .	173
Fig. XI.16	- Courbe de dilution des nitrates dans les eaux de flot à l'écluse . . .	174
Fig. XI.17	- Variations annuelles des bilans jusant-flot de $NH_4$ , $NO_2$ , $NO_3$ et des volumes d'eaux . . . . .	178
Fig. XI.18	- Variations des concentrations en $NH_4$ à mi-étier au cours d'une marée (8.09.82). . . . .	184
Fig. XI.19	- Variations des concentrations en $NH_4$ au cours d'une marée (6.09.82). .	185
Fig. XII.1	- Droite de dilution des phosphates dans les eaux de flot à l'embouchure de l'étier de Lavau. . . . .	191
Fig. XII.2	- Schéma récapitulatif des processus de solubilisation des phosphates. .	192
Fig. XII.3	- Variations des phosphates au cours de différentes marées à l'embouchure	194
Fig. XII.4	- Variations des phosphates au cours de différentes marées à l'écluse. .	194
Fig. XII.5	- Variations saisonnières des phosphates à l'embouchure de l'étier de Lavau, et à la Taillée . . . . .	196
Fig. XII.6	- Variations saisonnières des phosphates à l'écluse et dans le marais de Lavau. . . . .	196
Fig. XII.7	- Variations des teneurs en phosphates dans le marais de Lavau . . . . .	197
Fig. XII.8	- Variations des phosphates au cours d'une marée à Cordemais . . . . .	202
Fig. XII.9	- Variations des phosphates au cours d'une marée au Dareau . . . . .	202
Planche 1	- . . . . .	39
Planche 2	- . . . . .	47
Planche 3	- . . . . .	93

Tab. III.1 - Précipitations à Savenay . . . . .	33
Tab. III.2 - Volumes d'eau de précipitation dans le bassin versant de Lavau . . . . .	34
Tab. III.3 - Volumes d'eau de précipitation dans le bassin versant de Cordemais . . . . .	34
Tab. III.4 - Les précipitations au Pellerin . . . . .	35
Tab. III.5 - Amplitudes de la marée à l'embouchure et à l'écluse. . . . .	42
Tab. III.6 - Les courants maximaux de surface à l'embouchure. . . . .	42
Tab. III.7 - Les courants maximaux de surface à l'écluse. . . . .	49
Tab. III.8 - Amplitudes de marée dans l'étier de Cordemais. . . . .	50
Tab. III.9 - Amplitudes de marée dans l'étier du Dareau . . . . .	50
Tab. III.10 - Les courants maximaux de surface dans l'étier de Cordemais . . . . .	51
Tab. III.11 - Les courants maximaux de surface dans l'étier du Dareau. . . . .	51
Tab. III.12 - Jaugeage de l'étier de Lavau, en aval de l'écluse. . . . .	55
Tab. III.13 - Jaugeage de l'étier de Lavau, à l'embouchure . . . . .	55
Tab. III.14 - Jaugeage de l'étier de Cordemais, en aval de l'écluse. . . . .	56
Tab. III.15 - Jaugeage de l'étier de Cordemais, en son milieu. . . . .	56
Tab. III.16 - Jaugeage de l'étier du Dareau, en aval de l'écluse . . . . .	56
Tab. III.17 - Jaugeage de l'étier du Dareau, en son milieu . . . . .	56
Tab. III.18 - Volumes d'eau transitant à l'embouchure. . . . .	57
Tab. III.19 - Volumes d'eau transitant à l'écluse. . . . .	57
Tab. III.20 - Volumes d'eau transitant dans l'étier de Cordemais au cours d'un cycle de marée . . . . .	60
Tab. III.21 - Volumes d'eau transitant dans l'étier du Dareau au cours d'un cycle de marée. . . . .	60
Tab. VI.1 - Nature des M.E.S. . . . .	80
Tab. VI.2 - Les pourcentages des minéraux argileux . . . . .	83
Tab. VI.3 - Bilans hydriques et sédimentaires au cours d'un cycle de marée à l'embouchure . . . . .	90
Tab. VI.4 - Bilans hydriques et sédimentaires au cours d'un cycle de marée à l'écluse	90
Tab. VI.5 - Variations saisonnières des M.E.S. dans le marais. . . . .	95
Tab. VI.6 - Bilan sédimentaire à l'embouchure au cours d'un cycle de marée rapporté à un volume unitaire . . . . .	97
Tab. VI.7 - Bilans sédimentaires des étiers de la Taillée et de Lavau en amont de leur confluence. . . . .	99
Tab. VI.8 - Bilans sédimentaires au cours d'un cycle de marée dans l'étier de Cordemais. . . . .	100
Tab. VI.9 - Bilans sédimentaires au cours d'un cycle de marée dans l'étier du Dareau	101
Tab. VI.10 - Les M.E.S. dans les systèmes de Lavau, Cordemais et Dareau . . . . .	103
Tab. VI.11 - Bilans sédimentaires au cours d'un cycle de marée dans les trois étiers étudiés. . . . .	104
Tab. VII.1 - Bilans des chlorures par cycle de marée à l'embouchure . . . . .	115
Tab. VII.2 - Bilans des chlorures par cycle de marée à l'écluse . . . . .	115
Tab. VII.3 - Comparaisons de la chlorosité dans les systèmes de Lavau, Cordemais et Dareau . . . . .	119
Tab. VIII.1 - Comparaisons des pigments chlorophylliens dans les systèmes de Lavau, Cordemais et Dareau. . . . .	127



## RESUME

Les échanges entre l'estuaire de la Loire et les zones marginales (marais-vasières) se font au sein des étiers où transitent des masses d'eau estuariennes et continentales.

Les matières en suspension et différents paramètres physiques et biochimiques sont étudiés au cours des cycles de marée et annuels.

Bien que les étiers fonctionnent d'une manière assez analogue à un petit estuaire, ils ont leur propre individualité due à la présence de larges vasières en aval et de marais continentaux en amont qui influent fortement sur la qualité des eaux.

Les M.E.S., les chlorures, l'oxygène dissous et les nutriments sont retenus ou exportés par les étiers vers l'estuaire ou les marais selon les périodes.

Ces échanges entre l'estuaire et ses zones marginales, soumis à l'influence de l'activité microbiologique, s'avèrent fondamentaux pour l'équilibre du système estuarien et l'évolution biologique, principalement en été.

## MOTS-CLES

- Système estuaire/étier/marais
- M.E.S. - chlorosité - nutriments
- Variations tidales et saisonnières
- Bilans