

Direction des Ressources Vivantes / Ressources Aquacoles
Laboratoire Conchylicole de Poitou-Charentes

Auteurs : O. Le Moine, P. Geairon, J. Hussenot, V. Turpin, P. Gouletquer
Collaborateurs : A. Fillon, A. Galvan, J. Jacq, J. M. Robert

Contrat de Plan Etat – Région. Programme 5.
Juin 2002

Contrat Région Poitou-Charentes 2000-2006

Convention n°2001-RPC-A-212

ifremer

Développement de l'outil cartographique du marais salé de Charente Maritime



CPER 2000-2006	2
LABORATOIRE CONCHYLICOLE DE POITOU-CHARENTES : ACTIVITÉS 2002.	2
2002 : CARTOGRAPHIE DU MARAIS	2
Développement de l'outil cartographique	2
Choix de la zone de travail	2
Numérisation	2
Renseignements attributaires	4
Conclusions	7

CPER 2000-2006

Laboratoire Conchylicole de Poitou-Charentes : activités 2002.

Rappel des objectifs :

- développer l'outil cartographique du marais maritime charentais,
- identifier les usages et leur interaction d'un point de vue saisonnier,
- délimiter le marais conchylicole et son taux d'exploitation,
- établir la variabilité spatio-temporelle de son potentiel trophique et des flux de matière
- établir le potentiel spatio-temporel de développement d'*Haslea ostrearia*,
- évaluer l'intérêt des composants biochimiques d'*Haslea ostrearia* en tant que marqueur de terroir et d'affinage.

2002 : Cartographie du marais

Développement de l'outil cartographique

Choix de la zone de travail

La zone sélectionnée pour cartographie en 2002 est la zone de Brouage. La priorité est donnée aux claires, chenaux, et zones agricoles, très imbriquées sur cette zone. Le choix de cette zone a été motivé par deux raisons. La première est que de nombreux travaux sont actuellement réalisés sur cette zone (CREMA, IFREMER). La seconde est de se préserver la possibilité d'une comparaison de la qualité de la numérisation avec la BD Topo de l'Institut géographique National (IGN) à grande échelle, en cours de réalisation sur ce secteur.

L'objet du contrat de plan est bien celui du marais maritime de la Charente Maritime. Cependant il est apparu opportun, dans des zones comme celle de Brouage, ou de nombreux marais salés ont été drainés et transformés en surfaces agricoles, d'étendre un peu notre travail à la zone agricole environnante. Les diverses interactions Conchyliculture / Agriculture sur le secteur, et les travaux qui en découlent, nous ont paru justifier cette extension.

Numérisation

L'échelle des photos étant du 1/10000, la numérisation la plus fine que l'on peut obtenir est du 1/5000. A cette échelle, les claires les plus petites (inférieures à 500 m²) ne sont pas individualisables. Ce sont donc des champs de claires qui sont identifiés.

Les chenaux sont numérisés sur la base de la BD Carto de l'IGN, de manière à conserver toute la compatibilité avec le reste du réseau hydrographique, de même que le réseau routier. Le réseau de chenaux a été très largement enrichi sur cette zone, dans les limites de l'échelle retenue.



Figure 1 : à droite réseau hydrographique BD carto (IGN) en rouge, à droite recalage et enrichissement réalisé en bleu. A droite réseau routier BD carto recalé et étendu.

Un problème est apparu suite à l'utilisation des programmes semi automatiques d'analyse, qui est celui de la cohérence des différents polygones d'une couche, et de la cohérence entre les différentes couches. Cette analyse laisse des "vides" entre les différentes entités, ce qui s'explique par la technique d'analyse elle-même. En effet, ce qui détermine la limite d'un polygone est le changement de la fréquence spatiale. Celle-ci exprime le changement de luminosité (contraste) par rapport à la distance. Les régions à forte fréquence définissent donc les contours (contours de claires, emprises de routes, chenaux ou chemins par exemple). Le choix fait étant de représenter les routes chemins et chenaux sous forme de polygones, pour cohérence avec la BD carto de l'IGN impose donc une modification des couches polygonales qui doivent représenter la totalité de la surface du terrain. La route, le chemin ou le chenal concerné, d'un point de vue surfacique, est donc affecté au polygone qui lui est adjacent, avec tous ses attributs. L'ajustement des polygones est donc numérisé "à la main".

Les limites polygonales retenues sont basées sur des critères visuels observables sur les photos (chemins, fossés, etc...). Le réseau hydrographique et le réseau routier, réalisés en polygones, viennent se superposer à ces limites de polygones.

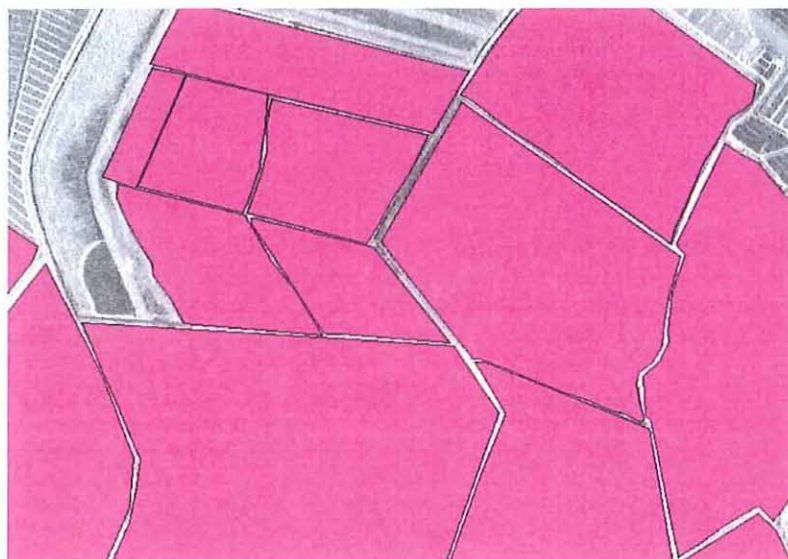


Figure 2 : polygonisation non jointive obtenue par traitement automatisé.

Vu le changement d'échelle, les données IGN BD Carto (1/25000) ont dû être recalées, tant pour les chenaux que pour les routes, positionnées dans un but de cohérence globale.

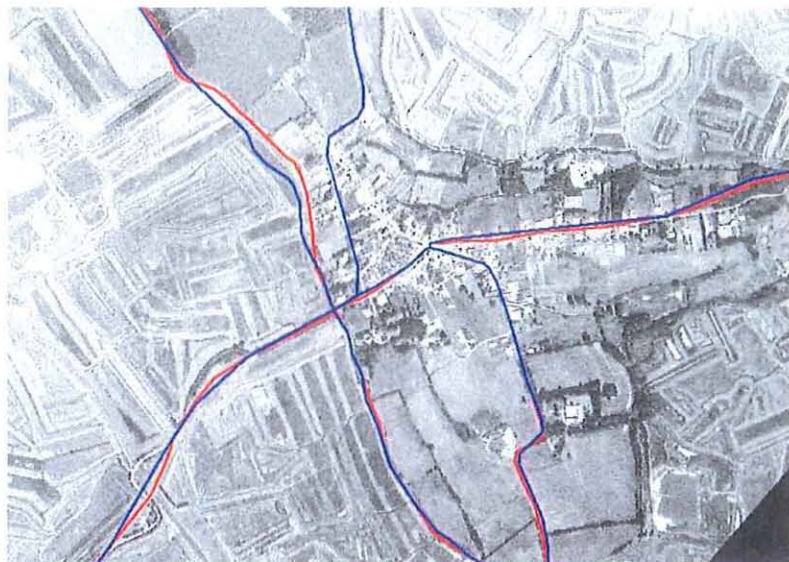


Figure 3 :réseau routier, illustration du décalage BD carto (en bleu) avec les orthophotos 1997. Le recalage réalisé est en rouge.

Renseignements attributaires

La validation terrain n'est encore que partielle. Elle sera complétée en même temps que le positionnement en coordonnées terrain et altimétrie des ouvrages hydrauliques au GPS différentiel. De même, les côtes altimétriques des principaux chenaux d'alimentation seront réalisées en profil en long à l'aide du GPS différentiel. Il est très délicat, voire impossible de juger de l'utilisation qui est faite du terrain d'après les photos aériennes disponibles (campagne 1997 IFREMER, Conservatoire du Littoral, DDE, CREEA et CIADT 2000).

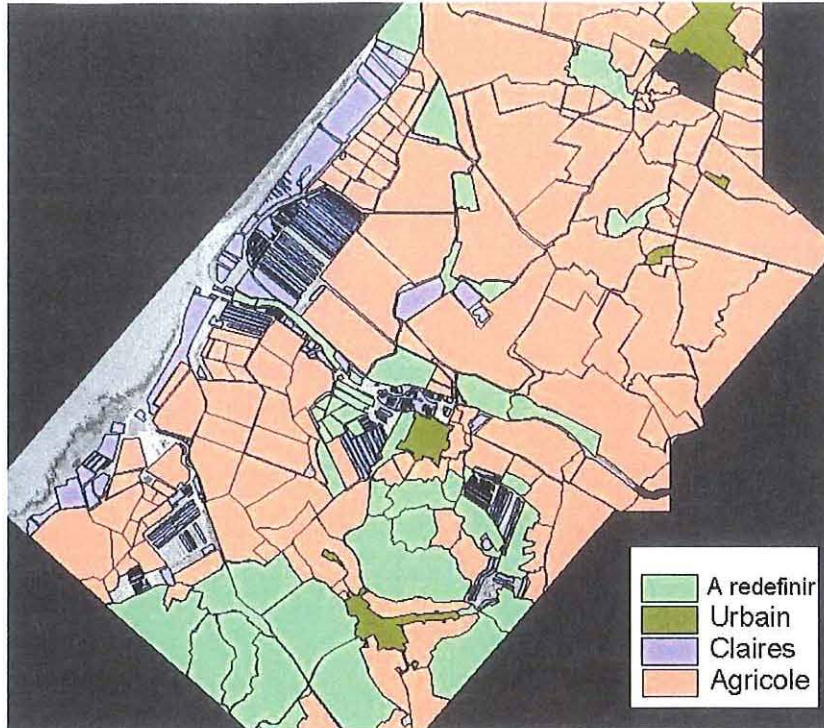


Figure 4 : Niveau d'information accessible sur analyse des orthophotos 1997.

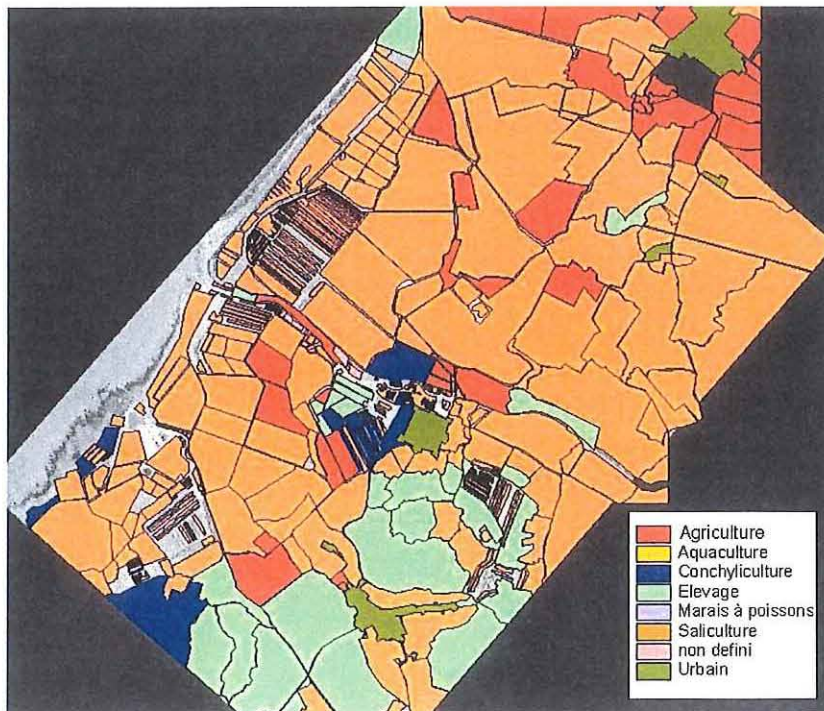


Figure 5 : enrichissement attributaire à l'aide des orthophotos du CIADT 2000.

La nomenclature utilisée et les rubriques retenues sont, dans une première approche, celles de l'Atlas des Marais de Charente maritime IFREMER-EID, à savoir :

Usages :

- Abandonné
- Exploité
- Naturel

Milieux :

- Doux
- Halophiles

Activité :

- Agriculture
- Aquaculture
- Conchyliculture
- Elevage
- Marais à poisson
- Saliculture

Certaines de ces données attributaires ont d'ores et déjà été renseignées depuis l'atlas des marais (IFREMER EID, 1992) pour information de la numérisation effectuée en 2001, par sélection spatiale des polygones s'intersectant entre les deux couches. Elles seront nécessaires dans le cadre de l'étude de l'évolution des activités et usages de la zone de marais entre les deux périodes.

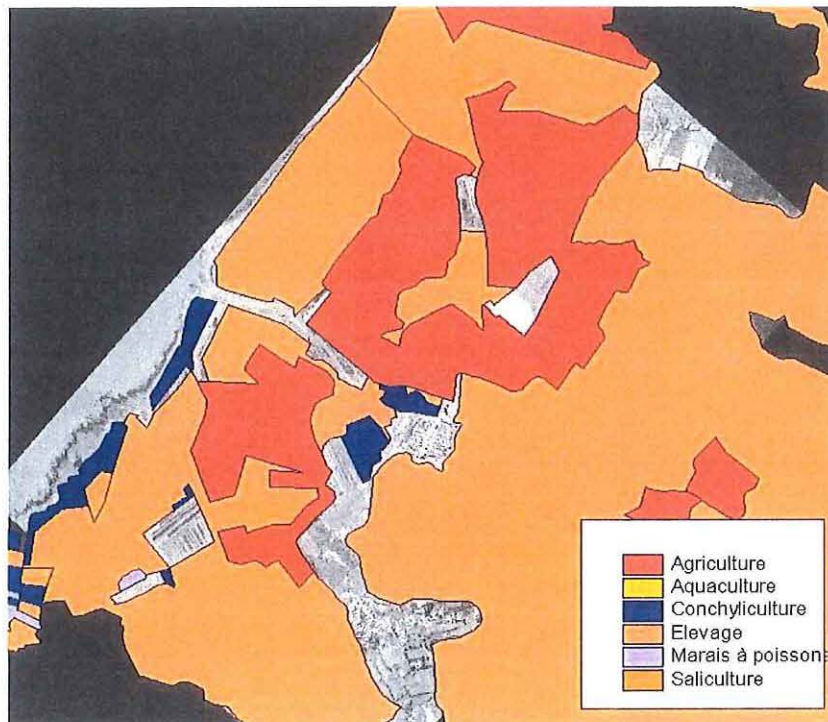


Figure 6 : Représentation sur la zone de l'atlas des marais (IREMER EID 1997)

L'information sur les usages (Abandonné, exploité, naturel) sera faite par validation visuelle sur le terrain.

Le zonage de milieux (doux / halophile) est en cours de réalisation. Il est fait par mesure de la salinité des chenaux au salinomètre en circulant sur la zone.

Les renseignements touchant aux activités sont acquis également par observation directe. Un contrôle des différents attributs pourra être réalisé à posteriori par validation par les gestionnaires des différentes zones.

Les attributs calculés (surface, distance à la côte etc.) le seront pour chaque polygone une fois la numérisation terminée. Il importe avant de faire cette partie du travail d'avoir validé non seulement le découpage des polygones, mais également leur cohérence et les attributs d'activité ou usage.

Conclusions

La zone de Brouage, choisie pour réaliser le travail de numérisation cartographique, ne demande plus qu'une validation terrain pour être complète. Celle ci sera réalisée courant 2003, conjointement avec le référencement des ouvrages et fond de chenaux salés navigables, en données horizontales (longitude et latitude) et verticales (altimétrie).

Il ressort de la réalisation de ce premier zonage, qu'il est important pour les prochaines campagnes de photos aériennes, de les pratiquer aux pleines mers de vives eaux. Les photos renseigneront ainsi sur les claires alimentées, et cela permettra de les distinguer des autres. Les zones inondables seront également révélées, et cela permettra de rajouter cet attribut important.

Dans un second temps, une analyse en imagerie satellitaire pourra maximiser l'information qualitative de l'utilisation du sol. Ce type de travail permet de distinguer par exemple des cultures agricoles intensives, ou de classier par le degré hygrométrique du sol. Ces informations, reportées sur numérisation au 1/5000, rajouteront un autre type d'information à l'usage des marais salés du département.

2002 : CARACTERISATION HYDROLOGIQUE DES CHENAUUX D'ALIMENTATION DES MARAIS SALES DE LA CHARENTE MARITIME :

L'étude de la variabilité spatio-temporelle du potentiel trophique des marais salés de Charente Maritime a débuté par une campagne de mesure destinée à réaliser un instantané de la qualité physico-chimique des eaux alimentant les marais du département. 40 stations ont ainsi été échantillonnées en même temps, dans l'intervalle d'une heure et demie avant la haute mer. Tout le laboratoire, ainsi que le CREMA, le LBBM, le CREEA et le Forum des Marais Atlantiques ont participé à l'échantillonnage. Deux chenaux, un sur la Seudre et un sur l'île de Ré ont été échantillonnés en continu.

Les variables analysées sont : Température, Salinité, pH, Matières en suspension (organique et minérale particulaire), Chlorophylle *a*, CHN, Eléments organiques dissous y compris azote, Azote ammoniacal, Azote total, Nitrites, Nitrates, Urée, Phosphates, Silicates. Des tests de fertilité sont faits, destinés à déterminer la capacité de production biologique des échantillons. Ces tests de fertilité sont couplés à des tests d'enrichissements différentiels (Azote, Phosphore et Silice) afin d'identifier les éléments nutritifs limitants pour l'algue test, la diatomée *Haslea ostrearia* (Robert, 1983; Turpin, 1999).

Figure 1 : gauche réseau hydrographique BD carto (IGN) recalé et enrichissement réalisé routier BD carto recalé et étendu.	droite réseau	3
Figure 2 : polygonisation non jointive obtenue par traitement automatisé.		3
Figure 3 : illustration du décalage BD carto avec les orthophotos 1997.		4
Figure 4 : Niveau d'information accessible sur analyse des orthophotos.		5
Figure 5 : Gauche: Représentation sur la zone de l'atlas des marais (IREMER IDE 1997) Droite: Numérisation 2002 affinée à l'aide du CIADT 2002.		6

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 GEAIRON³, 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



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 CHENAU)	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'ILE 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 CREAA 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.

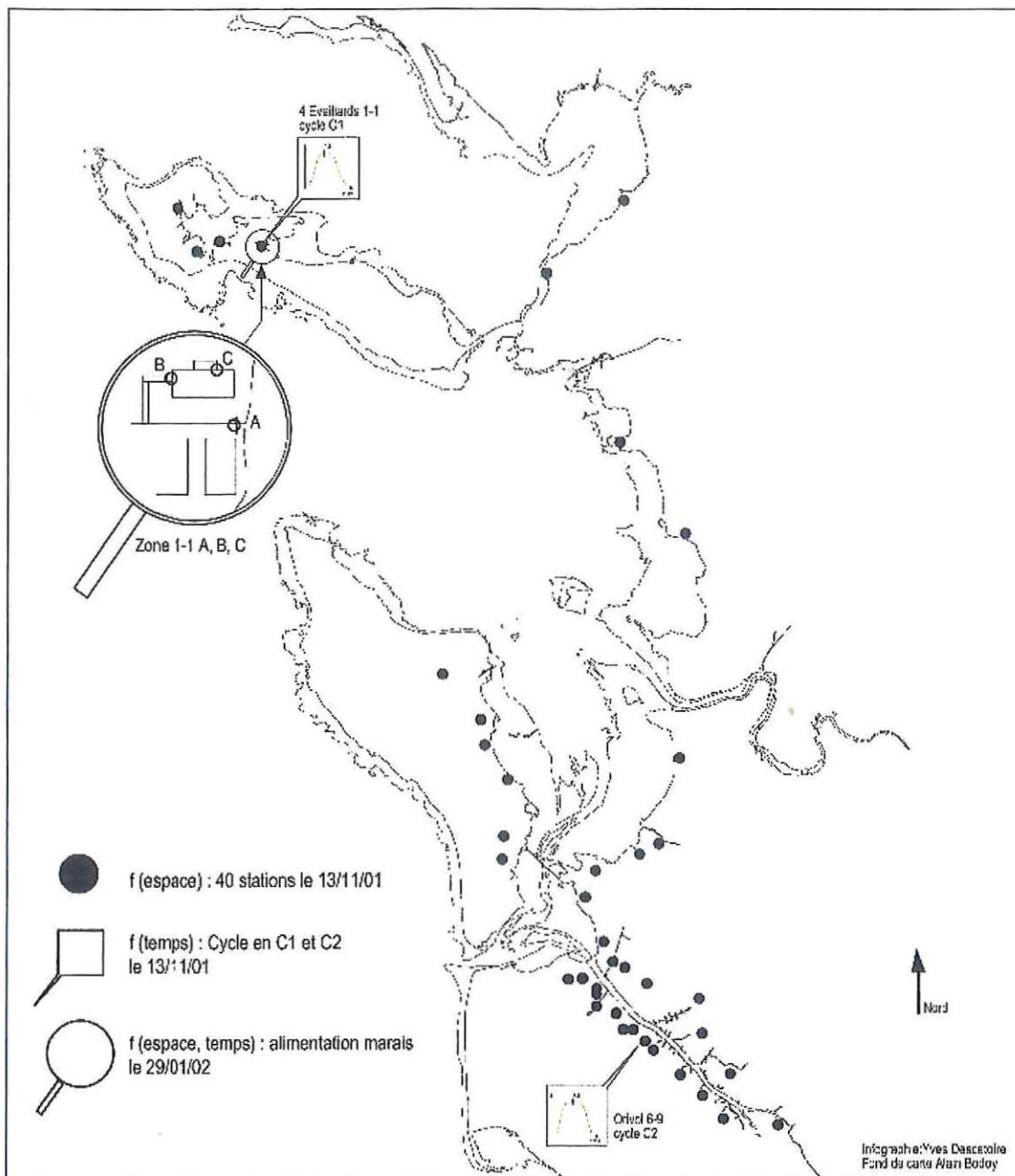


Figure 1 : Stations de prélèvement et types d'étude effectuées sur les circuits d'alimentation des marais salés endigués de Charente-Maritime

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).

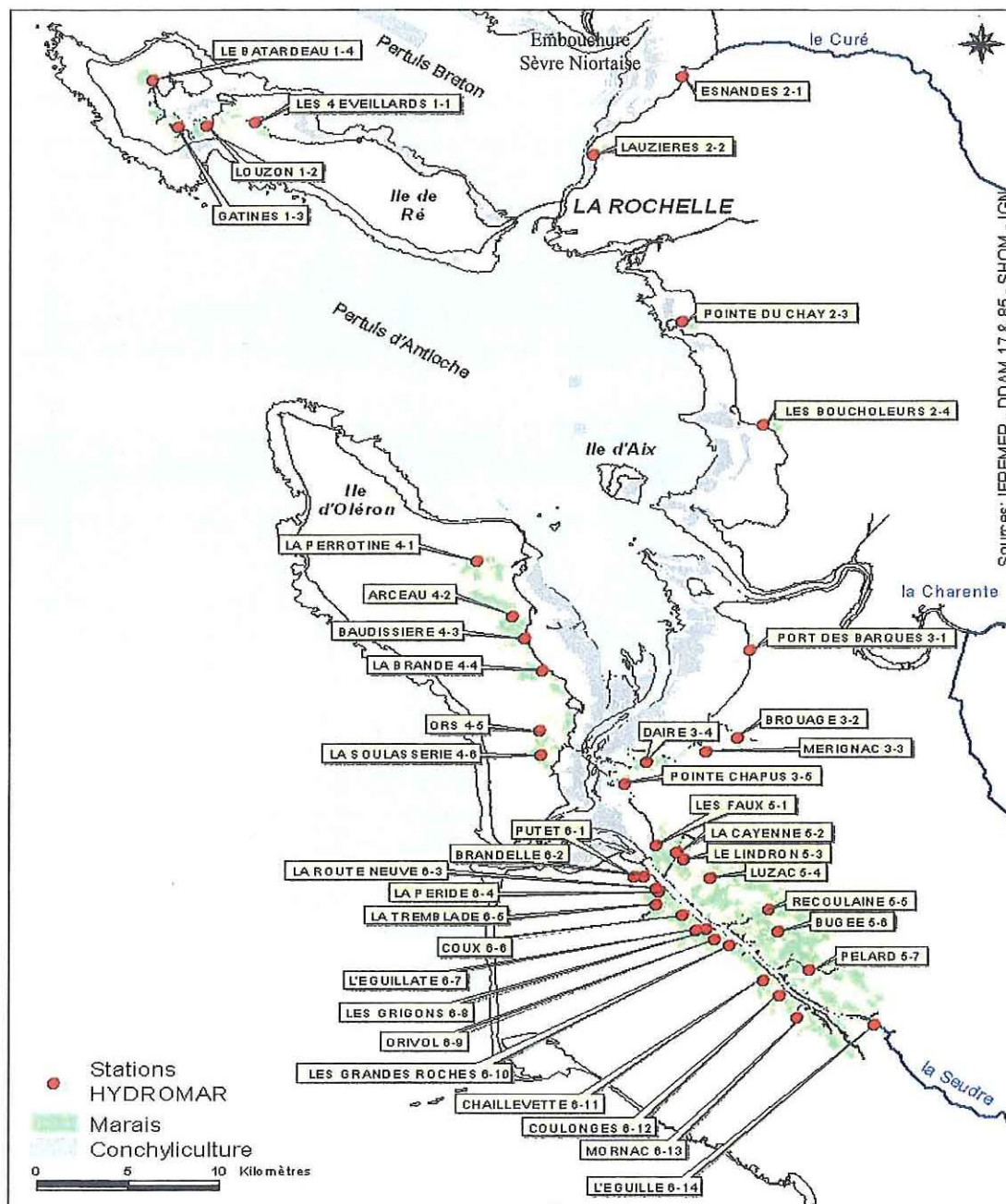


Figure 2 : Stations de prélèvements pour évaluer la variation spatiale sur le littoral charentais

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 ^{ème} 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.

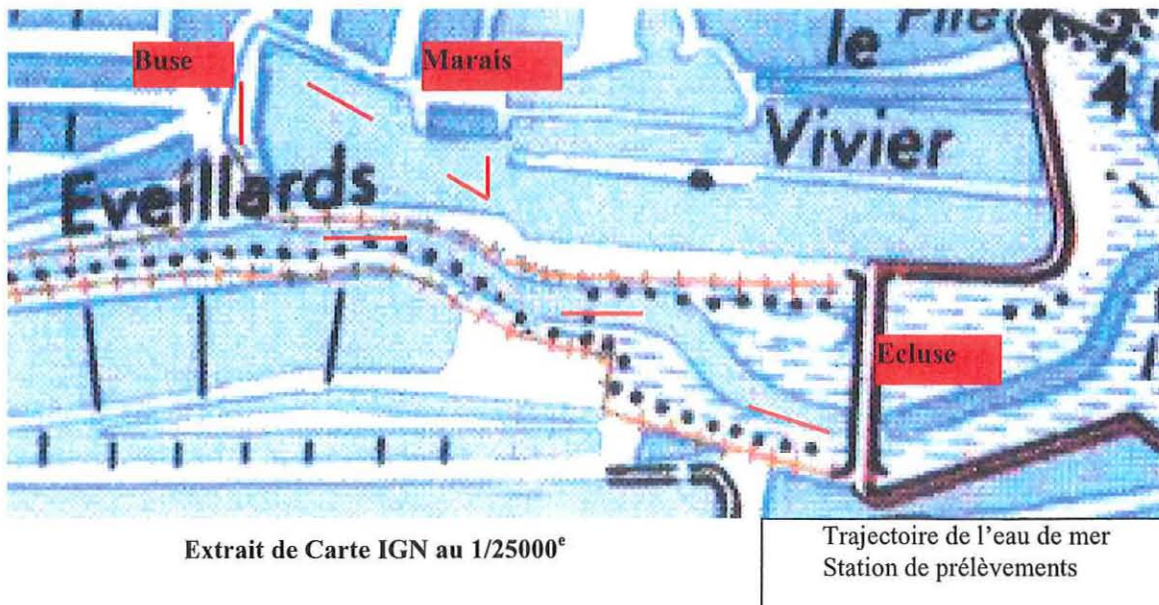


Figure 3 : Trajet emprunté par l'eau de mer de l'écluse des Eveillards, en passant par la prise d'eau jusqu'à l'entrée du marais (Ile de Ré, Baie de Fosse de Loix)

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 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 :

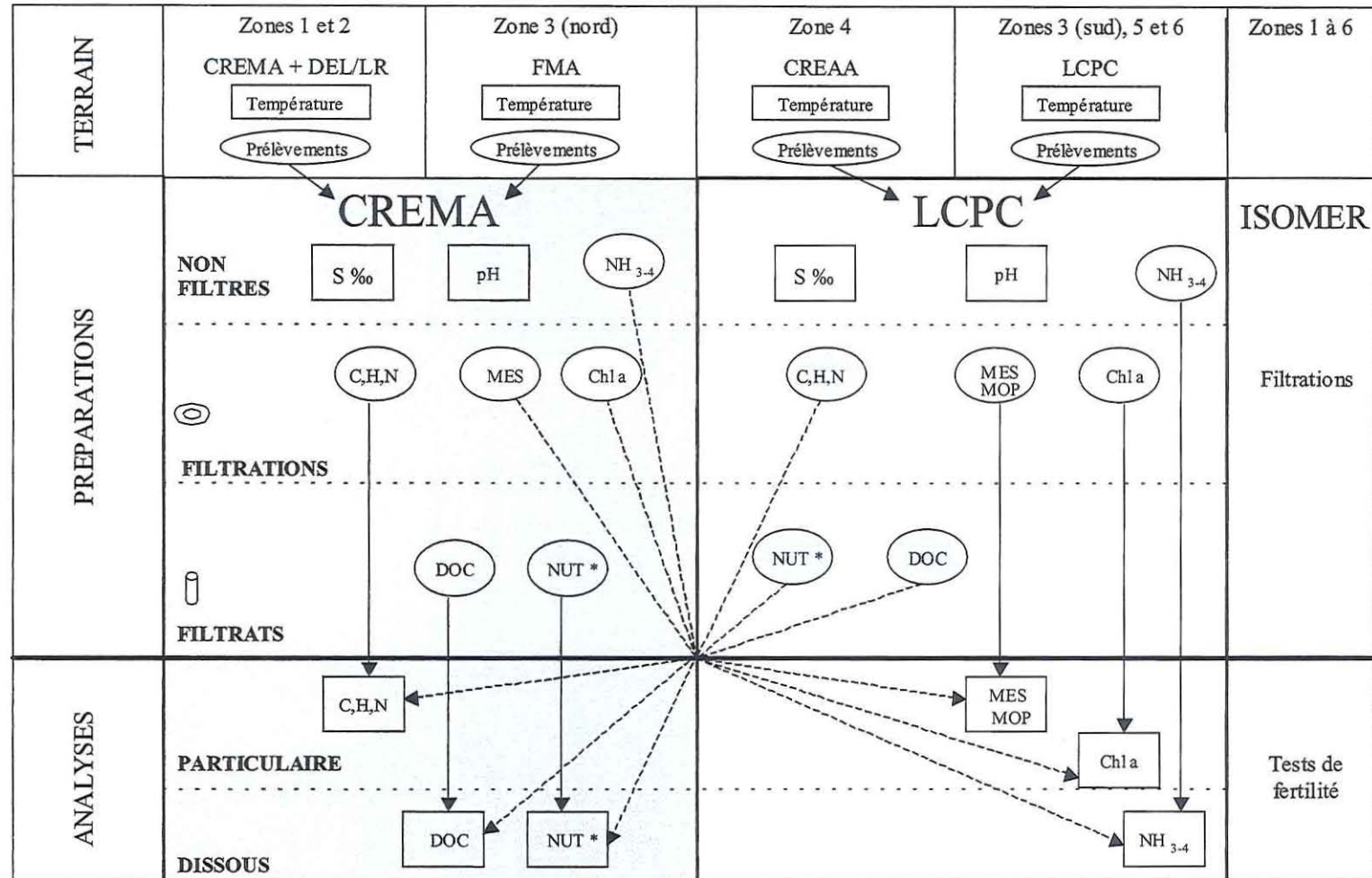
- Les sels nutritifs, le COD et le CHN ont été analysés par le groupe technique d'analyse du CREMA pour tous les échantillons.
- L'azote ammoniacal, la chlorophylle, la phéophytine, les MES et les MOP ont été analysés par le laboratoire du LCPC, de même pour tous les échantillons.
- Les tests de fertilité 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.

Variabilité spatiale de la qualité des eaux
alimentant les marais salés endigués en Charente-Maritime

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 ‰).

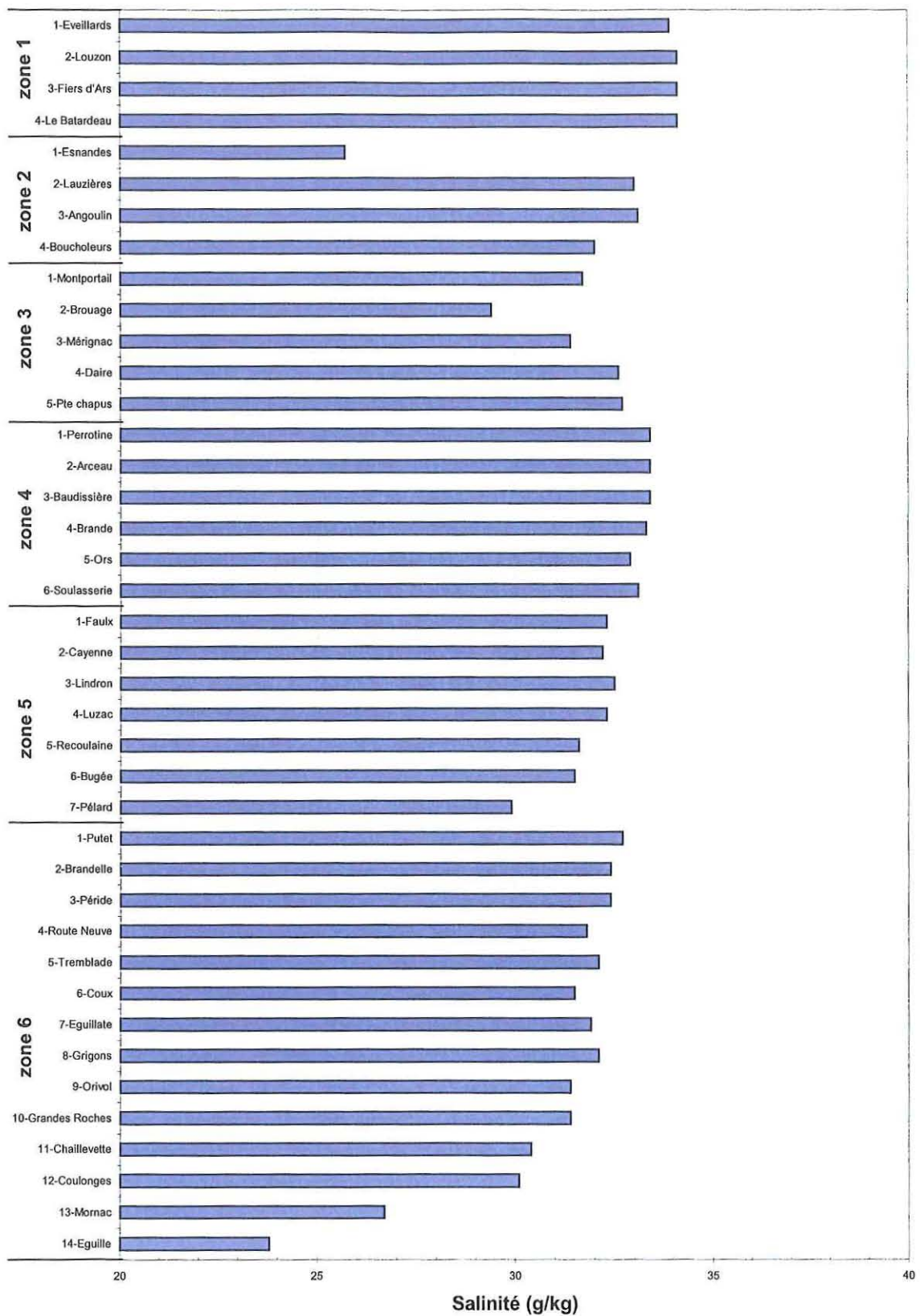


Figure 4 : Variations de la salinité en fonction de la station pour la campagne Hydromar du 13/11/01

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.

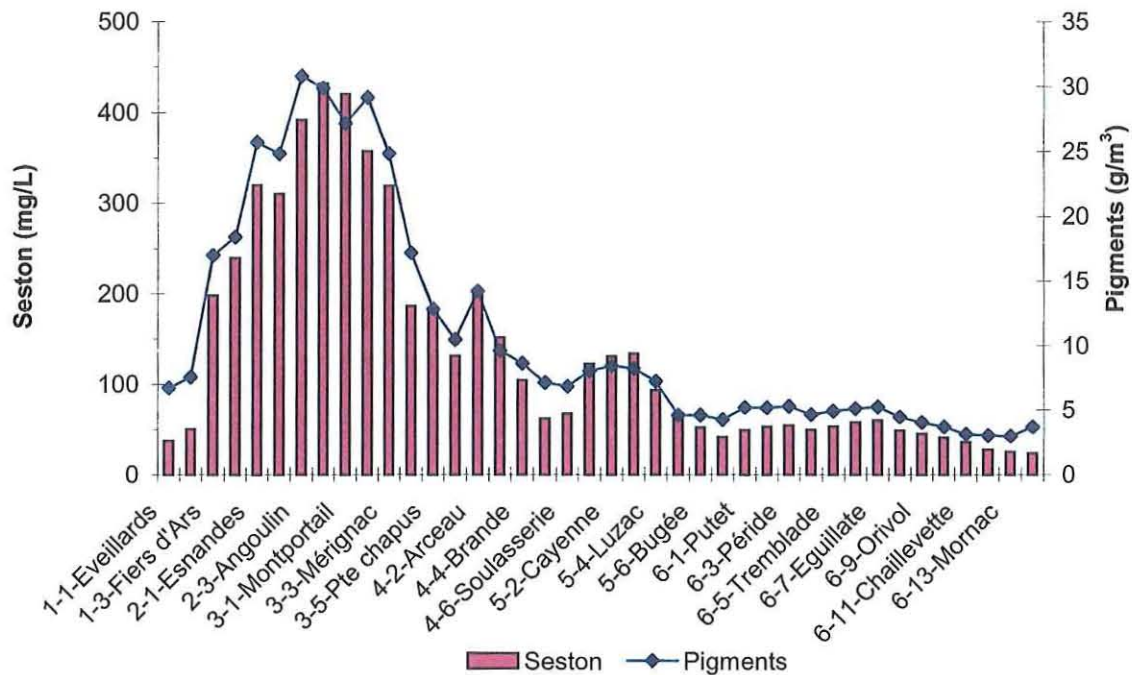


Figure 5 : Variations de la matière en suspension (seston) et des pigments en fonction de la station pour la campagne Hydromar du 13/11/01

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. La 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.

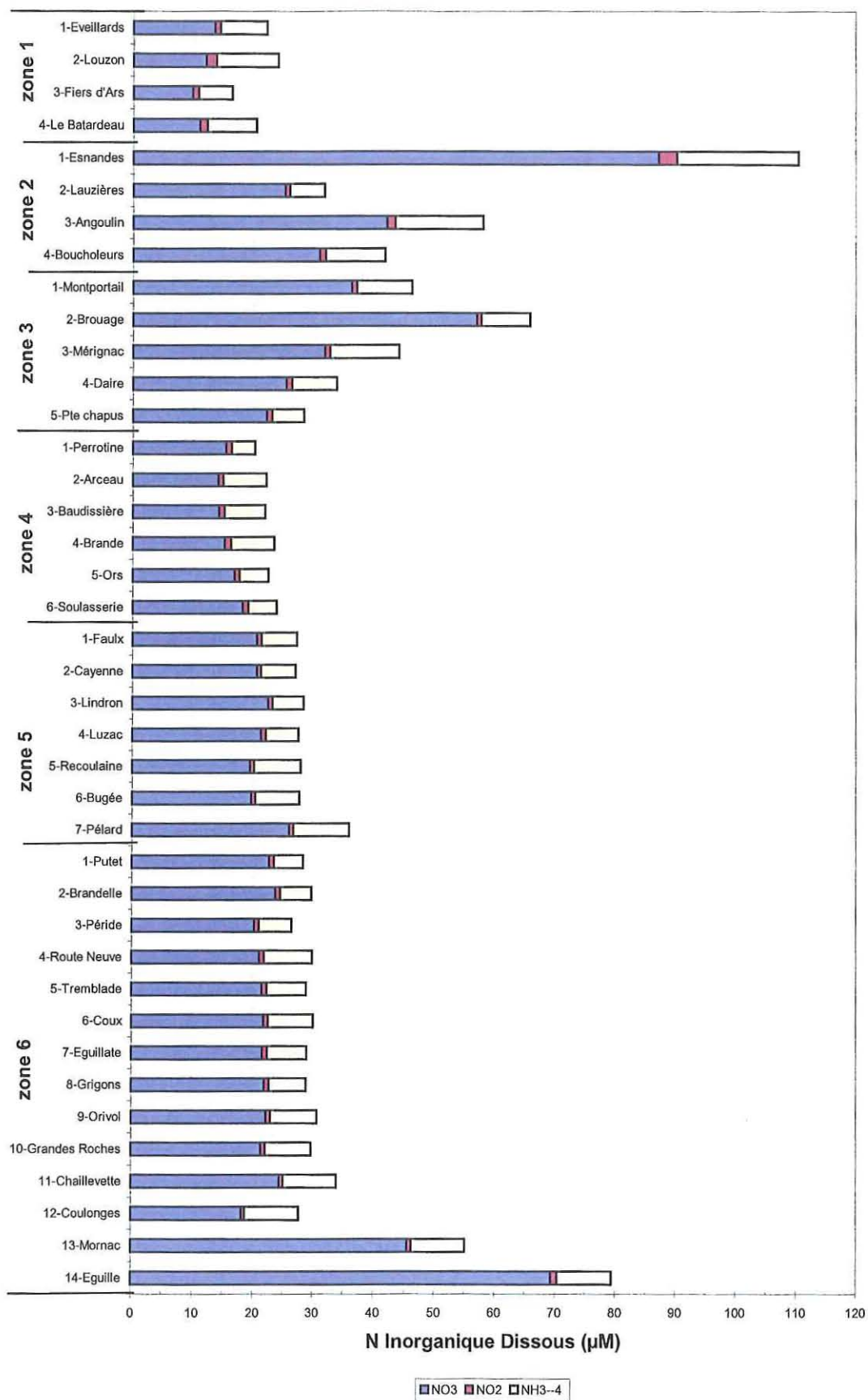


Figure 6 : Variations de l'azote inorganique dissous ($NO_2 + NO_3 + NH_{3,4}$) en fonction de la station pour la campagne Hydromar du 13/11/01

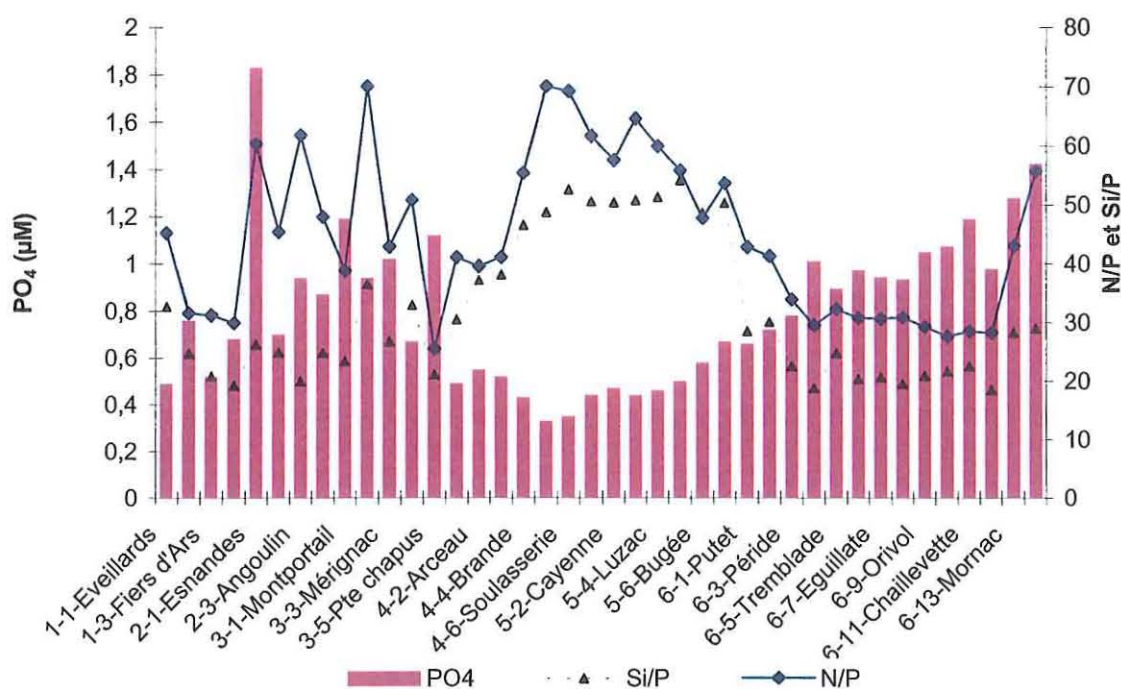


Figure 7 : Variations du P-PO₄ et des rapports N/P et Si/P en fonction de la station pour la campagne Hydromar du 13/11/01

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

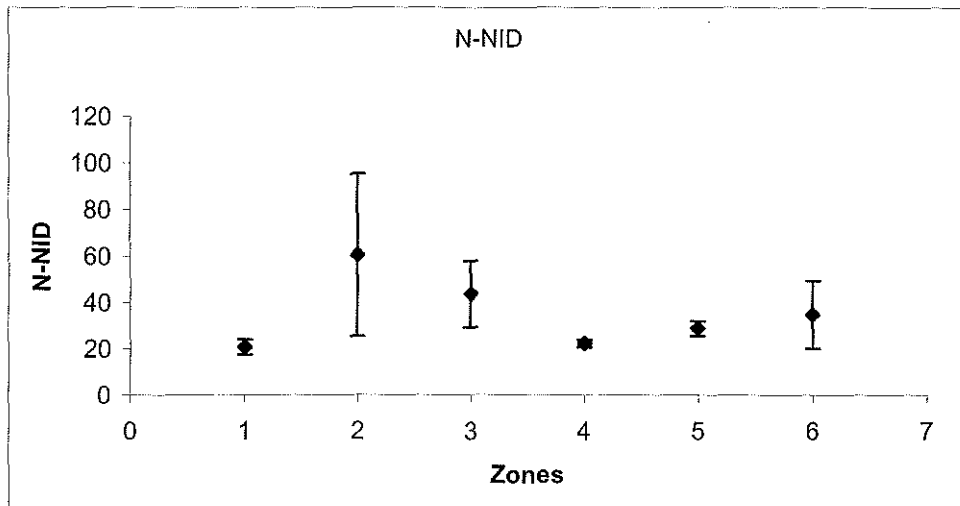


Figure 8 : Moyenne et écart type des concentrations en azote inorganique dissous (N-NID) pour chaque zone.

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.

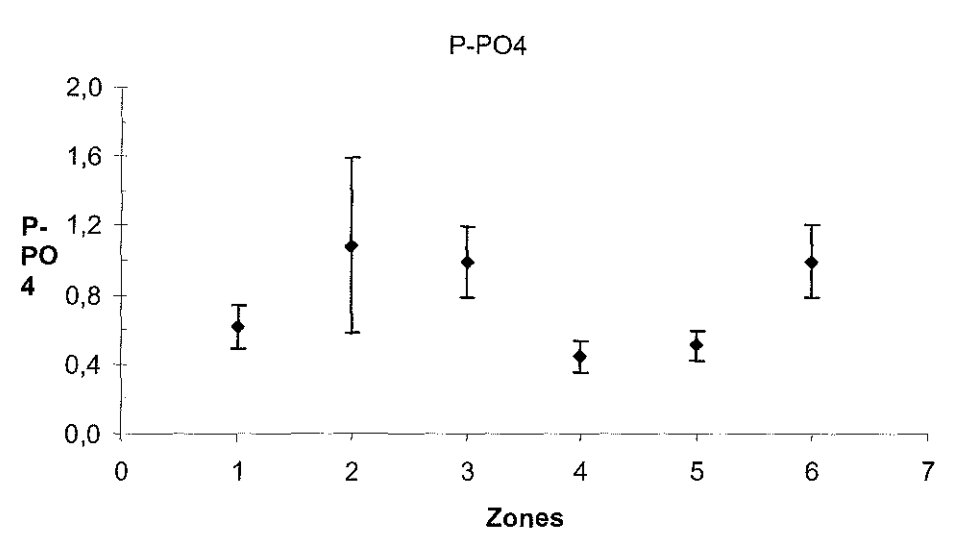


Figure 9 : Moyenne et écart type des concentrations en P-PO₄ pour chaque zone.

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).

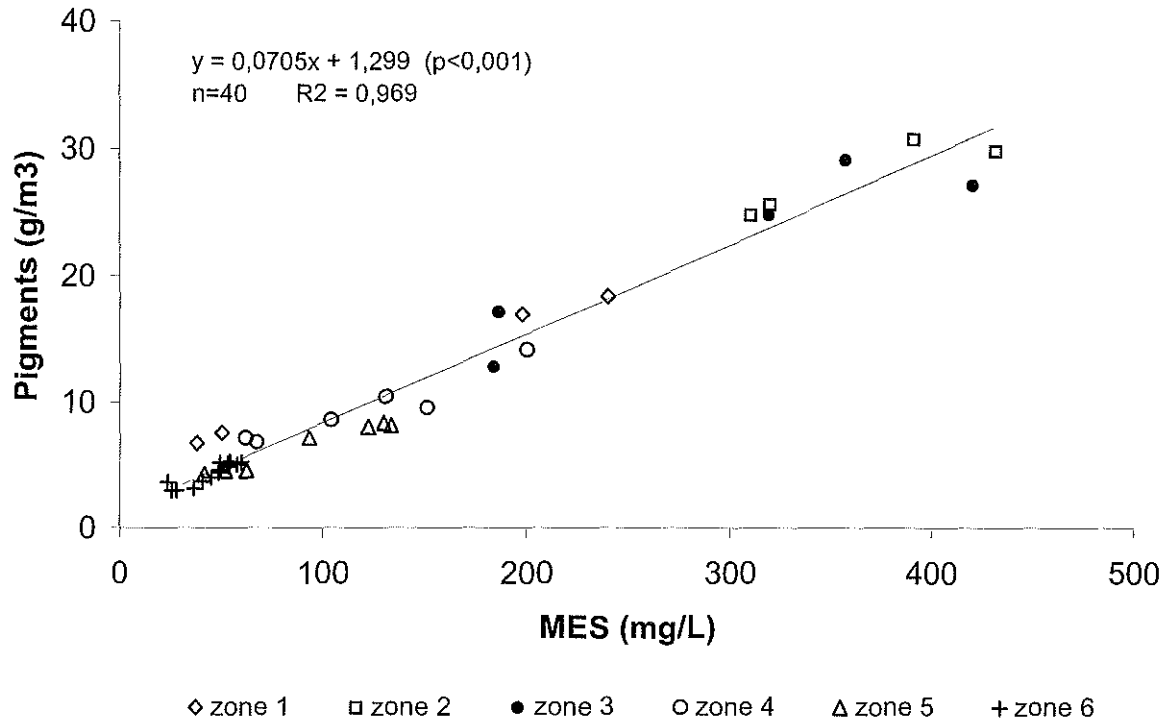


Figure 10 : Concentration, pour chaque zone, des pigments totaux exprimée en fonction de la concentration en MES.

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.

Evolution de la salinité au cours du cycle de Janvier 2002 au niveau des 3 stations de prélèvement

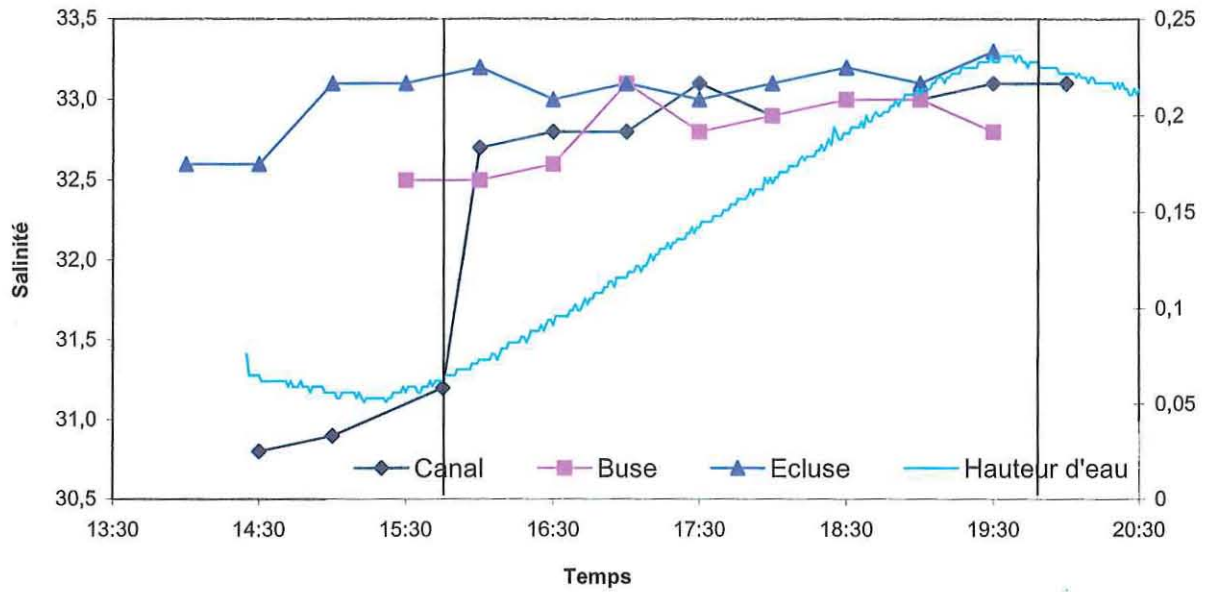


Figure 11 : Evolution de la salinité au cours du cycle de janvier 2002 au niveau des 3 stations de prélèvement

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.

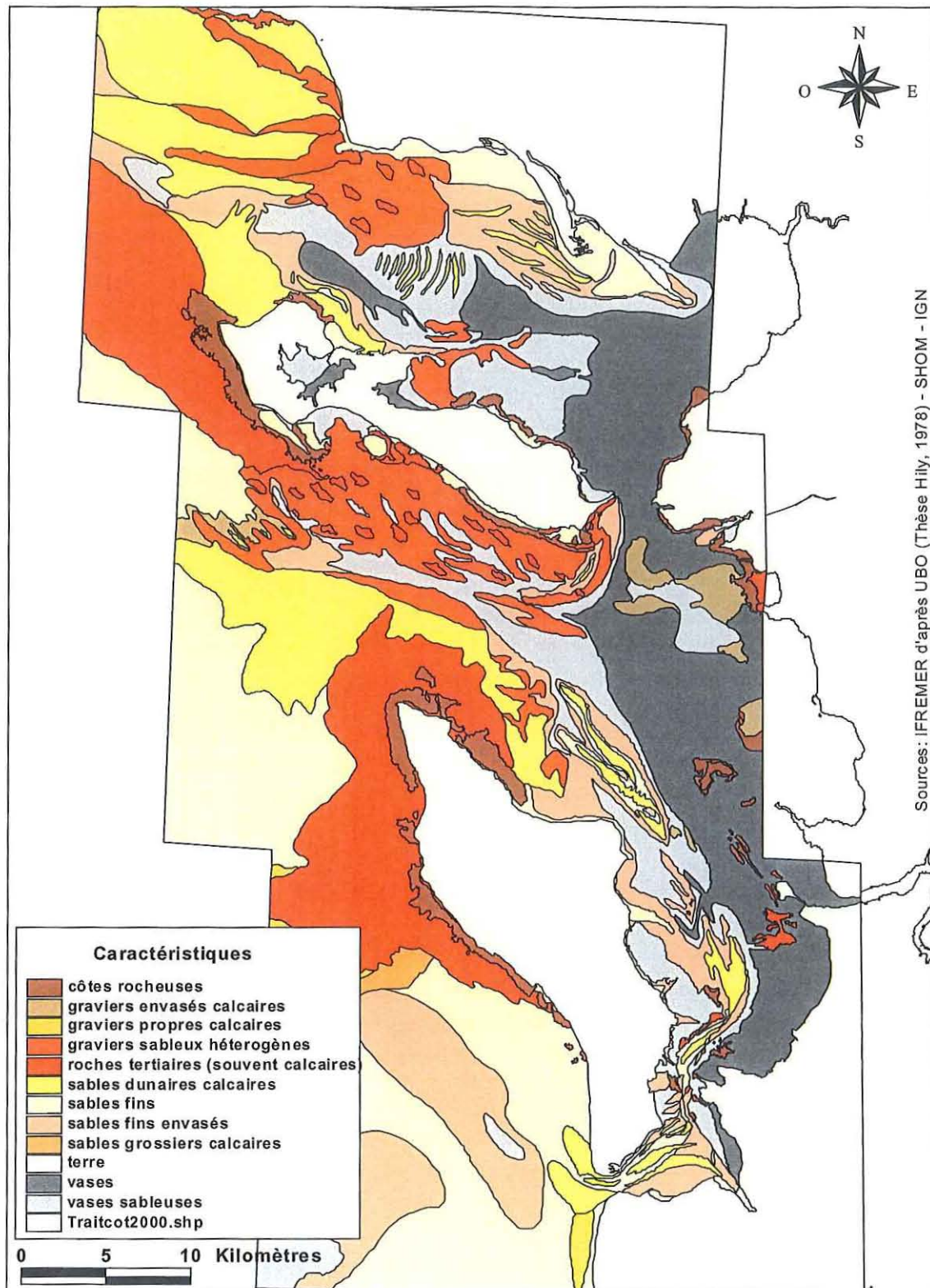


Figure 12 : Caractéristiques géomorphologiques du littoral de Charente-Maritime

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.

CPER 2000-2006 : Programme 5

Gestion durable des activités anthropiques en marais et zone littorale

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*.

V. TURPIN, J. JACQ et J.-M. ROBERT

Laboratoire de Biologie Marine (EA 2663) Université de Nantes.

IFREMER – Université de Nantes



SOMMAIRE

<u>1 - INTRODUCTION</u>	3
<u>2 - MATERIELS ET METHODES</u>	4
2-1 LA ZONE D'ÉTUDE.....	4
2-2 CHOIX DES ESPÈCES ALGALES UTILISÉES.....	5
2-2-1 <i>La diatomée pennée Haslea ostrearia Simonsen</i>	5
2-2-2 <i>La diatomée centrique Skeletonema costatum Cleve</i>	6
3- MISE EN PLACE DES BIOESSAIS.....	7
3-1 <i>Choix des points de prélèvements</i>	7
3-2 <i>Analyse des Sels Nutritifs</i>	7
3-3 <i>Suivi de la croissance par tests biologiques</i>	8
3-3-1 <i>Préparation des inoculum</i>	8
3-3-2 <i>Estimation de la fertilité potentielle</i>	8
<u>4- RESULTATS</u>	10
4-1 PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX PRÉLEVÉES DANS LES DIFFÉRENTS CHENEAUX D'ALIMENTATION DES CLAIRES OSTRÉICOLES.....	10
4-1-1 <i>Salinité (Fig.3)</i>	10
4-1-2 <i>Azote inorganique dissous</i>	11
<i>Ammonium (NH₄⁺) (Fig.4)</i>	11
<i>Azote nitreux dissous (NO₂⁻) (Fig.5)</i>	11
<i>Azote nitrique dissous (NO₃⁻) et azote total inorganique (Fig.6)</i>	12
4-1-2 <i>Silicium dissous (SiO₃⁻) (Fig.7)</i>	13
4-1-3 <i>Phosphore total inorganique dissous (PO₄²⁻) (Fig.8)</i>	14
4-2 RAPPORTS ENTRE LES NUTRIMENTS MAJEURS DES DIFFÉRENTES EAUX PRÉLEVÉES SUR LE DÉPARTEMENT DE LA CHARENTE MARITIME.....	14
4-2-1 <i>Rapport • N:P (Fig.9)</i>	15
4-2-2 <i>Rapport • N:Si (Fig.10)</i>	15
4-2-3 <i>Rapport • Si:P (Fig.11)</i>	16
4-3 TESTS BIOLOGIQUES.....	17
4-3-1 <i>Les gammes étalons</i>	17
<i>Cas de Skeletonema costatum</i>	17
<i>Cas de d'Haslea ostrearia</i>	18
4-3-2 <i>Fertilité potentielle des différentes eaux d'alimentation</i>	18
<i>L'algue test Skeletonema costatum</i>	19
<i>L'algue test Haslea ostrearia</i>	20
4-4 RELATION ENTRE FERTILITÉ POTENTIELLE ET RICHESSE NUTRITIVE DES EAUX.....	20
<u>5 DISCUSSION</u>	22
5-1 PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX PRÉLEVÉES DANS LES DIFFÉRENTS CHENEAUX D'ALIMENTATION DES CLAIRES OSTRÉICOLES.....	22
5-2 FERTILITÉ POTENTIELLE DES DIFFÉRENTES EAUX.....	24
<i>Cas de Skeletonema costatum</i>	24
<i>Cas d'Haslea ostrearia</i>	25
<u>6 CONCLUSIONS</u>	27

1 - INTRODUCTION.

La conchyliculture en région Poitou-Charentes représente l'une des activités économiques les plus importantes. En effet, dans cette région, ce sont près de 7800 hectares qui sont occupés par des concessions ostréicoles, dont 3000 hectares de marais littoraux (Prou et Héral, 1998). Ainsi le secteur de Marennes-Oléron représente à lui seul, pour 45000 à 60000 tonnes d'huîtres creuses commercialisées en 2001, près de 39% de la commercialisation des huîtres à l'échelon national. Il faut remonter au 17^{ème} siècle pour voir se développer la culture de l'huître plate (*Ostrea edulis*) dans le bassin de Marennes-Oléron. Après deux épizooties et l'importation de l'huître portugaise *Crassostrea angulata*, c'est l'huître japonaise *C.gigas* qui est actuellement exploitée en France. Papy (1941) a montré que dès 1688, une partie des salines de la région de Marennes-Oléron était utilisée pour y placer des bivalves. Ces bassins, baptisés 'claires', servaient à l'engraissement et au verdissement des huîtres. Depuis, l'affinage est devenu une phase traditionnelle de l'élevage des huîtres dans cette région. Cette pratique a pour but d'améliorer leur qualité sur le plan organoleptique, par l'engraissement ; mais aussi sur le plan esthétique par le verdissement des mollusques immergés dans les claires ce qui est un gage de qualité pour la filière ostréicole.

Cette étude, effectuée dans le cadre du contrat Plan Etat Région Poitou-Charentes entre le Laboratoire Conchylicole Poitou-Charentes (LCPC-IFREMER La Tremblade) et le laboratoire de Biologie Marine (EA2663-ISOMER-Université de Nantes) s'inscrit dans le programme n°5 « Gestion durable des activités anthropiques en marais et zone littorale ». Un des objectifs de ce programme est l'obtention d'une cartographie précise, à l'échelle d'un bassin ostréicole, de la capacité trophique des eaux d'alimentation des chenaux ostréicoles vis à vis de deux espèces de diatomées : *Haslea ostrearia* Simonsen et *Skeletonema costatum* Cleve. La première espèce est l'agent responsable du verdissement des huîtres, phénomène recherché par la plupart des ostréiculteurs, comme étant une marque de qualité de l'affinage et conduisant à l'appellation commerciale « Fines de claires vertes ». La seconde espèce, quant à elle, est l'algue fourrage utilisée principalement pour l'engraissement des bivalves aussi bien en écloserie qu'en nurserie. Pour réaliser ce travail, des tests de fertilité potentielle ont été mis en place avec ces deux diatomées comme algue-tests. Le comptage des cellules algales a été réalisé par la technique offerte par le sel de tetrazolium (MTT). Dans un premier temps, elle permettra de s'affranchir du comptage manuel, fastidieux et consommateur de temps, tout en permettant de donner un poids statistique aux bioessais. Enfin, elle s'avère intéressante du fait du grand nombre de sites étudiés.

Ce travail devrait permettre ainsi de caractériser les variabilités spatio-temporelles hydrologiques au niveau des marais conchylicoles charentais, et à long terme la prise éventuelle de décisions quant à certains aménagements de chenaux. Il permettra d'intervenir au niveau des modes de gestion de certaines zones de marais consacrées à la conchyliculture, notamment pour l'affinage et le verdissement des huîtres (entretien des chenaux, revalorisation de parcelles...). L'action 2001 devrait permettre de faire un état des lieux le plus large possible afin d'ajuster et d'orienter la stratégie future dans le cadre du contrat Plan État Région Poitou-Charentes.

2 - MATERIELS ET METHODES.

2-1 La zone d'étude.

Les sites de prélèvements, dans le cadre de ce travail, se situent dans le département de Charente-Maritime entre l'embouchure de la Sèvre Niortaise et la Seudre. La zone échantillonnage comprend 40 sites de prélèvements et s'étend du bassin de Marennes-Oléron jusqu'au nord de l'île de Ré.

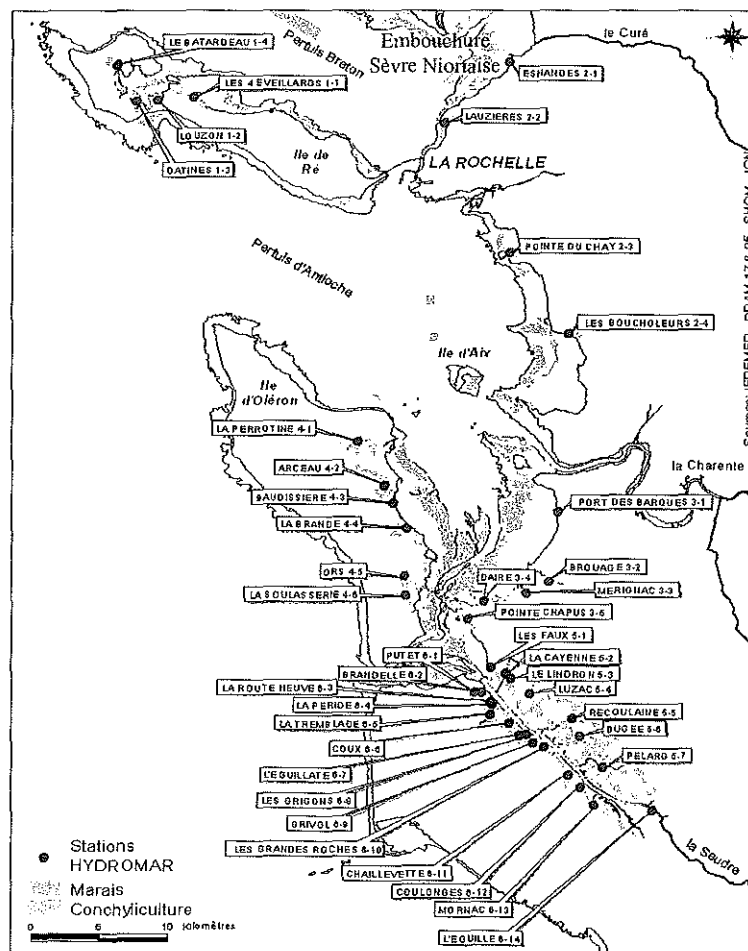


Figure 1. Carte de la région du bassin de Marennes-Oléron (Charente-Maritime). Situation géographique des stations de prélèvements.

Le bassin de Marennes-Oléron est décrit comme un immense estuaire limité à l'ouest par l'île d'Oléron, et ouvert sur l'Océan Atlantique par le Pertuis d'Antioche au Nord et le Pertuis de Maumusson au Sud. D'une superficie moyenne de 150 km², ce vaste écosystème côtier semi-fermé est de faible profondeur (3.2 m en moyenne). En effet, près des deux tiers soit 60% de sa superficie, sont constitués d'estrans vaso-sableux découvrant aux coefficients les plus forts de vives eaux ; le marnage y est donc fort, 5 mètres en moyenne. La circulation résiduelle des masses d'eau est orientée Nord-Sud (Dechambenoy *et al.*, 1977) avec un temps de résidence compris entre 5 et 9 jours (Héral *et al.*, 1984). L'étude des salinités permet de dire que le bassin est plutôt une baie côtière sous influence estuarienne : au centre du bassin les variations saisonnières sont comprises entre 24 et 30 ‰ (Héral *et al.*, 1984). L'influence estuarienne est due principalement : à la Sèvre Niortaise située au Nord-Est de l'île de Ré et à la Charente au Nord-Est (débits compris entre 10 et 400 m³.s⁻¹) ; ainsi qu'à moindre échelle à la Seudre au Sud-Est (débit moyen 0 à 40 m³.s⁻¹). De plus, un recyclage des eaux de la Gironde par le Pertuis d'Antioche peut être signalé (Héral *et al.*, 1984). Le marnage important délimite une vaste zone intertidale exploitée pour la conchyliculture (Parcs à huîtres, Bouchots à moules).

2-2 Choix des espèces algales utilisées.

Deux espèces de Diatomées marines sont testées au cours de cette étude : *Haslea ostrearia* Simonsen et *Skeletonema costatum* Cleve. Ces deux microalgues ont été choisies en raison de leur utilisation actuelle en aquaculture, servant de base à la nourriture de bivalves (écloserie et nurserie) et au verdissement des huîtres creuses.

2-2-1 La diatomée pennée Haslea ostrearia Simonsen.

Cette diatomée de l'ordre des Pennales (présence d'un raphé : sillon central sur le squelette siliceux) et de la famille des Naviculacea possède une symétrie bilatérale. La carapace siliceuse ou frustule est composée de deux valves finement striées (cette ornementation du squelette siliceux ne s'observe pas en microscopie photonique). Ces deux valves s'emboîtent l'une dans l'autre, elles sont dénommées épithèque et hypothèque. Cette algue unicellulaire mesure entre 60 et 120 µm dans le sens de l'axe transapical, pour 6 à 12 µm dans le sens antapical.

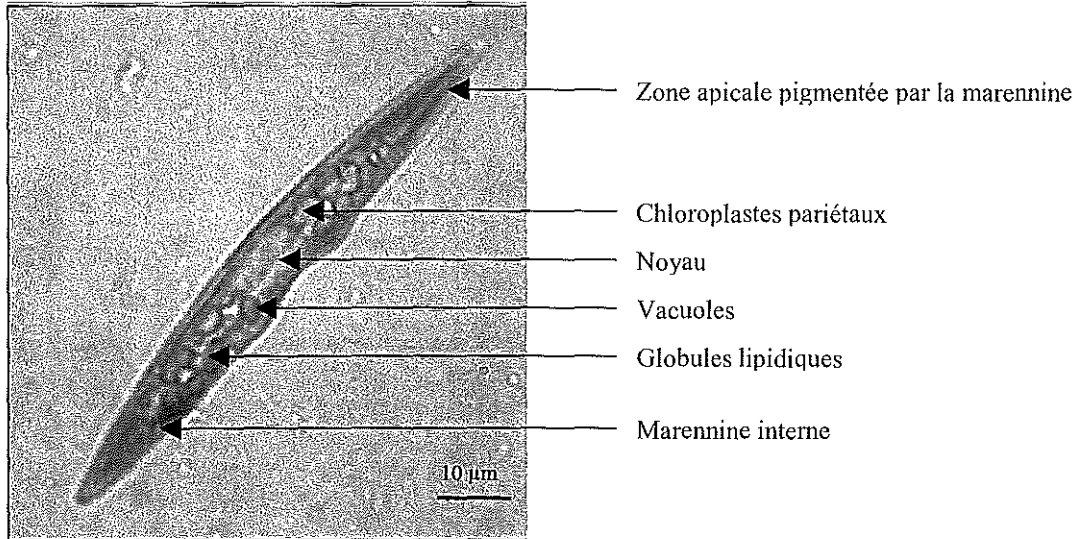


Figure 2. Observations en microscopie photonique d'une cellule d'*Haslea ostrearia* vue de face.

Depuis les travaux de Ranson (1927), il a été acquis la certitude que la diatomée *Navicula ostrearia* Bory (1823) rebaptisée *Haslea ostrearia* par Simonsen en 1974 est l'agent du verdissement des huîtres. Cette espèce tychopélagique est rencontrée de manière saisonnière dans les milieux peu profonds sur substrats envasés. Robert (1984) a décrit les processus de multiplication intense durant sa phase planctonique qui conduisent au verdissement des claires. C'est durant la colonisation du fond sédimentaire que les cellules se pigmentent et peuvent synthétiser un pigment bleu hydrosoluble, appelé « marennine » par Lankester (1886) qui verdit les huîtres par fixation sur leurs branchies.

2-2-2 La diatomée centrique *Skeletonema costatum* Cleve.

Skeletonema costatum est une diatomée centrique (ordre des Centrales) coloniale. Les cellules cylindriques, avec des valves circulaires de diamètre de 10 à 20 µm, forment des chaînes ; distantes les unes des autres, les algues sont réunies entre elles par les expansions externes des processus renforcés.

Cosmopolite, cette algue unicellulaire est l'espèce dominante de beaucoup de populations phytoplanctoniques côtières où elle est rencontrée. Elle est utilisée en aquaculture comme base de nourriture des bivalves ou des poissons se trouvant en écloserie ou en nurserie, de part sa forte valeur nutritive (Moreau,1996).

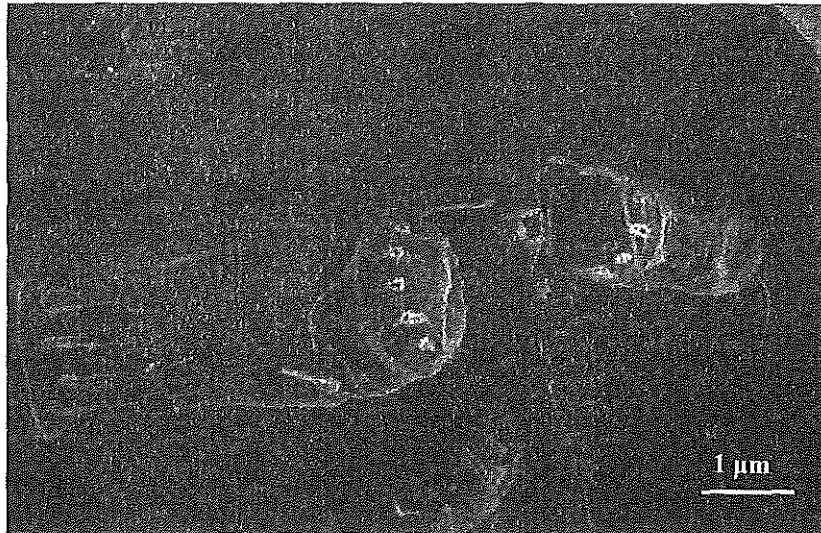


Figure 2. Vue d'ensemble d'une culture de *Skeletonema costatum*. Aperçu sur le côté gauche de l'image, des expansions externes des processus marginaux, qui permettent la formation de chaînes de cellules.

3- Mise en place des bioessais.

3-1 Choix des points de prélèvements.

Le choix des points de prélèvements vise à couvrir les zones de claires destinées au stockage ou à l'affinage des huîtres en Charente-Maritime. Tous les échantillons au nombre de 40 ont été collectés, en novembre 2001, dans les chenaux d'alimentation des marais ostréicoles lors d'une marée de fort coefficient. Cette période a été choisie car elle est connue comme étant la période de fertilité potentielle maximale des eaux des claires ostréicoles (Robert, 1983). Ces 40 sites appartiennent à différents secteurs : l'île de Ré, le Pertuis Breton, le Pertuis d'Antioche, l'île d'Oléron et la Seudre (rives droite et gauche).

Pour chaque site, l'eau est prélevée dans 2 flacons de 1 litre et stockée ensuite en glacière. De retour au laboratoire, l'eau est filtrée sur filtre Whatmann GF/F (diamètre 0,47 μm) et ensuite congelée dans 2 flacons de 1 litre à -20°C . Les tests de fertilité sont alors réalisés ultérieurement après décongélation lente à température ambiante.

3-2 Analyse des Sels Nutritifs.

Les échantillons prévus pour l'analyse des concentrations en sels nutritifs, azote nitrique ou nitrates (NO_3^-), azote nitreux ou nitrites (NO_2^-), phosphore (PO_4^{3-}), et les silicates (SiO_3^-) ont été prélevés suivant le protocole défini par le LCPC-IFREMER (La Tremblade) dans le cadre du réseau **Hydro** d'IFREMER.

Les sels nutritifs (NO_2 , NO_3 , SiO_3 , PO_4) ont été dosés à l'auto-analyseur SKALAR au CREMA L'Houmeau. Chaque prélèvement est filtré sur membrane Millipore GF/F, le filtrat est ensuite congelé à -18°C dans des piluliers de 100 ml stériles en polypropylène avant analyse. Les nitrates sont dosés suivant la méthode de Morris et Riley (1963) modifiée par Strickland et Parsons (1972). Les nitrites sont dosés suivant la méthode de Shinn (1941) modifiée par Benschneider et Robinson (1952). Le phosphore (ions Orthophosphates) est dosé suivant la méthode de Murphy et Riley (1962) modifiée par Strickland et Parsons (1972). Les silicates (acide orthosilicique) sont dosés suivant la méthode de Mullin et Riley (1955) modifiée par Strickland et Parsons (1972).

Pour l'azote ammoniacal dissous (ion ammonium NH_4^+), un dosage manuel a été réalisé suivant la méthode de Solorzano (1969) et Koroleff (1969) modifiée par Grasshoff et Johansen (1972). L'échantillon est filtré sur membrane GF/F et le filtrat fixé directement avec les réactifs pour éviter toute contamination par l'ammoniaque de l'air. Les échantillons sont stockés en piluliers de 100 ml en polypropylène et ensuite placés à l'obscurité à température ambiante, avant leur passage au spectrophotomètre à 630 nm.

3-3 Suivi de la croissance par tests biologiques.

3-3-1 Préparation des inoculum.

Les souches de chacune des espèces utilisées, ont été sélectionnées à partir des clones de l'algothèque du laboratoire de Biologie Marine de l'Université de Nantes. Ces clones ont été isolés à partir d'eau provenant de claires de la région de Marennes-Oléron et entretenus au laboratoire dans les conditions de culture optimales déjà établies (Robert, 1983).

Par la suite, des inoculum des deux espèces sont préparés 7 jours avant l'ensemencement dans des erlenmeyers de 400 mL afin d'obtenir une biomasse suffisante. Ces cultures sont maintenues à température constante de 15°C , sous un éclairage de 100 μmoles de photons. $\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, avec une photopériode jour-nuit de 14h-10h dans une chambre de culture.

3-3-2 Estimation de la fertilité potentielle.

La notion de « fertilité potentielle » d'une eau donnée représente sa capacité à permettre la croissance d'une population algale jusqu'à une limite de biomasse qui la caractérise (Berland *et al.*, 1973 ; Maestrini & Robert, 1979).

L'estimation de la fertilité potentielle des eaux prélevées est effectuée en utilisant la technique du MTT (Pondaven & Rincé, comm. pers.). Cette molécule, de couleur jaune, est un puissant oxydant qui est réduit en captant les électrons des chaînes de transporteurs respiratoires ou photosynthétiques. Le passage de la forme oxydée à la forme réduite appelée sel de formazan de couleur violette peut être mesuré par spectrophotométrie à 570 nm. Les tests de fertilité sont effectués au moyen de microplaques de cultures stériles. Le reste du matériel, utilisé lors de cette étude, est stérilisé afin de réduire les sources de contamination bactérienne. Les cellules, une foisensemencées dans les puits, sont incubées en présence de la solution de MTT pendant 3 h à l'obscurité dans la chambre de culture. Après cette période d'incubation, le sel de formazan insoluble dans l'eau est solubilisé par une solution d'alcool acide (100 mL d'Isopropanol + .340 μ L d'HCl 37%). Après homogénéisation des cultures par agitation magnétique modérée, l'estimation des biomasses produites obtenues sur les eaux prélevées est réalisée au moyen d'un lecteur de microplaques. Il est apparu intéressant d'appliquer cette technique au dénombrement cellulaire de microalgues dans un souci pratique (rapidité de l'estimation et poids statistique) car la réduction du MTT est en corrélation directe avec la densité numérique en cellules produites.

Avant de réaliser ces tests, il est important de connaître la sensibilité des deux espèces algales à cette méthode nouvellement utilisée afin de déterminer à quelle concentration cellulaire minimale devront êtreensemencés les puits caractéristiques des différentes stations étudiées. Pour cela, une gamme étalon spécifique à chaque algue-test est réalisée. Cette gamme permet ainsi de savoir la limite de détection de la réaction. Après analyse de ces résultats, la concentration de l'inoculum est déterminée. Cette gamme étalon permettra, par la suite, de corrélér à chaque densité optique trouvée, une densité numérique de cellules.

Les eaux des différents points de prélèvements ont été alors réparties dans les puits des microplaques. Chaque station est représentée par une série de 8 puits de 2,5 mL, permettant par la suite la réalisation de tests statistiques. Les cultures seront maintenues en chambre de culture dans les mêmes conditions que lors de la préparation des inoculum. Les estimations cellulaires journalières se font à partir du troisième jour de culture et ce jusqu'à ce que les biomasses maximales soient atteintes.

4- RESULTATS.

Le suivi des paramètres nutritionnels d'une eau donnée, c'est à dire les concentrations en nutriments dits majeurs (formes de l'azote dissous, du phosphore dissous et des silicates dissous), permet bien souvent de dégager des premières constatations quant à la capacité trophique d'un milieu vis à vis de la production primaire. Dans une zone de production intensive des mollusques, comme l'est le bassin de Marennes-Oléron, il est primordial de connaître les facteurs influençant la production primaire, seule source d'alimentation des bivalves cultivés.

4-1 Paramètres physico-chimiques des eaux prélevées dans les différents chenaux d'alimentation des claires ostréicoles.

4-1-1 Salinité (Fig.3).

La salinité des eaux des chenaux d'alimentation des claires ostréicoles varie entre 24,5 et 34,3 selon les stations. Les eaux rencontrées seront qualifiées d'eaux « saumâtres » ou « polyhalines » pour des salinités comprises entre 18 et 30 et d'eaux marines pour des concentrations variant de 30 à 35. La majorité des stations se caractérise par une eau de salinité relativement homogène, comprise entre 30 et 35. Lorsque les stations deviennent plus éloignées du littoral, la salinité tend à décroître entre 25 et 30.

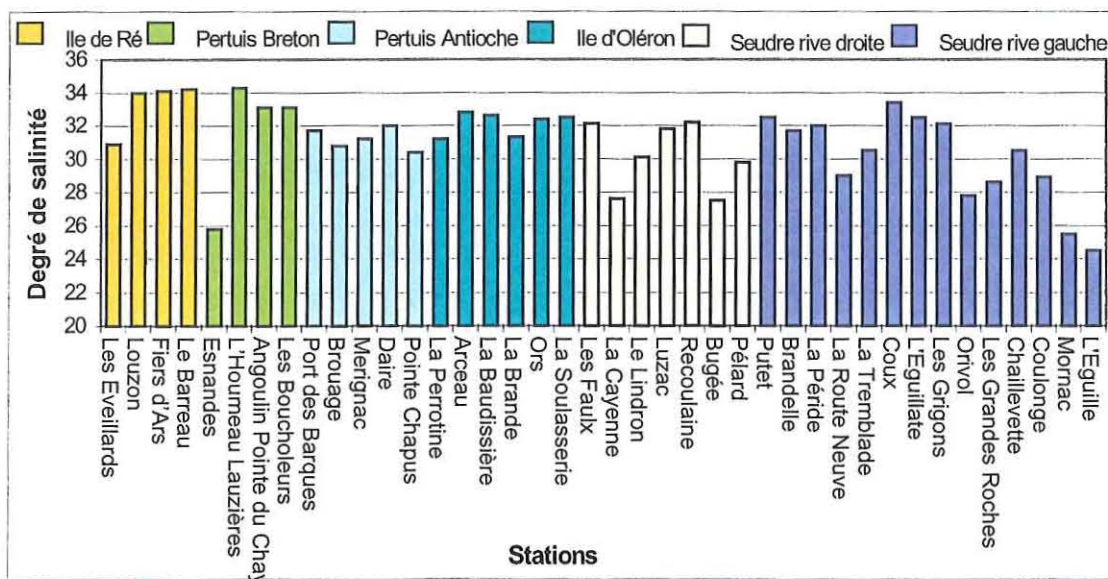


Figure 3. Degré de salinité des différentes eaux prélevées.

4-1-2 Azote inorganique dissous.

Ammonium (NH_4^+) (Fig.4).

Il peut être noté que les concentrations varient entre 3,9 et 20,1 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ sur la zone étudiée. Les valeurs les plus fortes s'observent à Esnandes, Angoulin Pointe du Chay (respectivement 20,1 et 14,6 $\mu\text{mol.L}^{-1}$) situées au sud de l'embouchure de la Sèvre Niortaise et à Mérignac (11,3 $\mu\text{mol.L}^{-1}$) localisée au sud de la Charente. Le reste des valeurs oscillent autour d'une valeur moyenne de $7,6 \pm 0,9 \mu\text{mol.L}^{-1}$ tous secteurs confondus. Des concentrations de l'ordre de 8 à 9 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ ont été relevées pour les stations localisées en amont de la Seudre tandis qu'en aval et sur l'île d'Oléron, les concentrations sont dans la majorité des cas, inférieures à la moyenne de $7,6 \mu\text{mol.L}^{-1}$.

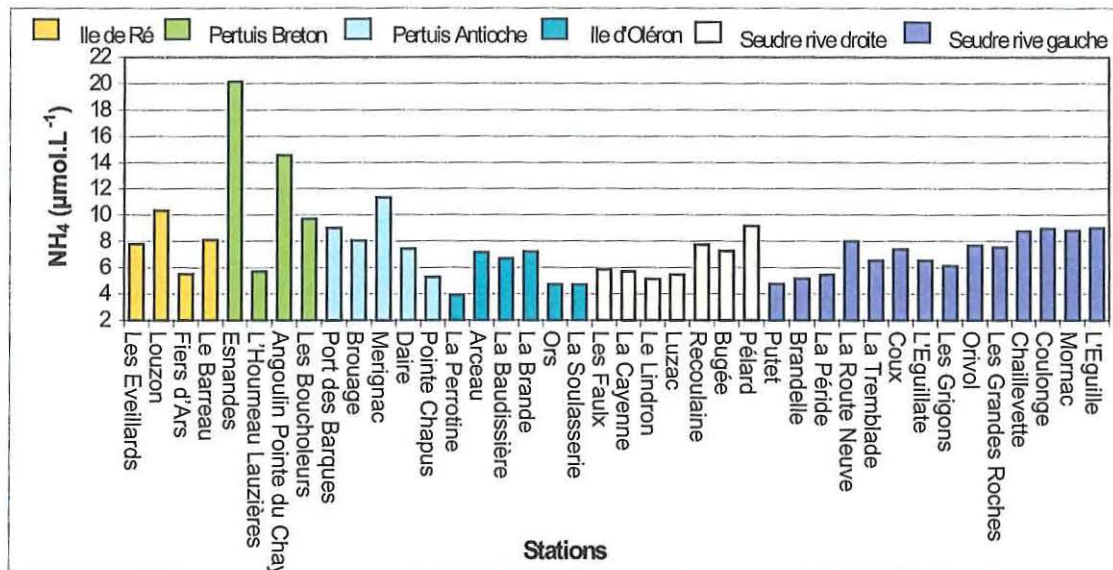


Figure 4. Concentration en azote ammoniacal dissous des différentes eaux prélevées.

Azote nitreux dissous (NO_2^-) (Fig.5).

Pour les nitrites, forme oxydée la moins stable de l'azote inorganique, les concentrations observées sont très homogènes et oscillent autour de $0,9 \pm 0,1 \mu\text{mol.L}^{-1}$. Quatre stations situées au nord de la Charente ont des concentrations nettement supérieures. Il s'agit de Louzon, Le barreau, Angoulin Pointe du Chay et Esnandes qui ont une concentration trois fois supérieure à la moyenne des 40 sites ($3,1 \mu\text{mol.L}^{-1}$).

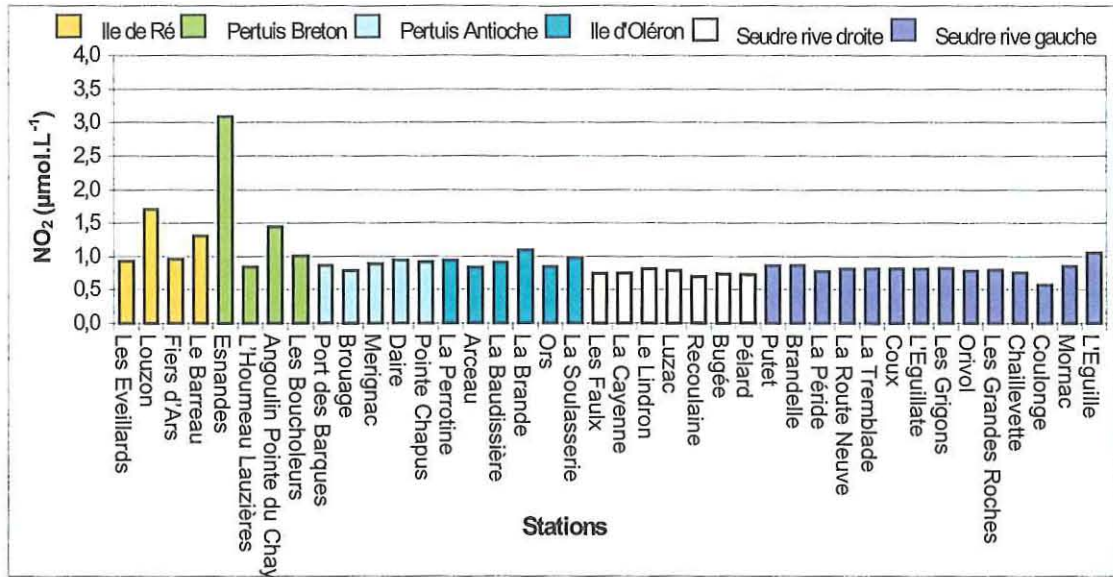


Figure 5. Concentration en azote nitreux dissous des différentes eaux prélevées

Azote nitrique dissous (NO_3^-) et azote total inorganique (Fig.6).

Une augmentation des concentrations est observée de la côte vers les stations situées le plus dans les terres ou en sortie d'estuaire. Trois zones différentes peuvent être distinguées. Une première zone, regroupant les stations localisées en amont de la Seudre (Mornac et l'Eguille) et celles situées en sortie des estuaires de la Charente (Pointe du Chay, Les Boucholeurs, Port des Barques, Brouage et Mérignac) et de la Sèvre Niortaise avec la station d'Esnandes, ont des concentrations supérieures à $30 \mu\text{mol.L}^{-1}$.

Par la suite, une deuxième zone, regroupant les stations les plus littorales situées sur le continent, peut être caractérisée par des concentrations relativement homogènes comprises entre 20 à $30 \mu\text{mol.L}^{-1}$. La dernière zone, quant à elle, regroupe les stations situées sur l'île d'Oléron et l'île de Ré où de faibles concentrations de 10 à $20 \mu\text{mol.L}^{-1}$ peuvent être remarquées.

Quant aux teneurs en azote total inorganique dissous, elles sont relativement élevées. Ces concentrations sont en effet toujours supérieures à $16 \mu\text{mol.L}^{-1}$ sur l'ensemble de la zone d'étude. La réserve azotée inorganique est représentée en moyenne par $73 \pm 2,5 \%$ d'azote nitrique pour cette période automnale.

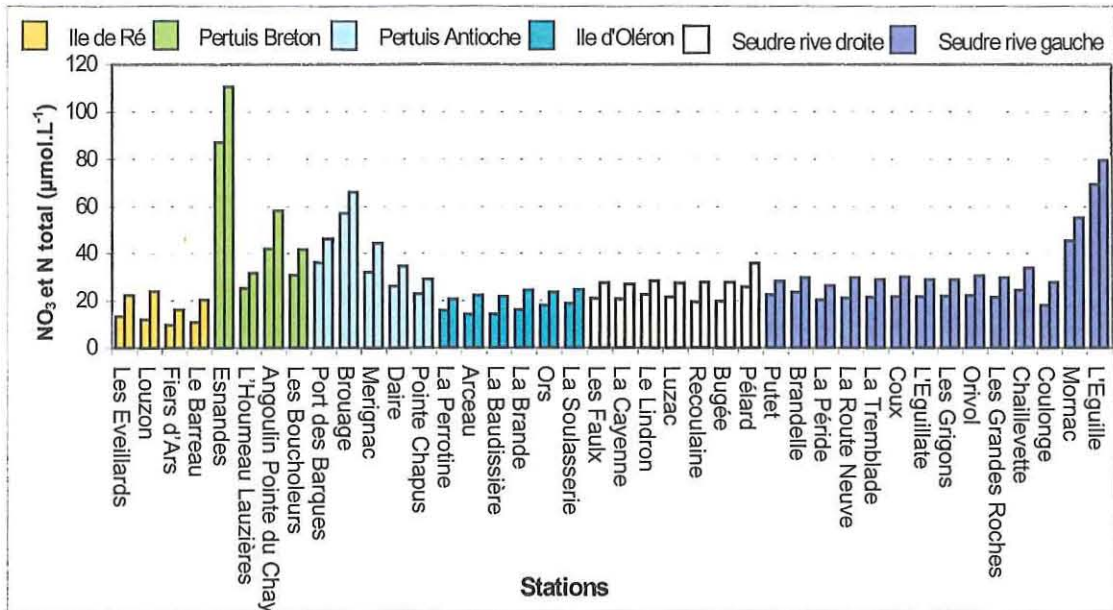


Figure 6. Concentration en azote nitrique dissous et azote total des différentes eaux prélevées.

4-1-2 Silicium dissous (SiO_3^-) (Fig. 7).

Pour les silicates, la majorité des stations est proche de la moyenne générale qui est de $22,5 \pm 2,4 \mu\text{mol.L}^{-1}$. Quatre stations (Esnandes, Brouage, Mornac et l'Eguille) sortent de la moyenne avec des concentrations qui sont relativement fortes (de 34,4 à $48,1 \mu\text{mol.L}^{-1}$). Il est intéressant de noter l'augmentation progressive des concentrations en silicates de l'aval vers l'amont que ce soit en rive gauche ou droite de la Seudre.

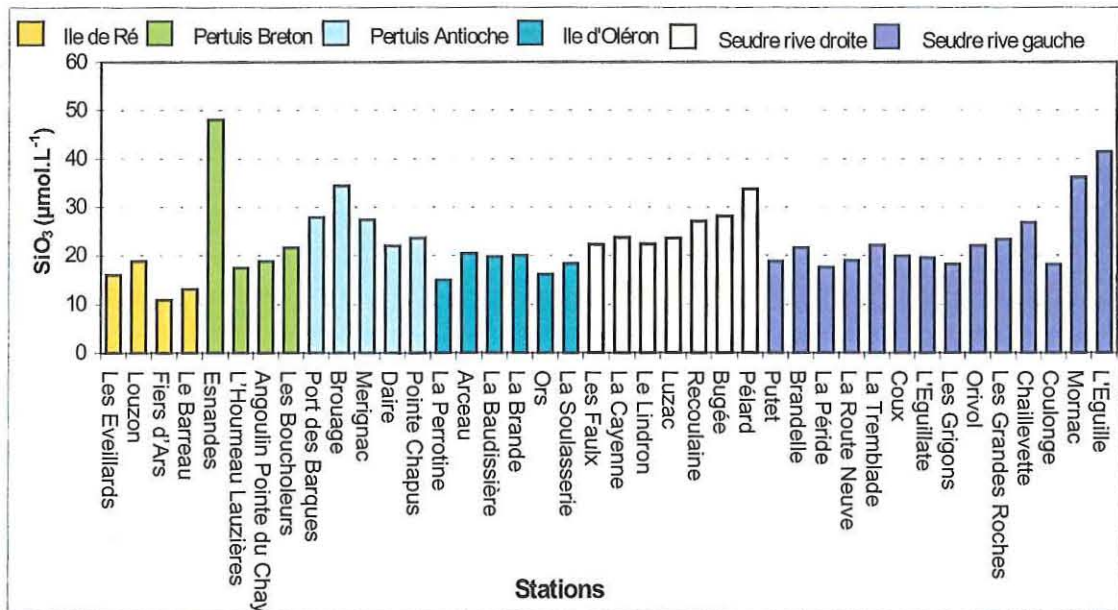


Figure 7. Concentration en silicium dissous des différentes eaux prélevées.

4-1-3 Phosphore total inorganique dissous (PO_4^{2-}) (Fig.8).

Sur la zone d'étude, les concentrations en ions Orthophosphates oscillent entre 0,3 et 1,8 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ pour une moyenne générale de $0,8 \pm 0,1 \mu\text{mol.L}^{-1}$. Les valeurs observées sont relativement hétérogènes. Sur l'île d'Oléron et l'île de Ré, les concentrations relevées sont les plus faibles (de 0,3 à 0,8 $\mu\text{mol.L}^{-1}$). Pour le reste des stations, les concentrations sont proches de la moyenne. Un maximum est observé à Esnandes avec une concentration de 1,8 $\mu\text{mol.L}^{-1}$. Il est intéressant d'observer sur la Seudre le même phénomène que pour les silicates (augmentation des concentrations de l'aval vers l'amont) ; cependant pour les phosphates, les concentrations en rive gauche sont supérieures à celles de la rive droite.

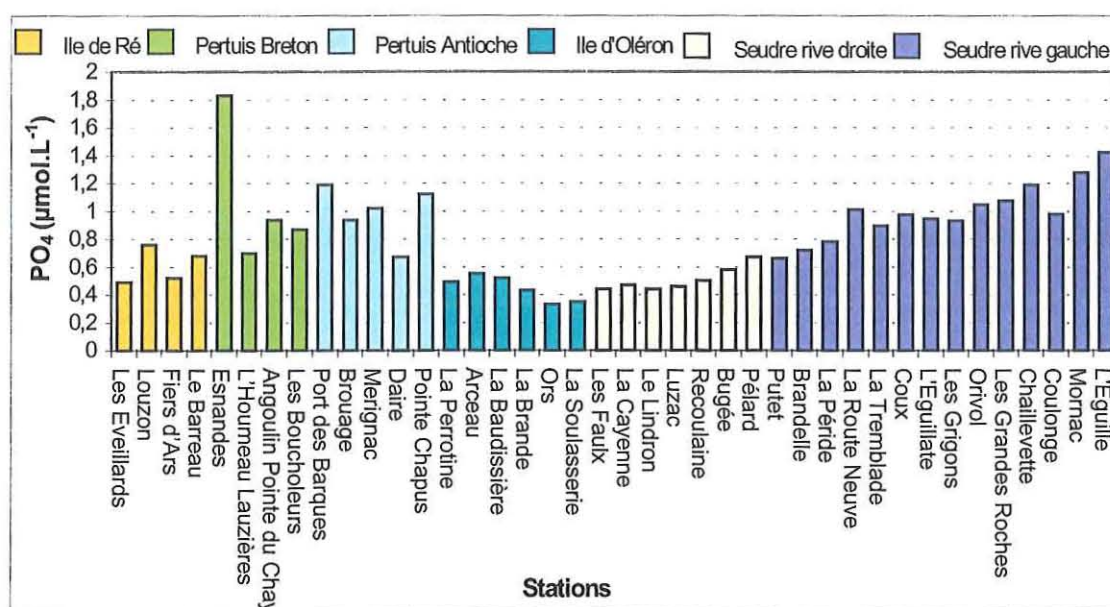


Figure 8. Concentration en phosphore dissous des différentes eaux prélevées.

4-2 Rapports entre les nutriments majeurs des différentes eaux prélevées sur le département de La Charente Maritime.

De nombreuses études ont montré que l'assimilation des sources nutritives N, P et Si par les diatomées, se réalisait avec un rapport entre nutriments, proche de celui décrit par Redfield (1934) pour les eaux océaniques (N:Si:P=16:16:1). En regardant ces rapports, il est possible d'émettre des hypothèses quant aux éléments nutritifs de ces eaux automnales pouvant influencer et limiter la production phytoplanctonique de diatomées.

4-2-1 Rapport • N:P (Fig.9).

Le rapport moyen • N:P observé sur l'ensemble de la zone d'étude et égal à 45 ± 4 est très élevé (ratio trois fois supérieur à celui de Redfield). Les valeurs considérées fluctuent entre 26 et 71. Pour toutes les stations, ce ratio est supérieur à 16:1, rapport d'assimilation par le phytoplancton. Les phosphates sont donc un facteur limitant par rapport à l'azote total inorganique sur toutes les stations à cette période de l'année.

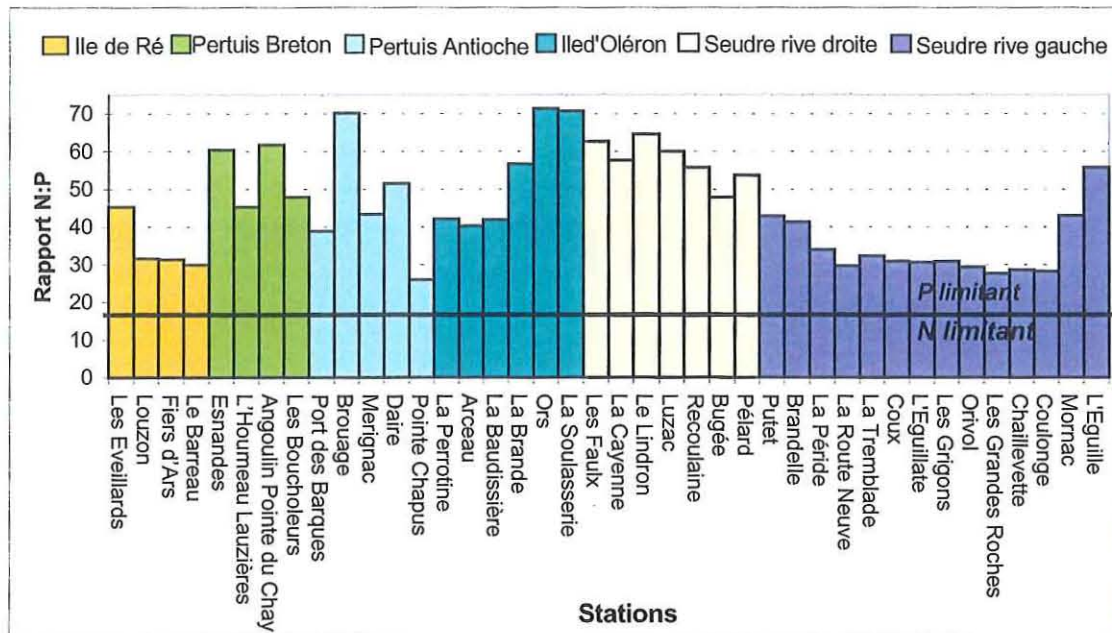


Figure 9. Rapport • N:P des différentes eaux prélevées (— N:P=16 (Redfield, 1934)).

4-2-2 Rapport • N:Si (Fig.10).

En moyenne, ce ratio est égal à 1,5. Sur l'ensemble de la zone, les rapports sont compris entre 0,98 et 3,09 et sont supérieurs au rapport de Redfield (1:1). En cette période automnale, les silicates se trouvent en conditions limitantes par rapport à l'azote sur la majorité des stations. En effet, seules trois stations (Recoulaine, Bugée et Pélaré) ont un ratio égal au rapport d'assimilation par le phytoplancton de 1:1. Il est intéressant de noter que pour deux stations (Esnandes et Angoulin Pointe du Chay) les silicates sont très limitants (ratio supérieur à 2:1).

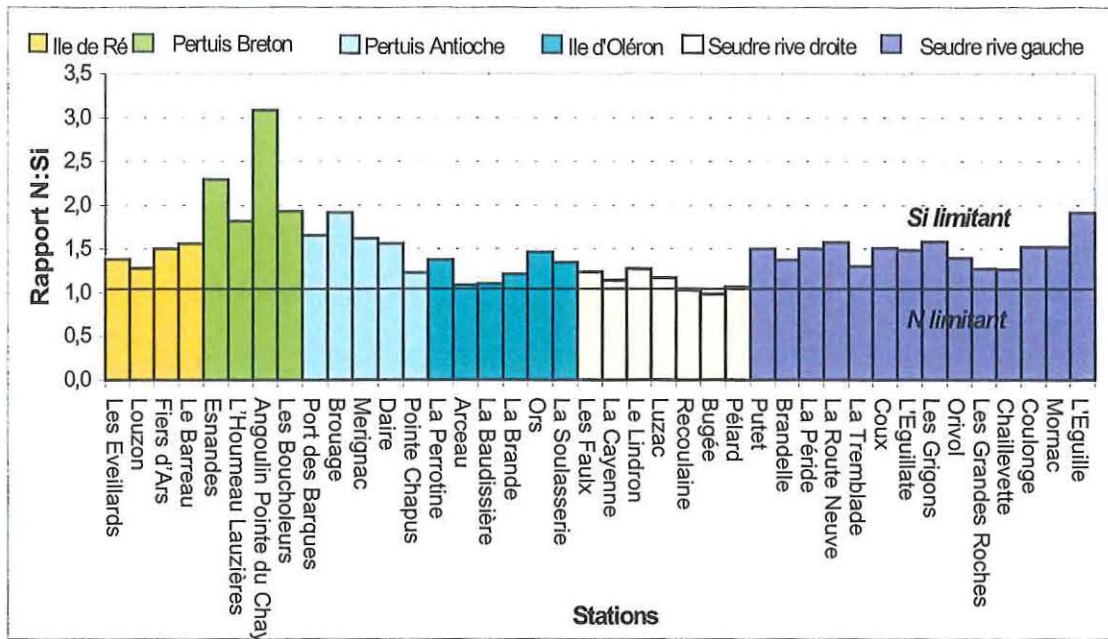


Figure 10. Rapport • N:Si des différentes eaux prélevées (— N:Si=1 (Redfield, 1934)).

4-2-3 Rapport • Si:P (Fig.11).

Pour le rapport entre Silicates et Phosphates, les valeurs étant comprises entre 18,5 et 52,5 sont donc toujours supérieures au ratio de Redfield (16:1). La valeur moyenne observée est de $31,8 \pm 4$. Il peut donc être avancé le fait que les phosphates, comme il a été déjà constaté lors de l'examen du rapport • N:P, sont en quantité limitante pour la production phytoplanctonique sur la zone étudiée. Il est intéressant de noter qu'il est très limitant par rapport aux silicates sur l'île d'Oléron et en rive droite de la Seudre (ratio supérieur à 30:1).

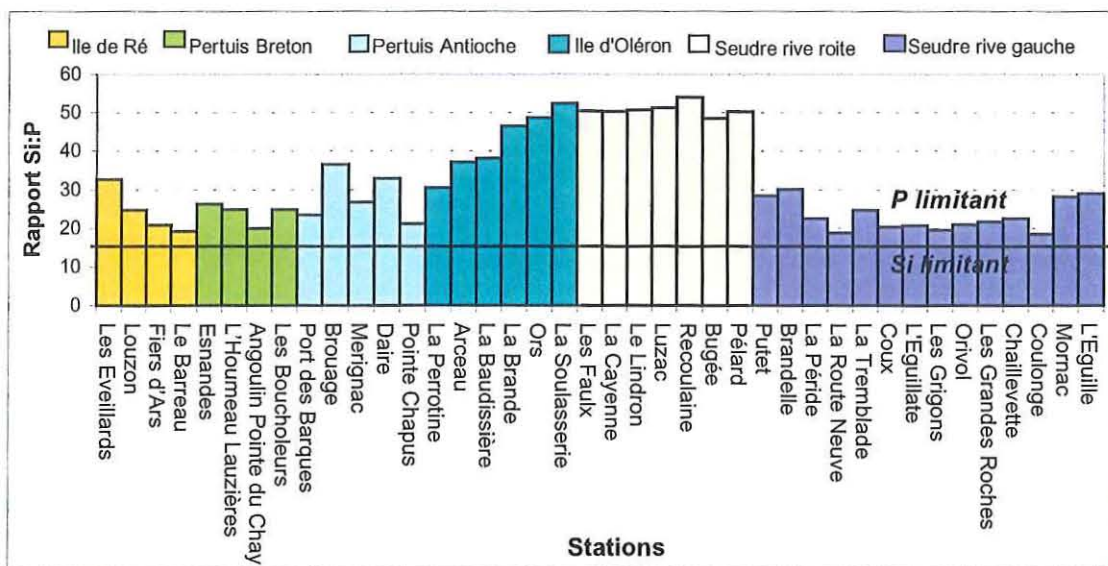


Figure 11. Rapport • Si:P des différentes eaux prélevées (— Si:P=16 (Redfield, 1934)).

4-3 Tests biologiques

L'étude précédente permet de préciser le rôle des éléments nutritifs pouvant intervenir dans la limitation de la production primaire pour le site d'étude. Cependant, cette phase purement descriptive n'est pas suffisante pour décrire les potentialités nutritionnelles d'une eau d'alimentation d'une claire ostréicole donnée, vis à vis d'une espèce algale précise. Afin donc de déterminer les éléments limitant la prolifération des deux algues dans les claires ostréicoles, l'emploi de tests de fertilité s'est avéré nécessaire.

4-3-1 Les gammes étalons.

Avant la mise en route des bioessais, la réalisation de gammes étalons s'avérait importante pour connaître, dans un premier temps, la sensibilité des deux espèces algales à cette méthode afin de déterminer la concentration des inoculum de départ. Ensuite, elles permettent de corréler aux densités optiques observées lors du dosage la concentration cellulaire présente dans chaque puits.

Cas de Skeletonema costatum.

Dans un premier temps, grâce à cette gamme étalon, il est intéressant de constater que *Skeletonema costatum* est très sensible à la méthode du MTT ($R^2 = 0.98$), ce qui nous conforte dans l'idée d'utiliser cette technique. La gamme permet également de connaître la limite de détection de la réaction et donc, par conséquent, de savoir la concentration minimale de l'inoculum à ensemercer pour les bioessais. Pour *Skeletonema costatum*, une concentration de départ de $130000 \text{ cell.mL}^{-1}$ a été retenue, étant donnée que la détection de l'absorbance est nulle en dessous de $100000 \text{ cell.mL}^{-1}$. Des concentrations de départ trop importantes seront évitées afin de ne pas épuiser le milieu trop rapidement lors des bioessais.

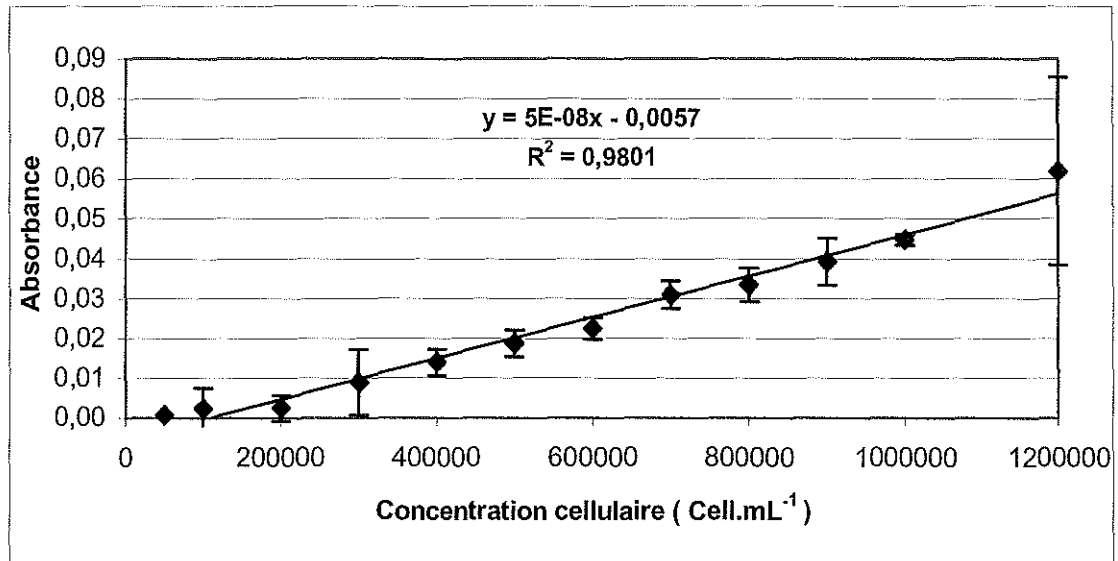


Figure 4. Gamme étalon (*Skeletonema costatum*) après traitement des cellules au MTT.

Cas de d'*Haslea ostrearia*.

Il est également intéressant de noter que *Haslea ostrearia* est très sensible à la méthode du MTT ($R^2 = 0,98$). Pour *Haslea ostrearia*, la limite de détection semble se rapprocher des 5000 cell.mL⁻¹. La concentration de départ de 10.000 cell.mL⁻¹ a donc été retenue.

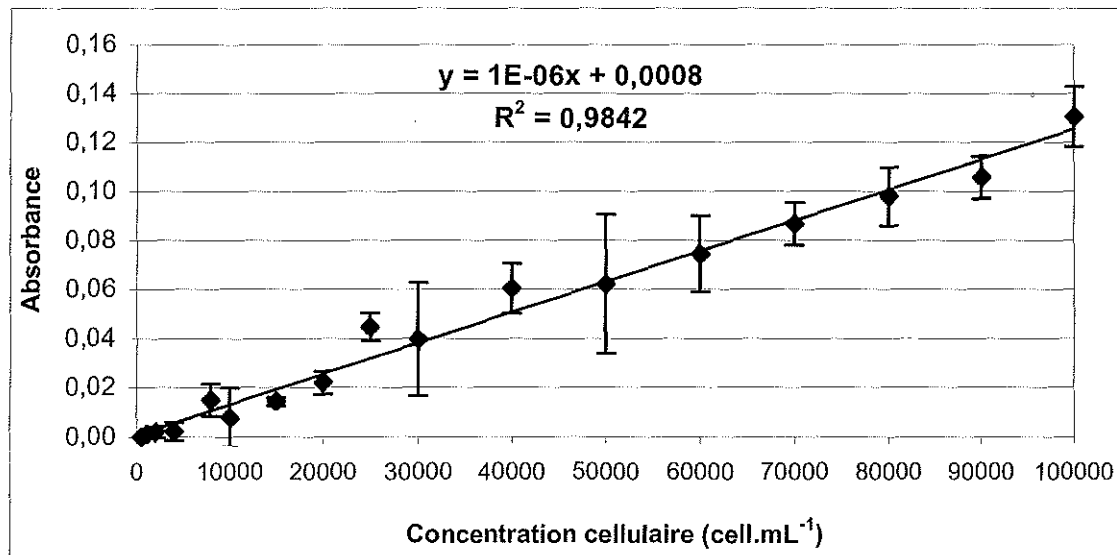


Figure 5. Gamme étalon (*Haslea ostrearia*) après traitement des cellules au MTT.

4-3-2 Fertilité potentielle des différentes eaux d'alimentation.

Afin de vérifier les résultats observés sur la potentialité des eaux des chenaux d'alimentation des claires ostréicoles, il est nécessaire de vérifier les estimations faites au

moyen de tests biologiques *in vitro*, car en effet ce qui est un constat pour la production primaire prise dans son ensemble, n'est pas forcément vérifiée pour une algue test pouvant présenter des besoins nutritionnels spécifiques. Des bioessais ont donc été réalisés sur les eaux récoltées en présence des deux algues tests retenues pour cette étude.

L'algue test Skeletonema costatum.

Pour *S. costatum*, la production potentielle des cellules est hétérogène sur les différents points de prélèvements. Les biomasses maximales produites sont observées avec des densités comprises entre $6,3 \cdot 10^5$ et $1,8 \cdot 10^6$ cell.mL⁻¹, et des taux de divisions compris entre 0,51 et 0,85 div.j⁻¹. Le maximum est noté à Esnandes situé à l'embouchure de la Sèvre Niortaise et du Curé dans le Pertuis Breton. Par la suite, sur 9 autres stations (la Pointe du Chay, Port des Barques, Brouage, La Baudissière, Bugée, Pélard, Mornac et L'Eguille), les biomasses produites potentiellement dépassent le million de cell.mL⁻¹. Les eaux ayant les concentrations les plus fortes ont été prélevées sur la partie amont de la Seudre ou localisées en sortie des estuaires des quatre rivières que sont la Charente, la Seudre la Sèvre Niortaise et le Curé. Les autres eaux, quant à elles, permettent des productions de cellules plus faibles et relativement homogènes, s'échelonnant de $6,2$ à $9,8 \cdot 10^5$ cell.mL⁻¹.

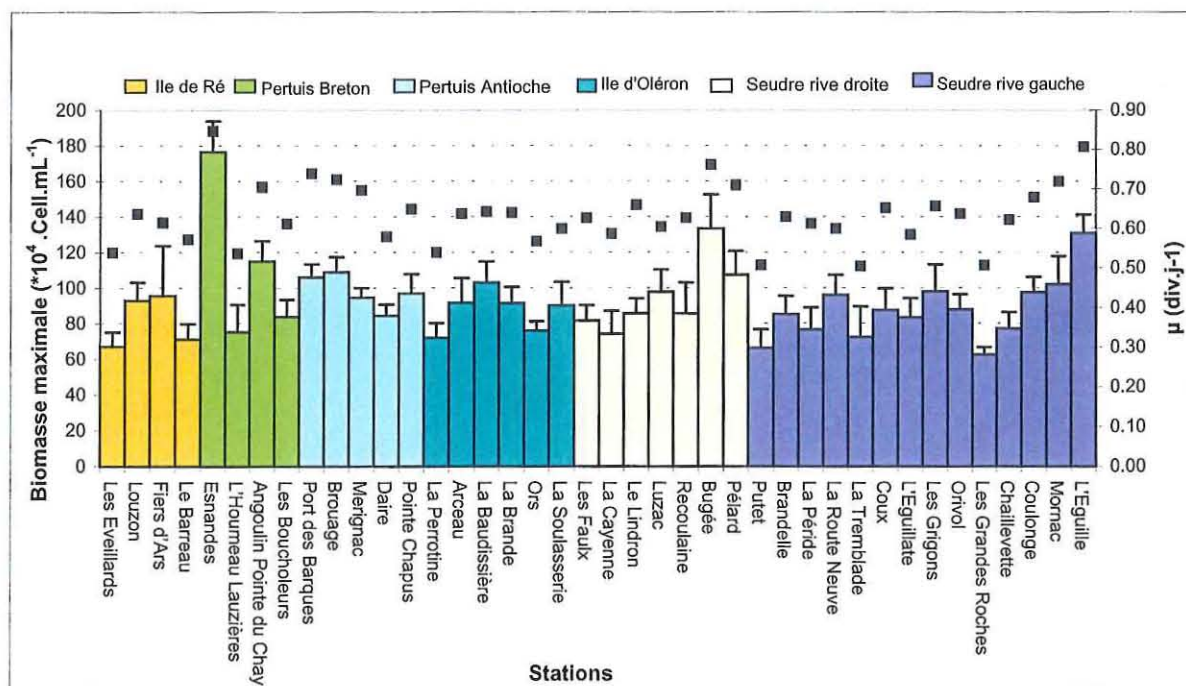


Figure 6. Biomasses maximales estimées par la densité en cellules et taux journalier de division (μ) de l'algue *Skeletonema costatum*, produites avec les eaux des différentes stations du bassin de Marennes-Oléron (moyenne \pm Intervalle de confiance 95%, n=8).

L'algue test *Haslea ostrearia*.

Dans le cas d'*H. ostrearia*, les biomasses potentielles produites fluctuent de 3,4 à $7,2 \cdot 10^3 \text{ cell.mL}^{-1}$, et les taux de divisions entre 0,3 et $0,54 \text{ div.j}^{-1}$. Les résultats sont plus homogènes que dans le cas de *S. costatum*. Il est à noter que beaucoup plus de stations atteignent des biomasses importantes qui tournent autour des $60.000 \text{ cell.mL}^{-1}$. Les 10 stations, paraissant les plus fertiles pour *S. costatum*, s'avèrent l'être également pour *H. ostrearia*. A ces dernières, peuvent s'ajouter les différentes eaux où les concentrations cellulaires produites ont atteint les $50.10^3 \text{ cell.L}^{-1}$. Il s'agit des 4 stations de l'île de Ré, de Lauzières, des Boucholeurs, de Merignac, la Brande et la Soulasserie sur l'île d'Oléron, la Cayenne, les Grandes roches, Chaillevette et Coulonges

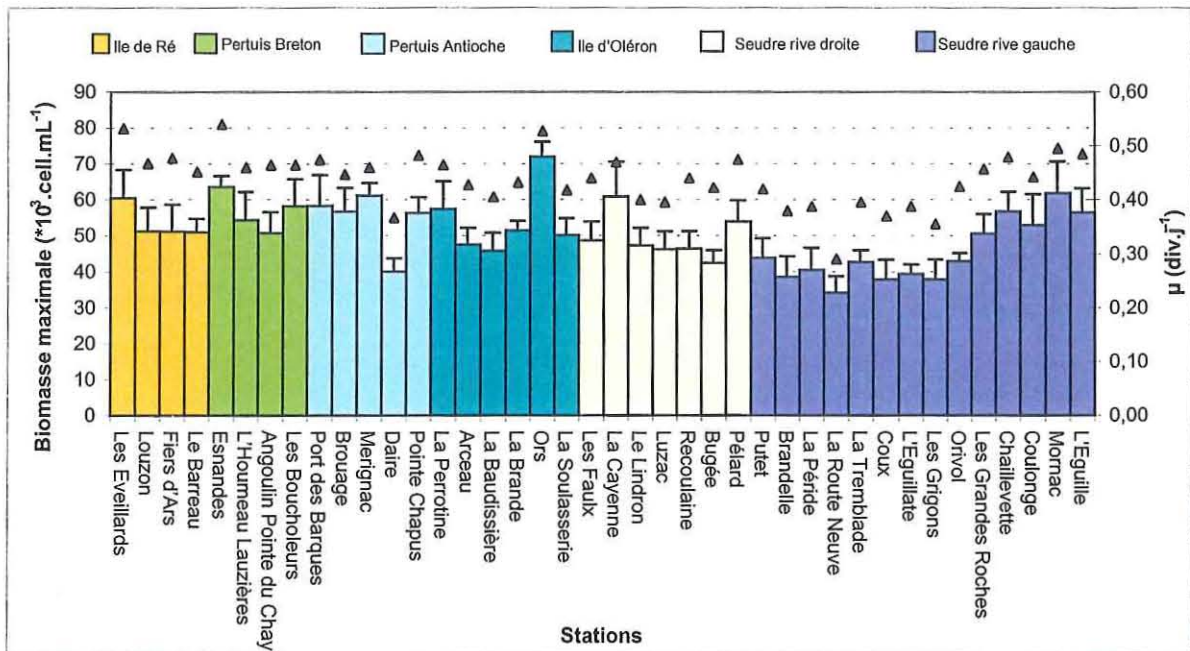


Figure 7. Biomasses maximales estimées par la densité en cellules et taux de division journalier (μ) de l'algue *Haslea ostrearia*, produites avec les eaux des différentes stations du bassin de Marennes-Oléron (moyenne \pm Intervalle de confiance 95%, n=8).

4-4 Relation entre fertilité potentielle et richesse nutritive des eaux.

La matrice de corrélation (Tableau 2) résume les relations entre les différents paramètres hydrologiques étudiés et la biomasse algale produite.

D'une manière générale, on peut remarquer qu'il existe des corrélations significatives plus ou moins fortes entre les différents paramètres hydrologiques. Les relations les plus fortes ($R > 0,80$) s'observent entre l'azote nitrique et l'azote total, ainsi qu'entre silicates et azote

nitrique, et silicates et azote total. Une corrélation positive relativement forte ($R = 0.70$) peut être observée entre la forme ammoniacale, les nitrates, les nitrites et l'azote total. Il est intéressant de regarder la relation entre la salinité et les sels nutritifs. Les 2 formes azotées, l'azote total, les silicates et les phosphates sont corrélés de façon négative avec la salinité.

En ce qui concerne les corrélations entre production de biomasse des 2 algues tests et paramètres hydrologiques, elles sont toutes positives pour les sels nutritifs mais par contre négatives pour la salinité. Pour *H. ostrearia*, toutes les corrélations ne sont pas significatives. Elles sont significatives ($R = 0.30$) pour les silicates, les nitrates et l'azote total. Pour *S. costatum*, toutes les corrélations sont significatives avec des valeurs fortes ($R = 0.70$) pour les silicates, les nitrates et l'azote total.

Tableau 2. Matrice de corrélation des variables hydrologiques étudiées et de la biomasse maximale produite. Ne figure dans le tableau que les corrélations significatives (Test de Fisher, $p < 0.05$). Les valeurs en gras soulignent une forte corrélation entre les différents paramètres. Les concentrations en nutriments sont exprimées en $\mu\text{mol.L}^{-1}$. (B max : Biomasse maximale ; *H. ost* : *Haslea ostrearia* ; *S. cost* : *Skeletonema costatum*)

	Salinité	NH4	NO2	NO3	N total	SiO2	PO4	Bmax <i>H.ost</i>	Bmax <i>S.cos</i>	N:P	N:Si	Si:P
Salinité	1											
NH4	-0,31	1										
NO2		0,76	1									
NO3	-0,57	0,68	0,57	1								
N total	-0,55	0,77	0,64	0,99	1							
SiO2	-0,72	0,58	0,38	0,85	0,84	1						
PO4	-0,53	0,67	0,44	0,74	0,76	0,64	1					
Bmax <i>H.ost</i>				0,35	0,36	0,31		1				
Bmax <i>S.cost</i>	-0,48	0,69	0,60	0,73	0,76	0,71	0,53		1			
N:P				0,36	0,33	0,32	-0,33	0,37		1		
N:Si		0,62	0,50	0,63	0,66		0,50		0,38		1	
Si:P							-0,64			0,76	-0,47	1

5 DISCUSSION.

5-1 Paramètres physico-chimiques des eaux prélevées dans les différents chenaux d'alimentation des claires ostréicoles.

Sur la zone étudiée, les eaux des chenaux d'alimentation des claires ostréicoles peuvent être qualifiées soit d'eaux saumâtres soit d'eaux marines. En effet, les dessalures n'ont pas la même importance sur toutes les stations rencontrées. Elles sont les plus fortes en amont de la Seudre et à l'embouchure de l'estuaire de la Sèvre Niortaise (degré de salinité inférieur à 30). Les variations de salinité proviennent des apports d'eau douce par les fleuves (Sèvre Niortaise, Charente, Seudre et Gironde) dus aux précipitations directes sur les différents bassins versants. L'influence de ces eaux douces devient plus importante à partir de l'automne, et notamment au niveau de la Charente et de la Seudre à moindre échelle (Soletchnik *et al*, 1998 ; Turpin, 1999). Ammonium, nitrates, silicates et phosphates sont corrélés de façon négative avec la salinité. Leur augmentation s'accompagne de la baisse des salinités consécutive aux apports d'eau douce.

Pour l'ammonium dissous, les concentrations observées sont élevées (de 3,9 à 20,1 $\mu\text{mol.l}^{-1}$) et sont supérieures à celles mentionnées pour le bassin de Marennes-Oléron par Héral *et al* (1984) et pour la Seudre par Turpin (1999) qui signalent que lors de la période automnale, des pics de concentration en ammonium sont observés. Les valeurs maximales sont relevées en sortie des estuaires de la Charente, de la Sèvre Niortaise caractérisés par de forts débits et en amont de la Seudre où l'on observe une augmentation légère et progressive des concentrations le long du linéaire. Pour les nitrites, les concentrations oscillent entre 0,8 et 3,1 $\mu\text{mol.l}^{-1}$, ce qui démontre une bonne oxydation de cette forme jusqu'au stade nitrique (au cours de la minéralisation). Ces concentrations sont proches de leurs valeurs maximales car durant l'automne, les concentrations en nitrites augmentent pour devenir maximales en hiver (Turpin, 1999). La forte corrélation positive entre les teneurs en ammonium et nitrites (Tab. 2) peut s'expliquer par une phase active de minéralisation de l'ammonium par les bactéries nitrifiantes vivant dans ces eaux. Si l'on s'intéresse à l'azote à l'évolution de l'azote total minéral dissous, il peut être noté que la réserve inorganique d'azote est fortement corrélée avec les concentrations en nitrates, principale source nutritive azotée des algues : ces derniers représentent en moyenne $73 \pm 2,5$ % de la réserve azotée inorganique dissoute à cette époque de l'année ceci étant dû aux apports d'eau douce et à la minéralisation. Les concentrations les plus fortes sont localisées sur les mêmes secteurs que pour les 2 autres formes azotées ; Cependant, il faut ajouter qu'en milieux côtiers et estuariens, cette forme est assimilée

secondairement après l'ammonium par les communautés phytoplanctoniques (Maestrini et Robert, 1981).

Les concentrations en silicium sont très variables selon les secteurs et sont les plus fortes en sortie des estuaires de la Charente, de la Sèvre Niortaise et en amont de la Seudre où l'on observe également une augmentation progressive des concentrations le long du linéaire. Ces teneurs relativement importantes en silicates soulignent les apports terrigènes dus aux crues automnales ($22,5 \pm 2,4 \mu\text{mol.l}^{-1}$).

Pour le phosphore dissous, pour qui l'automne est synonyme de reconstitution des stocks (Turpin, 1999), les concentrations dépassent rarement les $1 \mu\text{mol.l}^{-1}$. Les valeurs les plus fortes sont aussi localisées sur les secteurs cités précédemment. Par ailleurs, les corrélations positives fortes entre silicates et phosphates, entre silicates et azote total, entre azote total et phosphates, peuvent s'expliquer par l'utilisation de ces sels nutritifs par les producteurs primaires, mais aussi par l'origine de ces éléments apportés par les fleuves environnants.

En baie de Bourgneuf, pour ce type d'écosystème, Robert (1983) qualifie d'eaux les plus fertiles, celles qui ont des concentrations en azote total minéral dissous comprises entre 15 et $35 \mu\text{mol.l}^{-1}$; des concentrations en silicates variant entre 8 et $25 \mu\text{mol.l}^{-1}$; des teneurs en phosphore minéral dissous relativement élevées puisque toujours supérieures à $0,8 \mu\text{mol.l}^{-1}$. Sur la zone étudiée, toutes les estimations obtenues se situent dans la gamme de celles des eaux les plus fertiles décrites précédemment exceptée certaines stations situées sur l'île d'Oléron, sur l'île de Ré et en rive droite de la Seudre qui ont des concentrations en phosphore inférieures à $0,8 \mu\text{mol.l}^{-1}$. Ceci atteste donc d'une bonne richesse nutritionnelle des eaux des chenaux d'alimentation des claires ostréicoles.

Il est donc intéressant de rappeler que les eaux les plus riches en nutriments majeurs sont localisées en sortie des estuaires de la Charente, de la Sèvre Niortaise qui ont une forte influence, et en amont de la Seudre. Ces trois secteurs font l'objet d'apports importants d'eaux douces continentales riches en sels nutritifs dont l'origine est certainement anthropique. En effet, les bassins versants des trois fleuves sont caractérisés par une importante activité agricole et notamment celui concernant la Sèvre Niortaise. Il est intéressant de ne pas oublier l'importance du recyclage des eaux de la Gironde par le pertuis d'Antioche (Héral *et al.*, 1984) qui permet la distribution d'apports de nutriments importants. La capacité trophique de ces eaux est donc très dépendante des apports terrigènes par les eaux douces.

L'analyse des rapports molaires entre les nutriments montre qu'à cette époque, le phosphore minéral peut être considéré comme le premier facteur limitant devant les silicates,

pour la production phytoplanctonique. Ces résultats ne vont pas dans le sens de ceux observés par Turpin (1999) qui signalait que les silicates pouvaient être considérés comme le premier facteur limitant dans l'estuaire de la Seudre à cette période de l'année, correspondant à la remise en eau des claires pour l'affinage des huîtres. De plus, Turpin (1999) avait constaté des pics de salinité à cette même période, ce qui indiquent de faibles d'apports d'eau douce donc de silicates. Il faut savoir que les silicates proviennent essentiellement des fleuves par la diagénèse du sédiment et des roches. Les observations, faites lors de cette étude, peuvent donc s'expliquer par le fait que cette année, les apports d'eaux douces se sont avérés plus importants.

5-2 Fertilité potentielle des différentes eaux.

Après avoir décrit les potentialités nutritionnelles des différentes eaux des chenaux d'alimentation des claires ostréicoles, il est intéressant de vérifier les estimations faites précédemment par l'analyse des bioessais.

Cas de *Skeletonema costatum*.

Lors de l'analyse des résultats, il a été observé que pour 10 stations (Esnandes, la Pointe du Chay, Port des Barques, Brouage, La Baudissière, Bugée, Pélard, Mornac et L'Eguille), les biomasses cellulaires maximales produites, dépassent le million de cell.mL⁻¹ en ayant des taux de divisions journaliers élevés compris entre 0,51 et 0,85 div.j⁻¹. Ces stations sont situées en amont sur la Seudre et aux embouchures des estuaires de la Charente et de la Sèvre Niortaise ou alors sont les plus exposées à la circulation résiduelle des masses d'eau qui est orientée Nord-Sud, pouvant faire redescendre des apports minéraux provenant des estuaires. Il semble important de noter que ces secteurs ont été décrits précédemment comme ayant les eaux les plus fertiles. En effet, par leur position géographique, ils font l'objet d'apports continentaux importants de nutriments majeurs utiles à la croissance algale. De plus, il est important de noter que la croissance de *Skeletonema costatum* suit significativement l'évolution des concentrations nutritives (Tab.2). *S. costatum* est notamment très dépendante ($R = 0,70$) des concentrations en nitrates, silicates et azote total. Les eaux riches en ces nutriments permettent donc une production relativement importante de cette algue fourrage. Ceci confirme donc les potentialités nutritionnelles de ces eaux d'alimentation qui ont des teneurs en nitrates, silicates et azote total dans la gamme des eaux fertiles, vis à vis de *Skeletonema costatum*. Les différences de biomasses observées entre les stations peuvent s'expliquer par les teneurs en sels nutritifs qui sont plus ou moins importantes, par le degré de

salinité et par le principal facteur limitant à cette époque de l'année. D'après les tests statistiques (Tab.2), cette microalgue est significativement dépendante de la concentration en phosphore dissous. Des teneurs faibles limitent donc sa croissance. Pour les eaux ayant un rapport • N:P important, c'est à dire les eaux considérées précédemment comme les plus fertiles, les biomasses produites sont relativement élevées. L'importance de l'azote total dissous, principale source nutritive des algues, peut être mentionnée, car de fortes concentrations en cet élément semblent atténuer l'effet limitant du phosphore dissous. Par ailleurs, la matrice de corrélation (Tab.2) montre que la biomasse maximale produite de *S. costatum* est corrélée significativement de façon négative avec le degré de salinité des eaux d'alimentation. Ceci nous montre que ce dernier a un effet limitant sur la croissance puisque lorsque les salinités augmentent, la biomasse décroît. Qasim *et al.* (1972) indiquent la présence de cette espèce euryhaline dans des eaux de salinité comprises entre 0,5 et 30. Les biomasses maximales produites potentiellement sont relevées sur des eaux ayant des salinités comprises entre 25 et 30. Les eaux polyhalines limitent la croissance de cette espèce malgré leur bonne richesse nutritive. Enfin, les différences de productions potentielles de biomasses peuvent également s'expliquer dans un premier temps, par l'aspect physiologique des clones d'algues utilisées et notamment sa taille (Robert, 1978) ; puis, des facteurs nutritionnels non pris en compte par les analyses (azote et phosphore organique ou bien certains oligo-éléments).

Cas d'Haslea ostrearia.

Pour *H. ostrearia*, les biomasses maximales produites sont plus homogènes que dans le cas de *S. costatum*. Il est à noter qu'un plus grand nombre de stations atteignent des biomasses relativement importantes, qui tournent autour des 60.000 cell.mL⁻¹. Les 10 stations, paraissant les plus fertiles pour *S. costatum*, s'avèrent l'être également pour *H. ostrearia* pour les mêmes raisons que citées antérieurement. A ces dernières, peuvent s'ajouter les différentes eaux où les concentrations cellulaires produites ont atteint les 50.000 cell.L⁻¹. Il s'agit des 4 stations de l'île de Ré, de Lauzières, des Boucholeurs, de Merignac, la Brande et la Soulasserie sur l'île d'Oléron, la Cayenne, les Grandes roches, Chaillevette et Coulonges. Les cinq stations, situées le plus au nord, paraîtraient sensibles aux apports de la Sèvre Niortaise située sur un bassin versant très agricole et à la circulation résiduelle des masses d'eau orientée Nord-Sud. Plus au Sud, ce sont les claires situées sur le littoral que ce soit sur l'île d'Oléron ou juste au sud de la Charente qui seraient également sensibles à l'influence estuarienne de la Charente. En ce qui concerne la Seudre, les eaux polyhalines (les Grandes

roches, Chaillevette, Coulonges, Mornac, Pelard, L'Eguille) s'avèrent être les plus fertiles. La zone regroupant les secteurs, où *H. ostrearia* semble sensible aux arrivées de nutriments, s'avère plus grande. Cette diatomée semble moins exigeante envers les apports de nutriments (azote minéral total, silice et phosphates). Cette hypothèse est confirmée par la matrice de corrélation (Tab.2) qui montre que pour cette algue, la biomasse maximale produite est corrélée significativement ($R = 0,30$) mais faiblement avec les concentrations en silicates, nitrates, et azote total. Cependant, ce constat doit être fait avec précaution car malgré une forte richesse en nutriment sur certains secteurs, les biomasses produites ne sont pas plus importantes ce qui tendrait à souligner l'exigence particulière pour cette espèce vis à vis de facteurs nutritifs non pris en compte dans cette étude (azote et phosphore organique ou oligo-éléments). Par ailleurs, elle n'est pas dépendante significativement des variations de salinité et de la teneur en phosphore dissous, principal facteur limitant de la production phytoplanctonique dans le cadre de cette étude.

6 CONCLUSIONS.

L'affinage des huîtres, ultime étape de l'élevage des huîtres, constitue une spécificité de l'ostréiculture française avec notamment l'engraissement des bivalves grâce à *Skeletonema costatum* et le verdissement suite à la prolifération d'*Haslea ostrearia*. Ce dernier phénomène reste soumis à une variabilité importante de la qualité du milieu et surtout des conditions climatiques, c'est pourquoi la connaissance de tous les facteurs intervenant dans les processus s'avère nécessaire.

La première phase de l'étude, bien que descriptive, a permis de révéler le rôle des nutriments majeurs pouvant limiter la production primaire dans cette région ostréicole. Il s'avère que le phosphore dissous peut être considéré comme le premier facteur limitant dans les chenaux d'alimentation des claires ostréicoles avant les silicates et l'azote minéral total à cette époque de l'année, période à laquelle les claires sont remises en eau pour l'affinage des huîtres. Cette description a permis de constater la bonne richesse nutritionnelle des eaux des chenaux d'alimentation de ces claires ostréicoles. Il est intéressant de rappeler que les eaux les plus riches en nutriments majeurs, sur la zone étudiée, sont localisées en sortie des estuaires de la Charente, de la Sèvre Niortaise qui ont une forte influence et en amont de la Seudre.

La phase d'étude *in vitro* a confirmé pour ces deux diatomées, par l'emploi de tests de fertilité potentielle, les qualités nutritionnelles de ces eaux. Malgré la bonne richesse de ces eaux, les tests biologiques ont permis de montrer le caractère limitant de certains facteurs notamment les phosphates, le degré de salinité pour *Skeletonema costatum* ; tandis que *Haslea ostrearia* semble moins affectée par le phosphore, premier facteur limitant dans le cadre de cette étude. Elle semblerait moins exigeante vis à vis des teneurs en nutriments majeurs sur le plan quantitatif mais aurait une exigence particulière vis à vis de facteurs nutritifs non pris en compte dans cette étude (azote et phosphore organique ou oligo-éléments).

Cette étude aura permis de caractériser les variabilités hydrologiques entre les différentes eaux d'alimentation des chenaux ostréicoles et de connaître les eaux les plus fertiles à l'échelle d'un bassin pour une même période. Connaître leur qualité nutritionnelle est devenu capital depuis que la production en masse de ces espèces, recherchée par les ostréiculteurs et signe de bénéfice économique, est maîtrisée, comme pour *H. ostrearia* (Turpin (2001)). Ainsi ce type d'étude doit permettre de localiser plus précisément des sites potentiels permettant l'installation d'entreprises aquacoles spécialisées dans la production de ces microalgues.

BIBLIOGRAPHIE

- Berland B.R., Bonin D.J., Maestrini S.Y. & Pointier, J.P., 1973. Etude de la fertilité des eaux marines au moyen de tests biologiques effectués avec des cultures d'algues. II Limitation nutritionnelle et variabilité de l'inoculum. *Ins. Rev. Gesamten Hydrobiol.*, **58** (2) : 203-220.
- Dechambois C, Pontier L, Sirou F & Vouvé J, 1977. Apport de la thermographie infrarouge aéroportée à la connaissance de la dynamique superficielle des estuaires (Système Charente-Seudre-Anse de l'Aiguillon). *C. R. Acad. Sc. Paris. Série D*, **284** (14) : 1269-1272.
- Grasshoff, K & Johansen, H, 1972. A new sensitive and direct method for the automatic determination of ammonia in sea water. *J. Cons., Cons. Int. Explor. Mer*, **34** : 516-521.
- Héral M, Razet D, Deslous-Paoli J-M, Manaud F, Truquet I & Garnier J, 1984. Hydrobiologie du bassin de Marennes-Oléron – Résultats du réseau national d'observation : 1977 à 1981. *Ann. Soc. Sci. Nar. Charente-maritime*, **7(2)** : 259-277.
- Koroleff K, 1969. Direct determination of ammonia in natural waters as indophenol blue . ICES,C.M. 1969/C : 9 *Hydr. Comm.*
- Lankester R, 1886. On green oysters. *Quart. J. of micr. Sci.*, London.
- Maestrini S Y, Robert J-M, 1979. Fertilité et teneurs en sels nutritifs des eaux marines. *J. Rech. Oceanogr.*, **4** : 17-25.
- Moreau C., 1996. Des eaux souterraines salées en baie de Bourgneuf pour la production de microalgues en aquaculture : l'azote ammoniacal, le fer et le manganèse dissous, causes de la variabilité de la fertilité potentielle pour trois diatomées tests. *Thèse de Doctorat de l'Université de Nantes*, 276 p.
- Morris A W & Riley J P, 1963. *Anal. Chim. Acta*, **29** : 272.
- Mullin J B & Riley J P, 1955. Spectrophotometric determination of silicate-silicon in natural waters with special reference to seawater. *Anal. Chim. Acta*, **12** : 162-170.
- Mullin J B & Riley J P, 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta*, **27** : 380-462.
- Papy L, 1941. La côte atlantique de la Loire à la Gironde. Tome 1 : Les aspects naturels. Introduction à une étude de géographie humaine. Tome 2 : L'homme et la mer. Etude de géographie humaine ; Delmas (ed.). Bordeaux, 302 p et 528 p.
- Prou J & Héral M, 1998. Le marais salé des Pertuis Charentais : à la recherche d'un développement durable. Marais Maritimes et Aquaculture. *Actes de colloque Ifremer*, **19**, Brest. 33-39.
- Qasim S.Z., Bhattathiri P.M.A. & Devassy V.P., 1972. The influence of salinity on the rate of photosynthesis and abundance of some tropical phytoplankton. *Mar. Biol.*, **12** : 200-206.

- Ranson G, 1927. L'absorption des matières organiques dissoutes par la surface extérieure du corps chez les animaux aquatiques. *Ann. Institut Oceanogr.*, **4** : 49-175.
- Redfield A C, 1934. On the proportions of organic derivatives in seawater and their relation to the composition of plankton. In : James Johnston Memorial Volume. *Liverpool, Univ. Press* : 176-192.
- Robert J-M, 1983. Fertilité des eaux des claires ostréicoles et verdissement. Utilisation de l'azote par les diatomées dominantes. *Thèse Doct. Etat, Univ. Nantes*, 281 p + Annexes.
- Robert J-M, 1984 a. Greening of Oyster-ponds by the diatom *Haslea ostrearia* Bory : a model of the phenomenon. 8th Diatom-Symposium 1984. 517-523.
- Soletchnik P., Faury N., Razet D. & Gouletquer P., 1998. Hydrobiology of the Marennes-Oléron Bay. Seasonal indices and analysis of trends from 1978 to 1995. *Hydrobiologia*, **386**, 131-146.
- Solorzano L, 1969. Determination of ammonia in natural waters by the phenol-hypochlorite method. *Limnology Oceanography* **14**, 799-801.
- Strickland J.D.H & Parsons T.R., 1972. A practical handbook of seawater analysis. *Bulletin of Fisheries and Research Board of Canada* **167**, 1-311.
- Turpin V. & Robert J-M, 1998. Potential fertility of the oyster ponds in the Marennes-Oléron Bay for *Haslea ostrearia* Simonsen during the oyster fattening processes. In : *Marais Maritimes et Aquaculture – Préservation et Exploitation des Zones Humides et littorales – Rochefort 96*. Actes de Colloques l'IFREMER 19 (ed. by J. Hussenot & V. Buchet), pp. 97-106. Plouzané, France.
- Turpin V., 1999. Etude des évènements physico-chimiques et biologiques présidant à la prolifération d'*Haslea ostrearia* Simonsen dans les claires ostréicoles de la région de Marennes-Oléron : implications dans la maîtrise du verdissement. *Thèse de Doctorat de l'Université de Nantes*, 208 p.
- Turpin V., Robert J-M & Gouletquer P., 1999. Limiting nutrients of oyster pond seawaters in the Marennes-Oléron region for d'*Haslea ostrearia* : applications to the mass production of the diatom in mesocosm experiments. *Aquatic Living Resources* **12**, 335-342.
- Turpin V., Robert J-M & Gouletquer P., Massé G. & Rosa P., 2001. Oyster greening by outdoor mass culture of the diatom *Haslea ostrearia* Simonsen in enriched seawater. *Aquaculture Research* **32**, 801-809.