

DEUST
Technicien de la Mer et du Littoral
option Aménagement et Environnement

présenté par

Alexis BUESTEL

**Etude de l'influence des activités aquacoles sur les flux de matière des
marais maritimes : Baie du Fiers d'Ars**

Stage effectué du 17/03/98 au 17/06/98
sous la responsabilité de Monsieur Maurice HERAL

CENTRE DE RECHERCHE EN ECOLOGIE MARINE ET AQUACULTURE DE L'HOUMEAU
B.P 5 - 17 137 L'Houmeau

J'adresse mes remerciements à mon maître de stage et directeur du CREMA L'Houmeau, Monsieur Maurice Héral, pour ses conseils rapides, clairs et précis.

Je remercie également Malika Bel Hassen pour sa présence et les réponses qu'elle m'a apportées

Je tiens aussi à remercier Monsieur Wagner qui nous a permis d'effectuer les prélèvements au Boutillon et aux Trois Amis.

Enfin, je voudrais remercier Françoise Mornet pour les analyses, Evelyne Richard pour la documentation, Stéphane Pouvreau et Anne Lise Montéragnoni pour l'informatique et tout le personnel du CREMA, pour la sympathie et l'aide reçue lors de la réalisation de ce travail.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	1
1. PRESENTATION DU FIERS D'ARS	1
1.1 LOCALISATION	1
1.2 SITUATION GEOLOGIQUE	2
1.3 DYNAMIQUE SEDIMENTAIRE.....	2
1.4 ACTIVITES ANTHROPIQUES SUR LE SITE	2
1.4.1 Saliculture	2
1.4.2 Ostréiculture	2
1.4.3 Pisciculture	3
1.4.4 Tourisme.....	3
1.4.5 Réserve naturelle.....	4
2. MATERIEL ET METHODES	4
2.1 MESURES EFFECTUEES GRACE A LA SONDE	4
2.1.1 Présentation de la sonde EMP 2000.....	4
2.1.2 Description des capteurs.....	4
2.1.2.1 Pression	4
2.1.2.2 Température	4
2.1.2.3 Conductivité	5
2.1.2.4 Salinité.....	5
2.1.2.5 Oxygène dissous.....	5
2.1.2.6 Vitesse et direction du courant.....	5
2.1.2.7 Turbidité.....	6
2.1.2.8 Fluorescence.....	6
2.2 PRELEVEMENTS D'EAU	6
2.2.1 Mesure des matières en suspension (MES).....	6
2.2.2 Mesure des sels nutritifs.....	7
2.2.2.1 Principe de l'autoanalyseur SKALAR	7
2.2.2.2 Présentation de l'appareil	7
2.2.3 Dosage de la chlorophylle a et phéopigments par fluorimétrie.....	7
2.2.3.1 Principe	7
2.2.3.2 Filtration et extraction	8
2.2.3.3 Mesure de la fluorescence	8
2.2.4 Mesure du carbone dissous.....	8

2.3 POINTS DE PRELEVEMENTS	9
2.4 METHODOLOGIE DE TRAITEMENT DES DONNEES A L'AIDE D'UN EXEMPLE: LE PRELEVEMENT EN VE AU CHENAL DES VILLAGES	10
2.4.1 Calibration du turbidimètre	10
2.4.2 Calibration du fluorimètre	12
2.4.3 Calculs de flux	13
2.4.3.1 MES et chlorophylles	13
2.4.3.2 Sels nutritifs et carbone dissous	14
3. RESULTATS	15
3.1 PARAMETRES MESURES PAR LA SONDE	15
3.1.1 Hauteur d'eau	15
3.1.2 Température	16
3.1.3 Vitesse du courant	16
3.1.4 Salinité	16
3.1.5 Oxygène dissous	17
3.2 FLUX	17
3.2.1 Flux de Chlorophylle a et phéopigments	17
3.2.2 Flux de MES	19
3.2.3 Flux de sels nutritifs et carbone organique dissous	20
4. DISCUSSION	22
4.1 COMPARAISON DES FLUX DE MATIERE EN FONCTION DU LIEU DE PRELEVEMENT	22
4.2 INTEGRATION A L'ENSEMBLE DU FIERs	26
CONCLUSION	29
BIBLIOGRAPHIE	30

INTRODUCTION

Les marais maritimes ont été, depuis près de dix siècles, exploités et aménagés par l'homme à des fins salicoles, aquacoles ou agricoles grâce à la construction de digues et de polders. Ils représentent aujourd'hui un secteur important de l'économie des pertuis charentais.

Le Fiers d'Ars est une baie entourée de marais maritimes, située au nord est de l'île de Ré. L'exploitation de ces marais a commencé dès le XVème siècle par la saliculture. Aujourd'hui, l'activité anthropique s'est diversifiée. On y rencontre, en plus de la saliculture qui a fortement baissé, de l'ostréculture, de la pisciculture extensive et intensive, et surtout un tourisme très important, avec notamment la création, en 1981, de la réserve de Lilleau des Niges.

Ces différentes activités entraînent des conflits d'usage et d'importantes répercussions sur un milieu modifié par l'homme depuis de nombreux siècles.

L'eau, qui entre et sort à chaque marée a notamment un rôle important dans cette zone, puisqu'elle a de nombreux usagers et subit des modifications dues au contexte spécifique des marais maritimes et à l'apport des eaux transformées par les piscicultures, les bassins salicoles ou l'affinages des huîtres.

Un premier suivi hydrologique a déjà été réalisée de mars a septembre 1997 avec des prélèvements effectués deux fois par mois en marée de vives eau et en marée de mortes eau afin d'étudier la variabilité saisonnière (Weiss 1997).

La présente étude devrait donc permettre grâce à un suivi en continu, d'étudier la variabilité semi diurne et la production des diverses zones de marais en fonction de leur activité, grâce à des calculs de flux de matières. Elle vise à étudier l'interaction entre les différentes activités et leur impact sur le milieu. Son objectif est d'aider à la gestion de ce milieu riche, en prenant en compte les impératifs de protection (ou les pressions se font de plus en plus importantes), d'exploitations et du tourisme.

1. Présentation du Fiers d'Ars

1.1 Localisation

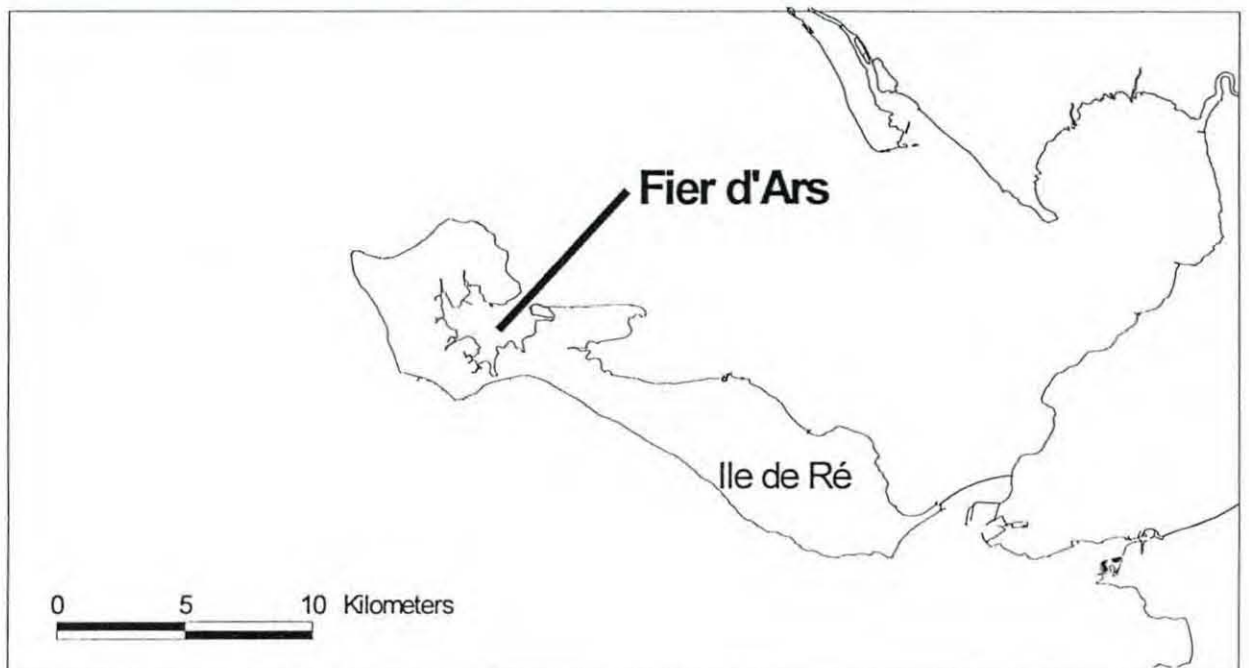
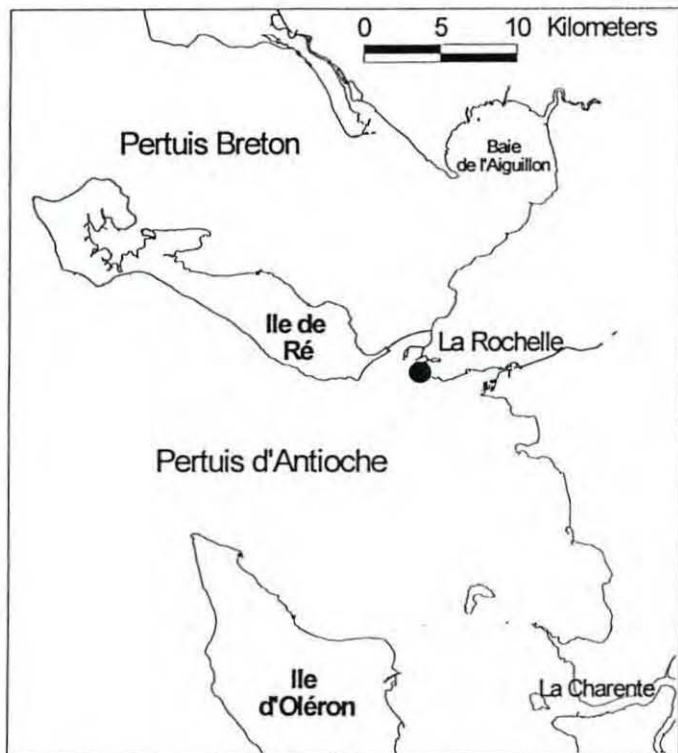
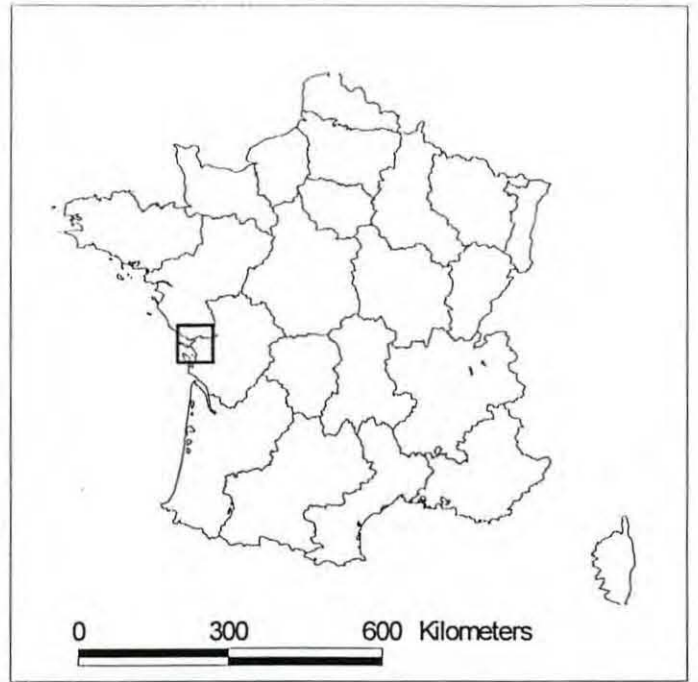
Le Fiers d'Ars, d'une surface de 800 Ha, s'étend au nord de l'île de Ré (carte 1). Il communique avec l'océan au niveau du Pertuis Breton par une passe unique de 700 mètres de large située au nord est de la lagune. Lors des marées, l'eau rentre et sort par ce canal pour recouvrir et découvrir entièrement la baie, à l'exception de chenaux s'enfonçant plus ou moins loin à l'intérieur des terres.

Cette baie est entourée de 1200 Ha de marais et vasières maritimes endigués conquis sur la mer au cours des siècles. Le niveau d'eau est régulé artificiellement selon les besoins à l'aide d'écluses permettant l'entrée de l'eau de mer jusque dans les zones les plus reculées des marais lors des marées hautes, grâce à des systèmes complexes de chenaux,.

Un grand banc de sable est situé à l'ouverture de la baie, le banc du bûcheron, lui aussi alternativement recouvert et découvert par les marées. Un chenal a été creusé en travers du banc en face de l'ouverture de la baie afin de faciliter la circulation de l'eau.

Plusieurs villages sont situés dans cette zone. On trouve celui de Portes en Ré au nord, Saint Clément des Baleines à l'ouest et Ars en Ré au sud est.

Carte 1- Localisation du site d'étude



1.2 Situation géologique

L'île de Ré est formée de quatre îles primitives indépendantes à l'origine. Il s'agit de l'île de Loix à l'Est, l'île de Saint Martin au Sud Est, l'île d'Ars au sud-ouest et à l'Ouest et celle des Portes au Nord-Ouest. Elles sont constituées d'affleurements de roches sédimentaires calcaires datant du Jurassique supérieur, et font partie de la structure régionale du bassin aquitain. Petit à petit, des flèches de sables se sont développées entre les îles sous l'influence des houles. Des massifs dunaires se sont ensuite édifiés ce qui a permis à terme que les îles soient reliées entre elles. La progression des sables fermant les baies a entraîné une sédimentation fine ce qui a permis le colmatage et donc le relèvement du niveau des vasières autorisant leurs conquêtes comme c'est le cas au Fiers d'Ars.

1.3 Dynamique sédimentaire

Le transit littoral sur l'île de Ré est établi de l'ouest vers l'est, alimenté par les houles d'ouest. Les sables provenant de la pointe du Lizay et du fond du Pertuis Breton alimentent le banc du Bûcheron (l'apport annuel serait de 12 500 m³) et rentrent dans le Fiers. Les particules fines sont retenues et contribuent à son envasement. Le massif dunaire de Trousse Chemise serait également érodé par les courants de marées entrant et sortant par le chenal principal du Fiers d'Ars. Le banc du Bûcheron, le massif de Trousse Chemise et le transit littoral alimentent donc le Fiers qui piégerait 30 000 m³ par an de matériaux (Lafont, 1991).

Différentes réalisations ont été construites depuis le XVIII^{ème} siècle afin de stabiliser le littoral. Des digues, des enrochements et des épis ont été édifiés ce qui pose les problèmes habituels de ces types d'ouvrages. Les digues et enrochement coupent les échanges de sables entre la dune et la plage ce qui facilite l'érosion à la base des constructions. Les épis montrent de bons résultats pour la plage concernée mais entraînent un déficit en sédiments en aval des ouvrages car ils interrompent le transit littoral.

1.4 Activités anthropiques sur le site

1.4.1 Saliculture

La sédimentation dans le Fiers d'Ars a peu à peu permis aux hommes d'exploiter les marais et vasières à des fins salicoles. Dès le XV^{ème} siècle, des moines vendéens ont commencé l'exploitation des marais salants. Cette activité a atteint son apogée au milieu du XIX^{ème} siècle. 18% de l'île de Ré étaient alors exploités pour une production moyenne de 31 750 tonnes de sel par an. Depuis, cette activité n'a cessé de décliner pour produire aujourd'hui une moyenne de 2000 tonnes de sel par an pour 65 sauniers. Sur environ 1500 ha de marais endigués, 120 ha étaient exploités en 1991 (Lafont, 1991).

1.4.2 Ostréiculture

L'ostréiculture a débuté à la fin du XIX^{ème} siècle sur l'île de Ré. A l'heure actuelle, les nouvelles concessions sont interdites depuis 1971.

La production paraît difficile à estimer au niveau du Fiers. Elle était de 500 tonnes par an pour toute l'île de Ré en 1985.

Les parcs à huîtres sont situés sur l'estran dans la partie Est du Fiers. Après un grossissement sur ces parcs, les huîtres sont acheminées vers les zones d'affinage, situées à Marennes-Oléron ou sur l'île même.

Certaines zones de marais ont en effet été réaménagées en claires afin de réaliser l'affinage, c'est à dire la période d'engraissement et de verdissement des huîtres. Le verdissement de la chair est dû à une diatomée particulière : *Navicula Ostréaria*. Les claires sont des bassins rectangulaires de 300 à 600 m² peu profonds (30 à 40 cm). Elles sont alimentées par gravité par la mer ou des chenaux annexes, grâce à des systèmes d'écluses, lors de marées à coefficients suffisants (80 pour les plus basses). Chaque année, les claires sont asséchées pendant plusieurs semaines à plusieurs mois: c'est l'assec. De mars à juillet elles sont décapées de leur vase. Elles sont ensuite laissées à l'air jusqu'à ce qu'il y ait précipitation des sels à la surface du sol. Elles sont alors «mises en humeur». L'eau va rentrer et sortir librement pendant un cycle de marée (14 jours). Cet assèchement permet principalement d'avoir un creusement naturel des bassins par tassement et durcissement des fonds vaseux, de détruire les macrophytes et les compétiteurs, et enfin d'améliorer le verdissement des huîtres (GOULEAU *et al.*, 1996) La récolte se fait de septembre à décembre.

1.4.3 Pisciculture

Une pisciculture extensive traditionnelle est encore pratiquée par quelques particuliers. Cependant, il reste peu de propriétaires ayant restauré leurs bassins pour y pratiquer cette activité qui était à l'origine une activité annexe de la saliculture. Aujourd'hui, cela reste un loisir. La plupart du temps, de petites nasses sont simplement placées à la sortie des écluses afin d'y piéger les poissons. Les espèces pêchées sont principalement des anguilles et des mullets, et parfois des bars et des dorades. Le rendement annuel se situe aux alentours de 100 Kg/Ha.

Par contre, des piscicultures intensives se sont installées. La ferme marine des baleines s'étend sur 27 ha au nord du Fiers d'Ars, près de Saint Clément les Baleines. C'est une pisciculture de bars, qui a produit 400 tonnes en 1995.

Lors des marées de coefficient supérieur à 63, l'eau des bassins est renouvelée grâce à une réserve alimentée par un chenal ouvert sur la mer. Les eaux usées sont alors rejetées dans le chenal des Villages.

Quand les coefficients de marée sont insuffisants pour renouveler l'eau des bassins, la ferme fonctionne en circuit fermé. L'eau est recyclée dans des bassins de lagunage avant d'être déversée dans la réserve. Les concentrations de matières en suspension (MES) et de sels dissous augmentent à chaque nouveau passage.

Il existe une autre ferme aquacole spécialisée dans le turbot, après avoir travaillé sur la palourde, la crevette japonaise et le bar. Il s'agit de la ferme de la petite Tonille, située à Loix en Ré et qui occupe 23 ha sur d'anciens marais salants. Sa production est de 110 tonnes de poisson par an.

Les bassins sont alimentés par la marée ou par des pompes lorsque les coefficients sont insuffisants, par l'intermédiaire de 3 réserves. Des pompes d'eau saumâtre servent à réguler la température. Les effluents sont rejetés dans une lagune communiquant avec la mer.

1.4.4 Tourisme

Le tourisme est l'activité majeure de l'île de Ré. La population en période estivale est en effet de 180 000 habitants alors qu'il n'y en a que 14 000 le reste de l'année.

Le Fiers d'Ars est fréquenté par les bateaux de plaisance qui ne peuvent emprunter que le chenal principal et le port d'Ars. Mais la pression touristique la plus importante se fait au niveau des marais et de l'estran. La pêche à pied est en effet très pratiquée. Les marais sont quant à eux traversés par diverses pistes cyclables.

1.4.5 Réserve naturelle

La réserve naturelle du Lilleau des Niges a été créée en 1981 et s'étend sur 150 ha d'anciens marais salants. Elle est délimitée au nord par la piste cyclable reliant Ars et Portes en Ré, à l'est par le chenal du vieux port et à l'ouest par le chenal des villages.

C'est un des six premiers sites français pour l'hivernage des limicoles et le seul site charentais d'hivernage régulier pour de nombreuses espèces de canard. C'est pourquoi la réserve est gérée par la ligue de protection des oiseaux et le syndicat des sauniers.

2. Matériel et Méthodes

2.1 Mesures effectuées grâce à la sonde

2.1.1 Présentation de la sonde EMP 2000

Cette sonde programmable multiparamètres peut mesurer simultanément la température, la salinité, la teneur en oxygène dissous, la turbidité, la fluorimétrie ainsi que la vitesse et la direction du courant. La mesure peut être faite en continu et les données sont soit affichées en temps réel, soit stockées afin d'être restituées plus tard, par l'intermédiaire d'un ordinateur équipé d'un logiciel spécifique.

Elle mesure 91.5 cm de long pour 16.5 cm de diamètre et pèse 11.3 kg dans l'air, 2.3 kg dans l'eau. Elle peut descendre jusqu'à 300 mètres, sauf pour certains capteurs trop sensibles à une forte pression (le capteur d'oxygène dissous ne peut par exemple descendre que jusqu'à 75 mètres). Elle est protégée par un cadre en aluminium et alimentée par des batteries.

Dans le chenal principal, la sonde sera descendue à partir d'un bateau. Dans le Chenal des Villages elle sera suspendue à partir d'un pont. Dans les chenaux de régulation elle est posée sur le fond et fixée grâce à des cordes accrochées aux berges, où suspendue aux ouvrages permettant les rentrées et sortie d'eau dans les marais. La sonde est reliée directement à un ordinateur pendant les manipulations afin de pouvoir vérifier son bon fonctionnement.

2.1.2 Description des capteurs

2.1.2.1 Pression

Le capteur de pression permet l'estimation de la profondeur (1 bar correspond environ à la pression sous dix mètres d'eau). Il a une précision de plus ou moins 0.3% et un temps de réponse de 10 ms. Il peut descendre jusqu'à 300 mètres.

2.1.2.2 Température

La température est un paramètre important car, hormis son rôle déterminant dans les cycles biologiques, elle permet la détermination de la salinité et de la valeur en oxygène dissous présents dans l'eau.

Le capteur de température a une précision de plus ou moins 0.05°C et un temps de réponse de 1.5 s. Il peut mesurer des températures de - 2°C à +32°C.

2.1.2.3 Conductivité

La mesure de conductivité se fait grâce à 4 électrodes avec une exactitude de plus ou moins 0.1 micro-siemens par cm. La mesure peut être faite de 0.02 à 6.5 micro- siemens. Pour une performance optimale, le capteur de conductivité doit être immergé 4 minutes avant la première mesure. La conductivité sert à calculer la salinité.

2.1.2.4 Salinité

La salinité n'est pas mesurée directement par la sonde. Elle est calculée à partir des mesures de pression, de température et de conductivité.

2.1.2.5 Oxygène dissous

Le taux d'oxygène dissous est un paramètre important car il gouverne un grand nombre de processus biologiques des écosystèmes marins.

L'oxymètre est séparée de la sonde principale. Il est constitué d'un caisson contenant une batterie, d'une pompe, et de l'instrument de mesure lui même. Il est fixé au bâtis et relié à la sonde par des câbles.

Principe

Une membrane perméable au gaz mais pas au liquide est placée entre la cathode et la solution à mesurer. L'oxygène passe à travers la membrane et un électrolyte puis est réduit au niveau de la cathode. Le courant produit est proportionnel au taux d'oxygène dissous. En le combinant avec la température et la salinité, cela donne le taux d'oxygène dissous présent dans le milieu.

L'oxygène dissous peut être mesuré pour des valeurs allant de 0 à 15 mg/l avec un temps de réponse de 60 secondes et une marge d'erreur de plus ou moins 0.7 mg/l.

2.1.2.6 Vitesse et direction du courant

La vitesse du courant permet de calculer le débit, grâce aux mesures de hauteur d'eau et de section des canaux.

Principe

Il est basé sur le principe de Faraday qui stipule que l'eau (conductrice) évoluant dans un champ électromagnétique (généralisé par le courantomètre) produit un courant électrique proportionnel à sa vitesse. Deux paires d'électrodes permettent donc d'identifier la direction du courant par ses deux composantes (parallèle et perpendiculaire) et mesurent le voltage induit par le courant.

Le courantomètre électromagnétique mesure la vitesse du courant avec une précision de plus ou moins 5 cm/s avec un temps de réponse de deux secondes. Il doit être immergé environ cinq minutes avant de donner une mesure correcte.

2.1.2.7 Turbidité

La pénétration de la lumière dans l'eau a une grande importance au niveau de l'épaisseur de la couche où s'élabore la matière vivante grâce à la photosynthèse. La mesure de la turbidité permet également une approche de la quantité de matières en suspension présentes dans l'eau.

Le temps de réponse du turbidimètre est de 100 ms avec une exactitude de plus ou moins 1.5 NTU (unités de turbidité néphélométrique).

2.1.2.8 Fluorescence

Principe

Lorsque la chlorophylle a est excitée par une lumière bleue de 430 NM de longueur d'onde, elle émet une fluorescence à 670 NM.

La lumière bleue est émise grâce à un flash équipé d'un filtre bleu, tandis que la lumière rouge est mesurée à l'aide d'un détecteur muni d'un filtre rouge. L'intensité lumineuse est convertie en un courant qui sera mis en relation avec les mesures précises de chlorophylles a effectuées grâce aux prélèvements d'eau.

Le fluorimètre est séparé de la sonde principale (comme le capteur d'oxygène dissous). Il pèse 5.92 kg dans l'air et 3.22 kg dans l'eau, pour un diamètre de 4.75 cm et une longueur de 15.5 cm.

2.2 Prélèvements d'eau

2.2.1 Mesure des matières en suspension (MES)

Les matières en suspension influencent la pénétration de la lumière dans l'eau et donc la production primaire photosynthétique. De plus, ce sont des sources d'échanges physico-chimiques, chimiques et biologiques importantes avec l'eau de mer. Elles peuvent aussi, selon leur nature, servir de matières nutritives pour la faune (Aminot et chaussepied, 1983).

La mesure des matières en suspension toutes les deux heures permet la calibration du turbidimètre afin d'obtenir des données en continu.

Afin de mesurer les MES, on utilise la méthode des doubles pesées. Les échantillons d'eau prélevés sont filtrés sur des membranes retenant les particules de taille supérieure à 1 µm. Les filtres ont été préalablement pesés (P1) et calcinés à 450°C pour éliminer toute trace de matière organique.

Sur le terrain, les prélèvements d'eau sont donc filtrés (sur une unité de filtration Millipore) avec des filtres en microfibres de verre (Whatman GF/C de 47 mm de diamètre). Les filtres sont ensuite rincés à l'eau distillée, ce qui permet d'éliminer un maximum de sels. Avant rinçage, le filtrat est prélevé et conservé afin d'effectuer le dosage des sels nutritifs.

Au laboratoire, les filtres sont passés à l'étuve pendant 48 heures à 50°C afin d'éliminer toute humidité, puis sont repesés (P2). La différence de poids entre P1 et P2 représente les MES totales. Les filtres sont ensuite calcinés à 450°C pendant 5 heures. Enfin, ils sont pesés une troisième fois afin d'obtenir la valeur des matières minérales en suspension (MIP). La quantité de matière organique (MOP) est calculée en faisant la différence entre les MES totales et les matières minérales en suspension.

$$\text{MES tot} = (P2 - P1) / V$$

$$\text{MIP} = (P3 - P1) / V$$

$$\text{MOP} = (P2 - P3) / V$$

MES, MIP, MOP : mg/l

P : g

V : l

2.2.2 Mesure des sels nutritifs

La matière organique et les éléments nutritifs dissous représentent des réserves importantes en azote, phosphore et silicium, qui seront utilisés par le phytoplancton.

Plusieurs sortes de sels minéraux seront recherchées. L'azote se présente sous la forme de nitrates (NO_3^-), de nitrites (NO_2^-), d'azote ammoniacal (NH_3 et NH_4^+) et d'azote organique dissous. La recherche des phosphores se fait par les phosphates et le phosphore organique dissous tandis que le silicium sera mesuré par l'intermédiaire des silicates.

Ces mesures sont faites grâce à un appareil permettant l'analyse en flux continu sur chaînes automatiques.

2.2.2.1 Principe de l'autoanalyseur SKALAR

Après filtration des MES, le filtrat est conservé dans des flacons de 80 cm³ à 4 ou 5°C dans une glacière puis congelé au laboratoire. Ils sont ensuite analysés par l'autoanalyseur SKALAR. Les échantillons, séparés par des bulles d'air, passent dans un flux de liquide continu. Différents réactifs sont ensuite injectés dans les échantillons. Après réaction chimique, des complexes colorés spécifiques à chaque élément dosé, apparaissent. Leur intensité de coloration est mesurée par des colorimètres et reliée à leur teneur en sels minéraux mesurés.

2.2.2.2 Présentation de l'appareil

Plusieurs étapes permettent l'analyse des échantillons.

Au début de la chaîne d'analyse, deux aiguilles prélèvent 1 ml d'échantillon parmi les quarante tubes contenant les étalons, les solutions de rinçages ou les échantillons. Les aiguilles aspirent également un segment d'air et une solution de rinçage entre chaque échantillon. Ces éléments sont ensuite amenés jusqu'au circuit d'analyse grâce à la pompe péristaltique. A ce niveau, les échantillons sont mélangés avec les réactifs. Certains échantillons sont passés dans des bains thermostatés afin d'accélérer les vitesses de réactions. Le photomètre va ensuite mesurer les taux de coloration des différents échantillons. Ces signaux sont ensuite traduits par les enregistreurs, sous forme de pics proportionnels à l'absorbance, elle-même proportionnelle au taux de sels nutritifs présents. Un ordinateur muni d'un logiciel spécifique compare ensuite l'amplitude des pics échantillonnés par rapport à une gamme d'étalonnage, et rend les données par un listing.

2.2.3 Dosage de la chlorophylle a et phéopigments par fluorimétrie

La chlorophylle a est présente dans les tissus du phytoplancton. Sa détermination permet donc de connaître le taux de producteurs primaires phytoplanctoniques présent. C'est donc un élément important pour connaître la production d'un milieu.

Les prélèvements effectués toutes les deux heures vont permettre la calibration du fluorimètre afin d'obtenir des données de chlorophylle a en continu.

2.2.3.1 Principe

Le principe est le même que celui du fluorimètre *in situ*. La chlorophylle a est excitée par une lumière bleue et fluoresce en émettant une énergie lumineuse de 670 NM de longueur d'onde. Après extraction des pigments chlorophylliens, on mesure la fluorescence des échantillons avant et après acidification ce qui permet la mesure des produits de dégradation de la chlorophylle. Il s'agit principalement de la phéophorbide et de la phéophitines, ou phéopigments. Les concentrations sont calculées grâce aux formules suivantes:

$$[\text{chl a}] \text{ en } \mu\text{g/l} = (F_0 - F_a) / (K - K_a) * v / V$$

$$[\text{Phéo}] \text{ en } \mu\text{g/l} = K F_a - K_a F_0 / K_a (K - K_a) * v / V$$

K : constante de calibration avant acidification

K_a: constante de calibration après acidification

F₀: valeur de la fluorescence avant acidification

F_a: valeur de la fluorescence après acidification

V: volume d'eau de mer filtré en l

v: volume de l'extrait acétonique en ml

2.2.3.2 Filtration et extraction

Les échantillons issus des prélèvements d'eau sont filtrés sur des membranes filtrantes en microfibrilles de verres (Wathman GF/F de 25 mm de diamètre), à l'aide d'une rampe de filtration reliée à une pompe à vide. Les filtres sont conservés à l'obscurité et au congélateur jusqu'à leur analyse. Après décongélation, ils sont placés dans des tubes en verre contenant 7 ml d'acétone à 90%. Ils sont ensuite broyés. L'extraction va ensuite se poursuivre 2h (18h) à l'obscurité et au réfrigérateur. L'extrait est ensuite passé à la centrifugeuse pendant 10 minutes à 2500 tours minutes.

2.2.3.3 Mesure de la fluorescence

Le fluorimètre est d'abord réglé à zéro grâce à un tube témoin contenant de l'acétone. Les tubes sont ensuite passés au fluorimètre (type Turner modèle 112). Après l'obtention de cette première valeur F₀, on ajoute 50 µl d'acide chlorhydrique à 1 mol.l⁻¹ afin d'acidifier l'extrait. La seconde lecture F_a est effectuée après quelques minutes. Ces deux mesures permettent le calcul de la concentration en chlorophylle a et en phéopigments.

2.2.4 Mesure du carbone dissous

La mesure du carbone dissous est mesurée par spectrophotométrie. Les échantillons sont issus du filtrat obtenu après filtration des MES. Ils sont conservés dans une glacière puis congelés une fois arrivé au laboratoire. Après décongélation, ils sont passés au spectrophotomètre et leur absorbance est déterminée à différentes longueurs d'ondes (de 244 à 374 nm). La relation entre l'absorbance et le taux de carbone dissous est déterminée grâce à la relation suivante:

$$\text{DOC} = (0.6667 * A_{254}) / (0.034 + S)$$

DOC: carbone organique dissous

A₂₅₄: absorbance à 254 nanomètre

S: pente de la droite de régression reliant ln A et la longueur d'onde correspondante.

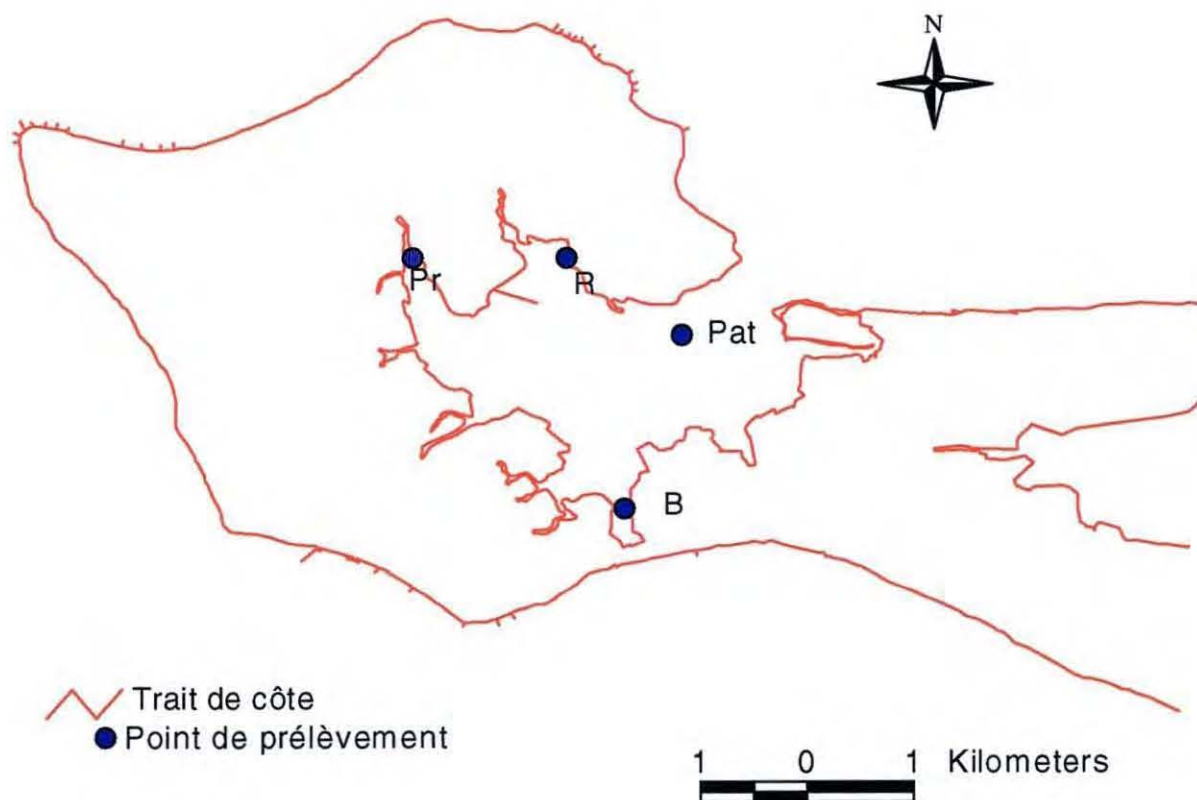
(J. Pagès et F. Gadel, 1990)

2.3 Points de prélèvements

Une première étude hydrologique a déjà été effectuée sur le site du Fiers d'Ars du 17/03/97 au 15/09/97. Deux points ont été étudiés avec des prélèvements deux fois par mois.

Afin de compléter cette étude, des prélèvements vont être faits sur deux cycles de marée afin d'apprécier les évolutions semi diurnes. Quatre points vont donc être échantillonnés 2 fois chacun, une fois en marée de vives eaux (VE) et une fois en marée de mortes eaux (ME) (carte 2).

Carte 2: Localisation des points de prélèvement autour de la Baie du Fier d'Ars



Pat : Patache
R : Trois Amis (marais de référence)
P : Passerelle (Chenal des Villages)
B : Boutillon

Les deux premiers points retenus ont été les deux sites déjà étudiés au niveau de la variation saisonnière. Il s'agit d'abord du chenal principal situé à l'entrée du Fiers d'Ars, le seul permettant des échanges entre le Fiers et l'océan, au lieu dit la Patache. Ensuite du Chenal des Villages qui délimite la réserve naturelle du Lilleau des Niges et sert de chenal d'alimentation et de rejet à la ferme marine des baleines (Pisciculture intensive). Le point d'échantillonnage est situé au niveau de l'intersection du chenal avec la piste cyclable reliant les villages d'Ars et de Portes en Ré. Deux autres points ont été choisis sur le pourtour du Fiers au niveau d'ouvrages hydrauliques régulant le niveau d'eau des marais. Le premier point est situé au niveau de la prise d'eau appelée les Trois frères, au nord-est du Fiers. Il a été choisi car les marais alimentés par cette vanne sont totalement à l'abandon. Il servira ultérieurement comme bassin de référence. L'eau rentre et sort librement car le propriétaire laisse en permanence une petite ouverture. Lors du prélèvement, la vanne était ouverte à moitié. Cette zone a un niveau topographique relativement bas.

Le dernier ouvrage retenu, appelé le Boutillon est situé au sud ouest du Fiers d'Ars. Les activités exercées en arrière sont exclusivement de l'ostréiculture. Les bassins ne peuvent être rempli qu'à partir de coefficients de marée assez élevés (50-55).

Les points retenus permettent donc de couvrir différentes zones géographiques réparties tout autour du Fiers ainsi que les diverses activités présentes dans les marais.

La température, la salinité, la profondeur d'eau, la teneur en oxygène, la turbidité, la fluorimétrie, la vitesse et la direction du courant sont mesurés en continu grâce à la sonde multiparamètres. Elle est donc immergée pendant 24 heures et prend des mesures en continu, une fois toutes les trente secondes. Les teneurs en MES, en sels nutritifs, en chlorophylle a et en carbone dissous sont mesurés à partir de prélèvements d'eau effectués à l'aide d'une bouteille de type Van Dorn. Les prélèvements ont lieu toutes les deux heures pendant le cycle de 24 heures.

2.4 Méthodologie de traitement des données à l'aide d'un exemple: le prélèvement en VE au Chenal des Villages

2.4.1 Calibration du turbidimètre

Le signal donné par le turbidimètre est un voltage. Les valeurs de MES estimées par la méthode des doubles pesées permettent d'obtenir une relation entre les concentration en MES et le signal de sortie. De même, une relation a été trouvée avec les MIP et les MOP. Ces valeurs de MES, MIP et MOP sont mises en relation avec les moyennes mobiles d'Obs sur 10 minutes calculées à partir des valeurs enregistrées toutes les trente secondes par la sonde.

Trois régressions linéaires ont été établies afin de transformer le signal brut en valeurs biologiquement significatives (mg/l).

Pour le prélèvement au Chenal des Villages, les équations étaient les suivantes:

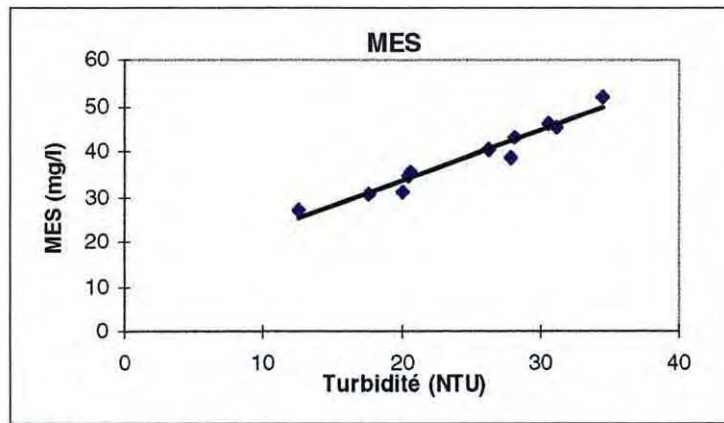


Fig 1 Calibration du turbidimètre par les MES pour le prélèvement en VE au Chenal des Villages.

$$\text{MES} = 1.1114 \text{ turb} + 11.374 \quad R^2=0.9443 \quad N=11$$

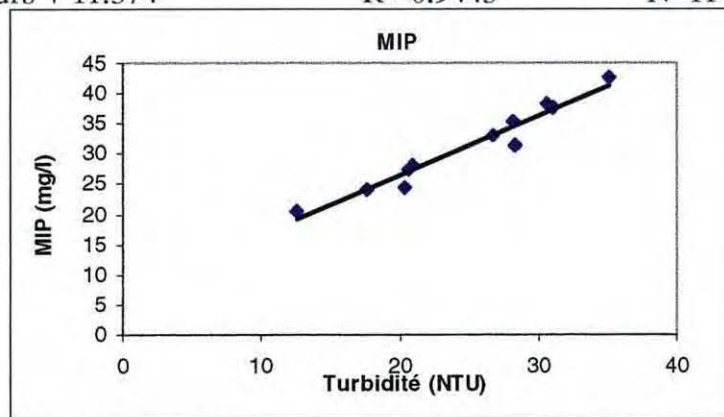


Fig 2 Calibration du turbidimètre par les MIP pour le prélèvement en VE au Chenal des Villages.

$$\text{MIP} = 0.9932 \text{ turb} + 6.6637 \quad R^2=0.9483 \quad N=11$$

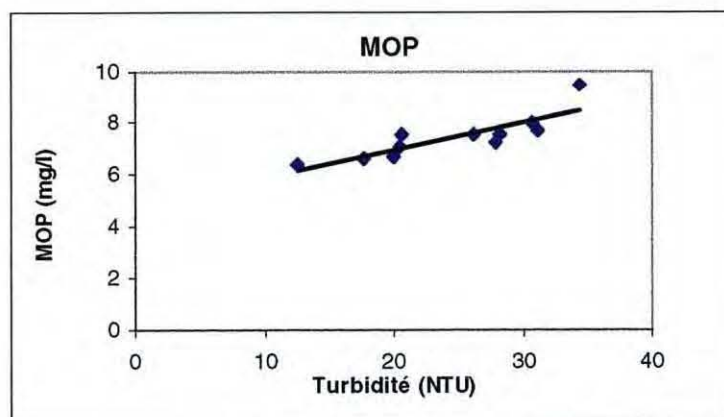


Fig 3 Calibration du turbidimètre par les MOP pour le prélèvement en VE au Chenal des Villages.

$$\text{MOP} = 0.1058 \text{ turb} + 4.8287 \quad R^2=0.7228 \quad N=11$$

Le coefficient de détermination étant satisfaisant, ces équations ont permis de transformer les moyennes sur 10 minutes du signal de turbidité en unités pondérales.

2.4.2 Calibration du fluorimètre

Lorenzen (1966) décrit une relation linéaire entre unités de fluorescence in vivo (IVF) et valeurs de chlorophylle a pour des mesures effectuées en zone côtière où le rapport chlorophylle a/phéopigments est de l'ordre de 8,5. Colijn (1981) dans la Wadden see au-dessus d'estrans à sédiments fins et Prou (1991) en zone estuarienne (Marennes-Oléron) trouvent un rapport de 0.65. Malgré les doutes émis par Alpine (1981) en ce qui concerne les zones estuariennes, Prou (1991) a quand même pu établir une relation entre le signal d'IVF et la concentration en chlorophylle a et phéopigments. Il souligne tout de même la difficulté de trouver une relation simple.

Le rapport chlorophylle a/phéopigments que nous avons trouvé est d'environ 2.3. Afin d'obtenir des unités pondérales ($\mu\text{g/l}$) de chlorophylle, nous avons également trouvé une relation entre IVF et chlorophylle a + phéopigments.

Le principe utilisé est le même que pour la turbidité. Les valeurs estimées par fluorimétrie sont mises en relation avec les moyennes mobiles sur dix minutes mesurées par la sonde au moment du prélèvement.

Une relation de puissance a été observée. Les droites de régression étaient les suivantes:

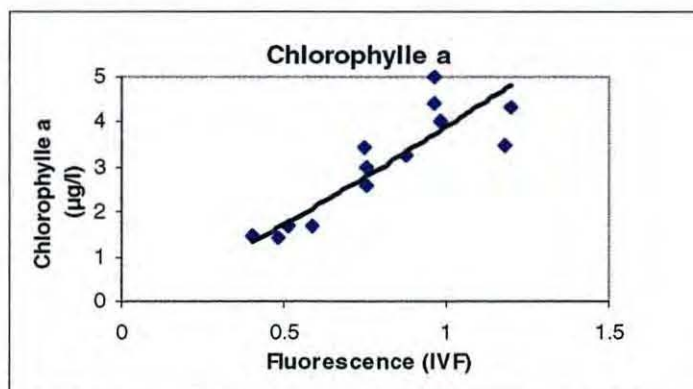


Fig 4 Calibration du fluorimètre pour la chlorophylle a pour le prélèvement en VE au Chenal des Villages.

$$\text{Chl a} = 3.9012 * \text{fluo}^{1.1742} \quad R^2 = 0.8513 \quad N=13$$

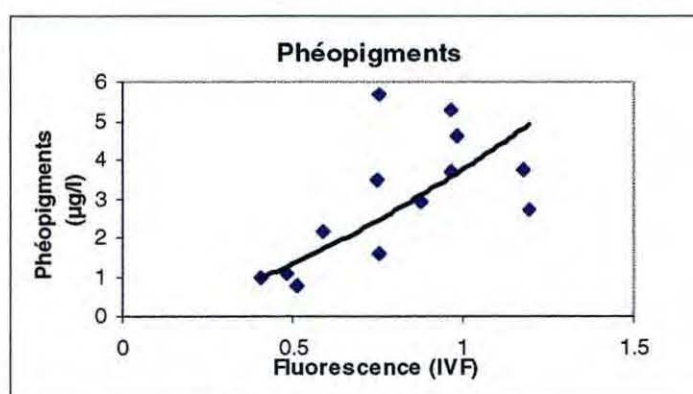


Fig 5 Calibration du fluorimètre pour les phéopigments pour le prélèvement en VE au Chenal des Villages.

$$\text{Phéo} = 3.7616 * \text{fluo}^{1.4888} \quad R^2 = 0.6002 \quad N=13$$

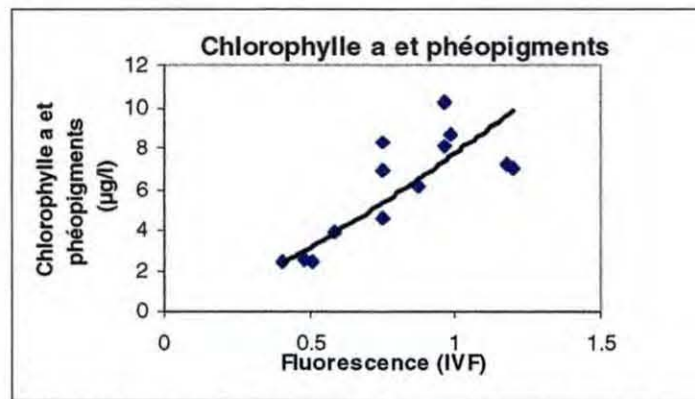


Fig 6 Calibration du fluorimètre pour la chlorophylle a et les phéopigments pour le prélèvement en VE au Chenal des Villages.

$$\text{Chl a + phéo} = 7.7714 * \text{fluo}^{1.3047}$$

$$R^2 = 0.7718$$

$$N=13$$

Le signal de fluorimétrie a donc pu être transformé en unités pondérales de chlorophylle a, phéopigments, et chlorophylle a plus phéopigments.

2.4.3 Calculs de flux

2.4.3.1 MES et chlorophylles

Les mesures effectuées grâce à la sonde permettent de calculer des flux de matières. La première opération pour le calcul de ces flux est de calculer le débit d'eau entrant et sortant par le chenal. La section instantanée en m^2 est calculée toutes les dix minutes grâce aux mesures de topographie du chenal que nous avons effectués et aux moyennes sur 10 minutes des mesures de hauteur d'eau enregistrées par la sonde.

Le débit instantané en m^3/s est ensuite calculé toutes les dix minutes en multipliant la section instantanée par la vitesse instantanée du courant à l'instant t. Un signe négatif est ensuite attribué au débit instantané lorsque l'eau sort des marais (le niveau d'eau descend). suivant la convention qui détermine les débits à l'exportation comme négatifs et les débits à l'importation comme positifs (Childers et al, 1993).

Un flux instantané est ensuite calculé en multipliant la concentration instantanée obtenue par la calibration, par le débit au même moment.

$$F_{inst} = V_{inst} * S_t * [C]_{inst}$$

F_{inst} : Flux instantané à l'instant t en g/s.

V_{inst} : Vitesse instantanée en m/s.

S: Section traversée à l'instant t en m^2 .

$[C]_{inst}$: Concentration instantanée en g/l.

Ce flux instantané est ensuite ramené à 10 minutes. Les flux sur 10 minutes sont ensuite intégrés sur la durée totale de l'écoulement de l'eau. La somme est divisée ensuite par le nombre d'heure d'inondation des marais. Dans le cas pris pour exemple, de l'eau était présente pendant toute la durée du prélèvement, la somme a donc été divisée par 24 heures.

Le résultat est donc défini comme la résultante des masses de matières par heure d'inondation, entrant ou sortant du marais selon que le résultat est négatif ou positif en retenant la convention qui détermine les débits à l'exportation comme négatifs et les débits à l'importation comme positifs (Childers et al, 1993).

La calibration de certains paramètres de la sonde, à savoir la turbidité et la fluorimétrie avec les données mesurées in vivo permet donc d'avoir des suivis plus précis que pour les flux de sels nutritifs et de carbone dissous qui sont calculés grâce aux prélèvements effectués toutes les deux heures.

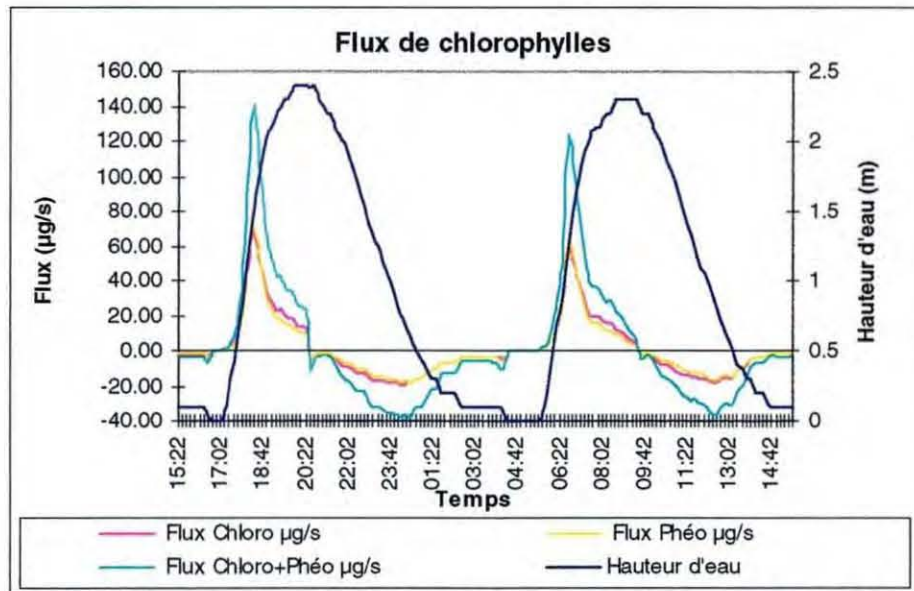


Fig 7 Flux instantané de chlorophylle a et phéopigments en VE au Chenal des Villages.

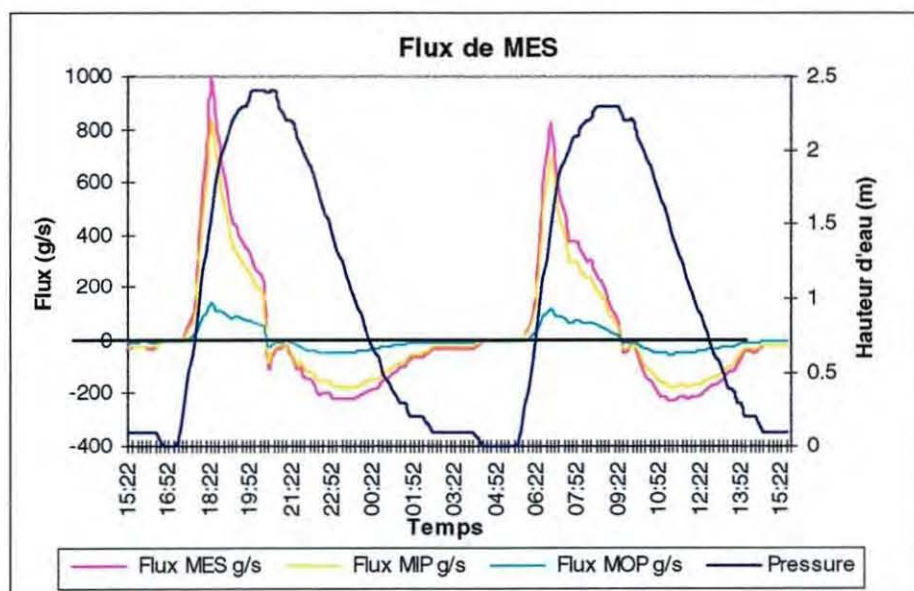


Fig 8 Flux instantané de MES en VE au Chenal des Villages.

2.4.3.2 Sels nutritifs et carbone dissous

Les sels nutritifs et le carbone organique dissous (COD) n'étant pas mesurés en continu, on n'utilise pour les calculs de flux les valeurs estimées toutes les deux heures. La concentration à l'instant t est multipliée par le débit au même moment et par deux heures. Ces flux instantanés sont ensuite sommés puis divisés par le nombre d'heure d'inondation des marais.

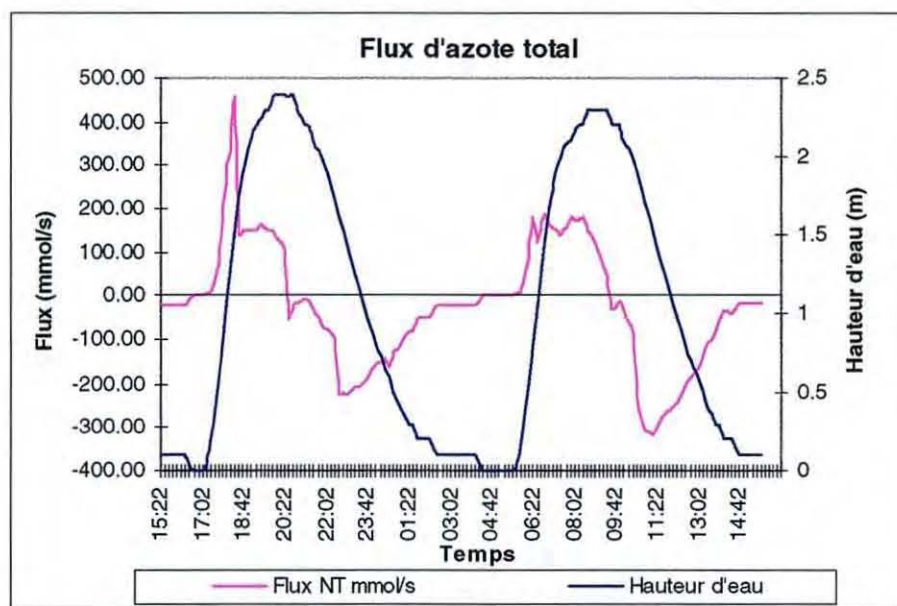


Fig 9 Flux instantané d'azote total en VE au Chenal des Villages.

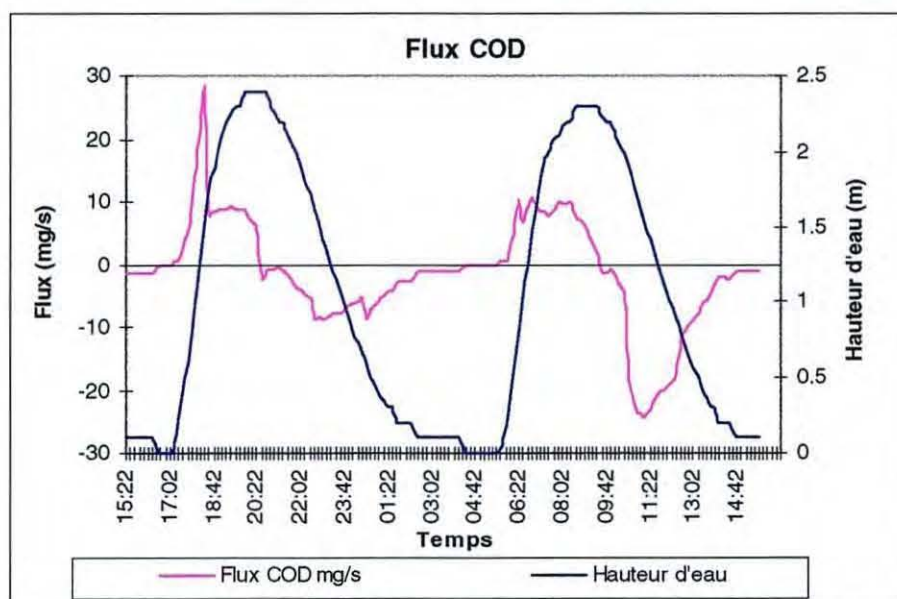


Fig 10 Flux instantané de COD en VE au Chenal des Villages.

3. Résultats

3.1 Paramètres mesurés par la sonde

3.1.1 Hauteur d'eau

Le marnage varie beaucoup selon les sites et les points de prélèvement. Il est compris entre 60 cm et 3 m en ME et 70 cm et 3.60 m en VE respectivement au Boutillon et à la Patache. Plus le point est éloigné de l'entrée de la baie du Fiers d'Ars, moins le marnage est important, probablement en raison de l'altitude qui augmente lorsque l'on s'enfonce à l'intérieur du Fiers. Par

exemple, les marais du Boutillon ne peuvent "boire" (renouveler l'eau) qu'à partir de coefficient de marée de 50-55, alors que les marais alimentés par la prise des Trois Amis (située près de l'entrée du Fiers) boivent à partir de coefficients de 40-45.

Des retards de marée sont observés à la basse mer par rapport aux prévisions. Plus on va vers l'intérieur du Fiers, plus ils sont importants. A la Patache, il y a déjà un retard pouvant atteindre 1 heure (probablement à cause du banc du Bûcheron). Au Boutillon, ces retards atteignent 4 heures.

Le jusant est donc plus long que le flot, car on n'observe pas ces retards à l'étal de haute mer. Speer et al (1984) ont montré dans les estuaires, que les chenaux bordés de larges estrans entraînent un flot plus long que le jusant. En revanche, les chenaux sans estrans montrent un jusant plus long que le flot. Les chenaux du Fiers correspondent en général à la seconde configuration, et le même fait est observé, bien que le fiers ne soit pas un estuaire. De plus, en général, ces retards sont plus importants en ME notamment au Chenal des Villages. Ce retard pourrait peut-être s'expliquer par le fait qu'il y a de part et d'autre de ce chenal des réservoirs de faible profondeur ayant la même configuration que des estrans. Lors des marées de VE, l'eau monte jusqu'à ces réservoirs qui sont lents à se remplir mais rapides à se vider. Cela implique un jusant relativement court, même s'il reste plus long que le flot. La variabilité spatiale et temporelle (selon les coefficients) des retards de marée pourrait donc s'expliquer par les différences d'altitude entre les sites et la topographie des chenaux desservant les marais.

3.1.2 Température

La variation de température est peu importante en règle générale. Cependant par beau temps, l'eau entrant dans les marais est plus froide que l'eau sortant. Ainsi, une variation de 6°C a été observée lors du prélèvement en vives eaux au chenal des villages. Cette variation est probablement due au réchauffement de l'eau dans les bassins peu profonds desservant les chenaux et prises. Cette différence de température s'est retrouvée au niveau de la Patache lors du prélèvement en VE ou l'ensoleillement était important. Au réchauffement dans les bassins a du s'ajouter celui des eaux peu profondes dans la baie même du Fiers.

3.1.3 Vitesse du courant

Les vitesses de courant mesurées par la sonde ont été de 0.02 m/s (lors de l'étale) à 0.26 m/s au Boutillon. Cette valeur est toutefois particulière car la sonde était située sur le radier, juste à la sortie de la prise, entre deux murs de béton espacés seulement de 1.3 m. Les vitesses de courant mesurées étaient donc très élevées. En dehors de cet endroit, c'est à la Patache que les vitesses les plus élevées ont été enregistrées, avec 0.09 m/s lors du prélèvement en VE. Les moyennes de vitesses de courant étaient comprises entre 12.32 cm/s à la prise des trois amis et 46.88 cm/s à la passerelle, sans tenir compte des valeurs moyennes du Boutillon atteignant 94.9 cm/s. Les valeurs moyennes sont en général plus élevées lors des VE.

Le signal de vitesse de courant montre à peu près la même variation pour tous les prélèvements avec des valeurs élevées en début de flot s'abaissant progressivement pour devenir pratiquement nulle à l'étal de haute mer. Elles remontent ensuite pour se stabiliser en fin de jusant environ aux mêmes valeurs qu'en début de flot. Elles chutent alors brutalement à l'étal de basse mer.

3.1.4 Salinité

La salinité était comprise entre 26.5‰ et 35.1‰ pour l'ensemble des prélèvements. Les moyennes étaient quant à elles comprises entre 31.4‰ et 34.3‰. La salinité dépend de la météo car par temps de pluie, on remarque que l'eau sortant des bassins est moins salée que l'eau

entrant. Cette variation est perceptible même lorsque les précipitations sont peu importantes puisque lors du prélèvement en VE au Chenal des Villages, il n'y a eu que quelques crachins et la salinité n'a varié que de 34.12‰ à 34.5‰. La courbe montre pourtant que l'eau était plus salée en entrant qu'en sortant. Lors de précipitations plus nombreuses, la variation de salinité peut être plus importante, puisque lors du prélèvement en ME, toujours au chenal des villages (Fig 12), les valeurs maximum atteignaient 33.45‰ (lors de l'entrée de l'eau) alors que la valeur minimum s'élevaient à 26.54‰ (eau sortant). De plus, au prélèvement en VE aux Trois Amis, la salinité n'a pas varié pendant le premier cycle où le temps était nuageux mais avec très peu de pluie, tandis que lors du deuxième cycle, les pluies ont été plus importantes et on remarque une diminution de la salinité de l'eau sortant des marais. Cette variation a également été observée dans une moindre mesure à la sortie du Fiers lors du prélèvement en ME (les pluies étaient peu importantes ce jour là).

Par contre, lors du prélèvement en ME au Boutillon, la tendance était inversée, puisque l'eau entrant était moins salée que l'eau sortant. De l'eau s'est peut-être évaporée en raison de l'ensoleillement important. Une partie de l'eau reste en effet un certain temps dans les bassins, il y a donc un mélange avec l'eau apportée par la marée. Par contre, cette variation n'a pas réellement été perçue pendant le prélèvement en VE à la Patache alors que l'ensoleillement était très important ce jour là. Cela peut être dû au fait que lors de VE, l'eau entrant est retenue dans les bassins.

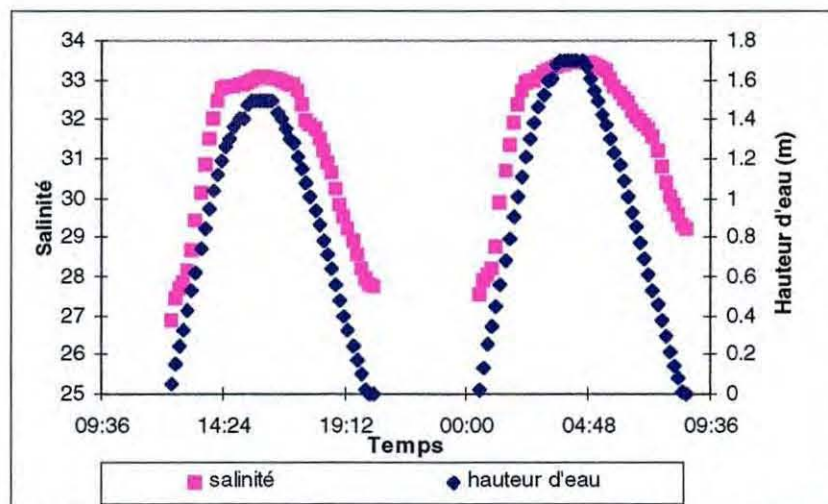


Fig 12: Variation de la salinité par temps pluvieux lors du prélèvement en ME au Chenal des Villages.

3.1.5 Oxygène dissous

L'oxymètre n'a fonctionné que lors des 2 premiers prélèvements. On remarque cependant que le taux d'oxygène baisse ou augmente sensiblement de la même manière que la vitesse du courant, même si aucune relation satisfaisante n'a pu être établie ($R^2 = 0.3623$ lors du prélèvement en ME au chenal des villages). La moyenne du taux d'oxygène dissous était de 6.34 mg/l pour le prélèvement en en VE avec un maximum à 8.88 mg/l.

3.2 Flux

3.2.1 Flux de Chlorophylle a et phéopigments

Le flux de chlorophylles est important en ME à la Patache. Il atteint en effet 1284 mg/h de chlorophylle a pour 826 mg/h de phéopigment à l'importation. Le flux de chlorophylle a diminue

de moitié pendant le second cycle (coef 44) par rapport au premier (coef 42), tandis que le flux de phéopigment reste sensiblement le même. La proportion de phéopigment lors du deuxième cycle est donc beaucoup plus importante (40% pour le premier et 60% pour le second cycle). En VE, on observe une faible exportation de chlorophylle a de 57.7 mg/h avec une proportion de phéopigments de 19%. Il y a eu exportation de chlorophylle a et phéopigments pendant le premier cycle (coef 83) mais importation pendant le deuxième (coef 82).

Au Boutillon, en VE, il y a eu exportation de chlorophylle a mais importation de phéopigments. La valeur de flux de chlorophylle a est très faible et peut être considérée comme nulle. Le marais a donc importé pratiquement que des phéopigments. Les deux cycles sont relativement identiques (coef 84 et 81), avec une proportion importante de phéopigment importé. En ME, il y a eu 2.5 mg/h de chlorophylle a et phéopigments importés dont 45% de chlorophylle a. Il s'est importé un peu plus de chlorophylle a et phéopigments lors du premier cycle (coeff 53 et 51 pour le deuxième). Les proportions de l'un par rapport à l'autre sont les mêmes.

Au Chenal des Villages en VE, il y a eu importation de 4.9 mg/h de chlorophylle a pour 5.4 mg/h de phéopigments. La proportion de chlorophylle a par rapport aux phéopigments est restée la même pendant les deux cycles mais il y a eu importation de 16.5 mg/h de chlorophylle a et phéopigments pendant le second cycle (coef 96) alors que ce flux n'était que de 9.5 mg/h pendant le premier cycle (coef 103). Il y avait la même quantité de chlorophylles a par rapport aux phéopigments lors du prélèvement en ME, mais il y a eu une importation plus importante avec 17 mg/h. Le flux était de 12 mg/h pendant le premier cycle (coef 51) et 22 mg/h pendant le deuxième (coef 56).

En revanche, aux Trois Amis, il y a eu exportation de chlorophylles a (-1.5 mg/h) et de phéopigments (-0.8 mg/h) pendant le prélèvement en VE. Les deux cycles (coef 84 et 91) sont identiques, que ce soit par rapport à la quantité ou à la proportion de chlorophylle a et phéopigments exportés (64.5% de chlorophylle a). En ME, il y a eu importation de chlorophylle a et phéopigments à hauteur de 1.2 mg/h. Les flux sont les mêmes pendant les deux cycles, avec cependant une proportion de chlorophylle a un peu supérieure lors du second cycle (coef 43) : 45% au lieu de 35% pour le premier cycle (coef 42).

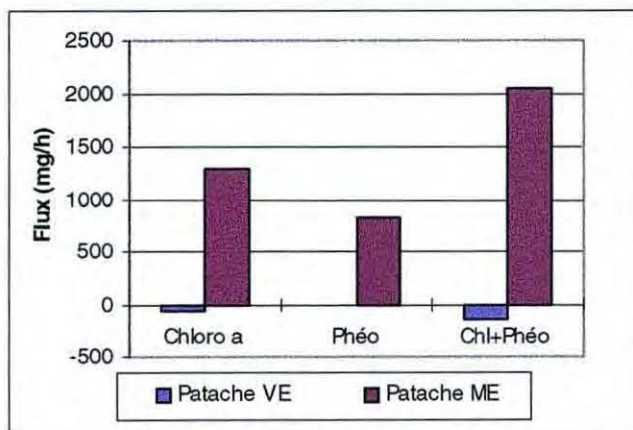


Fig 13: Flux de chlorophylle à la Patache.

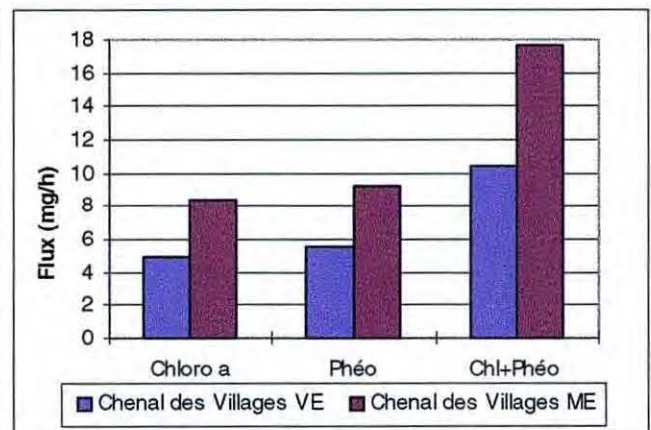


Fig 14: Flux de chlorophylle au Chenal des Villages.

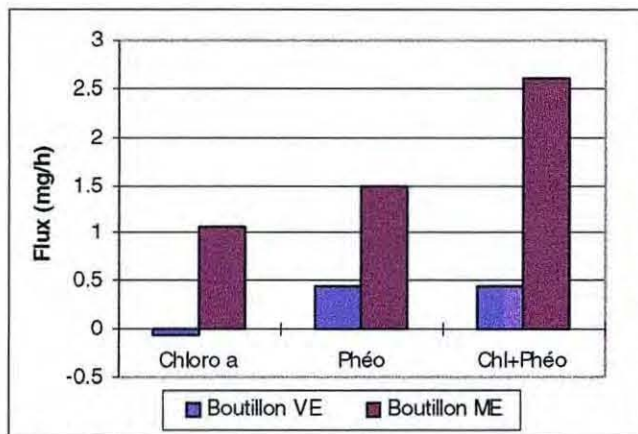


Fig 15: Flux de chlorophylle au Boutillon.

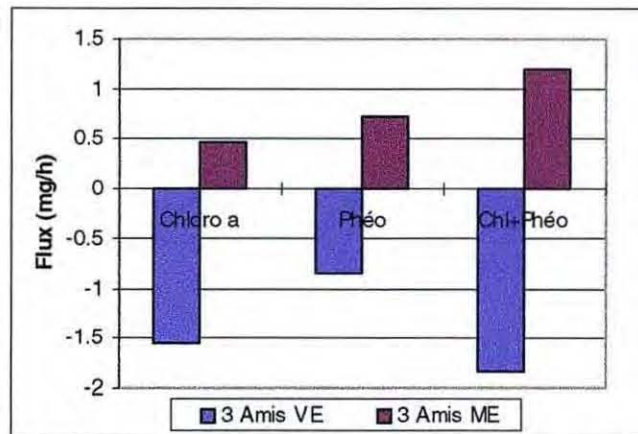


Fig 16: Flux de chlorophylle aux Trois Amis.

3.2.2 Flux de MES

Les flux de MES sont très variables selon les sites. A la Patache, le prélèvement en VE a vu un flux de MES négatif, c'est à dire que des MES ont été exportés (-865 g/h), tandis qu'en ME, des MES ont largement été importés (6690 g/h). La proportion de MIP par rapport au MOP reste cependant sensiblement la même avec environ 80% de MIP pour 20% de MOP. On remarque une différence importante entre les cycles puisque pour le prélèvement en VE, 284 g/h ont été importés lors du premier cycle (coefficient de marée de 83) pour 1196 g/h lors du second (coef 82). En ME, 9803 g/h ont été exportés pendant le premier cycle (coef 42) pour seulement 3414 g/h lors du second cycle (coef 44).

Au Chenal des Villages, les marais ont importé des MES de manière comparable en ME et en VE. En effet, lors du prélèvement en VE, 129 g/h ont été importés pour 119 g/h en ME. De même, il y a peu de différence entre les cycles. 110 g/h ont été importés pendant le prélèvement en VE pendant le premier cycle (coef 103) contre 153 g/h lors du second cycle (coef 96). Pendant le prélèvement en ME, 101 g/h ont été exportés pendant le premier cycle (coef 51) et 138 g/h pendant le second cycle (coef 56). La proportion de MIP par rapport aux MOP est sensiblement la même pour tous les cycles observés. Il y a environ 88% de MIP pour 12% de MOP.

Au Boutillon, des MES ont été importés lors des deux prélèvements. Il y a une importation un peu plus importante en VE avec 19.7 g/h pour seulement 12.4 g/h en ME. Une différence importante entre les cycles a été observée. Lors du premier cycle en VE (coef 84), 4.4 g ont été importés contre 48 g lors du deuxième cycle (coef 81). En ME, 20 g/h ont été importés pendant le premier cycle (coef 53) pour 4.8 g/h lors du second cycle (coef 51). Il y avait 90% de MIP pour 10% de MOP environ pendant tous les cycles, sauf pendant le deuxième cycle de ME ou la proportion de MOP est passée à environ 15%.

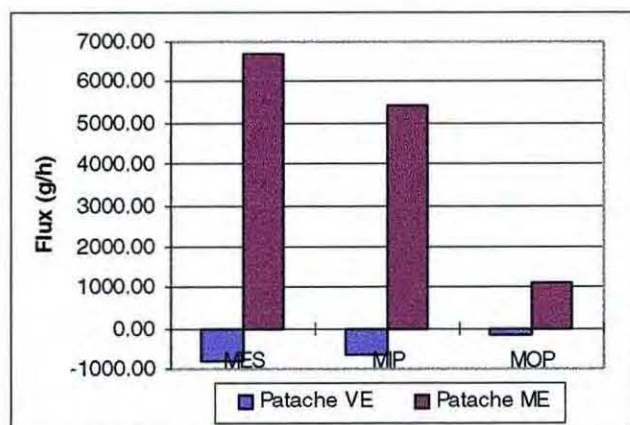


Fig 16: Flux de MES à la Patache.

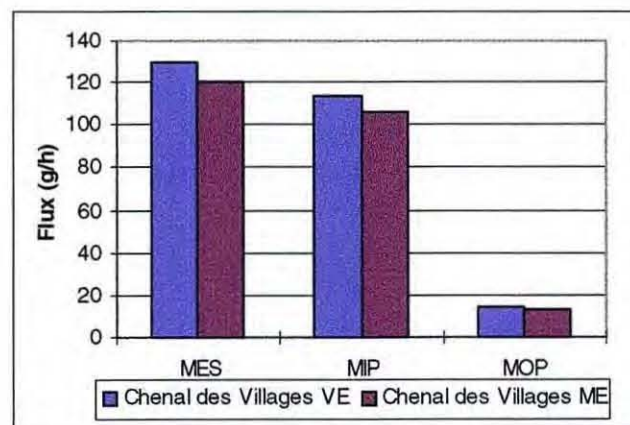


Fig 17: Flux de MES au Chenal des Villages.

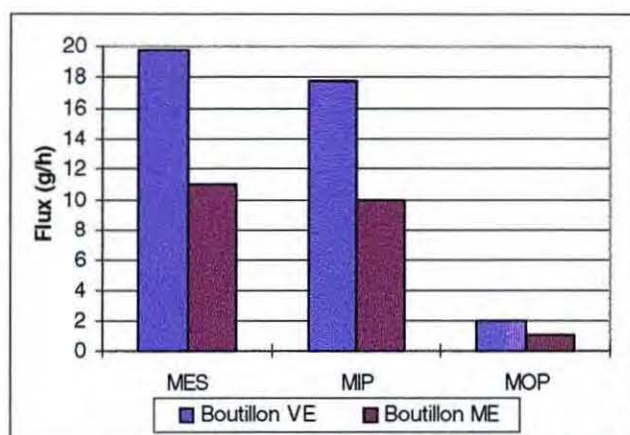


Fig 18: Flux de MES au Boutillon.

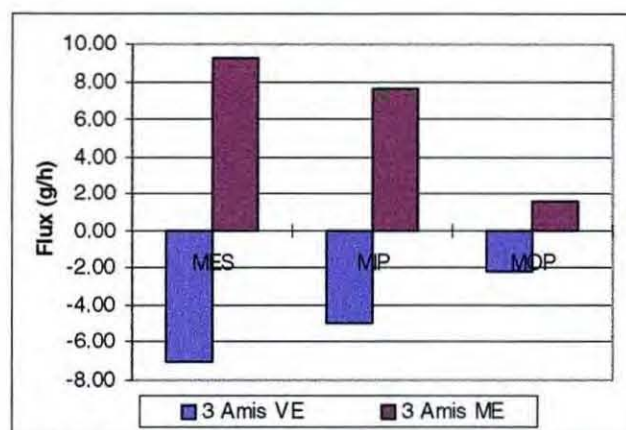


Fig 19: Flux de MES aux Trois Amis.

3.2.3 Flux de sels nutritifs et carbone organique dissous

Les flux de nutriments à la Patache étaient très différents en VE et en ME. Le Fiers a importé une quantité importante de nutriments en ME, alors qu'en VE, il a exporté de l'urée, du NH_4^+ , du NO_2^- , de l'azote organique et importé des NO_3^- , du PO_4^{2-} , du silicium, du COD. Le deuxième cycle en ME (coef 44) a vu une importation de nutriment plus importante que le premier cycle (coef 42). En VE, de l'urée et du NO_2^- ont été exportés lors du premier cycle, tandis que les autres nutriments étaient importés. En revanche, lors du second cycle, du NH_4^+ , du NO_3^- et de l'azote organique étaient exportés alors que tous les autres éléments étaient importés.

C'est au prélèvement en VE au Chenal des Villages qu'ont été relevées les valeurs les plus importantes de flux de nutriment à l'exportation. Il a été exporté plus de nutriments lors du second cycle (coef 96 et 103 pour le premier cycle). En ME au Chenal des Villages, seuls du NO_2^- et du PO_4^{2-} étaient exportés tandis que les autres éléments nutritifs étaient importés. Il y a cependant une différence importante entre les cycles, puisque lors du premier cycle (coef 51), seul le flux de PO_4^{2-} était négatif (export) alors que pendant le second cycle, il y avait que les flux de NH_4^+ , de NO_2^- , et de COD qui étaient positifs.

Les marais du Boutillon ont quant à eux faiblement importé des nutriments en VE excepté pour le Si et le NO_2^- et le COD qui ont été exportés en faibles quantités. Pendant le premier cycle (coef 84), du COD, du silicium et du phosphate ont été importés. Le deuxième cycle a été marqué par une importation d'urée, de NO_2^- et d'azote organique.

En ME, les flux étaient un peu plus importants. Seul de l'urée a été exportée. Pendant le premier cycle (coef 53), les flux mesurés étaient tous positifs (importation), tandis que lors du deuxième cycle (coef 51), seuls du NH_4^+ et du PO_4^{2-} ont été importés.

Aux Trois Amis, tous les flux mesurés en VE étaient positifs, que ce soit pendant le premier ou le second cycle (respectivement coef 84 et 91), sauf pour les flux de NO_3^- et d'azote organique qui étaient négatifs mais très faibles lors du second cycle. Pour le prélèvement en ME, seul de l'urée était exportée. Pendant le premier cycle (coef 42), tous les flux mesurés avaient une tendance à l'importation, tandis que lors du second cycle (coef 43), de l'urée, des nitrates, du silicium et du COD étaient exportés.

C'est donc l'urée et les nitrates qui sont le plus souvent exportés sur l'ensemble des prélèvements effectués (4 prélèvements sur 8 à l'exportation). Cependant, on remarque que souvent, un des deux cycles a une tendance à l'exportation mais l'importation l'emporte sur l'ensemble des deux cycles.

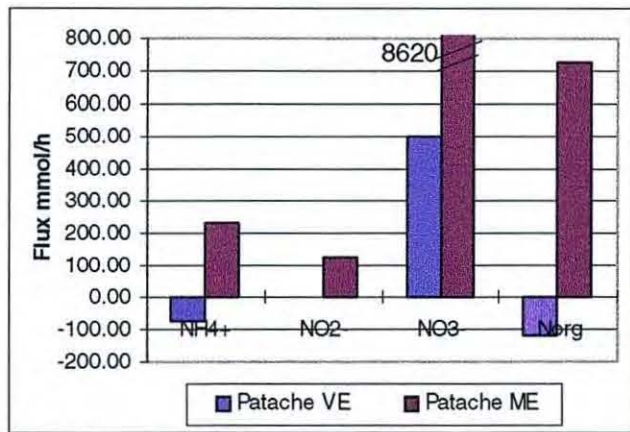


Fig 20: Flux d'azote à la Patache.

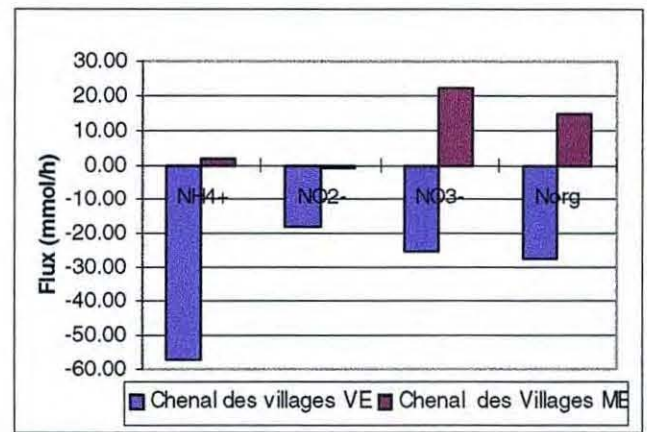


Fig 21: Flux d'azote au Chenal des Villages.

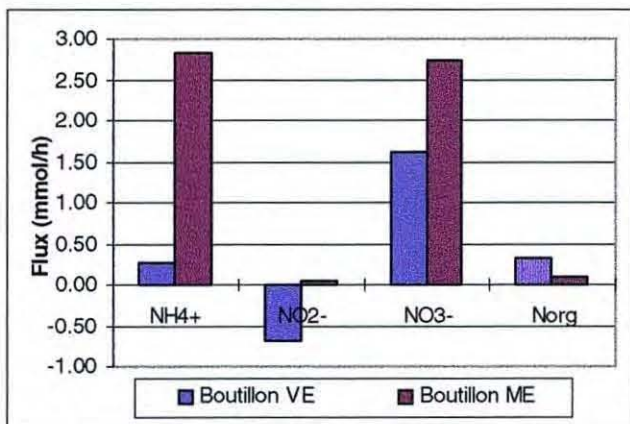


Fig 22: Flux d'azote au Boutillon.

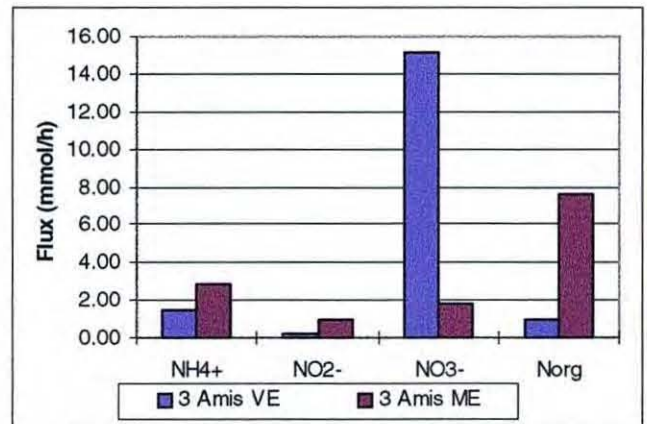


Fig 23: Flux d'azote aux Trois Amis.

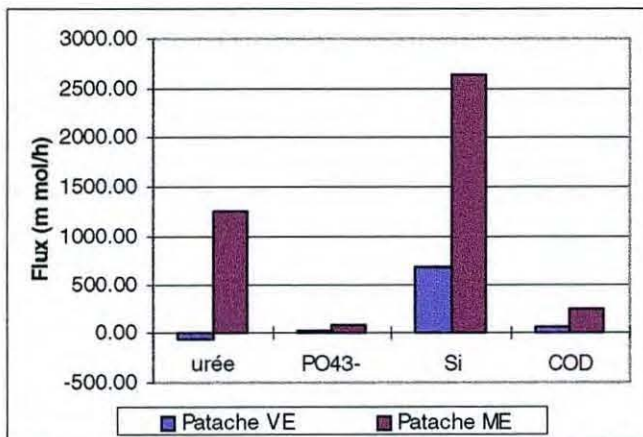


Fig 24: Flux de sels nutritifs et COD à la Patache.

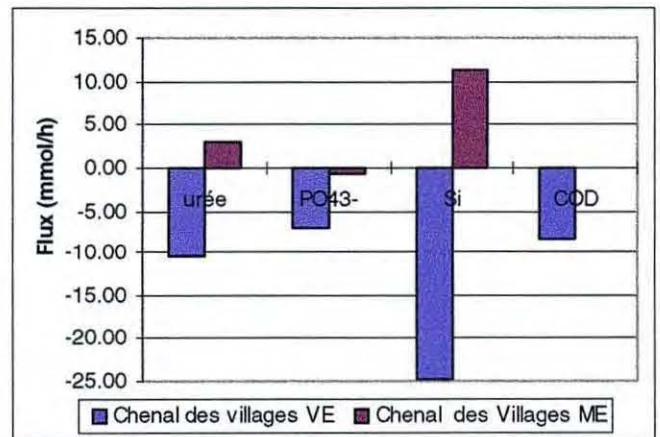


Fig 25: Flux de sels nutritifs et COD au Chenal des Villages.

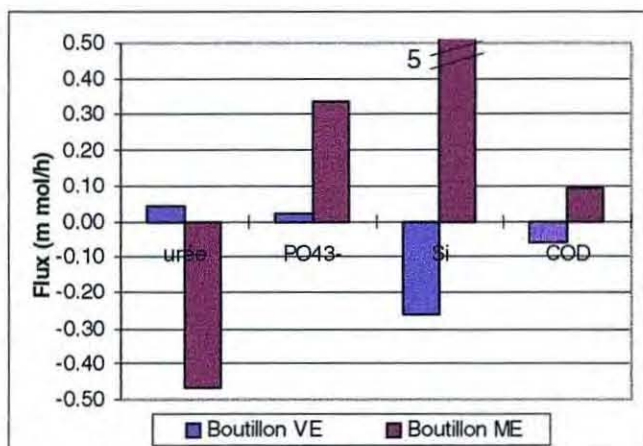


Fig 26: Flux de sels nutritifs et COD au Boutillon.

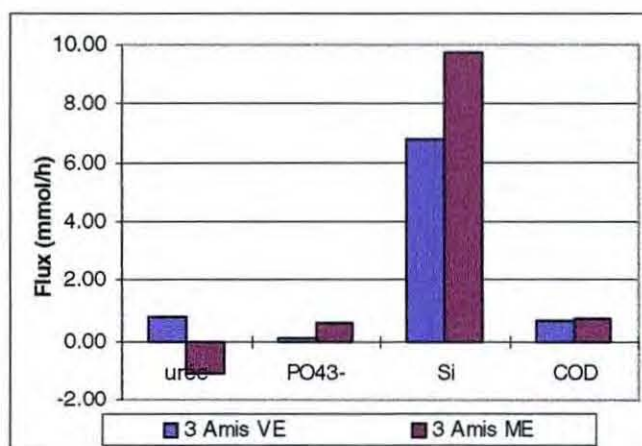


Fig 27: Flux de sels nutritifs et COD aux Trois Amis

4. Discussion

4.1 Comparaison des flux de matière en fonction du lieu de prélèvement

Pour faciliter la comparaison entre les différents sites, les valeurs de flux totaux ont été divisées par la surface alimentée par la prise ou le chenal de chaque point de prélèvement. Pour la Patache, les flux totaux ont été divisés par la surface de la baie du Fiers (1292 ha) et des marais endigués situés autour (1259 ha). Le Fiers d'Ars s'étend donc sur 2551 ha. Le Chenal des Villages alimente une surface de 283 ha (comprenant la ferme des Baleines : 26.5 ha). La prise du Boutillon dessert 7 ha et celle des Trois Amis 5 ha.

En VE, le Fiers et les marais des Trois Amis ont exporté des MES avec une exportation supérieure pour les Trois Amis (fig 28). En ME, les deux sites ont importé des MES, même si l'importation au m^2 était beaucoup plus importante pour l'ensemble du Fiers (fig 29). Cette importation très élevée par rapport aux autres sites est probablement due à la sédimentation notable qui se produit au niveau de la baie même du Fiers. La similitude des tendances des flux entre les marais des Trois Amis et les flux à la Patache doit dépendre du fait que la plupart des marais sont à l'abandon comme la prise des Trois Amis. Elle se situe de plus non loin de la Patache. Les marais du Boutillon et ceux du Chenal des Villages suivent la même tendance, que ce soit en VE ou en ME. Le Boutillon importe cependant plus de MES au m^2 que le Chenal des Villages. Sornin (1981) a montré dans le bassin de Marennes-Oléron que la présence d'huîtres peut effectivement augmenter sensiblement la sédimentation. Par contre, l'importation peu importante en VE au Chenal des Villages ne semble pas être en relation avec les rejets effectués par la ferme des Baleines. Elle fonctionne en effet en circuit fermé en ME, mais le flux de MES était légèrement moins important qu'en VE.

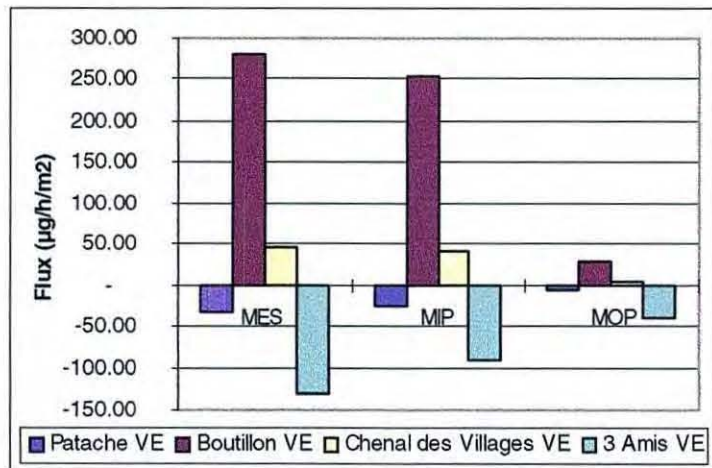


Fig 28 : Comparaison des flux de MES en VE.

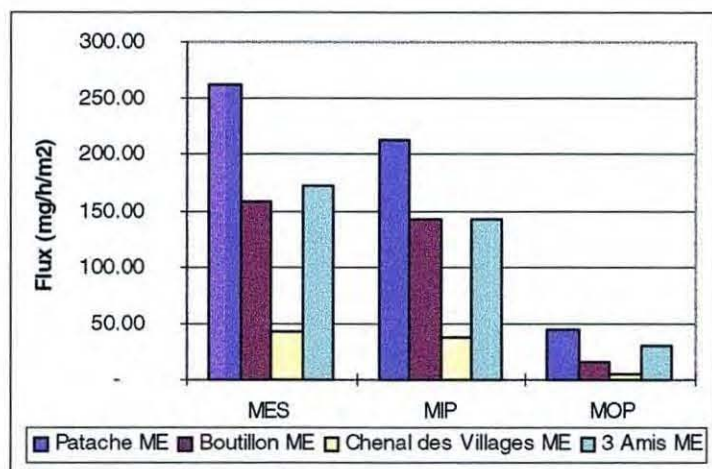


Fig 29 : Comparaison des flux de MES en ME.

Les chlorophylles (fig 30-31) varient sensiblement de la même manière que les MES. Il y a en effet une forte corrélation entre ces deux flux.

$$\text{Chl a+Phéo} = 0.3002 * \text{MES} - 19.742$$

$$R^2 = 0.9808$$

Prou (1991) explique ce phénomène par le fait que la remise en suspension des sédiments se fait également pour le phytoplancton (notamment le phyto-benthos) posé sur le fond. La corrélation entre les concentrations de MES et de chlorophylle a et phéopigments se retrouve donc au niveau des flux.

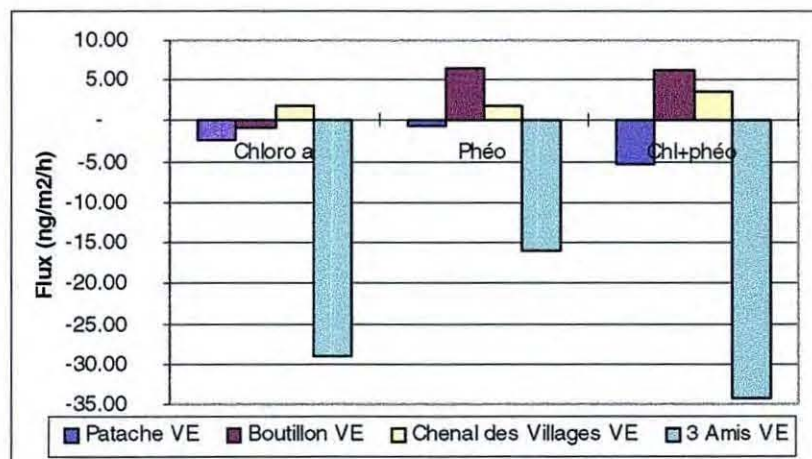


Fig 30 : Comparaison des flux de chlorophylles en VE.

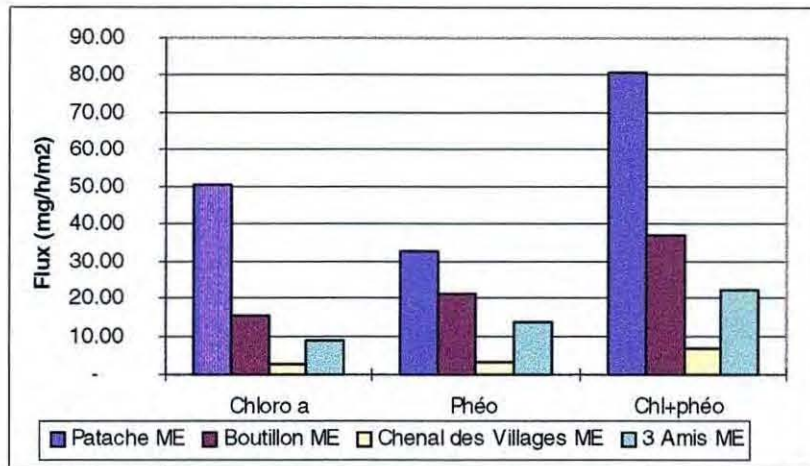


Fig 31 : comparaison des flux de chlorophylles en ME.

En ce qui concerne les flux de nutriments, le marais des Trois Amis importe des sels nutritifs et du COD, que ce soit en VE ou en ME (fig 32 à 35). Il s'agit du marais "témoin", car c'est le seul à l'abandon. D'autres études dans les marais du sud est des Etats-Unis ont également montré des importations de nutriments surtout pendant l'été. Cependant ces auteurs faisaient bien la différence entre marais jeunes et immatures et marais plus vieux qui eux exportent des nutriments (Spurrier and Kjerfve, 1988; Whiting et al., 1989; Dame and Gardner, 1993; Childers et al, 1993). Les marais du Fiers ressembleraient donc plutôt aux marais Américains immatures. La comparaison reste toutefois difficile, car il s'agit de marais "naturels" (non modifiés par l'homme sauf par l'apport éventuel d'engrais par lessivage des terres agricoles) et ce sont des marais à *Spartina alterniflora*.

Au Chenal des Villages, en VE, il y a exportation d'azote, d'urée, de phosphore, de silicium et de COD. Cela est probablement dû à la ferme des Baleines qui fonctionne en circuit ouvert en VE et relâche donc ses effluents directement dans le Chenal des Villages. Ils sont toutefois sensiblement différents des flux en ME qui sont nuls où à l'importation car la ferme des Baleines fonctionne alors en circuit fermé.

Les marais du Boutillon montrent en général des flux à l'importation ou quasiment nuls, sauf en VE pour les nitrites et le silicium et en ME pour l'urée. Ils sont cependant beaucoup moins importants que pour les Trois Amis, probablement à cause de la présence des huîtres qui produisent de l'ammonium (qui va être transformé en Nitrites et nitrates) et tendent donc à en limiter l'importation. La présence d'huîtres peut également enrichir les sédiments en azote, qui aura tendance à être relâché au printemps et en automne en raison d'une reminéralisation rapide des biodépôts (Feuillet-Girard et al, 1988).

En ME à la Patache, les flux suivent la même tendance que le marais des Trois Amis (sauf pour l'urée qui est exportée aux Trois Amis). Ils sont cependant beaucoup moins importants, à part le flux de nitrate qui montre une importation supérieure. En VE, les flux sont faibles à nuls, sauf pour le NO_3^- et le silicium qui suivent également la même tendance que les Trois Amis. Ces premiers résultats tendraient donc à montrer que la baie même du fiers aurait une tendance à l'importation moins grande que les marais endigués, voire une tendance à l'exportation, pour les nutriments. Il reste cependant à confirmer cette hypothèse car le nombre de prélèvement est faible et ils ont été effectués à une seule saison.

Il faut de plus prendre en compte l'absence de données sur la pluie qui peut être un apport non négligeable de nutriments, et le vent qui peut influencer les flux (Riley et Chester, 1978).

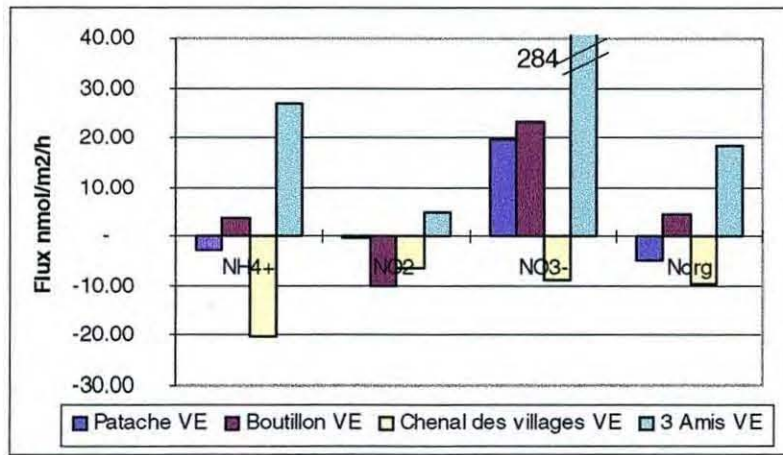


Fig 32 : Comparaison des flux d'azote en VE.

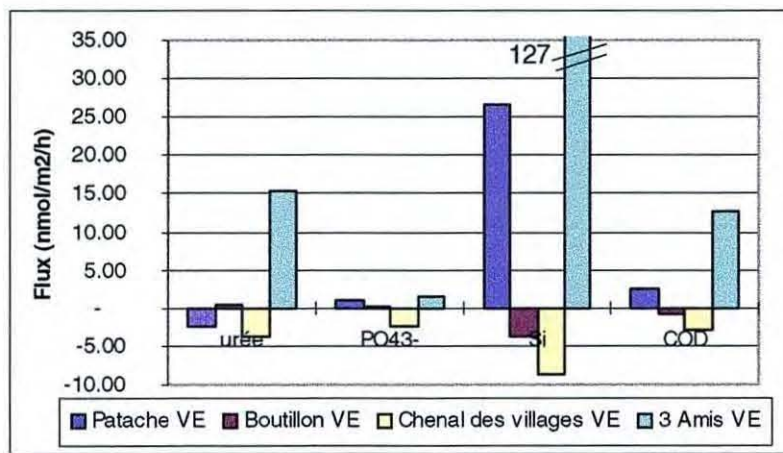


Fig 33 : comparaison des flux de sels nutritifs et de COD en VE.

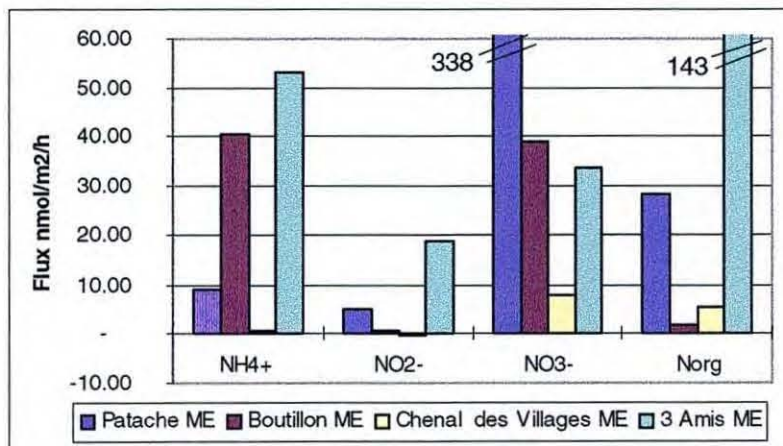


Fig 34 : comparaison des flux d'azote en ME.

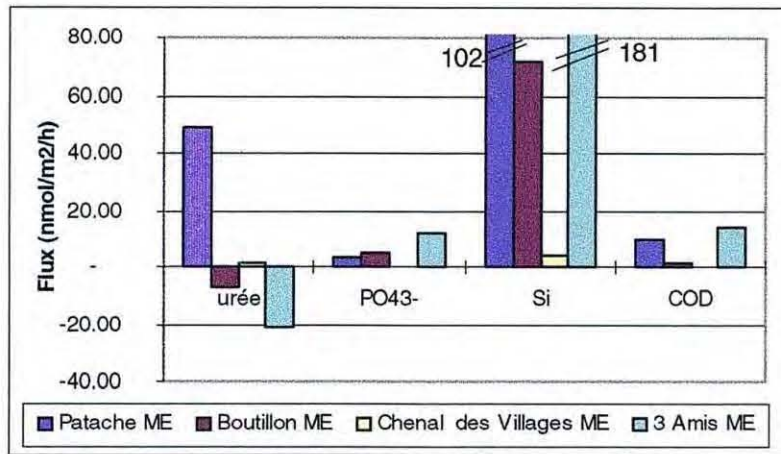


Fig 35 : comparaison des flux de sels nutritifs et de COD en ME.

Pour l'ensemble des cycles, une relation a été observée entre les flux de MES et de PO_4^{2-} ($\text{PO}_4^{2-} = 0.0102 \cdot \text{MES} + 4.8982$, $R^2 = 0.7068$). Pomeroy (1981) et Childers (1993) indiquent en effet que les échanges de phosphates entre l'eau et les sédiments sont très rapides en raison de la nature géochimique des phosphates.

De même, une relation a été trouvée entre flux de chlorophylles et flux de COD ainsi qu'avec les flux d'azote total (Chloro+Phéo = $0.2081 \cdot \text{N}_t - 6.9278$, $R^2 = 0.8382$; Chloro+Phéo = $7.4531 \cdot \text{COD} - 40.528$, $R^2 = 0.7732$). Ces deux éléments sont en effet très importants dans la croissance du phytoplancton.

4.2 Intégration à l'ensemble du Fiers

Les résultats obtenus peuvent être étendus à l'ensemble du Fiers grâce aux données de surface des différentes activités (carte 3). Les marais à l'abandon ou en aquaculture extensive (qui peuvent être considérés comme abandonnés en raison d'un entretien quasiment nul) représentent respectivement 572 ha et 125 ha. Ces marais sont représentés par la prise des Trois Amis. L'activité conchylicole tel les marais du Boutillon représente 156.5 ha. Enfin, les marais desservis par le Chenal des Villages où se situe la ferme des Baleines ont une superficie de 282 ha. La saliculture n'est ici pas prise en compte, car les marais salants ne fonctionnent pas à cette époque.

En VE, l'activité conchylicole tend à importer 440 g/h de MES, la ferme des Baleines 113 g/h et les marais à l'abandon tendent à exporter 644 g/h. En ajoutant ces 3 chiffres, on obtient le flux de MES pour l'ensemble de marais endigués. En comparant ce flux au prélèvement à la Patache, on obtient théoriquement le flux induit par la baie du Fiers (marais non endigués).

Selon ces résultats (fig 35-36), la baie importerait des MOP en ME alors qu'elle exporte des MES et MIP. Cela est dû à la proportion de MOP aux Trois Amis qui était beaucoup plus importante que pour les deux autres sites. La baie exporterait en VE et importerait en ME plus de sédiments que tous les marais endigués réunis, pour une surface relativement proche (1136 ha de marais endigués sans les marais salants, pour 1292 ha de baie).

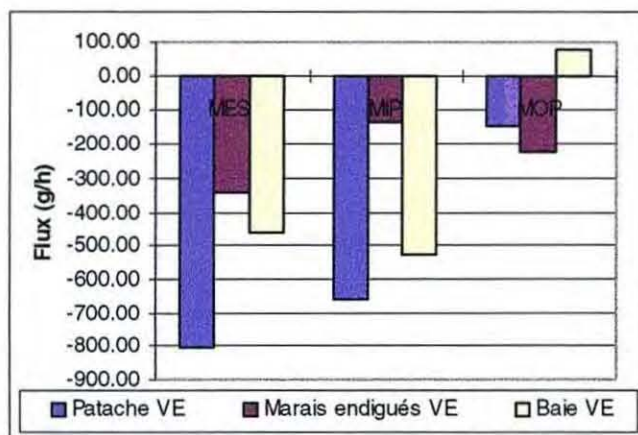


Fig 36 : Répartition des flux de MES dans le Fiers d'Ars en VE.

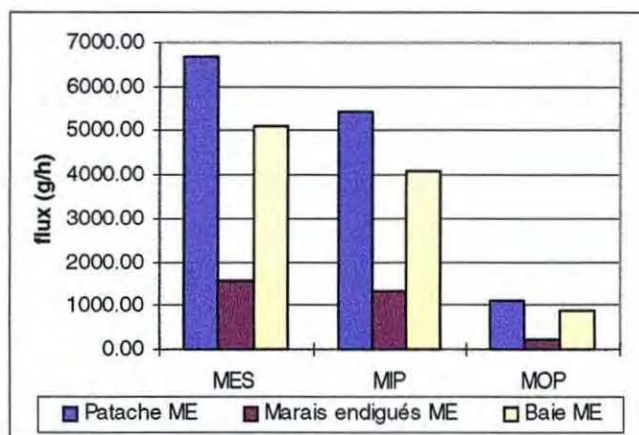


Fig 37 : Répartition des flux de MES dans le Fiers d'Ars en ME.

En VE, la baie du Fiers importerait des chlorophylles mais moins que les exportations des marais endigués. Ces exportations sont dues uniquement aux marais abandonnés (les marais de la ferme des Baleines et les claires ont en effet subi une importation ou un flux nul). En ME, la baie aurait par contre une importation de chlorophylles bien supérieure aux marais endigués (fig 36-37).

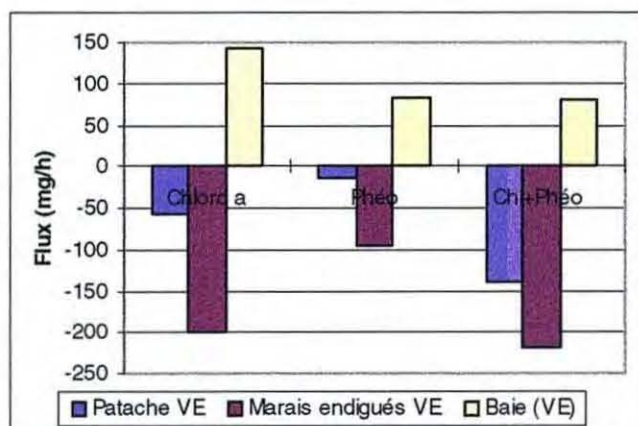


Fig 38 : Répartition des flux de chlorophylle dans le Fiers d'Ars en VE

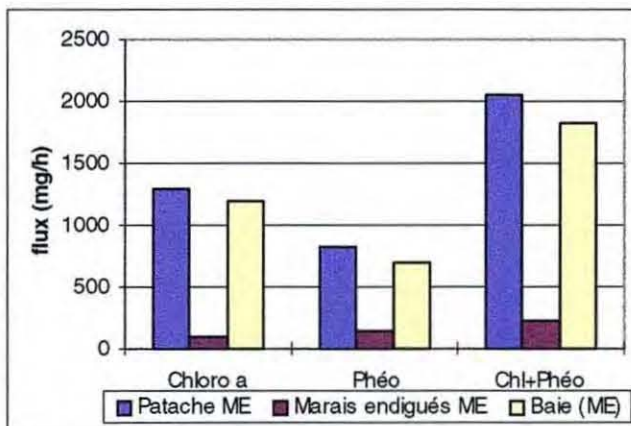


Fig 39 : Répartition des flux de chlorophylle dans le Fiers d'Ars en ME.

La baie semble plutôt exporter des sels nutritifs en VE par rapport aux marais endigués qui en importent en plus grande quantité. En revanche, en ME, la baie exporte de l'ammonium et de l'azote organique mais importe de l'azote et du silicium. Les marais endigués importent de l'azote, et du silicium, et ont des flux d'urée, de PO_4^{2-} et de COD, très faibles. (fig 38 à 41)

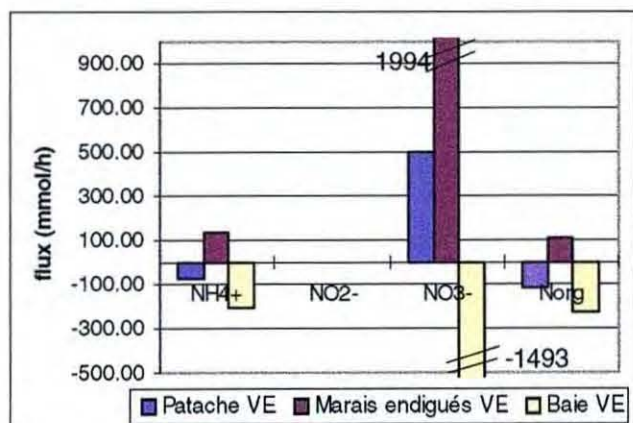


Fig 40 : Répartition des flux d'azote dissous dans le Fiers d'Ars en VE

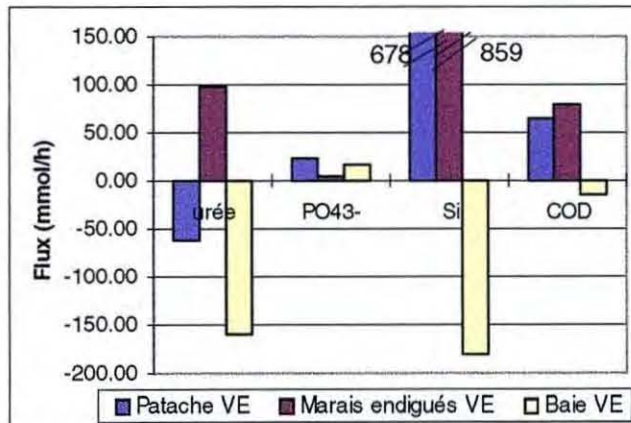


Fig 41 : Répartition des flux de sels nutritifs dans le Fiers d'Ars en VE.

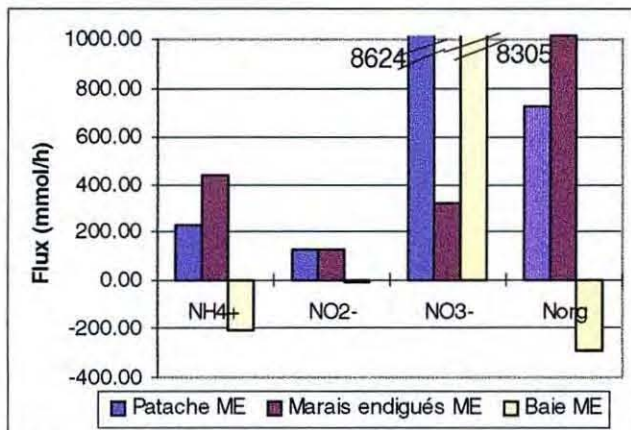


Fig 42 : Répartition des flux d'azote dissous dans le Fiers d'Ars en ME

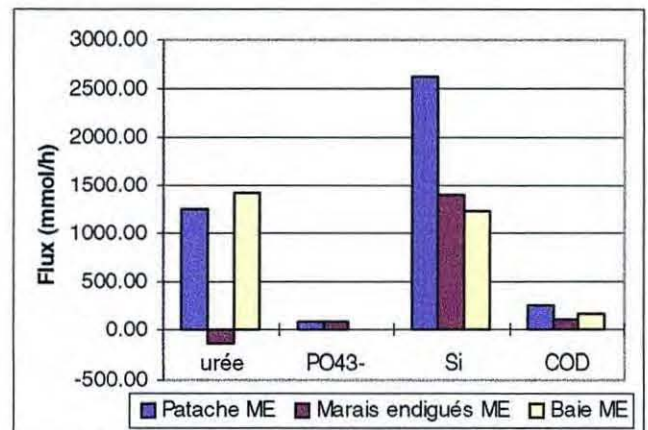


Fig 43 : Répartition des flux de sels nutritifs dans le Fiers d'Ars en ME.

Les comparaisons des flux entre les différentes activités permettent également de montrer que la ferme des Baleines rejette plus de sels nutritifs que tous les autres marais (notamment les marais conchylicoles). Cela implique que les flux à l'exportation à la Patache sont probablement dus à cette exploitation.

D'autres part, les marais conchylicoles entraînent une sédimentation globalement plus importante que les marais abandonnés (qui exportent en VE) pour une surface beaucoup moins importante (156 ha pour 697 ha de marais abandonnés). La raison est probablement le piégeage des sédiments par les huîtres.

La somme des flux des cycles de VE et ME afin d'obtenir la résultante des flux, montre une large importation de MES, de chlorophylle et de nutriments (surtout de NO_3^- et de silicium) pour l'ensemble du Fiers d'Ars. Les marais endigués importent beaucoup moins de MES que la Baie et montrent un flux de chlorophylle quasiment nul. Ils importent en revanche des nutriments, alors que la baie semble exporter du NH_4^+ et de l'azote organique et importer des nitrates, de l'urée, des silicium et du carbone organique dissous.

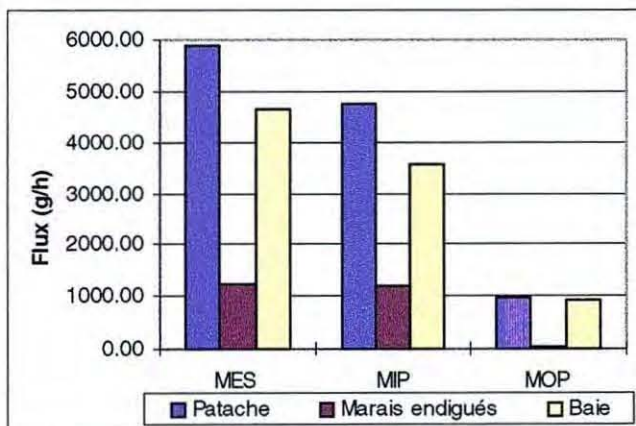


Fig 44 : Bilan ME-VE des flux de MES dans le Fiers

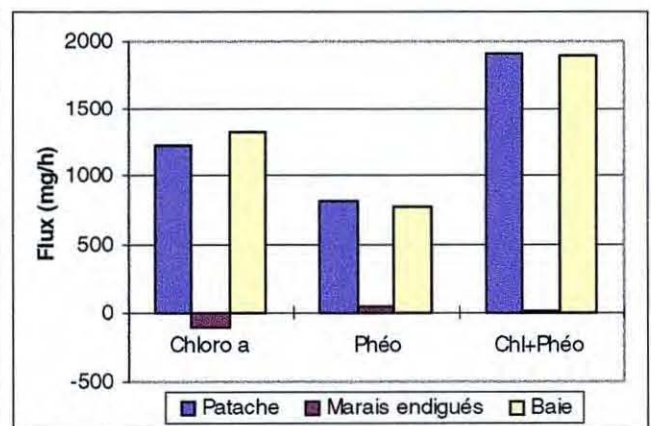


Fig 45 : Bilan ME-VE des flux de chlorophylle dans le Fiers

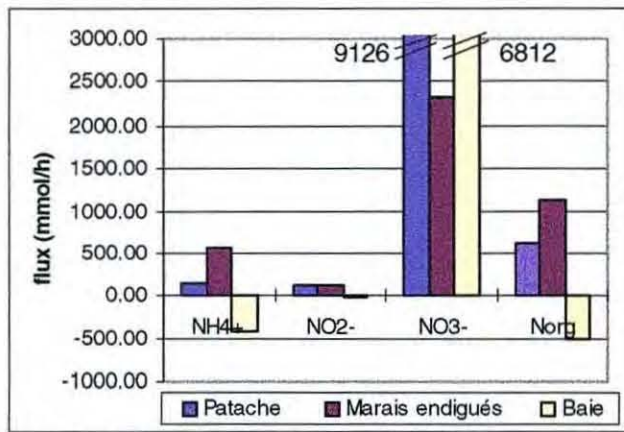


Fig 46 : Bilan ME-VE des flux d'azote dans le Fiers.

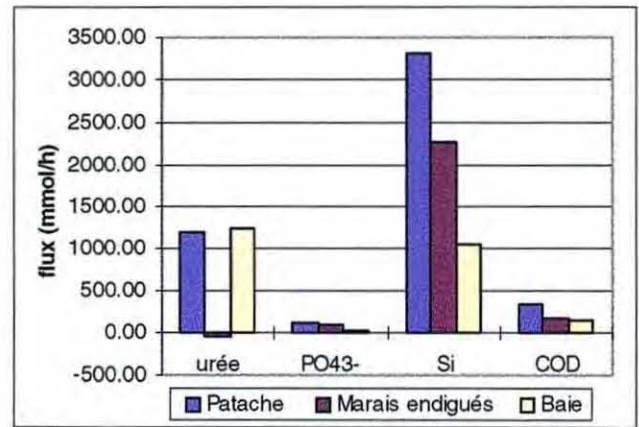


Fig 47 : Bilan ME-VE des flux de sels nutritifs dans le Fiers.

CONCLUSION

Cette étude hydrologique a permis d'estimer des flux d'éléments dissous, de chlorophylle et de MES sur différents sites autour de la baie du Fiers d'Ars; elle a montré une tendance générale à l'importation. Il y a toutefois une différence importante entre les marées de vives eaux et de mortes eaux où les flux semblent être d'avantages exportateurs. De même, on observe une grande variabilité entre les sites. Ce sont les marais à l'abandon qui importent le moins de MES et chlorophylles, tandis que les marais conchylicoles en importent le plus. Pour les éléments dissous en revanche, les activités intensives montrent une tendance à l'exportation, tandis que les marais de référence en importe plus que les claires à huîtres. Les marais naturels (baie du Fiers) semblent importer davantage de MES et chlorophylles mais moins de nutriments que les marais endigués.

L'étude en cours représente une première approche d'estimation de flux de matières en fonction des activités s'exerçant dans les marais. Une variation saisonnière voire annuelle de ces flux reste toutefois intéressante à estimer. Pour cela, la même étude pourrait être menée à différentes saisons pour ces différents sites. Par ailleurs, il serait intéressant de prélever à différents points sur plusieurs jours consécutifs (Childers et al, 1993), afin d'estimer les flux aux divers sites pour des conditions similaires. Enfin, une prise en compte plus précise des conditions météorologiques (vitesse et direction du vent, précipitations et nutriments présents dans les pluies) permettrait de mieux comprendre le comportement des marais.

La présente étude servira de support pour l'établissement d'un modèle de simulation hydrologique qui tournera sur interface SIG (système d'information géographique). Ce dernier présente l'avantage de superposer plusieurs couches de données, à savoir des données hydrologiques, bathymétriques, d'occupation des sols (extension de chaque activité autour de la baie du Fiers d'Ars), la répartition du réseau hydraulique...

La finalité de cette étude est l'estimation de l'effet de l'utilisation de l'eau (activité et mode de gestion) sur la charge en nutriments à partir de marais endigués sur la zone littorale (baie du Fiers d'Ars).

BIBLIOGRAPHIE

- A E Alpine (1981). Can *in vivo* fluorescence be used to estimate chlorophyll a in estuaries ? Estuaries, 4, Poster.
- A Aminot, M Chaussepied (1983). Manuel des analyses chimiques en milieu marin. Brest : CNEXO (Centre National pour l'Exploitation des Océans), 395 p.
- D L Childers, S Cofer-Shabica, L Nakashima (1993). Spatial and temporal variability in marsh-water column interactions in a southern USA salt marsh estuary. Marine Ecology Progress Series, vol. 95 : p 25-38.
- R F Dame, L R Gardner (1993). Nutrient processing and the development of tidal creek ecosystems. Marine Chemistry, 43 : p 175-183.
- M Feuillet-Girard, M Héral, J M Sornin, J M Deslous-Paoli, J-M Robert, F Mornet et D Razet (1988). Eléments azotés de la colonne d'eau et de l'interface eau-sédiment du bassin de Marennes-Oléron : influence des cultures d'huîtres. Aquat. Living Resour., 1 : p 251-26
- D Gouleau, M Feuillet-Girard, J Germaneau, S Robert (1996). Effets de l'assèchement des bassins ostréicoles sur le cycle biogéochimique de nutriments azotés : ammonification préférentielle. Oceanologia Acta, Vol. 19 n°2 : p101-115.
- L R Lafont (1991). Le Fiers d'Ars : étude des conditions hydrologiques et sédimentologiques naturelles : conséquence sur l'aménagement : rapport de recherche. Syndicat intercommunal à vocation multiple de l'île de Ré; Association "RIVAGES; Ecole Pratique des Hautes Etudes; responsable scientifique L R Lafont.
- C J Lorenzen (1966). A method for the continuous measurement of *in vivo* chlorophyll concentration. Deep Sea Research, Vol. 13 : p 223-227.
- J Pages, F Gadel (1990). Dissolved organic matter and UV absorption in a tropical hyperhaline estuary. The Science of the Total Environment, 99 : p 173-204.
- L R Pomeroy, R G Wiegert (1981). The ecology of a salt marsh. chap. 2, 8.
- J Prou (1991). Evolution temporelle de la composition de la colonne d'eau pendant un cycle vives eaux-mortes eaux. Mémoire présenté pour obtenir le grade de cadre de recherche IFREMER.
- J P Riley, R Chester (1978). Chemical oceanography.
- J M Sornin (1981). Processus sédimentaires et biodéposition liés à différents modes de conchyliculture. Thèse 3^e cycle, Univ Nantes.
- P E Speer, D G Aubrey (1984). A study of non-linear tidal propagation in shallow inlet/estuarine systems. Part II : Theory. Estuarine, Coastal and Shelf Science (1985), 21 : p 207-224.

- D Spurrier, B Kjerfve (1988). Estimating the net flux of nutrients between a salt marsh and a tidal creek. *Estuaries*, Vol. 11 : p 10-14.
- I Weiss (1997). Le Fiers d'Ars : approche de la variabilité des peuplements floristiques et de l'hydrologie d'une zone humide littorale anthropisée.
- G J Whiting, H N McKellar, J D Spurrier, T G Wolaver (1989). Nitrogen exchange between a portion of vegetated salt marsh and the adjoining creek. *Limnol. Oceanogr.*, 34(2) : p 463-473.