

HYDROMAR

VARIABILITE SPATIALE DE LA QUALITE HYDROLOGIQUE DES EAUX COTIERES ALIMENTANT LES MARAIS SALES ENDIGUES ET LES CLAIRES DE CHARENTE-MARITIME

1. Travaux de l'année 2001

Travail coordonné et mis en forme par Jérôme HUSSENOT¹, Nicole FAURY², Alain FILLON³ et Audrey GALVAN⁴

PARTICIPANTS PRELEVEMENTS ET ANALYSES :

Loïc ANRAS⁵, ALAIN BODOY¹, ANNE-LISE BOUQUET⁶, MARTINE BRERET¹, JEAN-MICHEL CHABIRAND³, GABRIEL CHARPENTIER³, JOHN DUCROU², NICOLE FAURY², ALAIN FILLON³, PHILIPPE GEAIROU³, MARCEL GUILLAUT¹, PATRICE GUILPAIN², GAËL GUILLOU¹, JAMES GRIZON², JEROME HUSSENOT¹, LUCETTE JOASSARD¹, DIDIER LEGUAY¹, OLIVIER LE MOINE², DOMINIQUE MILLE⁶, FRANÇOISE MORNET¹, DANIEL RAZET², STEPHANE ROBERT², CELINE VERITE¹.

¹Centre de Recherche sur les Ecosystèmes Marins et Aquacoles (Ifremer CNRS), 17137 L'Houmeau

²Ifremer La Tremblade, Laboratoire Conchylicole Poitou-Charentes, 17390 Ronce-les-Bains

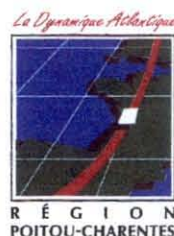
³Ifremer La Rochelle, Département Environnement et aménagement Littoral, 17137 L'Houmeau

⁴Institut Supérieur de l'Environnement, 11, avenue Jean d'Alembert, B.P.131, 78196 Trappes Cedex

⁵Forum des Marais Atlantiques, 2 quai aux vivres 17300, Rochefort

⁶Centre Régional d'Expérimentation et d'Application Aquacole, Prise de Terdoux, 17480 Le Château d'Oléron

Ifremer



RESUME

Un protocole d'échantillonnage et de mesure de la qualité des eaux marines pénétrant dans les marais salés endigués et claires ostréicoles du littoral de la Charente-Maritime a été mis en place en 2001 dans le cadre du projet IFREMER /Poitou-Charentes sur la « gestion durable des activités anthropiques en marais et zone littorale ».

Ce réseau d'observation sera poursuivi chaque année tout au long de la période du contrat de plan, lors d'une pleine mer de vives eaux d'automne (Novembre ou Décembre), en recherchant des conditions de marée théoriquement similaires (coefficient et heures de pleine mer proches chaque année d'observation).

La première campagne a montré l'importance de l'eau douce dans les apports de matière dissoute minérale (sels nutritifs azotés, phosphorés et silicatés) comme organique (carbone organique dissous). En 2002 l'azote et le carbone organique dissous pourront être analysés avec plus de finesse, en raison de l'acquisition très récente d'un analyseur spécifique, implanté au CREMA, ayant bénéficié d'un cofinancement CPER.

La qualité des eaux littorales pénétrant dans le marais charentais semble influencée à la fois par les apports terrigènes (eau douce des rivières), les activités conchylicoles en mer, et la géomorphologie des fonds marins au voisinage des stations observées. Les eaux sont plus pauvres en chlorophylle a (indicateur de la disponibilité en nourriture pour les coquillages filtreurs) dans le secteur sud du littoral charentais.

Le phosphore apparaît à cette période de l'année l'élément particulièrement limitant dans toutes les eaux qui alimentent le marais salé charentais. Ces résultats ont été confirmés par l'étude complémentaire sur la capacité trophique des eaux des chenaux d'alimentation pour les diatomées, réalisée simultanément par nos collègues de l'Université de Nantes.

Il est apparu d'autre part que les eaux pouvaient mettre beaucoup de temps pour parvenir, sans modification profonde de la qualité, aux entrées des marais endigués. L'étude complémentaire menée en janvier 2002 sur le chenal des Eveillards de l'île de Ré a montré que pour une distance de 700 m environ, il fallait attendre, en vives-eaux moyennes, au moins l'heure de la pleine mer pour que le marais puisse obtenir une eau de la qualité « Fosse de Loix/entrée de chenal », alors que à l'entrée du chenal on avait déjà cette qualité deux heures à deux heures trente avant la pleine mer.

TABLE DES MATIERES

RÉSUMÉ	2
TABLE DES MATIÈRES	3
1. INTRODUCTION	4
2. LE PROTOCOLE HYDROMAR	5
2.1. LES LABORATOIRES PARTICIPANTS	5
2.2. LA MISE AU POINT DE L'ÉCHANTILLONNAGE	5
2.2.1. Variabilités spatiale et temporelle	5
2.2.2. Zonation pour la variabilité spatiale	7
2.2.3. Variabilité temporelle	9
2.2.4. Loupe spatio-temporelle	10
2.3. LE PROTOCOLE ANALYTIQUE	11
2.3.1. La préparation du matériel de terrain	11
2.3.2. La technique de prélèvement	11
2.3.3. Le premier traitement au laboratoire	11
2.3.4. Les paramètres mesurés	12
2.3.5. La répartition des analyses par laboratoire	12
2.3.6. Les méthodes d'analyse	22
2.3.7. L'analyse de la matière particulaire	23
3. LES RÉSULTATS	25
3.1. VARIATIONS SPATIALES LE LONG DE LA CÔTE DE CHARENTE-MARITIME (ENTRÉE DES CHENAUX)	25
3.1.1. Résultats par paramètre	25
3.1.2. Résultats par zone	30
3.1.3. Les corrélations entre les paramètres	31
3.2. VARIATIONS SPATIO-TEMPORELLES SUR UN CIRCUIT CHENAL-MARAIS DE L'ÎLE DE RE (ETUDE CREMA EQUIPE 3)	33
4. DISCUSSION	35
4.1. LES DIFFÉRENTES INFLUENCES	35
4.1.1. Influence de l'eau douce	35
4.1.2. Influence des zones conchylicoles	35
4.1.3. Influence de la géomorphologie	36
4.1.4. Influence de la végétation halophyte	38
5. CONCLUSION	38
6. BIBLIOGRAPHIE	39

1. INTRODUCTION

Les marais salés endigués de Charente-Maritime sont l'objet de différentes activités maritimes (sel, affinage ostréicole, vénériculture, péneiculture, pisciculture marine, tourisme vert, réserve naturelle) et « vivent » des échanges plus ou moins réguliers d'eau de mer ou saumâtre qui les baignent par l'intermédiaire de chenaux reliés à la mer. Ces derniers suivent les oscillations de la marée, et permettent à marée haute de vives-eaux moyennes de faire boire (alimenter en eau de mer), par simple gravité la plupart du temps, les marais salés endigués.

Un programme de recherche pluriannuel Etat-Région (IFREMER/Poitou-Charentes), intitulé « Gestion durable des activités anthropiques en marais et zone littorale », a été engagé pour les années 2000 à 2006. L'objectif de ce programme, mené en partenariat par le CREMA - L'Houmeau, IFREMER - La Tremblade (LCPC : Laboratoire Conchylicole Poitou-Charentes) et l'Université de Nantes (LBBM-ISOMER), a pour objectif de mieux connaître la zone des marais salés endigués du littoral charentais et leurs usages afin d'aboutir à des schémas d'aménagement durable.

Le travail présenté ici concerne la partie évaluation de la qualité hydrologique de l'eau des alimentant les différents marais salés endigués du littoral charentais. Il a consisté en 2001 à :

1. Définir un protocole d'observation sur l'ensemble du littoral du département, au niveau des principaux chenaux d'alimentation du marais salé endigué, pour avoir une évaluation de la variabilité spatiale
2. Mettre en place les équipes nécessaires et réaliser la première campagne du réseau « Hydromar » en Novembre 2001
3. Traiter les données obtenues lors de la première campagne
4. Décider des actions à poursuivre en 2002 et durant la période du CPER

2. LE PROTOCOLE HYDROMAR

2.1. LES LABORATOIRES PARTICIPANTS

Le LCPC et le CREMA-L'Houmeau ont établi ensemble le protocole de prélèvement et d'analyse (Annexe 1). Le laboratoire ISOMER de l'Université de Nantes a été sollicité pour des analyses biologiques (tests de fertilité) permettant d'évaluer les éléments nutritifs pouvant limiter la production primaire microalgale (Turpin et al., 2002). Pour les prélèvements trois autres équipes, dont deux externes à l'Ifremer ont été associées : la DEL-LR de l'Ifremer à L'Houmeau ainsi que le FMA de Rochefort et le CREA de l'île d'Oléron.

2.2. LA MISE AU POINT DE L'ECHANTILLONNAGE

2.2.1. Variabilités spatiale et temporelle

Pour cette campagne, des échantillons d'eau ont été recueillis sur 40 stations disposées sur l'ensemble du département de Charente-Maritime (figures 1 et 2, tableau 1). Ceci a été effectué dans l'intervalle d'une heure et demie avant la haute mer pour tous les points et le même jour en vives-eaux. L'analyse de ces prélèvements a permis d'évaluer la qualité de l'eau en fonction du lieu.

- Deux stations de la campagne Hydromar, une au nord sur l'île de Ré et l'autre au sud sur la Seudre, ont bénéficié, le même jour que la campagne précédente, de plusieurs prélèvements étalés dans le temps (figure 1) : entre 2 heures avant et 1 heure après la pleine mer (PM). L'objectif des prélèvements sur ces 2 stations a été d'apprécier la qualité de l'eau en fonction du temps (traitement ultérieur des données, lorsque plusieurs campagnes seront réalisées).

- Des prélèvements ont été faits au niveau de la station « Les 4 Eveillards » sur l'île de Ré (figures 1 et 3), mais cette fois-ci sur 3 points (A, B et C) le long d'un chenal alimentant un petit marais halophyte. Cette étude réalisée sur ce site avait pour objectif de voir l'évolution de la qualité de l'eau du marais en fonction du parcours de l'eau entre l'entrée du chenal et l'arrivée dans un marais.

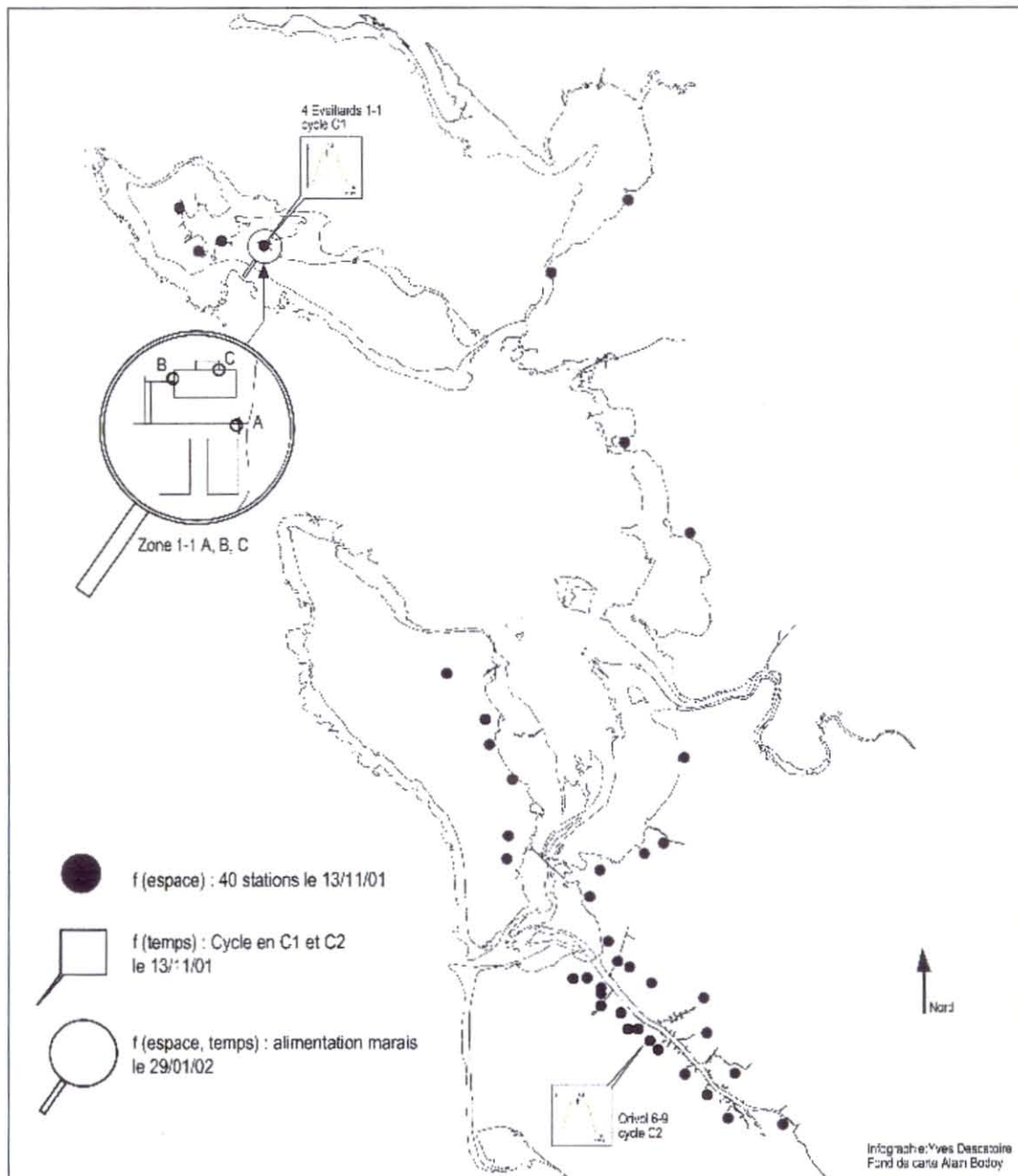


Figure 1 : Stations de prélèvement et types d'étude effectuées sur les circuits d'alimentation des marais salés endigués de Charente-Maritime

2.2.2. Zonation pour la variabilité spatiale

40 stations de prélèvements, regroupées en 6 zones, ont été choisies sur le littoral charentais pour évaluer la variabilité spatiale (Tableau 1 et Figure 2).

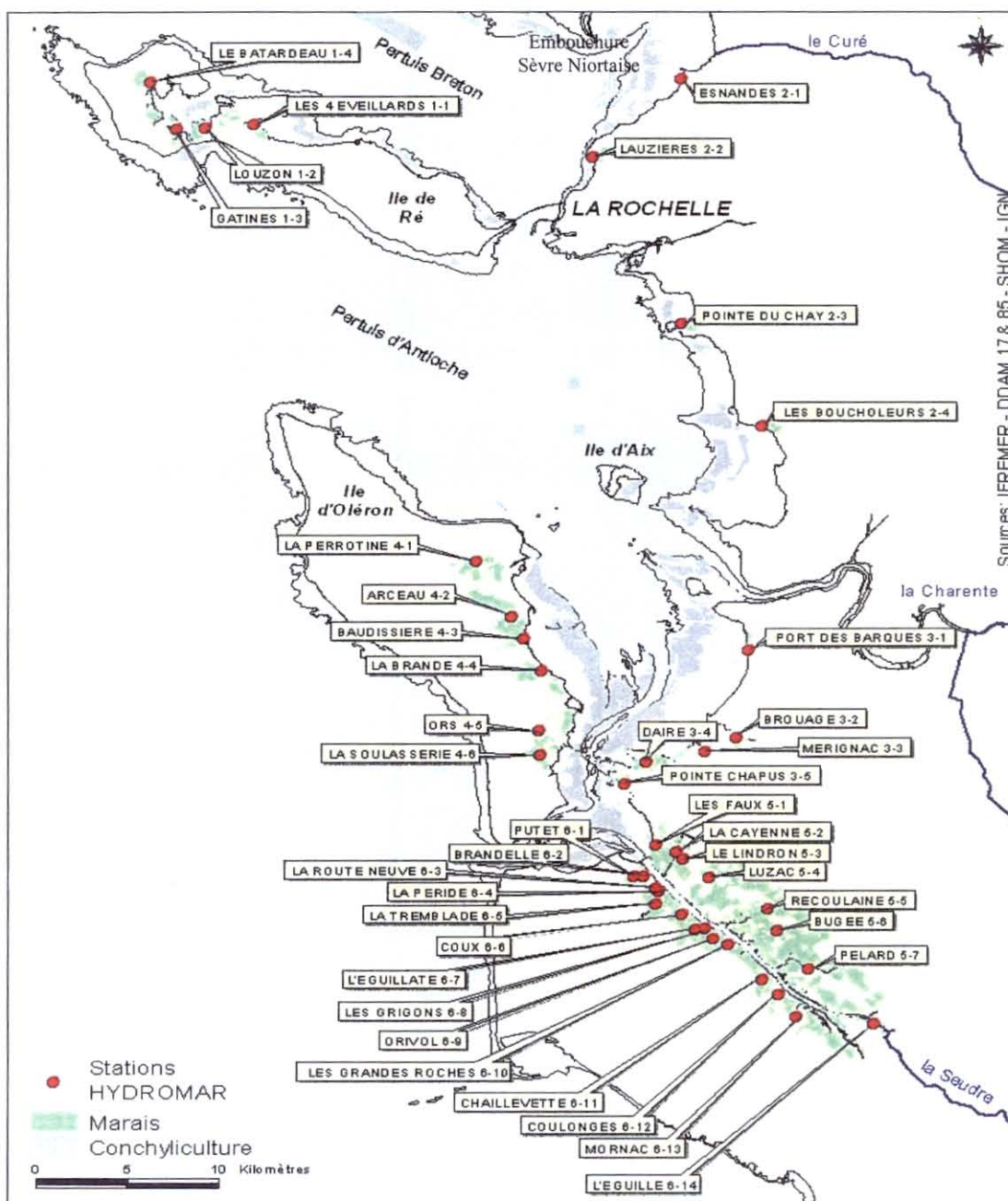


Figure 2 : Stations de prélèvements pour évaluer la variation spatiale sur le littoral charentais

Tableau 1 : Sites d'échantillonnage classés par secteur et lieu de prélèvement

Secteur	N° Station	Chenal	Lieu de Prélèvement
Secteur 1 Ile de Ré	1-1	Les 4 Eveillards	
	1-2	Louzon	
	1-3	Fiers d'Ars	
	1-4	Le Batardeau	
Secteur 2 Nord Charente Maritime	2-1	Esnandes	Prise directe à la mer
	2-2	L'Houmeau Lauzières	Chenal
	2-3	Angoulins Pointe du Chay	Chenal
	2-4	Les Boucholeurs	Prise d'eau collective
Secteur 3 Côte Est du Bassin	3-1	Port des Barques	Montportail
	3-2	Brouage	
	3-3	Merignac	
	3-4	Daire	
	3-5	Pointe Chapus	
Secteur 4 Ile d'Oléron Côte Est	4-1	La Perrotine	Ets DELAVOYS
	4-2	Arceau	Ets POIRIER GERVAIS
	4-3	La Baudissière	Ets GABORIAU
	4-4	La Brande	Ets DOUCET
	4-5	Ors	Pont
	4-6	La Soulasserie	Ets MOUNIER
Secteur 5 SEUDRE Rive Droite	5-1	Les Faulx	Ets Tafforet
	5-2	La Cayenne	Face Route Chancrette
	5-3	Le Lindron	
	5-4	Luzac	2 ^{eme} groupe d'Ets
	5-5	Recoulaine	
	5-6	Bugée	
	5-7	Pélaré	A la fourche
Secteur 6 SEUDRE Rive Gauche	6-1	Putet	Virage Ets noir effondré
	6-2	Brandelle	
	6-3	La Péride	Ets JARNO
	6-4	La Route Neuve	Face Ets PAPIN
	6-5	La Tremblade	Le pont noir
	6-6	Coux	Ets Ocre
	6-7	L'Eguillate	Ets BERNARD
	6-8	Les Grigons	Ets LABBE
	6-9	Orivol	Ets Palissier
	6-10	Les Grandes Roches	A la fouche
	6-11	Chaillevette	Ets vert et bleu
	6-12	Coulonge	Ets jaune à la fourche
	6-13	Mornac	Au port
	6-14	L'Eguille	Au pont sur la Seudre

2.2.2.1. Choix de l'heure-marée pour l'étude des variations spatiales

Pour évaluer la variabilité spatiale de la qualité de l'eau qui alimente les marais salés conchylicoles et aquacoles de Charente-Maritime le moment d'échantillonnage devait répondre aux critères suivants :

- se dérouler à l'époque du fonctionnement intense des claires ostréicoles (novembre-décembre),
- un jour où les coefficients de marée permettent une alimentation gravitaire aisée (coefficient > 85),
- et à une heure où les courants de marée sont importants à l'embouchure des chenaux irriguant les marais (1h30 avant la pleine mer locale: PM -1,5).

Pour cette première année d'étude il a été choisi de réaliser la campagne de prélèvement le **13 novembre 2001** (PM La Rochelle à 15h28, coefficient 92), en se rapprochant le plus pour chaque station de l'heure marée PM -1,5 que nous avons arrêté à **14h00** (heure locale) pour toutes les stations situées dans l'alignement du trait de côte, ou proches de celui-ci. Pour les estuaires, il a été décidé de suivre le décalage de marée par bateau ou véhicule terrestre.

2.2.2.2. Méthode de prélèvement

Sur le secteur nord Charente, c'est à dire les zones 1 « Ile de Ré » et 2 « Nord Charente Maritime » (soit 8 stations), 8 personnes ont été déposées sur les différents sites à échantillonner et les prélèvements ont été réalisés à l'heure dite (14 heures) en simultané.

Sur le secteur sud Charente, les zones 3 Côte Est du Bassin et 4 Ile d'Oléron (soit 11 stations), 5 équipes ont opéré le plus rapidement possible sur les différents sites.

La Seudre, zone 5 rive droite et zone 6 rive gauche (soit 21 stations), a été échantillonnée à partir d'une heure et demie avant la haute mer de l'aval vers l'amont à l'aide de deux embarcations, une sur chaque rive, complétées par un véhicule sur la rive gauche.

Il a donc été procédé différemment en fonction des secteurs, d'une part car le nombre de personnes n'était pas suffisant pour le nombre de stations à prélever, et d'autre part en raison du décalage de la marée lorsque l'on remonte la Seudre.

2.2.3. Variabilité temporelle

Pour évaluer la variabilité temporelle autour de la haute mer deux stations ont été choisies :

Zone 1 : Ile de Ré aux 4 Eveillards, prélèvement manuel,

Zone 6 : Seudre rive gauche à Orivol, prélèvement automatique.

Les prélèvements y ont été programmés selon l'intervalle suivant autour de la marée haute :
-2h / -1h30 / -1h / 0h / +1h / +2h.

2.2.4. Loupe spatio-temporelle

Pour évaluer les variations de la qualité de l'eau entre l'entrée des chenaux alimentant les marais et l'entrée dans les marais eux-mêmes, deux campagnes ont été réalisées au site des Eveillards (Ile de Ré) qui fait d'autre part l'objet d'une étude annuelle d'un marais salant à l'abandon colonisé par des plantes halophytes (étude CREMA programme « Obione », Silva et al., sous presse). La première a été simultanée avec la campagne Hydromar, la deuxième a été réalisée le 29 janvier 2002 avec 3 stations entre l'amont et l'aval, échantillonnées toutes les demi-heures durant le flot.

Dans le but d'étudier l'évolution spatio-temporelle de la qualité de l'eau au fur et à mesure qu'elle rentre dans les terres, cette campagne a été réalisée sur 3 stations qui découpent bien le trajet effectué par l'eau de mer pour atteindre notre marais. Elles se situent au niveau de l'écluse des Eveillards (A), de la prise d'eau (B), et de l'entrée du marais étudié (C).

L'eau de mer qui vient enrichir (ou appauvrir) le petit marais effectue un trajet précis à partir de la côte.

L'eau, qui rentre dans la zone des marais par la baie de la Fosse de Loix, est régulée par une écluse à quatre portes. Cette eau continue son chemin par un chenal. Ce dernier alimente des marais par le biais de diverses entrées. Une buse, d'un diamètre d'une dizaine de centimètres, permet d'inonder un grand marais, qui à son tour vient remplir le petit marais par l'intermédiaire de notre canal instrumenté.

L'eau de mer ne pénètre dans le petit marais à marée montante que lorsque les coefficients sont supérieurs à 70. Bridée par le réglage des écluses, l'eau ne dépasse pas les 20-30 cm de hauteur.

Le chemin emprunté par cette eau est illustré par la figure 3.

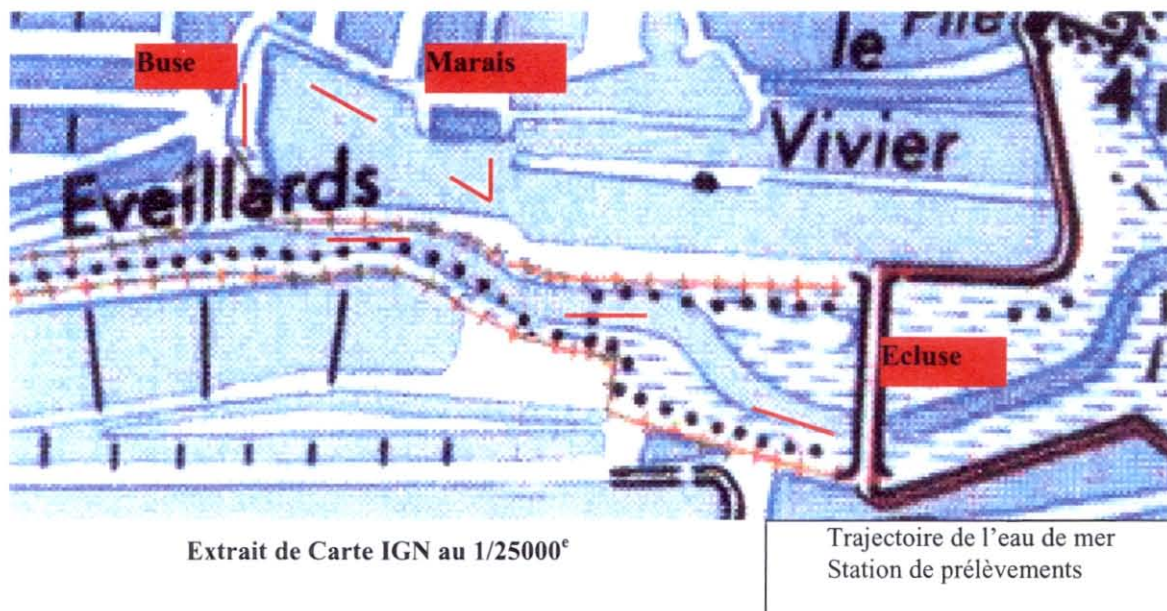


Figure 3 : Trajet emprunté par l'eau de mer de l'écluse des Eveillards, en passant par la prise d'eau jusqu'à l'entrée du marais (Ile de Ré, Baie de Fosse de Loix)

2.3. LE PROTOCOLE ANALYTIQUE

2.3.1. La préparation du matériel de terrain

Il a été attribué pour chaque personnel préleveur un équipement approprié. Chacun d'entre eux disposait d'un flacon-préleveur de 2 L ou d'un seau (cela en fonction de l'accessibilité au lieu de prélèvement), d'un jerrican de 5 L, de deux bidons de 1 L, d'un entonnoir muni d'un filtre de 220 µm de diamètre, d'un thermomètre, d'un sac noir et enfin d'une fiche de terrain (Annexe 2).

Tous les bidons, flacons, seaux et entonnoirs ont été préalablement lavés avec une solution de HCl à 10% dans laquelle on les a laissés tremper pendant 2 heures, puis qu'on a rincé plusieurs fois à l'eau déminéralisée.

Le CREMA a procédé à l'intercalibration (i) de tous les thermomètres (les sondes thermométriques ont été étalonnées par rapport à un thermomètre de précision au mercure (ASTM 63 C, B 13687, Fischer Bioblock, gamme $-8 +32^{\circ}\text{C}$, précision $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$), (ii) ainsi que des salinomètres (eau de Copenhague).

2.3.2. La technique de prélèvement

Avant le prélèvement proprement dit, le flacon préleveur, ou le seau est rincé deux fois avec l'eau de prélèvement, et sert à rincer une fois le jerrican de 5 L et les deux bidons de 1 L en se servant de l'entonnoir préfiltre. A 14 heures précises (lorsque la station le permettait), le flacon préleveur a été introduit, ouverture vers le bas dans l'eau, puis retourné pour ne pas prendre l'eau et le film de surface et orienté à contre courant pour se débarrasser des particules indésirables. Ensuite, ont été remplis les bidons, à l'aide de l'entonnoir préfiltre. Une fois le remplissage terminé, les bidons sont refermés et le jerrican de 5 L est introduit dans un sac noir, à l'abri de la lumière et donc des réactions photochimiques. Un dernier prélèvement est effectué pour mesurer la température de l'eau, directement dans le flacon préleveur. Celle-ci est notée sur la fiche de terrain, en même temps que l'heure.

2.3.3. Le premier traitement au laboratoire.

Les échantillons sont ensuite acheminés le plus rapidement possible vers les deux laboratoires de pré-traitements des échantillons, L'Houmeau pour le secteur Nord et Ronce les Bains (LCPC) pour le secteur Sud (tableau 3).

Le CREMA a préparé les échantillons provenant des zones 1 à 3. Le LCPC a préparé les échantillons provenant des zones 4 à 6.

Les pré-analyses, effectuées sur l'échantillon (bidon de 5 litres), consistaient en la mesure du pH, la mesure de la salinité, à fixer le paramètre $\text{N-NH}_{3,4}$ et effectuer différentes filtrations pour séparer la matière dissoute et la matière particulaire (tableau 2).

Les deux flacons de 1 L ont été remis au personnel d'ISOMER pour le travail confié (tests de fertilité).

Tableau 2 : Type de filtre et échantillon obtenus en fonction du paramètre à étudier

Paramètres	Filtre Whatman de (type)	Diamètre (mm)	Echantillon
MES	GF/F	47	Filtre
C,H,N	GF/F	25	Filtre
Sels Nutritifs + COD	GF/C	47	Filtrat

Les filtrations ont été faites sur des rampes appropriées munies d'entonnoirs filtres et de fioles à vide en verre. Les types de filtres utilisés sont donnés dans le tableau 2.

2.3.4. Les paramètres mesurés

Pour apprécier la qualité d'une eau, il est nécessaire d'analyser différents paramètres. On peut les classer en trois groupes:

- les paramètres physiques : température, salinité et pH;
- les éléments dissous, appelés encore nutriments ou sels nutritifs : l'azote ammoniacal (N-NH_{3,4}), les nitrites (N-NO₂), les nitrates (N-NO₃), l'urée, l'azote total (N total), les phosphates (P-PO₄), les silicates (Si-SiO₂), et le carbone organique dissous (COD);
- les éléments particuliers : les matières en suspension (MES), les matières organiques particulières (MOP), les matières minérales particulières (MIP), la chlorophylle a et la phéophytine a, ainsi que le carbone et l'azote particulaire (CHN).

2.3.5. La répartition des analyses par laboratoire

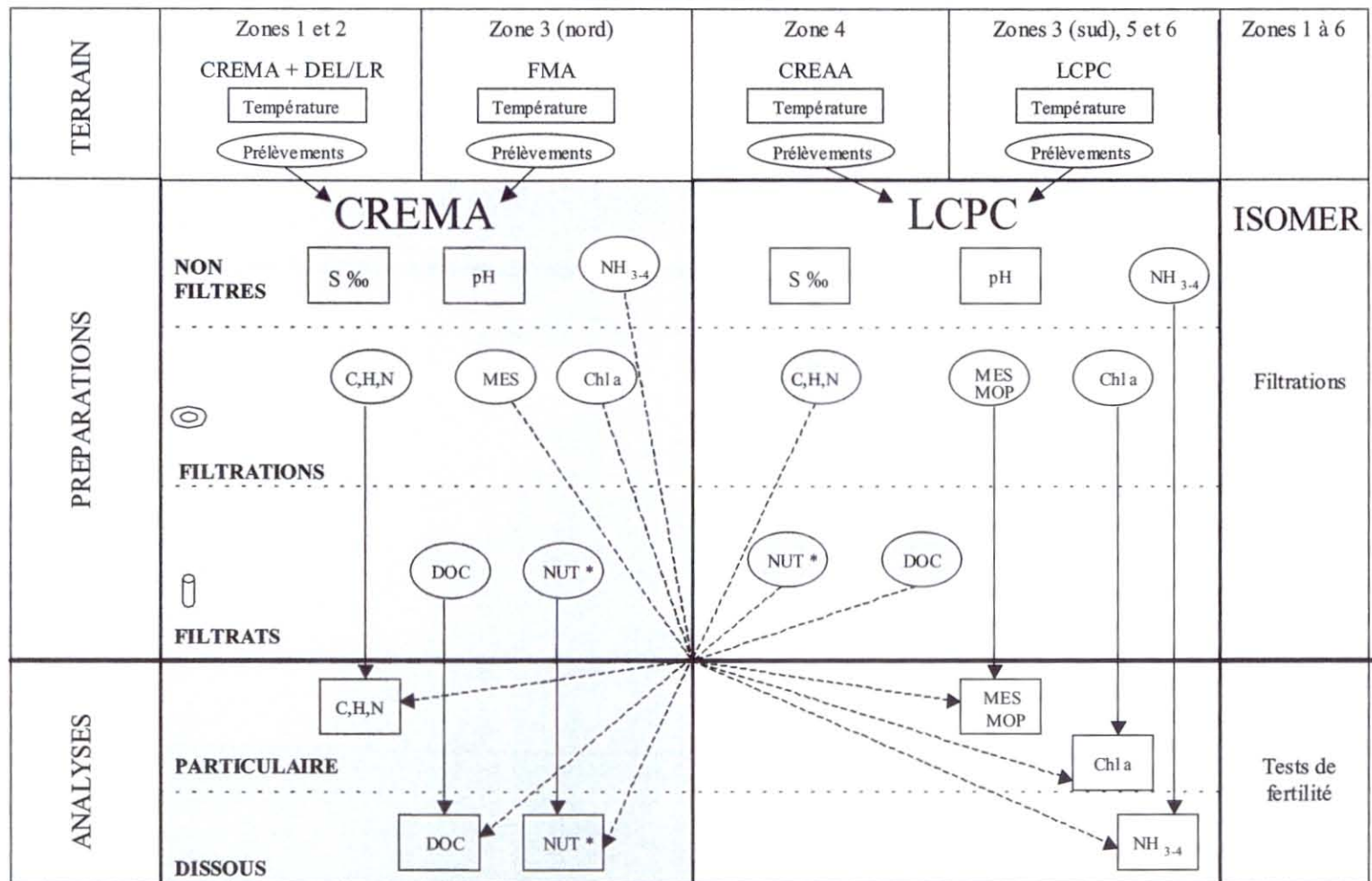
Pour améliorer la fiabilité des résultats, chacun des deux laboratoires IFREMER (CREMA et LCPC) a pris en charge une partie des paramètres pour la totalité des échantillons, qui ont été regroupés après le premier traitement comme suit :

- Les sels nutritifs, le COD et le CHN ont été analysés par le groupe technique d'analyse du CREMA pour tous les échantillons.
- L'azote ammoniacal, la chlorophylle, la phéophytine, les MES et les MOP ont été analysés par le laboratoire du LCPC, de même pour tous les échantillons.
- Les tests de fertilité sur la partie dissoute ont été effectués après filtration immédiate et congélation par le personnel du laboratoire ISOMER (Université de Nantes).

Le déroulement de la campagne, des prélèvements aux analyses, peut être schématisé selon le tableau 3.

Tableau 3 : Répartition des tâches durant la campagne « Hydromar » du 13/11/01.

HYDROMAR



* NO₂, NO₃, PO₄, SiO₂, NTD, NOD.

2.3.6. Les méthodes d'analyse

2.3.6.1. Les paramètres physiques

- La salinité

Deux salinomètres ont été employés, un pour chaque laboratoire (LCPC et CREMA), après étalonnage par le CREMA. L'étalonnage des salinomètres est effectué avec une eau de référence (eau de Copenhague) qui est l'eau de Mer Normale (Standard Sea Water), préparée à l'Institut of Oceanographic Sciences de Wormley (IAPSO) en Grande-Bretagne et dont la chlorinité est connue à plus ou moins $0,001\text{g.kg}^{-1}$.

Les zones 1 à 3 ont été mesurées par le salinomètre LF 340, étalonné par la solution IAPSO avec un $K_{15}=0,99986$ et $S=34,995$. En ce qui concerne les zones 5 et 6, c'est le salinomètre WTW LF 196 qui a été utilisé. Pour les 2 salinomètres, la résolution est de $0,01\text{g.kg}^{-1}$ après étalonnage.

- Le pH

Deux pH-mètres ont été utilisés et étalonnés par les deux laboratoires séparément. Les pH-mètres sont étalonnés au moyen de deux solutions tampon, une de pH 7 et l'autre de pH 9,2, en tenant compte de la correction de température sur la solution tampon. Le CREMA a utilisé un modèle 691 pH Meter Metrohm (résolution 0,01).

2.3.6.2. La matière dissoute

- L'azote ammoniacal total

L'ammoniac est dosé selon la méthode de Koroleff (1969) qui mesure la totalité de l'azote ammoniacal $\text{N-NH}_3 + \text{N-NH}_4^+$, symbolisée par $\text{N-NH}_{3,4}$.

Les échantillons sont tout d'abord fixés avec deux réactifs (une solution de phénol-nitroprussiate et une solution alcaline d'hypochlorite). Ensuite ils sont passés entre 24 heures et 48 heures après la fixation, au spectrophotomètre réglé à 630 nm, dans des cuves en quartz de 5 cm, et comparés à une courbe d'étalonnage.

- Le carbone organique dissous

L'eau, qui a été filtrée sur des filtres GF/C de 47 mm de diamètre, est stockée dans des flacons lavés à l'eau oxygénée.

Le carbone organique dissous est évalué selon la méthode de Pagès et Gadel (1990) : on mesure l'absorbance de l'eau de mer au spectrophotomètre Shimadzu UV 160 (Roucaire), pour des longueurs d'onde allant de 10 en 10 de 224 à 374 nm, puis on utilise les densités optiques des absorbances de 254 à 354 nm pour calculer la pente : $a = (\ln \text{abs}_{354} - \ln \text{abs}_{254}) / (354 - 254)$. On applique ensuite la formule suivante :

$$[\text{C.O.D}]_{\text{mg.l}^{-1}} = (0.0667 \times |\text{abs}_{254}|) / (0.0304 - a)$$

Avec $|\text{abs}_{254}|$ la valeur absolue de la densité optique à 254 nm divisée par la largeur de la cuve en cm et en pensant bien sûr à multiplier le résultat par le taux de dilution pratiqué pour la manipulation.

- Les sels nutritifs

Les sels nutritifs sont mesurés avec un auto analyseur SKALAR (Annexe 4) qui donne directement les concentrations de chaque élément dosé en micromoles par litre. On obtient aussi la concentration en azote organique, par déduction de l'azote minéral ($\text{NO}_2 + \text{NO}_3 + \text{NH}_4$) à l'azote total analysé après une minéralisation au persulfate.

2.3.7. L'analyse de la matière particulaire

- Les matières en suspension

Les filtres GF/F 47 mm, destinés à recueillir les matières en suspension, sont préalablement pesés et calcinés pendant 4 heures à 450°C dans un four (Thermolyne, type 30400 Furnace) afin d'en enlever les matières organiques éventuellement présentes.

Le volume d'eau prélevé pour chaque filtration est noté, il dépendra des besoins pour l'analyse ainsi que de la charge en particules de l'échantillon.

Les filtres sont conservés seulement après avoir été soigneusement rincés à l'eau pure de qualité milli-Q pour dissoudre le sel et éviter la formation de cristaux (qui pourraient fausser les résultats). Il est important que ces filtres ne soient pas érodés puisque le dosage sera fait par pesée.

Les filtres, après séchage à 60 °C jusqu'à poids constant (environ 24 heures dans une étuve BM 600 de Memmert), sont pesés à l'aide d'une balance de précision au centième de milligramme (AE240 de Mettler).

Le masse mesurée, à laquelle il faut soustraire la masse du filtre vierge, correspond à la teneur en M.E.S dans le volume d'eau de mer filtré.

Ces filtres sont ensuite calcinés 4 heures à 450°C pour détruire la matière organique (MOP). Après avoir été pesés sur la même balance que précédemment, on déduit la teneur en matière inorganique particulaire (MIP), qui équivaut, pour un volume d'eau donné à la masse du filtre calciné moins celle du filtre vierge.

Avant la pesée, les filtres sont disposés pendant leur refroidissement dans un dessiccateur muni de grains de silicagel pour que les filtres ne reprennent pas l'humidité, et donc que leur poids ne soit pas modifié. Chaque échantillon a été fait en triplicata.

2.3.7.1. La matière particulaire

- Le carbone et l'azote particulaire

Comme pour les MES, les filtres GF/F 25 mm sont préalablement pesés et calcinés pendant 4 heures à 450°C. Après une décarbonatation à l'acide pour enlever la part minérale du carbone, ils sont dosés directement à partir des filtres, grâce au Nitrogen Analyseur 1500 (Carlo Erba). Chaque échantillon a été fait en triplicata.

2.3.7.2. La chlorophylle et les phéopigments

Après filtration d'un certain volume d'eau de mer pour concentrer le matériel particulaire, le filtre est immergé dans un solvant qui assure l'extraction des pigments ; puis on mesure l'absorbance de l'extrait à une ou plusieurs longueurs d'onde, avant et après acidification si l'on recherche également les formes dégradées (phéopigments).

Tous les dosages de la chlorophylle a et des phéopigments ont été effectués au LCPC avec un fluorimètre Turner.

Ces dosages consistent à mesurer la fluorescence avant (F_0) et après l'acidification (F_a) d'un extrait acétonique de pigments. La diminution de fluorescence observée est en relation avec le pourcentage relatif de chlorophylle a et de phéophytine a (Annexe 5). Chaque échantillon a été fait en triplicata.

3. LES RESULTATS

3.1. VARIATIONS SPATIALES LE LONG DE LA COTE DE CHARENTE-MARITIME (ENTREE DES CHENAUX)

3.1.1. Résultats par paramètre

3.1.1.1. Moyenne, minima et maxima observés

Les valeurs moyennes, maximales et minimales observées et la station concernée sont fournies dans le tableau 4.

Tableau 4 : Valeur moyenne de la qualité des eaux observées à PM -1,5 le 13 novembre 2001, et valeurs maximales et minimales accompagnées de la zone d'observation entre parenthèses.

Paramètre	Unité	Moyenne	Maximum	Minimum
Température	°C	11,22	14,50 (6-4)	9,60 (6-12)
Salinité	g/kg	31,76	34,10 (1-2,1-3,1-4)	23,80 (6-14)
pH	-	8,20	8,40 (3-5)	7,90 (5-3)
MES	mg/L	135,75	431,96 (2-4)	23,57 (6-14)
MOP	mg/L	6,24	17,07 (3-1)	1,33 (6-13)
Chlorophylle a	g/m3	4,86	15,68 (2-3)	1,40 (6-11)
Phéophytine a	g/m3	6,00	15,97 (3-2)	1,16 (6-13)
C particulaire	mg/L	2,52	9,20 (2-1)	0,54 (4-1)
N particulaire	mg/L	0,38	1,47 (2-1)	0,07 (4-1)
N-NH _{3,4}	µM	7,63	20,14 (2-1)	3,93 (4-1)
N-NO ₂	µM	0,95	3,09 (2-1)	0,58 (6-12)
N-NO ₃	µM	25,61	87,20 (2-1)	9,82 (1-3)
N-urée	µM	2,11	4,61 (6-4)	0,87 (6-5)
P-PO ₄	µM	0,80	1,83 (2-1)	0,33 (4-5)
Si-SiO ₂	µM	22,88	48,08 (2-1)	10,85 (1-3)
COD	mgC/L	1,80	3,92 (6-14)	1,00 (1-3)

3.1.1.2. - La salinité

D'après la figure 4, la salinité augmente en allant vers le large. Les plus fortes salinités sont donc observées pour l'île de Ré et l'île d'Oléron (zones 1 et 4). La salinité présente peu de fluctuations, avec une valeur stable autour de 34,00 ‰. 34,05 ‰ pour l'île de Ré et 33,25 ‰ pour l'île d'Oléron.

Les zones 2 et 3 possèdent des valeurs très variables, notamment à Esnandes (2-1), Brouage (3-2) et Mérignac (3-3). Quant à la Seudre (zones 5 et 6), la salinité diminue sur les deux rives au fur et à mesure que l'on s'enfonce dans les terres. C'est d'ailleurs au site 6-14 Eguille que l'on trouve la plus faible salinité (23,80 ‰).

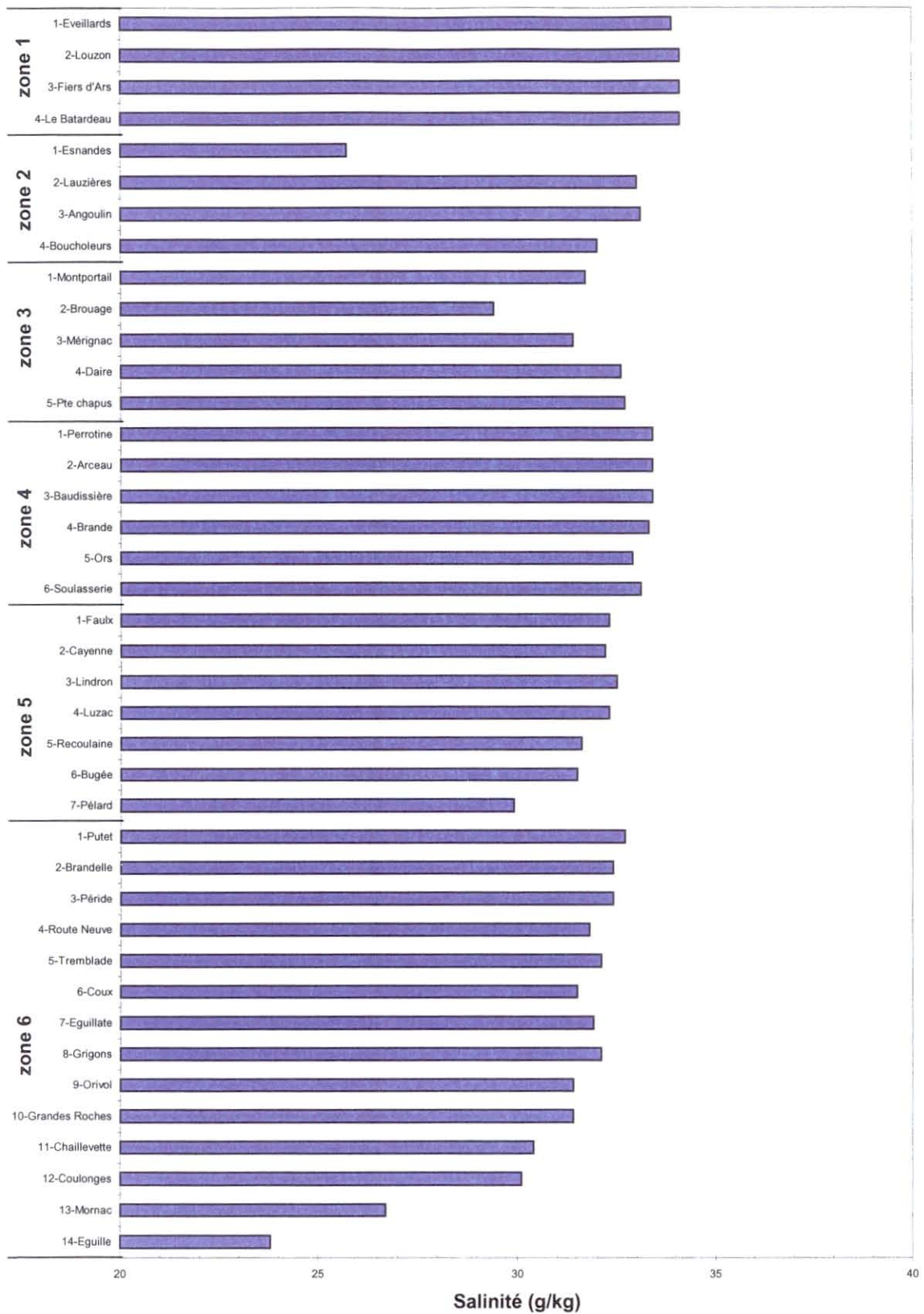


Figure 4 : Variations de la salinité en fonction de la station pour la campagne Hydromar du 13/11/01

3.1.1.3. - La matière particulaire

La partie nord de la Charente Maritime, le pertuis Breton et le Pertuis d'Antioche (zones 1-3 à 3-5), possèdent les stations les plus riches en MES (de 183,96 à 431,96), à l'exception de deux valeurs très faibles pour les zones 1-1 Eveillards et 1-2 Louzon (Figure 5). Sur l'île d'Oléron les valeurs sont un peu plus élevées pour les zones de 4-1 à 4-4 (moyenne de 119,6 pour l'île). Pour la Seudre, 4 stations se détachent, 5-1 à 5-4 (Faulx, Cayenne, Lindron et Luzac), avec des valeurs presque 3 fois plus importantes que dans le reste de la rivière pour les MES, et deux fois plus importantes pour les pigments. On remarque aussi que les valeurs diminuent quand on rentre dans les terres.

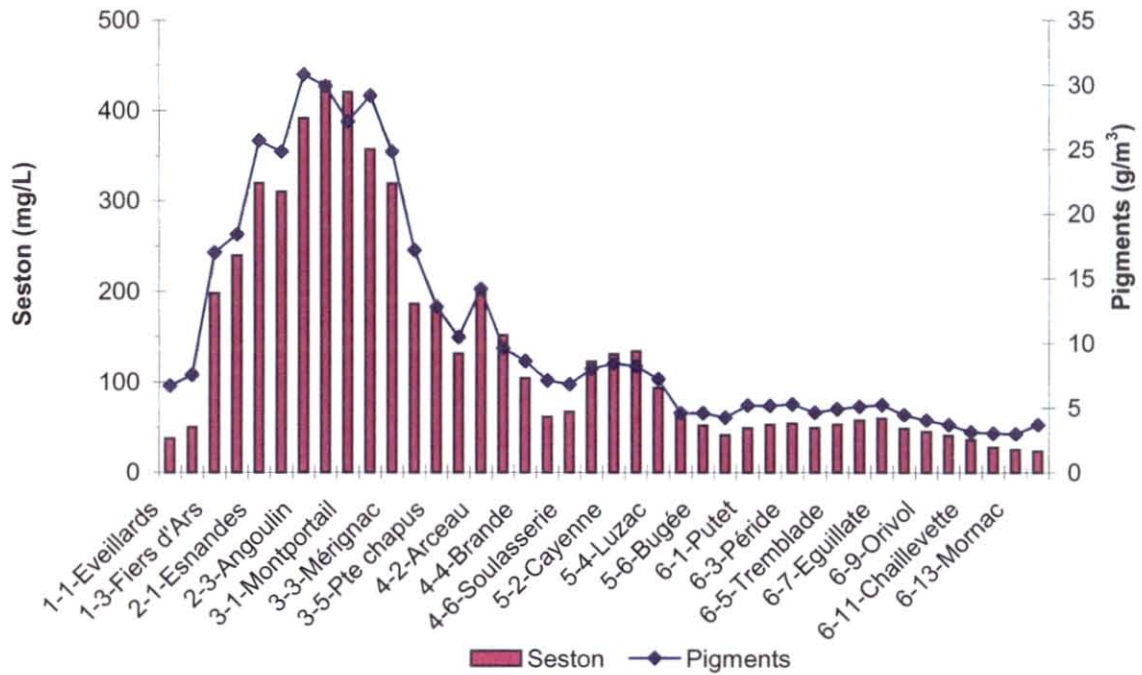


Figure 5 : Variations de la matière en suspension (seston) et des pigments en fonction de la station pour la campagne Hydromar du 13/11/01

3.1.1.4. - Les sels nutritifs

- - L'azote ammoniacal total $\text{NH}_{3,4}$.

Quatre stations dépassent le seuil des $10 \mu\text{M}$ (1-2 Louzon, 2-1 Esnandes, 2-3 Angoulin et 3-3 Mérignac) avec un maximum pour Esnandes. Dans la Seudre, la concentration a tendance à augmenter quand on s'enfonce dans les terres. Il n'y a pas de réelle différence entre les zones.

- - les nitrites NO_2

Les valeurs sont à peu près égales entre chaque zone. Comme pour le $\text{NH}_{3,4}$, les quatre stations précitées ont des valeurs supérieures à $1 \mu\text{M}$, plus la station 1-4 Le Batardeau.

- - les nitrates NO_3

Les valeurs les plus faibles sont observées sur les deux îles. Les zones 2 et 3 sont variables avec deux pics très importants à 2-1 Esnandes et 3-2 Brouage. Au niveau de la Seudre, les valeurs ont tendance à augmenter vers les terres et très fortement dans la zone 6 au niveau des stations 6-13 Mornac et 6-14 Eguille.

- - l'azote inorganique dissous total

Il a été calculé ($\text{NID} = \text{NH}_{3,4} + \text{NO}_2 + \text{NO}_3$) et représenté en figure 6. Les valeurs minimales observées se situent sur les deux îles. Le station Esnandes a encore la plus forte valeur. Dans la zone 3, les valeurs diminuent en allant vers le sud à partir de 3-2 Brouage. Ensuite la Seudre a des valeurs assez constantes, mais avec tout de même une tendance à augmenter en s'éloignant de la côte. Deux stations, 6-13 et 6-14, possèdent des valeurs largement supérieures aux autres.

- - Les orthophosphates PO_4

C'est la zone 4 qui possède les plus basses concentrations en PO_4 . La zone 1 a des valeurs tout juste supérieures. La station Esnandes a encore la plus forte valeur. Dans la Seudre, les valeurs croissent en s'enfonçant dans les terres, mais on peut observer que les valeurs en zone 5 sont presque deux fois plus faibles que la zone 6.

- - Les silicates SiO_2

Les zones 1 et 4 sont similaires. On a toujours un pic à Esnandes. Les valeurs diminuent dans la zone 3 à partir de 3-2 Brouage. Dans la Seudre, les valeurs augmentent quand on rentre dans les terres.

- Le rapport N/Si/P

Vis à vis de la croissance du phytoplancton, pour savoir si un élément nutritif est limitant dans le milieu, il est fait référence au rapport des trois éléments majeurs N:Si:P. D'après Riedfeld le rapport souhaitable pour les diatomées est de 16:16:1. On utilise pour faire ce rapport la matière inorganique dissoute totale soit $\text{N-NH}_{3,4} + \text{N-NO}_2 + \text{N-NO}_3$ pour l'azote, P- PO_4 pour le phosphore et Si- SiO_2 pour le silicium.

D'après la figure 7, on peut déduire une carence en phosphore. En effet, le rapport N:P, supérieur à 16 pour toutes les stations, varie en fonction du phosphore et non de l'azote. Par contre, le silicium n'est jamais limitant vis à vis du phosphore, puisque le rapport Si:P est toujours supérieur à 16.

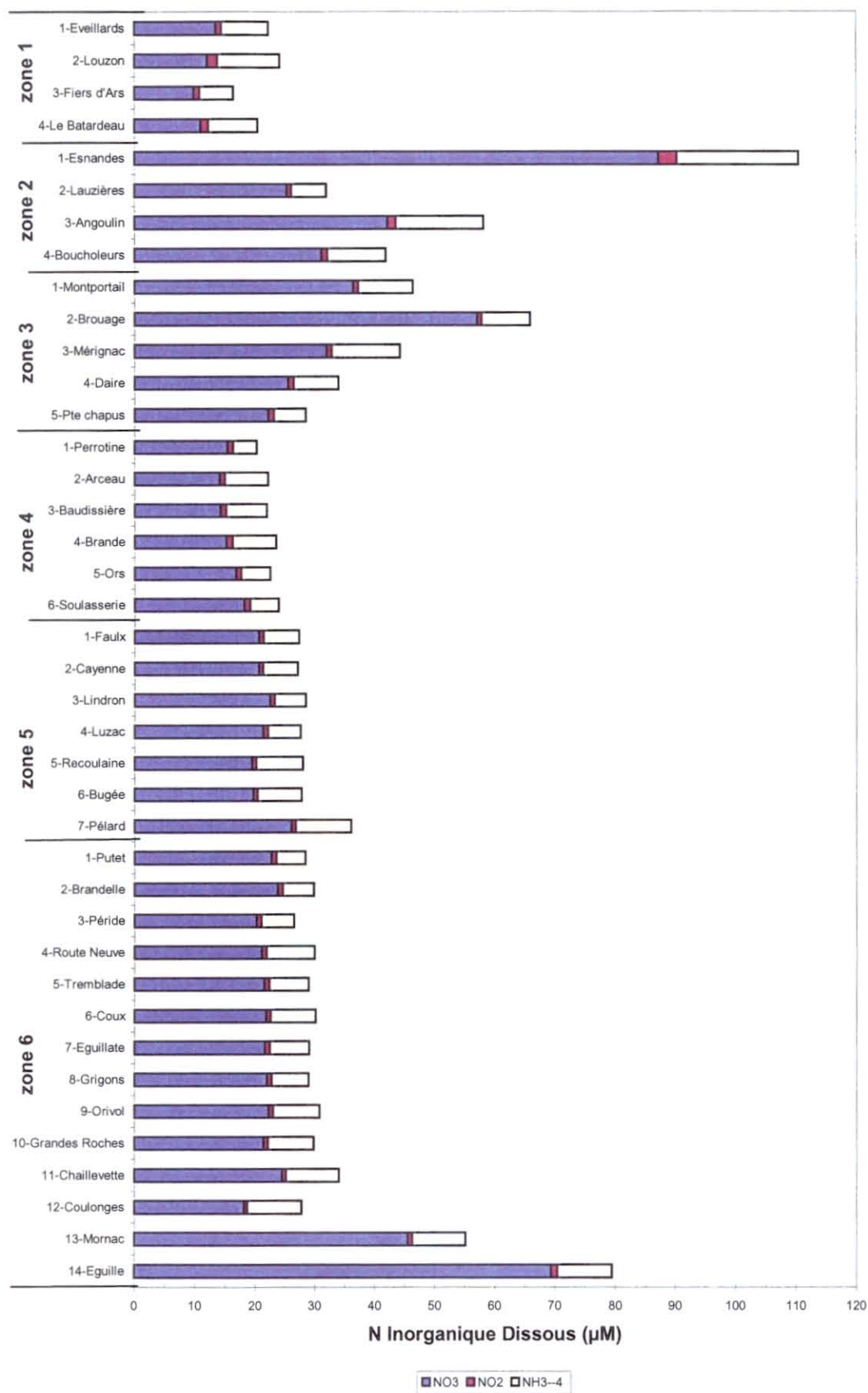


Figure 6 : Variations de l'azote inorganique dissous ($\text{NO}_2 + \text{NO}_3 + \text{NH}_3,4$) en fonction de la station pour la campagne Hydromar du 13/11/01

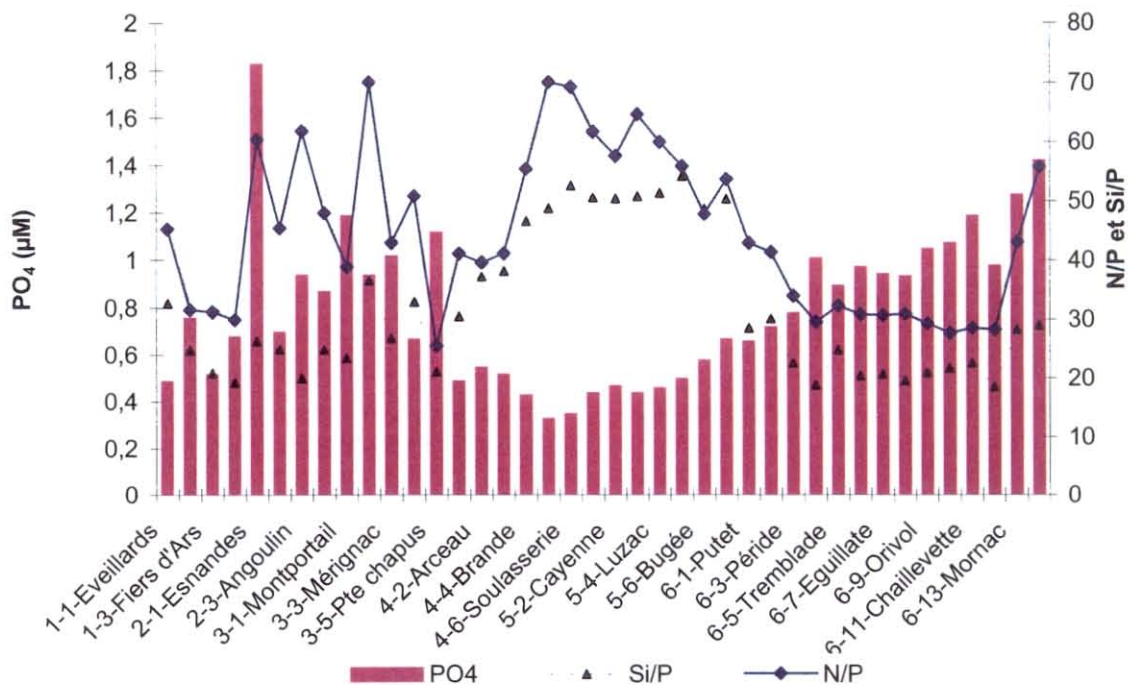


Figure 7 : Variations du P-PO₄ et des rapports N/P et Si/P en fonction de la station pour la campagne Hydromar du 13/11/01

3.1.1.5. Le carbone organique dissous COD

Les zones 1 et 4 sont similaires. On a toujours un pic à Esnandes. Les valeurs diminuent dans la zone 3 à partir de 3-2 Brouage. Dans la Seudre, les valeurs augmentent quand on rentre dans les terres.

Cela donne graphiquement une vision de l'homogénéité des zones pour l'azote inorganique dissous par exemple (figure 8).

3.1.2. Résultats par zone

Pour chaque zone, il a été calculé les valeurs moyennes avec les écarts types. Les valeurs obtenues pour les NID, Si et P sont consignées dans le tableau 5.

Tableau 5 : Moyenne en µM et écart type () des concentrations de nutriments et rapports des éléments

Zone	N-NID	Si-SiO ₂	P-PO ₄	N/P	Si/P	N:Si:P
1	20,72 (3,32)	14,69 (3,47)	0,61 (0,13)	33,82	23,98	34/24/1
2	60,51 (35,00)	26,48 (14,50)	1,09 (0,51)	55,77	24,41	56/24/1
3	43,71 (14,31)	27,04 (4,76)	0,99 (0,20)	44,24	27,37	44/27/1
4	22,41(1,58)	18,29 (2,29)	0,45 (0,09)	50,36	41,09	50/41/1
5	28,82 (3,17)	25,83 (4,17)	0,51 (0,09)	56,67	50,80	57/51/1
6	34,86 (14,64)	23,19 (7,13)	0,99 (0,21)	35,06	23,33	35/23/1

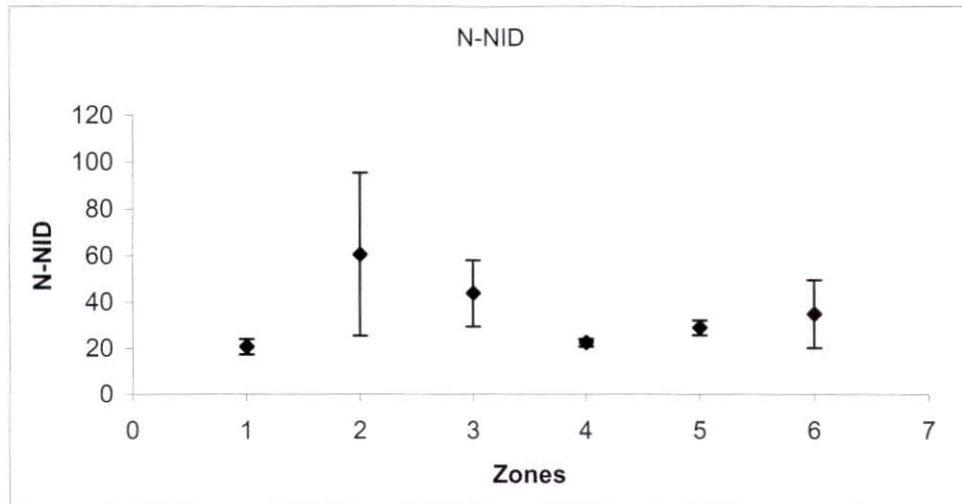


Figure 8 : Moyenne et écart type des concentrations en azote inorganique dissous (N-NID) pour chaque zone.

On voit bien que les écarts types des moyennes de l'azote NID par zones sont faibles pour les zones 1, 4 et 5 en comparaison des zones 2, 3 et 6 (figure 8). Cela signifie que les zones 1, 4 et 5 sont homogènes contrairement aux autres.

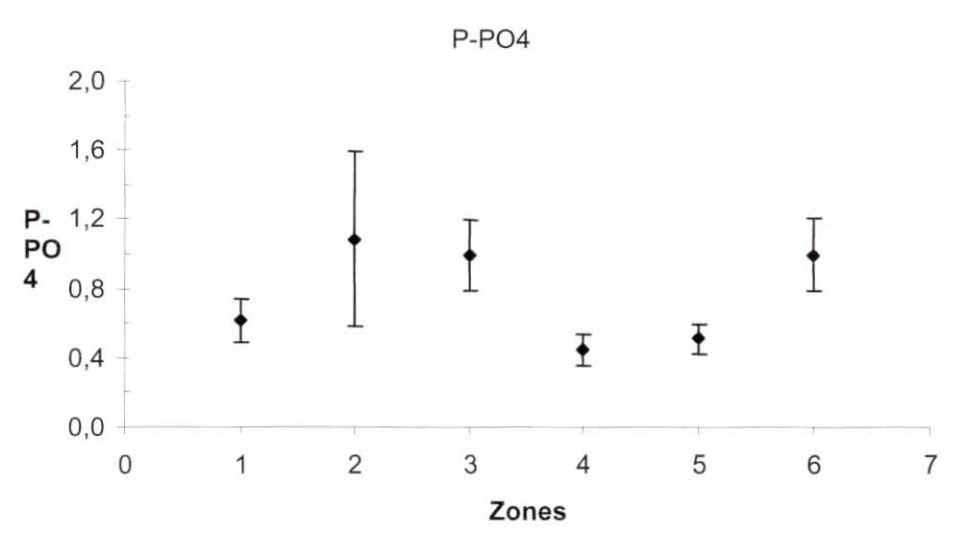


Figure 9 : Moyenne et écart type des concentrations en P-PO₄ pour chaque zone.

On remarque aussi que les valeurs sur chaque rive de la Seudre (zones 5 et 6) sont significativement différentes (figure 9). C'est la rive sud qui est beaucoup plus riche en phosphore.

3.1.3. Les corrélations entre les paramètres

Les coefficients de détermination, ou coefficient de corrélation multiple R^2 , mesurent la proportion de la variation d'un paramètre expliquée par la variation d'un autre paramètre. Une

fois calculés, on procède à un test de signification de R^2 . Pour cela, on a utilisé la table de Fischer et Yates en déterminant le degré de liberté $v=n-2$, avec n =nombre d'observations, soit $v=40-2=38$.

Ainsi, le paramètre salinité influence beaucoup les autres paramètres, tels que les COD, les nitrates, le silicium et le phosphore (soit tout ce qui est dissous). D'autre part les matières en suspension, le carbone et l'azote particulaire, ainsi que les pigments sont corrélés de façon hautement significative.

Tableau 6 : Tableau des corrélations significatives entre les différents paramètres de la qualité de l'eau

P	Sal	MES	MOP	Chla	Phéa	C part	N part	N-NH ₃₋₄	N-NO ₂	N-NO ₃	N-Urée	P-PO ₄	Si-SiO ₂	COD
Sal	1							**		***		***	***	***
MES		1	***	***	***	***	***	**						
MOP		***	1	***	***	***	***	**						
Chla		***	***	1	***	***	***	***	**	**				
Phéa		***	***	***	1	***	***							
C part		***	***	***	***	1	***	***	**	**				
N part		***	***	***	***	***	1	***	**	***				
N-NH ₃₋₄	**	**	**	***		***	***	1	***	***	***	***	***	**
N-NO ₂				**		**	**	***	1	***	**	**	**	
N-NO ₃	***			**		**	***	***	***	1	**	***	***	***
N-urée								***	**	**	1		**	*
P-PO ₄	***							***	**	***		1	***	***
Si-SiO ₂	***							***	*	***	**	***	1	***
COD	***							**		***	*	***	***	1

*** Très hautement significatif $P < 0,001$
 ** Hautement significatif $P < 0,01$
 * Significatif $P < 0,05$

Les paramètres NH₄ et NO₃ sont corrélés significativement avec tous les autres paramètres. La salinité est corrélée avec les sels nutritifs ainsi que le carbone organique dissous. Un des couples de paramètres le mieux corrélé est celui des pigments-MES. Il est représenté sous la forme graphique en fonction des zones (Figure 10).

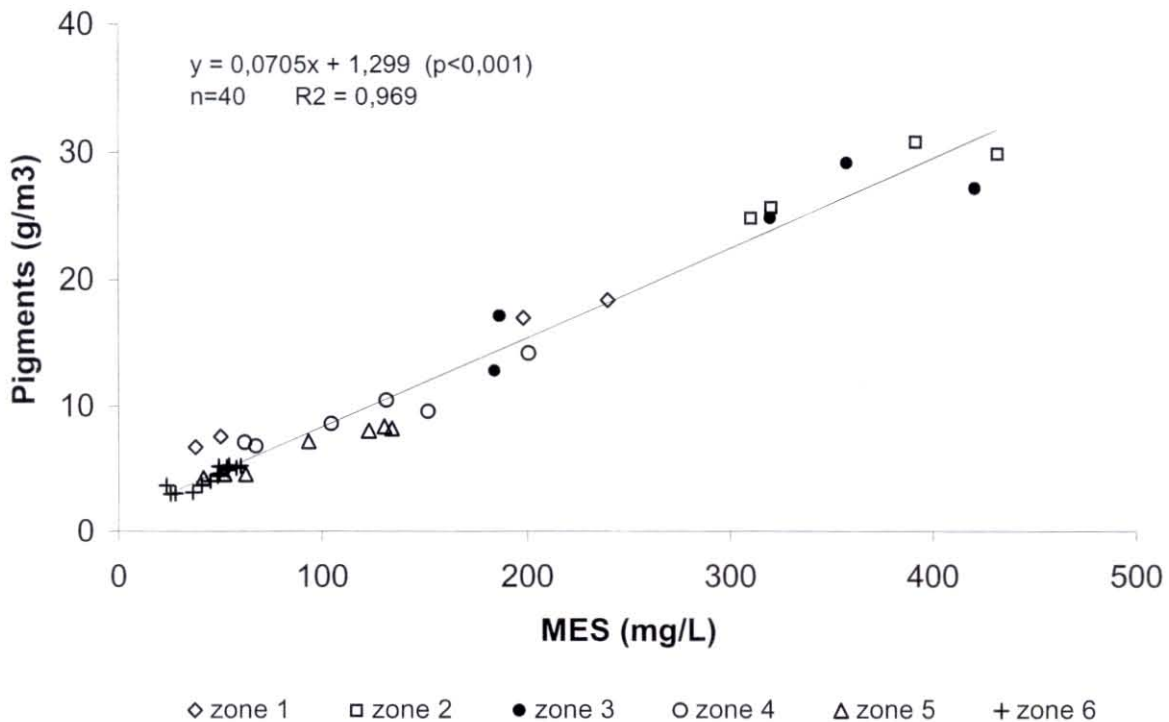


Figure 10 : Concentration, pour chaque zone, des pigments totaux exprimée en fonction de la concentration en MES.

3.2. VARIATIONS SPATIO-TEMPORELLES SUR UN CIRCUIT CHENAL-MARAIS DE L'ILE DE RE (ETUDE CREMA EQUIPE 3)

L'eau de mer a commencé à entrer par l'écluse à 14 h 00, puis à 15 h 30 à la buse (1 h 30 plus tard) et est entrée dans le marais à 15 h 45 (1 h 45 après l'écluse). Les heures d'entrée de l'eau aux points A et B sont données à la demi-heure près. La pleine mer étant à 17 h 23, heure locale.

A partir de courbes de paramètres en fonction du temps et de la station de prélèvements (voir exemple figure 11), on note les heures où la qualité de l'eau côtière en A est égale à celles du point B, puis du point C.

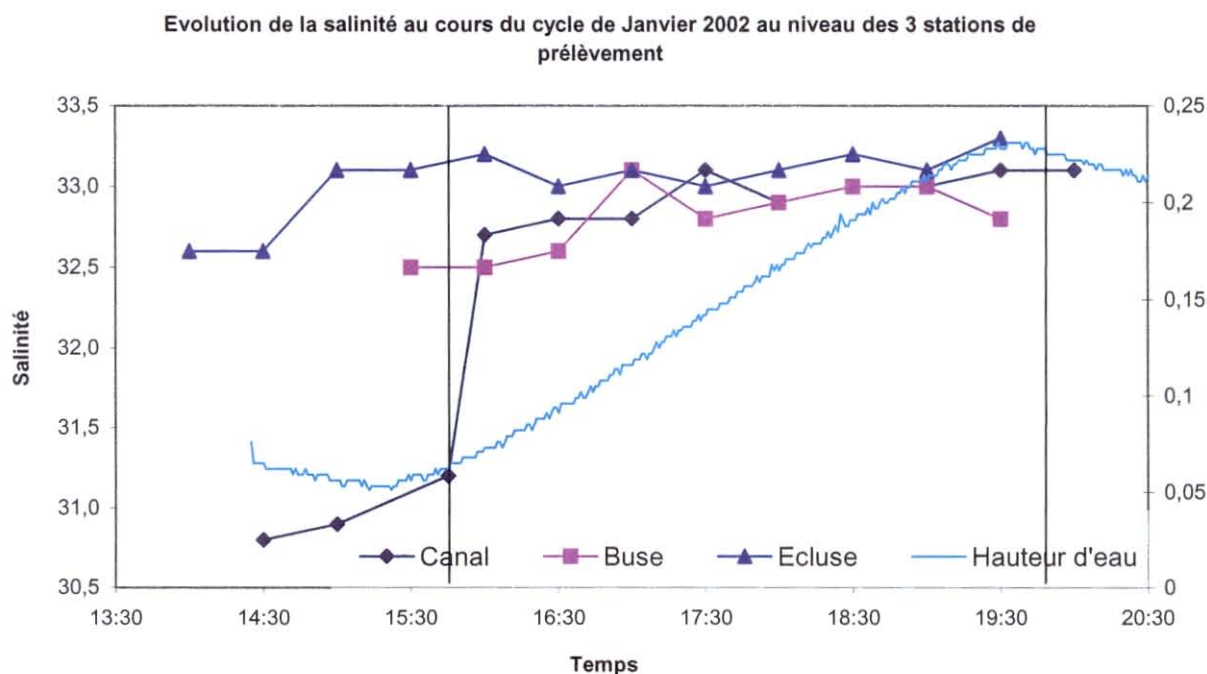


Figure 11 : Evolution de la salinité au cours du cycle de janvier 2002 au niveau des 3 stations de prélèvement

Cela a permis d'établir le tableau 7 pour les paramètres ayant donné un graphe bien lisible.

On peut donc déduire du tableau 7 que la qualité de l'eau venant de la mer est retrouvée au point B (buse) à PM -30', soit à environ vers 17h00 et au point C (canal=marais) entre PM et PM +30', c'est à dire entre 17h30 et 18h00. Il faut donc 3 heures environ pour permettre à l'eau venant de la mer de se retrouver aux portes d'un marais (point B) et même entre 3 heures et demie et quatre heures, pour arriver au point C.

Tableau 7 : tableau indiquant l'heure où les valeurs des paramètres aux points B et C sont équivalentes à celles observées en mer (point A).

Paramètres	Point B		Point C	
	Heure locale	Heure marée	Heure locale	Heure marée
Salinité	17h00	PM - 30'	17h30	PM
MES	17h00	PM - 30'	18h00	PM + 30'
COD	17h00	PM - 30'	jamais	
NO3	17h30	PM	18h00	PM + 30'
NID	17h00	PM - 30'	17h30	PM

4. DISCUSSION

4.1. LES DIFFERENTES INFLUENCES

Les valeurs obtenues pour chaque paramètre sont expliquées vis à vis des influences possibles de l'eau douce, des zones conchylicoles, de la géomorphologie.

4.1.1. Influence de l'eau douce

De nombreux paramètres sont influencés par les apports des rivières qui se déversent en mer le long du littoral charentais, ce sont du nord vers le sud : la Sèvre-Niortaise, Le Curé, La Charente et La Seudre.

La Sèvre-Niortaise et Le Curé influencent la zone 2 et en particulier Esnandes qui est à l'embouchure. La Charente influence la zone 3. La Seudre influence évidemment les zones 5 et 6.

Les zones 1 (Ile de Ré) et 4 (Ile d'Oléron) ne sont que très faiblement influencées par les apports terrigènes car elles sont assez éloignées des côtes. En plus des rivières, deux stations (3-2 et 3-3) situées dans une zone de marais doux, subissent la remontée d'eaux douces souterraines en surface.

La salinité mesurée est largement influencée par les eaux douces. Elle illustre bien la situation géographique des stations.

La richesse chlorophyllienne est liée aux apports de nutriments venant des apports d'eau douce et à la remise en suspension des microphytes par les courants de marées. La Charente alimente le bassin de Marennes-Oléron avec des flux importants de matière organique détritique. Elle enrichit les vasières, et après minéralisation, il y a un relargage progressif des sels nutritifs utilisables par les microphytes benthiques. C'est probablement pour cette raison que les zones 2 et 3, qui subissent d'importants apports terrestres, sont les plus riches en pigments.

4.1.2. Influence des zones conchylicoles

La Charente Maritime est la première région française conchylicole. La production représente près du tiers de la production nationale ostréicole et le quart de la production mytilicole.

Sur l'ensemble du département, environ 3 500 hectares sont occupés par les huîtres, les moules et autres coquillages (les concessions du domaine public maritime au 01/07/97, source : Direction Départementale des Affaires Maritimes).

L'importante biomasse de mollusques cultivés et de mollusques naturels fonctionne comme un vrai « filtre biologique ». Elle consomme dans la Baie de Marenne-Oléron l'essentiel de la matière organique particulière (phytoplancton, microphyte benthique). La chlorophylle

caractérise la présence des organismes microphytiques qui sont la base de la nourriture des mollusques filtreurs.

Les parcs à huîtres sont essentiellement situés dans le bassin de Marennes-Oléron, ceci pourrait expliquer la diminution des concentrations en pigments du nord vers le sud, avec des valeurs très faibles au niveau de la Seudre.

4.1.3. Influence de la géomorphologie

Comme le montre la figure 12, les zones 1, 3, 5 et 6 sont des zones de type vaseux, la zone 2 est de type rocheux, et la zone 4 est de type sableux. Les fortes valeurs en matière particulaire (MES) obtenues en zones 1 et 3 sont certainement dues à la remise en suspension locale des estrans vaseux à chaque marée. Les zones 5 et 6 ont de faibles valeurs car elles ne subissent pas de remise en suspension. La zone 4 a des valeurs intermédiaires car il s'agit d'une zone plutôt sableuse.

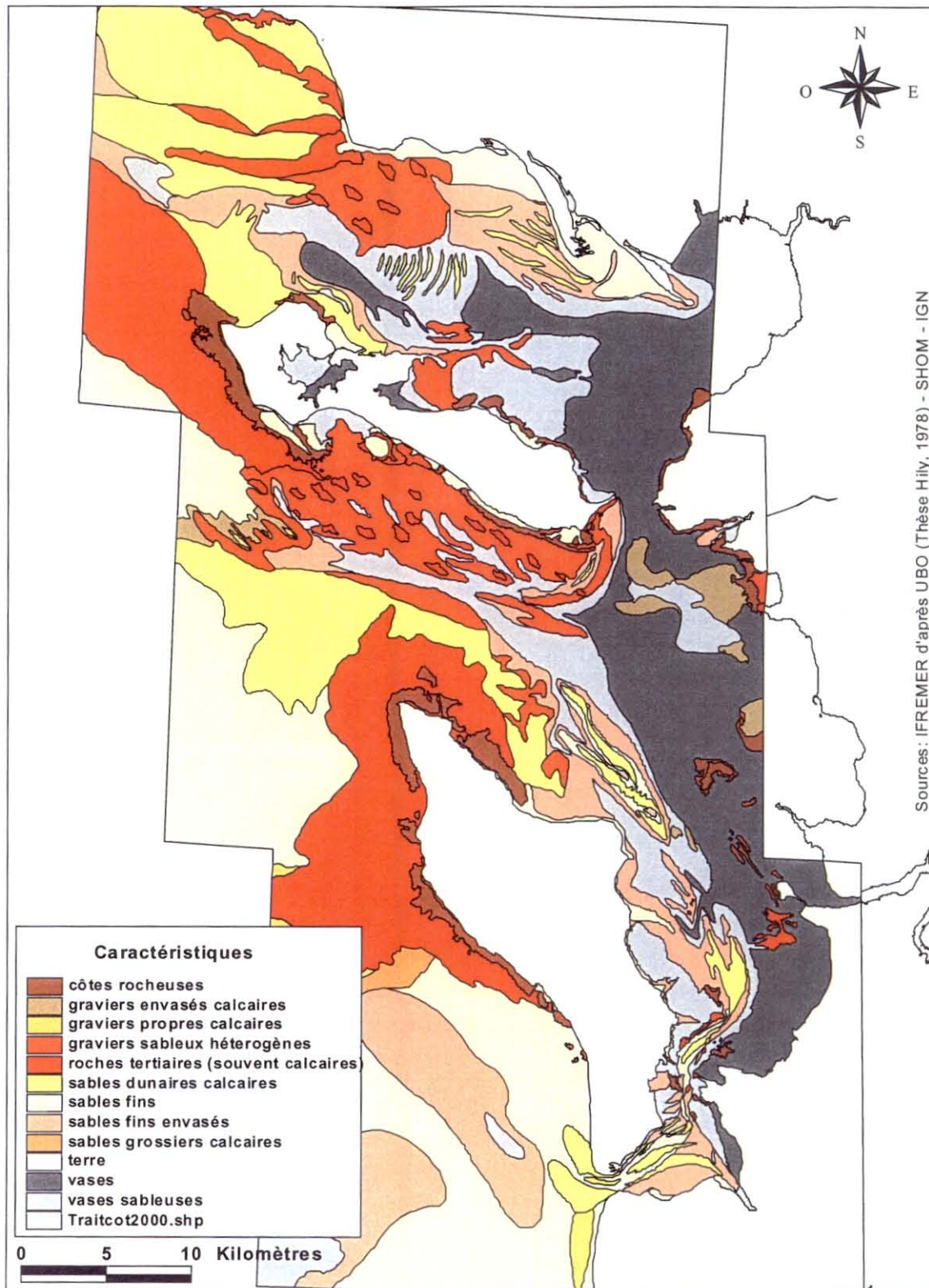


Figure 12 : Caractéristiques géomorphologiques du littoral de Charente-Maritime

4.1.4. Influence de la végétation halophyte

L'abondante végétation halophyte de type « schorre » (obione, salicorne) bordant la partie supérieure des chenaux d'alimentation de marais peut être la source de modification de la qualité de l'eau. Son influence a pu être déterminée grâce à l'étude du cheminement de l'eau entre le chenal des Eveillards (station A) et l'alimentation d'un petit marais endigué sans activité (station C). Tout le long du trajet, environ 560 m de l'écluse à la buse et 150m de la buse au marais, soit 710 m de l'écluse au marais, se trouvent, sur le bord du chenal, des champs d'obione. Ces plantes assimilent les éléments nécessaires à leur croissance, c'est pour cette raison que les valeurs en NO_3 notamment, diminuent du point A au point C. Au contraire, la matière organique dissoute (COD) est produite par les plantes, ce qui fait augmenter leur concentration à marée descendante (Silva et al., 2001).

5. CONCLUSION

La stratégie retenue pour évaluer la qualité des eaux alimentant les marais salés endigués de Charente-Maritime par gravité, lors des marées hautes de fort coefficient, a permis dans cette première campagne 2001 de constater que la productivité des eaux semble limitée par un élément minéral majeur : le phosphore. Les campagnes qui vont se poursuivre chaque année du contrat de plan dans les mêmes conditions (en 2002 la campagne sera réalisée le 2 décembre, coef 89, PM à 15H18), permettront de mieux valider ces informations. Il serait intéressant également de prévoir une deuxième campagne annuelle à la fin du printemps (mai ou juin) pour voir si les mêmes conclusions pourraient être tirées à une période où le marais est utilisé pour des élevages aquacoles extensifs ou semi-extensifs (températures plus favorables à la croissance pour les huîtres à la pousse, les palourdes, ou les crevettes impériales. Après 2003, en analysant les 3 premières campagnes automnales, une stratégie simplifiée pourrait, peut-être, être utilisée aux autres saisons, en réduisant le nombre de stations par zone.

6. BIBLIOGRAPHIE

- Aminot A. et Chaussepied M., 1983.** Manuel des analyses chimiques en milieu marin. Cnexo, Brest, 395 p.
- Banse K., Falls C.P., and Hobson L.A., 1963.** A gravimetric method for determining suspended matter in sea water using Millipore filters. *Deep-sea Res.*, 10 : 639-642.
- Galvan A., 2002.** Variabilité spatiale de la qualité des eaux alimentant les marais salés endigués en Charente-Maritime. Rapport de stage ISE/CREMA, 45p. + annexes.
- Koroleff F., 1969.** Direct determination of ammoniac in natural waters as indophenol blue. *C.I.E.M.*, C2, 19 : 22 p.
- Ifremer, 1999.** Qualité des eaux littorales des pertuis charentais bilan et diagnostic. Rapport DDASS / DDE / CQEL / IFREMER / LBEM, L'Houmeau, France.
- Neveu J., 1976.** Dosage de la chlorophylle *a* et de la phéophytine *a* par fluorimétrie. *Ann. Inst. Oceanogr.* 52 : 165-174.
- Raillard M., 2001.** Caractéristiques biotiques et abiotiques d'un marais salé naturel à plantes halophytes. Rapport fin d'études Intechmer/Crema L'Houmeau.
- Silva C., Raillard M., Bodoy A., Hussenot J. (sous presse).** Bilan azoté des flux tidaux d'un marais salé à végétation halophyte. *J. Rech. Ocean.*
- Treguer P. et Lecorre P., 1976.** Contribution à l'étude de la matière organique dissoute et des sels nutritifs dans l'eau de mer. Caractéristiques chimiques du Golfe de Gascogne et des upwelling côtiers de l'Afrique du Nord-Ouest. Thèse d'Etat, Univ. Bretagne Occidentale, n° 36-37 : 490 p.
- Turpin V., Jacq J., Robert J.-M., 2002.** Etude de la capacité trophique des eaux des chenaux d'alimentation des claires ostréicoles du Bassin de Marennes-Oléron pour les diatomées *Haslea ostrearia* et *Skeletonema costatum*. Rapport de contrat Ifremer 015546097, 29 p.