

IFREMER
Mus de Loup
17390 LA TREMBLADE
Tél. 05.46.36.18.41
Fax 05.46.36.18.47

DIRECTION DE L'ENVIRONNEMENT
ET DE L'AMENAGEMENT LITTORAL

LABORATOIRE DE LA TREMBLADE

AUTEUR (S) :	CODE
Daniel MASSON et Edouard HIS	N° DEL
TITRE :	Date : 10/09/97
	Nb tirages :
	Nb pages : 28 + annexes Nb figures : 6 Nb photos : 12
CONTRAT (intitulé)	DIFFUSION :
Cofinancement n° :	Libre
Fonds Européens FEOGA à hauteur de 134 000 F	Restreinte Confidentielle

RESUME :

Le marais doux agricole de Moëze-Brouage, en Charente-Maritime, voit se développer les cultures intensives à la place de l'élevage sur prairies affectant la qualité des eaux de rejet vers le milieu marin. La proximité du bassin ostréicole de Marennes-Oléron et des claires a conduit à mettre en oeuvre des tests écotoxicologiques, lesquels sont largement positifs sur certains exutoires du marais, induisant des effets néfastes sur les organismes tests.

Mots clés : Eaux de rejet agricoles, Ecotoxicologie, Marais charentais.

SOMMAIRE

	Pages
1. INTRODUCTION	1
2. MATERIELS ET METHODES	5
2.1. Le test "embryon" de <i>Crassostrea gigas</i>	5
2.2. Toxicité des produits étudiés	7
2.3. Surveillance de la "qualité biologique" de l'eau	7
2.4. Toxicité potentielle des sédiments	8
3. RESULTATS	10
3.1. Test des produits phytosanitaires <i>in vitro</i>	10
3.1.1. Dinoterbe	10
3.1.2. Benfuracarbe	10
3.1.3. Mercaptodimétur	10
3.1.4. Glyphosate	12
3.2. "Qualité biologique" de l'eau	12
3.2.1. Campagne 1994	12
3.2.1.1. <i>Prélèvements du 11 juillet 1994</i>	14
3.2.1.2. <i>Prélèvements du 19 juillet 1994</i>	14
3.2.1.3. <i>Prélèvements du 4 août 1994</i>	14
3.2.1.4. <i>Prélèvements du 10 août 1994</i>	15
3.2.1.5. <i>Prélèvements du 16 août 1994</i>	15
3.2.2. Campagne 1995	15
3.2.2.1. <i>Prélèvements du 19 avril 1995</i>	16
3.2.2.2. <i>Prélèvements du 4 mai 1995</i>	16
3.2.2.3. <i>Prélèvements du 10 mai 1995</i>	16
3.2.2.4. <i>Prélèvements du 29 mai 1995</i>	16
3.2.2.5. <i>Prélèvements du 6 juin 1995</i>	16
3.2.2.6. <i>Prélèvements du 21 juin 1995</i>	17
3.3. Toxicité potentielle des sédiments	17
3.3.1. Campagne 1994	17
3.3.1.1. <i>Sédiment 3 (écluse de Beaugeay aval)</i>	17
3.3.1.2. <i>Sédiment 4 (Havre de Brouage)</i>	19
3.3.1.3. <i>Sédiment 5 (ouvrage de sortie de la lagune amont)</i>	19
3.3.1.4. <i>Sédiment 7 (milieu du marais)</i>	19

3.3.1.5. Sédiment 9 (chenal de Brouage aval)	19
3.3.1.6. Sédiment 10 (point de sortie d'îlot drainé)	19
3.3.2. Campagne 1995	19
3.3.2.1. Prélèvements du 19 avril 1995	20
3.3.2.2. Prélèvements du 6 juin	20
4. DISCUSSION	20
4.1. Toxicité des produits phytosanitaires étudiés	21
4.2. Bilan relatif aux tests sur l'eau	21
4.2.1. Campagne 1994	23
4.2.2. Campagne 1995	24
4.3. Bilan relatif aux tests sur les sédiments	24
5. PRINCIPALES CONCLUSIONS	25
5.1. Zones les plus touchées par cette pollution	25
5.2. Causes probables	25
5.3. Impact sur les activités conchylicoles	26
5.4. Prospective	26
6. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	27
ANNEXES	

1. INTRODUCTION

Les marais littoraux de Charente-Maritime représentent 100 000 hectares répartis en marais mouillé (inondé lors des crues) et marais desséché. Ce dernier, protégé des submersions par des digues est drainé par un système de canaux parfois très dense (le "chevelu", 500 m par hectare) et s'écoule vers la mer par le biais d'une série d'ouvrages divers (écluses, vannes, portes à flot, etc...). L'exploitation économique de ces marais salés ou doux, aquacoles sur le littoral et agricoles plus en amont, a évolué dans les dernières décennies, entraînant souvent des conflits d'usage dont les plus caractéristiques sont centrés sur l'eau douce.

Sur le plan quantitatif, l'hydraulique agricole impose un niveau minimum d'eau dans le réseau en été (stabilité des berges et clôture du bétail) puis une évacuation vers l'aval lors des pluies d'automne et d'hiver (les parties cultivées ne supportant pas la submersion). L'hydraulique conchylicole exige des apports d'eau douce et des sels nutritifs à la mer en été et une salinité élevée des eaux en automne (coquillages stockés dans le marais) difficile à obtenir avec les lâchers d'eau douce venant de l'amont. Ces problèmes sont réglés (en principe) par une gestion concertée de l'eau douce entre les acteurs (Masson, 1994).

Sur le plan qualitatif, les eaux douces venant de l'amont et notamment du secteur agricole véhiculent un certain nombre de substances dont les plus préoccupantes sont les produits phytosanitaires.

Depuis les années soixante en effet, les agriculteurs du marais charentais confrontés à des baisses de revenu avec l'élevage sur prairie, se sont lancés dans la culture intensive du marais doux : blé dur, orge, tournesol et plus récemment maïs.

Les terrains argileux qui ont été utilisés pour cela sont d'anciens marais salants. Beaucoup sont riches en sodium, et donc peu compatibles avec un usage agronomique car ils ont une mauvaise stabilité structurale (marais dits argilo-sodiques). Un amendement par le gypse ne résoud que partiellement les problèmes posés (échange des ions sodium par des ions calcium) et les eaux de drainage de ces cultures sont souvent riches en matières en suspension.

Or, ces cultures intensives exigent l'emploi d'herbicides (sélectifs ou non), de fongicides, d'insecticides voire de molluscicides ou de phytohormones de croissance. Une partie de ces produits (sous forme soluble, colloïdale ou adsorbée sur des particules) va se trouver dans les eaux de drainage et donc un peu plus tard dans le milieu marin, que ce soient les matières actives ou leurs solvants.

Comme il n'était pas possible d'étudier ce phénomène partout à la fois, un site pilote a été retenu après concertation par l'INRA et l'IFREMER pour tenter de mettre en évidence l'incidence de ces modifications, lesquelles intéressent une zone qui s'étend du Marais Poitevin à l'embouchure de Gironde.

Il s'agit du marais de Moëze-Brouage, entre Rochefort et Marennes (fig. 1) sur lequel cohabitent la prairie naturelle, des cultures intensives drainées, puis en aval, une zone conchylicole comportant plusieurs hectares de claires. Le marais doux est alimenté en eau à partir du canal Charente-Seudre (donc des eaux de la Charente), tous les exutoires débouchant dans le Havre de Brouage et sa zone conchylicole.

Les études menées conjointement par la station INRA de Saint-Laurent de la Prée et par le laboratoire IFREMER de La Tremblade entre 1984 et 1988 se sont faites sur un îlot drainé expérimental d'environ 80 hectares (l'îlot des Tannes) avec la collaboration de l'agriculteur qui a fourni les informations sur les produits phytosanitaires employés (Chevallier et al., 1988). Un système de lagunage avait été mis en place qui a permis de montrer son utilité en retenant la phase particulaire des rejets. L'analyse des coquillages d'eau douce (anodontes) et d'eau salée (moules) placés dans ce milieu a permis de constater que ceux-ci accumulaient dans une certaine mesure les matières actives des produits phytosanitaires.

L'examen de la liste des produits phytosanitaires utilisés (tableau 1 ; Chevallier et al., 1988) montre la prépondérance quantitative des herbicides, dont l'action néfaste sur le phytoplancton est connue (Robert et al., 1986 ; His et al., 1993). Il importait donc de poursuivre l'étude de la qualité des eaux sortant du marais doux d'autant que l'on est passé de 80 hectares en 1986 à près de 600 hectares drainés en 1990 sur le marais de Moëze-Brouage.

Parallèlement, les différentes actions de concertation entre les professions agricoles et conchylicoles avaient abouti en 1988 à l'établissement d'un protocole de gestion concertée des marais, lequel demande aux organismes scientifiques INRA et IFREMER de "mettre en oeuvre les programmes de recherche nécessaires" pour répondre à la question : "Les eaux de rejet agricole ont-elles ou non une action néfaste sur la vie marine, et si oui dans quelle mesure ?

Le Service de Protection des Végétaux de la région Poitou-Charentes et la Chambre d'Agriculture de Charente-Maritime ont exprimé en 1993 aux deux organismes leur souhait de voir poursuivre les études sur ces problèmes de qualité des eaux de rejet agricoles. Celles-ci ont donc repris sur le périmètre de Moëze-Brouage, notamment autour d'une lagune de 10 hectares recueillant l'eau de la majeure partie des îlots drainés de la zone.

Les difficultés techniques à trouver ou à maintenir des organismes intégrateurs sur le site (mortalités d'organismes, actes de vandalisme) ont conduit l'IFREMER à se tourner vers une surveillance biologique (monitoring) des eaux de rejet en utilisant des tests écotoxicologiques sur les larves de bivalves marins (huîtres et moules). Parallèlement, ces mêmes tests ont été utilisés pour évaluer la toxicité potentielle de quelques produits phytosanitaires utilisés sur la zone.

Depuis les travaux de Woelke (1972), les oeufs, les embryons et les larves de bivalves marins (huîtres ovipares, *Crassostrea spp.* et les moules *Mytilus spp.*) figurent parmi les organismes les plus fréquemment utilisés en écotoxicologie marine (His et Robert, 1986).

Depuis près d'un demi-siècle leur emploi a permis de déterminer le seuil d'action des micropolluants (métaux lourds, pesticides, détergents, effluents industriels) ou d'évaluer la dégradation éventuelle du milieu naturel – la "qualité biologique" des eaux – dans les zones littorales soumises à l'action des activités humaines (facteurs anthropiques).

Par ailleurs, la surveillance biologique du littoral ("monitoring") qui s'est développée ces dernières années a impliqué la mise au point de méthodes simples, rapides et peu coûteuses, et cependant très sensibles.

Un tel test simplifié, basé sur l'utilisation des oeufs fécondés, des embryons et des larves de l'huître, *Crassostrea gigas*, a été utilisé dans le cadre de cette étude (His et al., 1993b). L'originalité de cette étude consiste donc à utiliser cette méthodologie qui a fait ses preuves dans d'autres secteurs ; elle permet en effet de caractériser l'importance de la pollution d'un

Tableau 1 : Exemple de l'îlot de drainage des Tannes. Bilan des apports sur 4 ans.

MATIERES ACTIVES	Tot. 84/88 (kg)	Toxicité sur rat (mg/kg)	Solubilité (mg/l)	Observations
HERBICIDES				
Isoproturon	300,5	1 800	70	
Chlortoluron	113	10 000	70	
Metoxuron	29	2 020	678	
Neburon	67	11 000	5	
Bromoxynil	46	260	130	p
Loxynil	58,9	110	50	p
2-4 D	30	375	600	p (si esters)
2-4 MCPA	72	700	825	p (si esters)
MCPP	161,2	930	620	
Clopyralid	2,5	5 000	1 000	
Carbetamide	105	11 000	3 500	
Flurochloridone	71,8	4 000	28	
Fluroxypyr	7,5	5 000	91	
Glyphosate	18	4 900	10 000	
L-flampropisopropyl	15	4 000	18	
FONGICIDES				
Carbendazime	84,1	15 000	5,8	
Propiconazole	26,4	1 500	110	
Fenpropimorphe	111,7	3 650	6,8	
Flutriafol	15,6	1 140	104	
Captafol	37,5	5 000	1,4	p
Mancozebe	59,4	8 000	Ins.	p
Chlorothalonil	120,6	10 000	0,6	p
INSECTICIDES				
Benfuracarbe	20	138	5	
Carbofuran	12,5	8	750	p
Pyrimicarbe	6,6	147	2,7	np
Fenvalerate	0,2	450	< 1	p
Endosulfan	12	50	Ins.	pp
Thiomethon	4	120	200	
Parathion-methyl	8	14	60	
Terbuphos	6,4	4	15	p
MOLLUSCICIDES				
Mercaptodimethur	13,4	100	Ins.	p
SUBSTANCES DE CROISSANCE				
Chlorure de chlormequat	23,7	670	740	
Chlorure de mepiquat	31,4	1 000	1 420	
Ethephon	22,2	4 229	?	
Chlorure de choline	0,7	?	?	
Imazaquin	0,2	?	?	

secteur sur la base – non pas d'analyses – mais de tests de laboratoire, le degré de pollution d'une eau (ou d'un sédiment) étant étroitement corrélé avec les anomalies larvaires observées, le tout effectué dans des conditions expérimentales bien définies et reproductibles.

2. MATERIELS ET METHODES

Trois types d'observations ont été effectués :

- Evaluation de la toxicité de plusieurs produits :
 - le Dinoterbe : herbicide fortement toxique, encore rencontré en agriculture dans d'autres régions. Il est testé ici pour fournir un élément de comparaison avec les produits utilisés sur la zone,
 - le Benfuracarbe : insecticide pour traitement des sols,
 - le Glyphosate : herbicide dont l'usage est de plus en plus répandu
 - le Mercaptodimétur : molluscicide utilisé contre les limaces,
- Surveillance de la "qualité biologique" des eaux
- Toxicité potentielle des sédiments prélevés dans le fond des chenaux du marais.

2.1. Le test "embryon" de *Crassostrea gigas*

Ce test consiste à mettre en présence des embryons, une eau ou une substance à tester, puis à décompter les anomalies produites.

L'émission des gamètes est induite chez des *C. gigas* matures par stimulation thermique (passages successifs en eau de mer de 28°C à 18°C) et par stimulation chimique (action d'une suspension de gamètes prélevés sur des sujets sacrifiés).

Les oeufs fraîchement émis lors d'une ponte, sont déversés dans une éprouvette graduée de 1 l contenant de l'eau de mer filtrée à 0,2 µm. Après homogénéisation, des échantillons de 100 µl sont prélevés pour comptage des oeufs au microscope.

On procède aux fécondations par adjonction de 10 ml d'une suspension de sperme dense en eau de mer filtrée à 0,2 µl.

Quinze minutes après les fécondations, 600 oeufs sont transférés à l'aide d'une pipette automatique dans les récipients d'élevage (acuvettes de Coulter Counter de 25 ml). Puis ces acuvettes (5 exemplaires par échantillon étudié) sont placées en incubation à 24 ± 1°C pendant 24 heures.

A l'issue de cette période, 100 µl de formol neutre sont ajoutés à chaque acuvette et le pourcentage d'anomalies larvaires (fig. 2) est déterminé par observation directe du contenu des acuvettes au microscope inversé d'Utermöhl.

Le pourcentage moyen d'anomalies larvaires est calculé avec un intervalle de confiance au seuil de sécurité de 95 %.

Le test est valable lorsque le pourcentage moyen d'anomalies larvaires est inférieur à 20 % dans les élevages témoins.

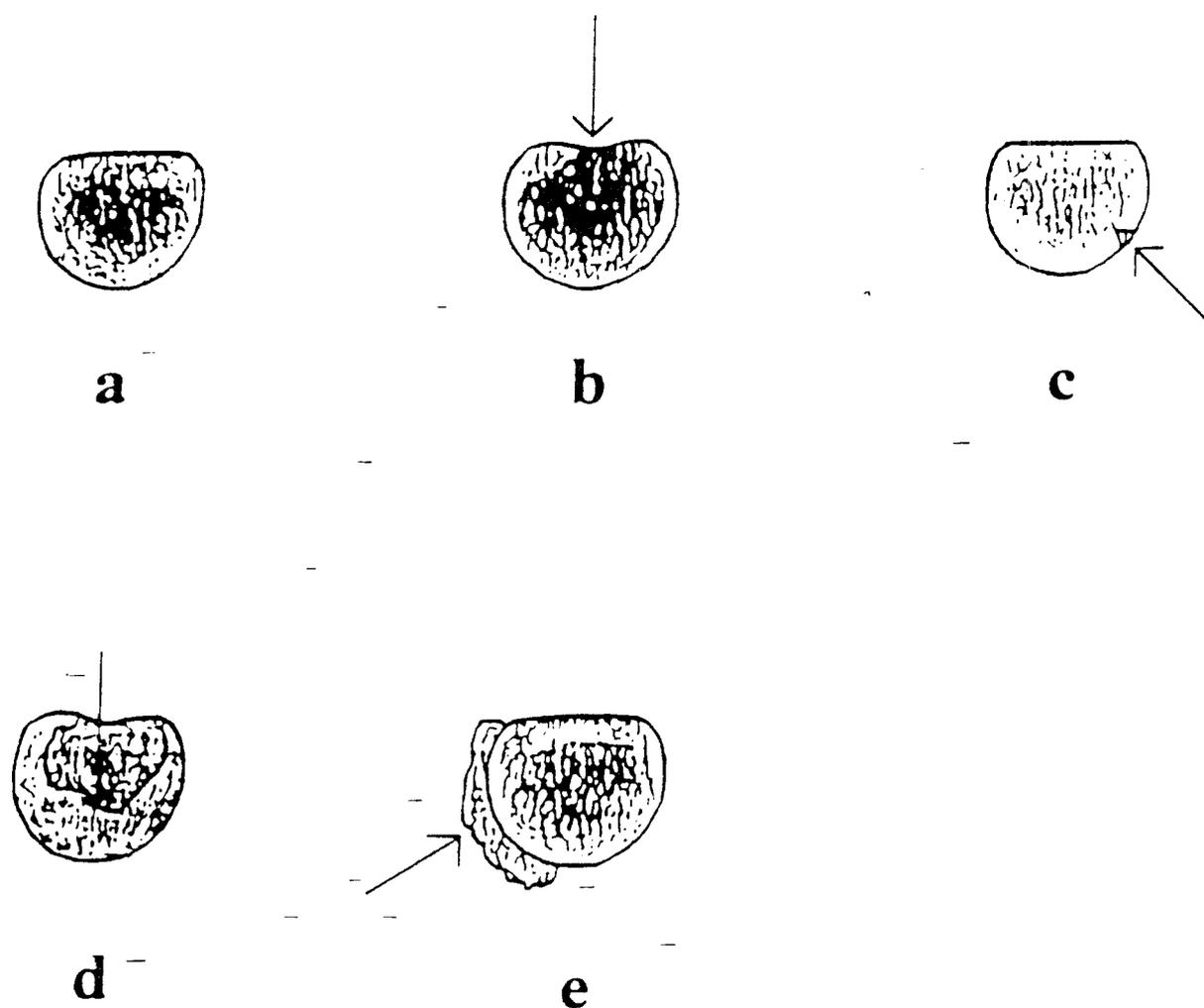


Figure 2 : Les anomalies larvaires observées chez *Crassostrea gigas*.

a : larve D normale

b : charnière convexe

c : échancrure à la commissure des valves

d : une des valves anormalement développée

e : le velum ne se rétracte pas totalement quand la larve est fermée.

2.2. Toxicité des produits étudiés

Le Dinoterbe ($C_{10}H_{12}N_2O_6$) est un herbicide qui appartient à la famille des phénols.

Peu soluble dans l'eau (50 mg/l), il agit par contact sur de nombreuses dicotylédones (Hayes et Laws, 1991). Il est notamment dangereux pour les poissons (index phytosanitaire ACTA).

Le Benfuracarbe ($C_2O_3H_3ON_2O_5S$), est un insecticide qui appartient à la famille des carbamates.

Très faiblement soluble dans l'eau (5 mg/l à 20°C), il est absorbé par les plantes et agit sur de nombreuses larves et adultes d'insectes. Sa persistance dans le sol varie de 1 mois et demi à 2 mois (Hayes et Laws, 1991).

Le Glyphosate ($C_3H_8N_5O_5P$) est un herbicide très soluble dans l'eau (10 g/l à 25°C) qui agit par contact avec les parties aériennes. Le fait qu'il soit inactivé au contact du sol a généralisé son emploi. Il est réputé peu toxique bien que classé comme irritant lors de son application.

Le Mercaptodimétur ($C_{11}H_{15}NO_2S$) est un molluscicide (limaces, escargots) qui appartient à la famille des carbamates. Il est assez faiblement soluble dans l'eau (27 mg/l à 20°C) mais dangereux pour les poissons. Il peut arriver au milieu marin sous forme particulaire.

Ces produits ont été solubilisés dans un solvant organique, le DMSO, les élevages témoins recevant la plus forte quantité de DMSO apportée à la plus forte concentration du produit testé (ici $ml.l^{-1}$).

Les teneurs suivantes ont été utilisées : 0 (témoins) ; 10 $\mu g/l$; 25 $\mu g/l$; 50 $\mu g/l$; 100 et 200 $\mu g/l$.

2.3. Surveillance de la "qualité biologique" de l'eau

La qualité biologique est entendue ici comme étant le degré de pollution susceptible de provoquer des anomalies sur la larve-test.

Les végétales de *Crassostrea gigas* peuvent supporter parfaitement des salinités comprises entre 35 ‰ et 25 ‰ (His et al., 1989).

A partir d'une eau de mer à caractère franchement océanique (35 ‰), l'adjonction d'un tiers d'eau douce permet d'obtenir une valeur de 25 ‰ tout à fait compatible avec un bon déroulement de l'embryogenèse et la formation des larves D.

Cette possibilité a été utilisée pour mettre en évidence la présence d'éventuels micropolluants dans les eaux du marais de Moëze : les eaux de salinité égale ou supérieure à 25 ‰ ont été testées sans modification ; en dessous de cette valeur, un tiers de l'échantillon testé a été ajouté à de l'eau de mer de salinité 35 ‰, permettant de conserver une valeur finale égale ou supérieure à la limite inférieure de 25 ‰.

Dans le cas des élevages témoins, de l'eau déminéralisée a été utilisée à la place de l'eau du marais.

Dans tous les cas, l'eau testée a été passée sur un tamis de 40 μm , afin d'éliminer d'éventuels prédateurs ainsi que les salissures, mais aussi de façon à conserver les particules fines qui sont susceptibles de véhiculer des micropolluants.

Les sites de prélèvement retenus ont été numérotés de 1 à 10 (fig. 3) :

- 1 : Entrée marais doux de Moëze
- 2 : Ecluse de Beaugeay amont
- 3 : Ecluse de Beaugeay aval
- 4 : Chenal conchylicole de Brouage
- 5 : Ouvrage de sortie de lagune amont
- 6 : Ouvrage de sortie de lagune aval
- 7 : Milieu du marais doux
- 8 : Ecluse des Tannes (sortie générale du marais) amont
- 9 : Ecluse des Tannes aval (dans chenal de Brouage)
- 10 : Sortie de l'îlot drainé des Berlotteries

Pour la première campagne (1994), effectuée en période estivale de reproduction des huîtres à proximité du Bassin conchylicole de Marennes-Oléron, des séries de prélèvement ont eu lieu en période de faibles précipitations (11 et 19 juillet et 16 août) puis à la suite de pluies d'orages de faible importance (4 août) ou de forte importance (10 août).

La deuxième campagne (1995) a été réalisée plus tôt dans l'année : 19 avril, 4, 10 et 29 mai 6 et 21 juin, correspondant à la période de redémarrage de la production phytoplanctonique.

2.4. Toxicité potentielle des sédiments

Les particules fines des sédiments sont susceptibles de piéger puis de relarguer dans certaines conditions les micro polluants qui peuvent affecter ensuite les écosystèmes marins.

Des sédiments ont été prélevés dans les chenaux du marais (points 3, 4, 5, 7, 9 et 10) le 4 août 1994, puis le 19 avril et le 6 juin 1995 sur les mêmes points.

La teneur en eau de chacun d'eux a été déterminée par passage à l'étuve à 80°C jusqu'à poids constant.

La teneur en particules fines (taille inférieure à 63 μm) des sédiments secs a été déterminée par lavage du sédiment sec sur tamis inox de 63 μm puis séchage de la partie retenue à l'étuve jusqu'à poids constant.

Les tests sur les oeufs, les embryons et les larves de *C. gigas* ont été effectués en acuvettes de 25 ml à partir des suspensions suivantes de sédiments humides, en eau de mer filtrée à 0.2 μm : 0 g/l (témoins) ; 0,5 g/l ; 1 g/l ; 2,5 g/l ; 5 g/l.

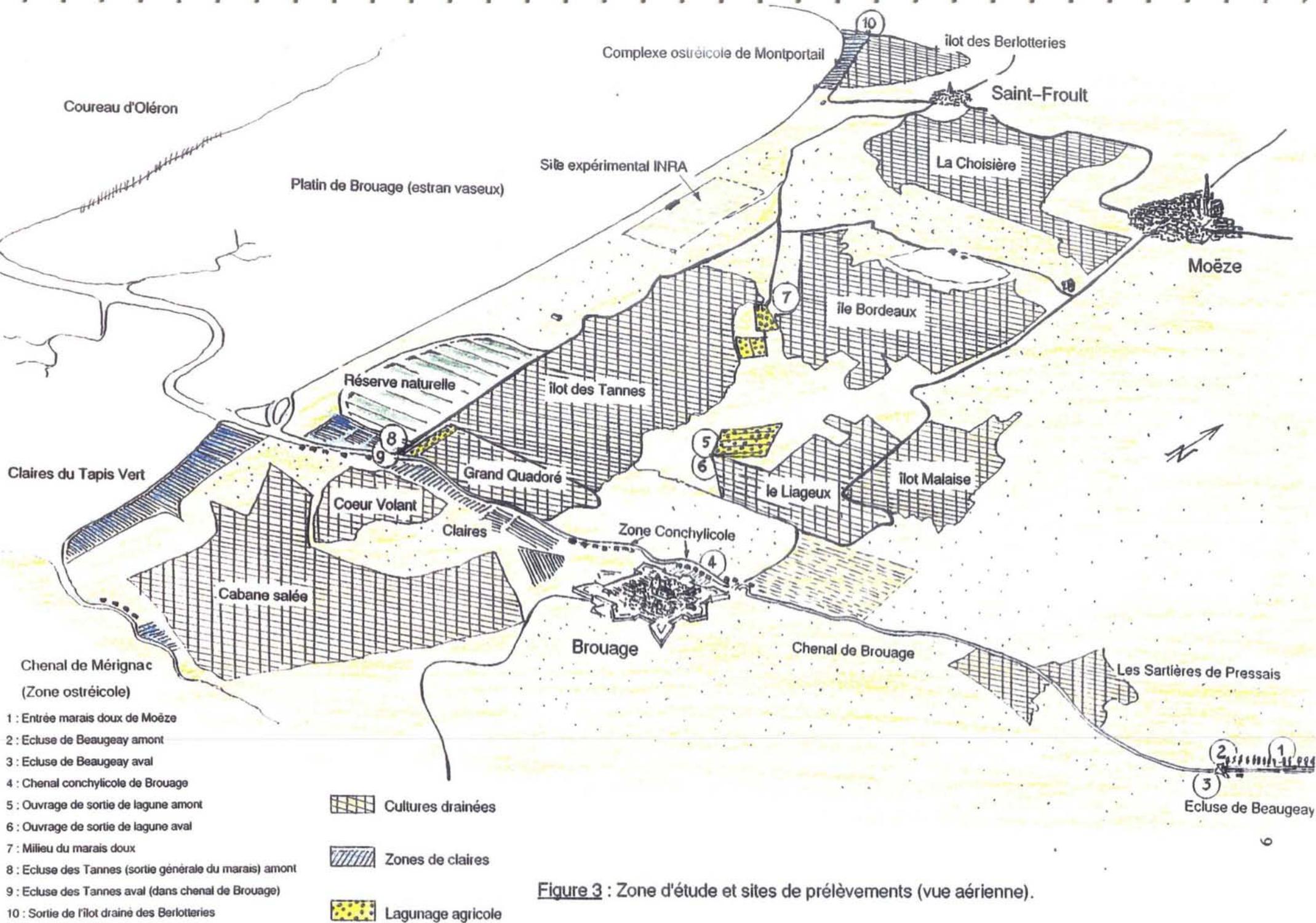


Figure 3 : Zone d'étude et sites de prélèvements (vue aérienne).

3. RESULTATS

3.1. Test des produits phytosanitaires *in vitro*

3.1.1. Dinoterbe

Les pourcentages moyens d'anomalies larvaires obtenus aux différentes concentrations de cet herbicide sont portés dans le tableau 2 et la figure 4A.

Tableau 2 : Action du Dinoterbe et du Benfuracarbe sur les oeufs, les embryons et les larves de *Crassostrea gigas*. Pourcentages d'anomalies larvaires avec intervalle de confiance au seuil de sécurité de 95 % (I.C.), aux différentes concentrations.

Concentrations	DINOTERBE	BENFURACARBE
	% Anomalies avec I.C. à 95 %	
0 µg/l	9,4 ± 5,3	4,4 ± 2,1
10 µg/l	20,0 ± 1,7	5,4 ± 2,3
25 µg/l	26,4 ± 5,8	7,8 ± 2,1
50 µg/l	37,2 ± 5,3	8,2 ± 5,3
100 µg/l	80,2 ± 5,1	8,4 ± 2,1
200 µg/l	93,0 ± 7,7	9,6 ± 2,9

Les pourcentages peu élevés d'anomalies observés dans les témoins (9,4 ± 5,4 %) indiquent la validité du test.

Dès la plus faible concentration (10 µg/l), se manifeste une augmentation statistiquement significative du pourcentage d'anomalies. Le phénomène augmente progressivement avec la teneur en micro polluant pour atteindre la valeur de 93,0 ± 7,7 % à 200 µg/ml.

3.1.2. Benfuracarbe

Comme précédemment (tableau 2 et fig. 4B), les faibles pourcentages d'anomalies larvaires des élevages témoins (4,4 ± 2,1 %) témoignent de la validité du test.

Aux concentrations comprises entre 10 et 100 µg/l, les pourcentages d'anomalies ne sont pas statistiquement différents (valeurs comprises entre 5,4 ± 2,3 et 8,4 ± 2,1 %).

Seules les valeurs obtenues à 200 µg/l (9,6 ± 2,9) diffèrent de celles des témoins.

3.1.3. Mercaptodimétur

Bien que cette substance soit un molluscicide, les pourcentages d'anomalies ne dépassent pas 5,8 % à 200 µg/l (tableau 3). De plus, il est faiblement soluble, donc peu mobile, ceci permet de penser qu'il représente un danger moindre pour la vie marine.

Figure A

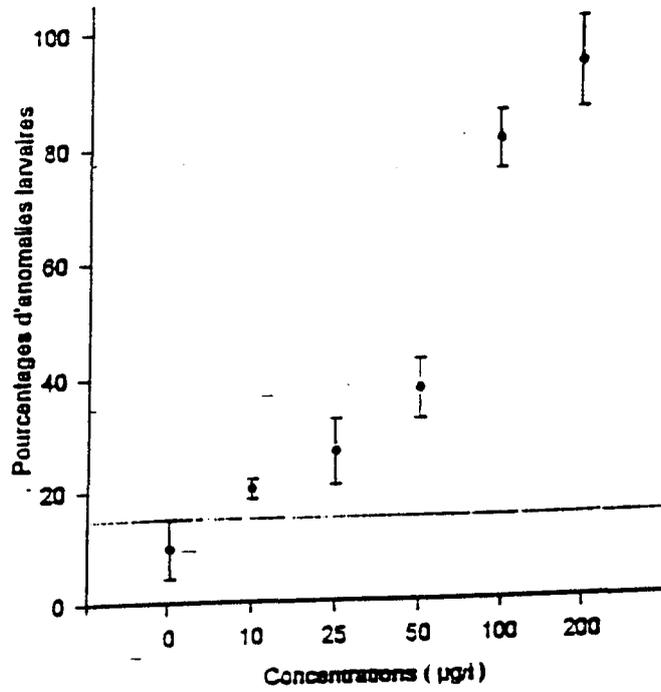


Figure B

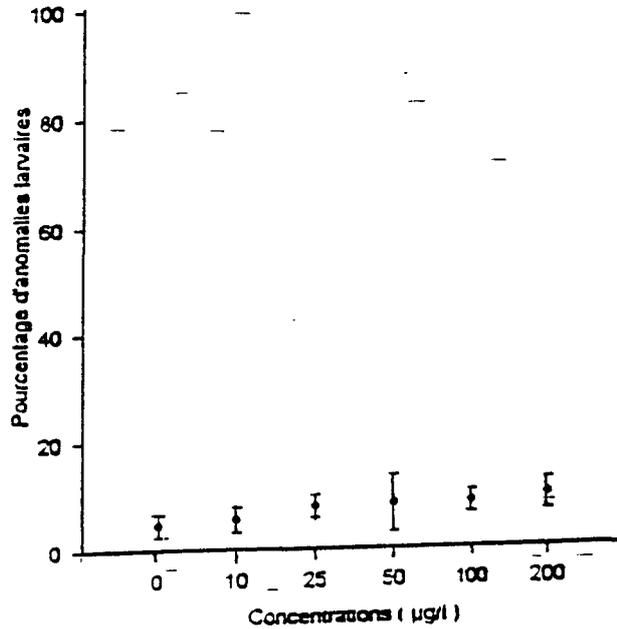


Figure 4 : Pourcentages moyens des anomalies larvaires, avec intervalle de confiance au seuil de sécurité de 95 % observées chez *Crassostrea gigas* aux différentes concentrations de Dinoterbe (figure A) et de Benturacarbe (figure B). En pointillé est figurée la limite supérieure de la moyenne avec l'intervalle de confiance supérieur à 95 % de probabilité.

Tableau 3 : Action du Glyphosate et du Mercaptodimétur sur les oeufs les embryons et les larves de *C. gigas*. Pourcentage d'anomalies larvaires moyennes sur cinq tests avec intervalle de confiance (I.C.) à 95 %.

% Anomalies avec I.C. à 95 %		
Concentrations	Glyphosate	Mercaptodimétur
0 µg/l	9,8 ± 6,5	8,4 ± 2,9
10 µg/l	6,8 ± 1,8	4,4 ± 2,5
25 µg/l	10,2 ± 4,9	3,0 ± 3,3
50 µg/l	8,6 ± 3,6	5,8 ± 5,4
100 µg/l	8,8 ± 4,1	5,6 ± 3,6
150 µg/l		6,0 ± 5,5
200 µg/l	7,8 ± 2,7	5,8 ± 2,7

3.1.4. Glyphosate

Molécule très peu rémanente et très soluble, cet herbicide méritait d'être testé du fait de son emploi de plus en plus général (notamment pour les désherbages de voies à proximité du marais conchylicole).

Le pourcentage d'anomalies, même à forte concentration est inférieur à celui du témoin (tableau 3). Un test ultérieur réalisé sur larve d'oursin (*Paracentrotus lividus*) tend à confirmer l'innocuité de ce produit.

3.2. "Qualité biologique" de l'eau

3.2.1. Campagne 1994

La salinité des eaux prélevées aux différentes dates est portée dans le tableau 4.

Tableau 4 : Salinité d'origine des eaux prélevées aux différents points, lors des cinq campagnes de prélèvement en 1994. Les eaux dont les salinités sont mentionnées en italique, ont été utilisées sans modification.

Points	DATE DES PRELEVEMENTS				
	11/07/94	19/07/94	4/08/94	10/08/94	16/08/94
1	1,4	0,7	0,6	6,2	2,0
2	0,6	1,4	0,5	2,1	1,9
3	17,1	2,0	3,6	22,2	2,0
4	<i>27,5</i>	<i>33,8</i>	<i>30,5</i>	<i>34,0</i>	<i>30,7</i>
5	2,9	3,1	1,8	1,6	2,0
6	1,0	1,9	1,6	1,6	2,2
7	0,6	1,0	1,5	2,9	3,8
8	2,0	2,2	2,8	1,4	2,8
9	-	<i>33,7</i>	<i>34,2</i>	<i>33,0</i>	<i>30,7</i>
10	1,6	-	1,9	1,6	3,2

Les pourcentages d'anomalies larvaires sont indiqués dans le tableau 5 et sur les figures 5 (A, B, C, D et E).

Figure A

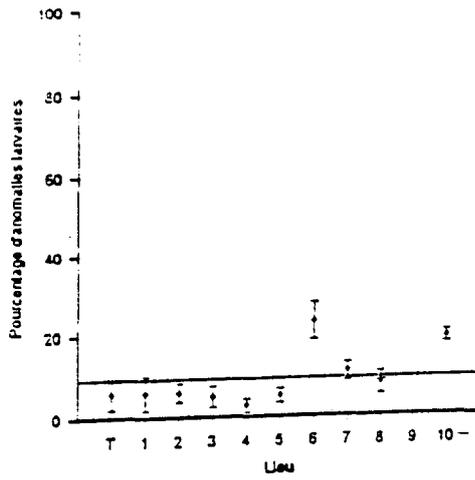


Figure B

13

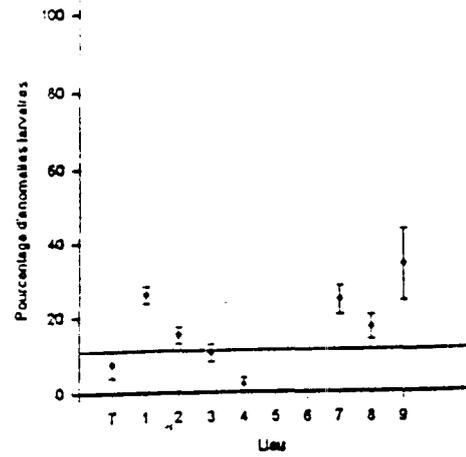


Figure C

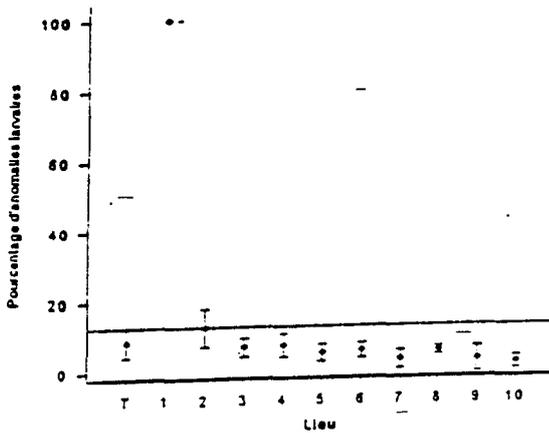


Figure D

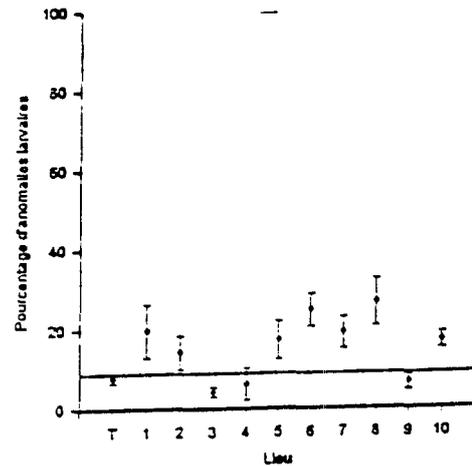


Figure E

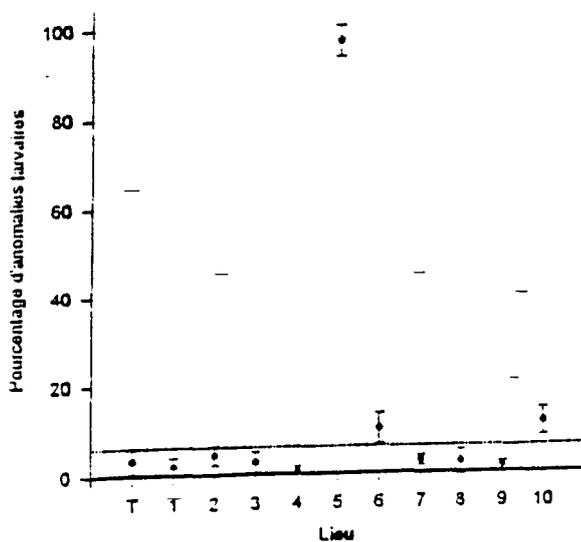


Figure 5 : Pourcentages moyens d'anomalies larvaires, avec intervalle de confiance au seuil de sécurité de 95 %, observées avec les différentes eaux, lors des campagnes estivales de prélèvement. A : 11/07/1994 ; B : 19/07/1994 ; C : 4/08/1994 ; D : 10/08/1994 ; E : 16/08/1994. En pointillé : limite supérieure de la moyenne avec l'intervalle de confiance supérieur à 95 % de probabilité.

Lors des différentes campagnes de prélèvements, les résultats obtenus sur les élevages témoins, permettent de constater que dans tous les cas les pourcentages d'anomalies larvaires se sont situés nettement au-dessous de la valeur de 20 %, indiquant que les tests ont été effectués dans de bonnes conditions (valeur minimum de la moyenne $3,4 \pm 2,7$ le 16/08/94 et valeur maximum de $8,4 \pm 4,2$ le 4/08/87).

Tableau 5 : Pourcentages moyens d'anomalies larvaires, avec intervalles de confiance au seuil de sécurité de 95 % obtenus dans les élevages effectués avec les eaux prélevées sur les différents sites du marais de Moëze, au cours de l'été 1994.

Point Numéro	Pourcentages d'anomalies larvaires avec intervalle de confiance à 95 %				
	11 juillet 1994	19 juillet 1994	4 août 1994	10 août 1994	16 août 1994
0 (témoins)	$5,6 \pm 3,6$	$7,4 \pm 3,5$	$8,4 \pm 4,2$	$7,8 \pm 1,2$	$3,4 \pm 2,7$
1	$5,8 \pm 4,2$	$25,8 \pm 2,3$	100	$19,6 \pm 6,7$	$2,0 \pm 2,0$
2	$5,8 \pm 2,3$	$15,0 \pm 2,2$	$12,4 \pm 5,4$	$14,2 \pm 4,2$	$4,4 \pm 2,1$
3	$4,8 \pm 2,5$	$10,2 \pm 2,3$	$6,8 \pm 2,7$	$4,2 \pm 1,2$	$2,8 \pm 2,3$
4	$2,6 \pm 1,6$	$2,0 \pm 1,7$	$7,2 \pm 3,3$	$6,2 \pm 4,0$	$1,0 \pm 1,0$
5	$5,0 \pm 1,7$	100	$5,0 \pm 2,4$	$17,2 \pm 4,8$	$97,0 \pm 3,5$
6	$23,0 \pm 4,6$	100	$5,6 \pm 2,1$	$24,6 \pm 4,1$	$10,0 \pm 3,4$
7	$10,6 \pm 2,1$	$24,0 \pm 3,8$	$3,0 \pm 2,6$	$19,0 \pm 3,9$	$2,8 \pm 1,2$
8	$7,8 \pm 2,7$	$16,8 \pm 3,2$	$5,4 \pm 1,2$	$26,6 \pm 5,9$	$2,4 \pm 2,7$
9	-	$33,4 \pm 9,6$	$2,8 \pm 3,6$	$6,6 \pm 1,9$	$1,4 \pm 1,2$
10	$18,7 \pm 1,5$	-	$1,8 \pm 1,8$	$17,0 \pm 2,0$	$11,2 \pm 3,0$

3.2.1.1. Prélèvements du 11 juillet 1994 (tableau 5, fig. 5A)

A l'exception des points 6 (ouvrage de sortie de la lagune aval de Brouage) et 10 (point de sortie d'îlot drainé), aucun des prélèvements n'était statistiquement différent du témoin.

Les eaux du point 6 se caractérisent par le pourcentage d'anomalies larvaires le plus élevé ($23,0 \pm 4,6$ %) ; celles du site 10 quant à elles induisent encore $18,7 \pm 1,5$ % de végètes anormales.

3.2.1.2. Prélèvements du 19 juillet 1994 (tableau 5, fig. 5B)

Deux prélèvements présentent des valeurs peu différentes de celles des témoins (point 3 avec $10,2 \pm 2,3$ et point 4 avec $2,0 \pm 1,7$, moyenne statistiquement inférieure à celle des témoins).

Dans tous les autres cas, de $15,0 \pm 2,3$ à 100 % des végètes sont anormales.

3.2.1.3. Prélèvements du 4 août 1994 (tableau 5, fig. 5C)

Il n'existe aucune différence statistiquement significative entre le témoin et les eaux prélevées aux différents points, à l'exception de l'échantillon 1 qui se caractérise par une absence totale de larves normales (100 % d'anomalies).

3.2.1.4. Prélèvements du 10 août 1994 (tableau 5, fig. 5D)

Rappelons que des orages violents avaient eu lieu dans la nuit du 9 au 10 août, soit juste avant la campagne de prélèvements.

Seules les stations 3, 4 et 9 (écluse de Beaugeay amont, Havre de Brouage et chenal de Brouage aval) présentent des pourcentages d'anomalies larvaires identiques à celles du témoin ($4,2 \pm 1,2$; $6,2 \pm 4,0$ et $6,6 \pm 1,9$ respectivement).

A l'inverse, des perturbations du développement embryonnaire et larvaire sont observées sur tous les autres points, avec des valeurs s'étalant de $14,2 \pm 4,2$ (Ecluse de Beaugeay amont) à $26,6 \pm 5,9$ (ouvrage général de sortie du marais).

3.2.1.5. Prélèvements du 16 août 1994 (tableau 5, fig. 5E)

Une semaine après les violents orages du 9 août, les pourcentages moyens d'anomalies larvaires sont identiques à ceux des élevages témoins dans la plupart des cas.

Néanmoins, les eaux prélevées sur le point 6 et 10 permettent d'observer des pourcentages légèrement supérieurs ($10,0 \pm 3,4$ et $11,2 \pm 3,0$ respectivement).

Par contre les résultats sont franchement mauvais sur le site 5 (ouvrage sortie de lagune amont), avec une valeur de $97,0 \pm 3$ %.

3.2.2. Campagne 1995

Effectuée sur les mêmes points que l'année précédente, mais plus tôt (printemps) la salinité des eaux prélevées figure sur le tableau 6.

Tableau 6 : Salinité des eaux prélevées aux différents points lors des six campagnes de prélèvements. Les eaux dont les salinités sont en italique ont été utilisées sans modification. * : test sur sédiment.

	19 avril	4 mai	10 mai	29 mai	6 juin*	21 juin
1	2,7	0,5	0,3	1,8	0,4	0,9
2	1,1	0,6	0,4	1,2	0,3	0,7
3	1,8	0,5	0,8	11,2	0,9*	4,4
4	<i>25,0</i>	2,6	<i>29,6</i>	<i>24,9</i>	<i>26,1*</i>	<i>29,6</i>
5	2,7	1,7	2,5	3,0	3,3*	2,7
6	2,6	2,2	2,6	3,1	3,5	2,5
7	1,5	1,7	1,6	1,6	0,8*	0,9
8	3,8	2,2	2,8	3,7	4,9*	4,5
9	<i>31,1</i>	12,3	<i>31,4</i>	<i>28,8</i>	<i>29,6</i>	<i>29,9</i>
10	1,2	1,5	2,3	1,5	1,2*	1,1

Les pourcentages d'anomalies larvaires mesurés au cours des tests sont représentés dans le tableau 7. On peut constater que dans la plupart des cas (sauf le 19 avril) les pourcentages des témoins sont très inférieurs à 20 %, gage de fiabilité du test.

Tableau 7 : Pourcentages moyens d'anomalies larvaires, avec intervalles de confiance au seuil de sécurité 95 %, obtenus dans les élevages effectués dans les eaux prélevées dans les différents sites du marais de Moëze au printemps 1995. Les valeurs en italique concernent des eaux utilisées sans modification de salinité.

Point Numéro	Pourcentages moyens d'anomalies larvaires avec I.C. à 95 %					
	19 avril 95	4 mai 95	10 mai 95	29 mai 95	6 juin 95	21 juin 95
0 (témoin)	20,4 ± 3,2	9,4 ± 3,8	8,2 ± 5,8	10,0 ± 2,2	7,6 ± 3,8	6,8 ± 2,3
1	18,2 ± 6,3	21,4 ± 1,6	8,7 ± 4,9	9,2 ± 3,2	9,0 ± 2,9	35,0 ± 8,9
2	15,2 ± 3,6	30,0 ± 5,0	21,2 ± 5,8	23,4 ± 11,1	51,0 ± 14,7	8,6 ± 2,3
3	28,8 ± 5,8	21,0 ± 9,7	13,0 ± 6,3	8,6 ± 6,4	8,6 ± 3,2	10,4 ± 1,6
4	35,0 ± 5,9	13,6 ± 4,7	4,8 ± 3,5	35,2 ± 15,1	29,0 ± 5,2	2,2 ± 1,2
5	31,4 ± 9,6	13,8 ± 1,8	10,4 ± 4,5	32,3 ± 6,2	94,8 ± 7,4	55,0 ± 3,3
6	34,4 ± 3,2	12,8 ± 6,7	10,6 ± 4,9	97,2 ± 1,2	63,2 ± 6,9	100,0 ± 0,0
7	30,2 ± 2,7	17,4 ± 2,9	8,0 ± 4,5	7,8 ± 3,3	24,6 ± 5,6	2,6 ± 1,2
8	32,8 ± 4,4	13,6 ± 5,6	97,6 ± 2,1	100,0 ± 0,0	10,6 ± 5,8	4,0 ± 1,0
9	27,0 ± 8,6	15,5 ± 5,0	98,8 ± 1,8	100,0 ± 0,0	8,0 ± 2,2	2,2 ± 1,2
10	31,6 ± 10,9	13,2 ± 4,9	100,0 ± 0,0	100,0 ± 0,0	5,4 ± 4,9	5,4 ± 2,5

3.2.2.1. Prélèvements du 19 avril 1995

Les plus forts pourcentages d'anomalies sont constatés sur le Havre de Brouage et la sortie de la lagune, ainsi que sur la sortie de l'îlot de Monportail.

3.2.2.2. Prélèvements du 4 mai 1995

Un seul résultat est notable : les eaux douces en amont de l'écluse de Beaugeay, bien que le pourcentage d'anomalie soit peu élevé.

3.2.2.3. Prélèvements du 10 mai 1995

Les eaux de sortie du marais doux sont très polluées (amont-aval de l'écluse du Grand Garçon, sortie de l'îlot de Monportail).

3.2.2.4. Prélèvements du 29 mai 1995

Près de trois semaines après le prélèvement précédent, on observe les mêmes résultats sur les mêmes points avec en plus une dégradation de la situation à la sortie de la lagune.

3.2.2.5. Prélèvements du 6 juin 1995

La situation est redevenue normale sur les sorties de marais, mais toujours dégradée en sortie de lagune et sur l'amont de l'écluse de Beaugeay.

3.2.2.6. Prélèvements du 21 juin 1995

La sortie de lagune est toujours dégradée, ainsi que le canal de Beaugeay, mais cette fois-ci à hauteur de l'entrée du marais.

3.3. Toxicité potentielle des sédiments

3.3.1. Campagne 1994

Les teneurs en eau des sédiments ont varié de 40,5 à 68,3 %.

Les teneurs en particules fines (taille inférieure à 63 μm) ont été comprises entre 61,7 % et 92 %.

Tableau 8 : Teneur en eau et pourcentage de particules fines (taille < 63 μm) des sédiments de Moëze.

Sédiment numéro	Teneur en eau (%)	% particules < 63 μm
3	63,7	65,1
4	50,0	77,3
5	40,6	61,7
7	40,5	79,2
9	46,9	92,0
10	68,3	90,1

Les pourcentages d'anomalies larvaires dans les élevages témoins se sont nettement situés au dessous de la valeur limite des 20 % ($7,0 \pm 3,8$). Le test est donc valable (tableau 9 et fig. 6).

Tableau 9 : Toxicité potentielle des sédiments du marais de Moëze (prélèvements du 4 août 1994).

Lieu	% moyen avec I.C.	Lieu	% moyen avec I.C.	Lieu	% moyen avec I.C.
Témoin	$7,0 \pm 3,8$				
Sédiment 3		Sédiment 5		Sédiment 9	
5,0 g/l	$15,2 \pm 6,3$	5,0 g/l	$15,0 \pm 4,6$	5,0 g/l	$5,0 \pm 3,9$
2,5 g/l	$11,8 \pm 4,8$	2,5 g/l	$5,8 \pm 1,8$	2,5 g/l	$5,0 \pm 2,8$
1,0 g/l	$9,2 \pm 3,6$	1,0 g/l	$5,8 \pm 2,1$	1,0 g/l	$5,6 \pm 3,5$
0,5 g/l	$7,6 \pm 3,0$	0,5 g/l	$4,2 \pm 2,7$	0,5 g/l	$6,0 \pm 3,5$
Sédiment 4		Sédiment 7		Sédiment 10	
5,0 g/l	$9,8 \pm 1,2$	5,0 g/l	$90,6 \pm 5,6$	5,0 g/l	$14,4 \pm 4,6$
2,5 g/l	$3,6 \pm 1,9$	2,5 g/l	$51,4 \pm 11,9$	2,5 g/l	$8,8 \pm 2,3$
1,0 g/l	$3,2 \pm 1,2$	1,0 g/l	$41,8 \pm 10,8$	1,0 g/l	$7,0 \pm 1,7$
0,5 g/l	$3,0 \pm 2,6$	0,5 g/l	$25,0 \pm 6,7$	0,5 g/l	$9,0 \pm 5,0$

3.3.1.1. Sédiment 3 (écluse de Beaugeay aval)

Les pourcentages d'anomalies larvaires sont faibles, très proches de ceux des témoins, puisqu'ils varient de $7,6 \pm 3,0$ à la plus faible concentration à $15,2 \pm 6,3$ à la plus forte.

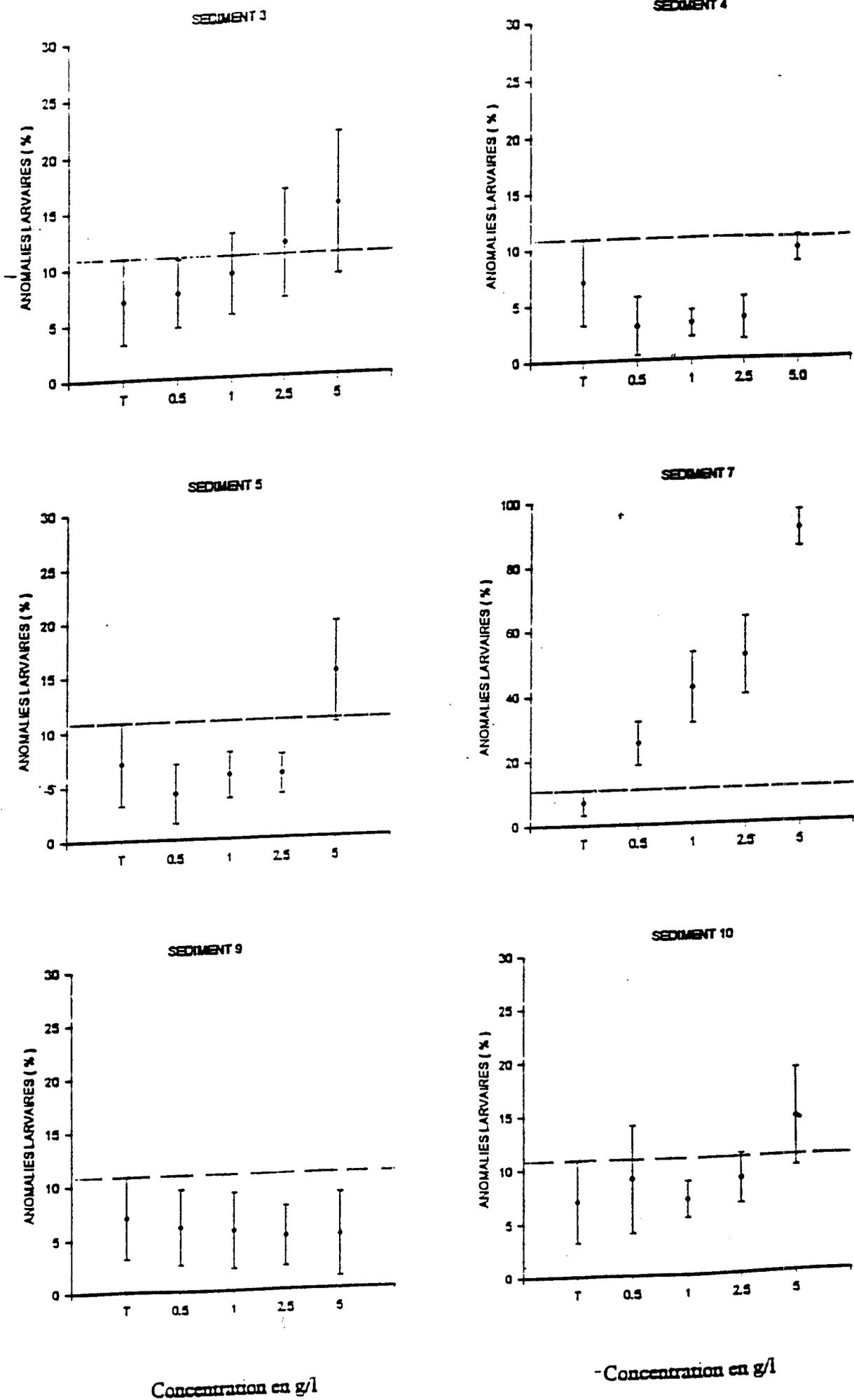


Figure 6 : Pourcentages moyens d'anomalies larvaires avec intervalle de confiance au seuil de sécurité de 95 % aux différentes concentrations des sédiments de Moëze (4 août 1994). Pointillé : limite supérieure de la moyenne avec l'intervalle de confiance à 95%

3.3.1.2. Sédiment 4 (Havre de Brouage)

Comme dans le cas précédent, il n'existe pas de différence statistiquement significative avec le témoin pour les différentes concentrations testées (de $3,0 \pm 2,6$ à $0,5$ g/l à $9,8 \pm 1,2$ à 5 g/l).

3.3.1.3. Sédiment 5 (ouvrage de sortie de la lagune amont)

Seule la plus forte concentration permet de constater une augmentation sensible du nombre des anomalies larvaires, puisque la valeur de $15,0$ g/l $\pm 4,6$ est atteinte.

3.3.1.4. Sédiment 7 (milieu du marais)

Même à la plus faible concentration testée ($0,5$ g/l) une modification statistiquement significative du pourcentage d'anomalies larvaires par rapport au témoin ($25,0 \pm 6,7$) est observée.

Le phénomène s'accroît pour les teneurs supérieures puisque l'on atteint progressivement le pourcentage de $90,6 \pm 5,6$ à 5 g/l.

3.3.1.5. Sédiment 9 (chenal de Brouage aval)

Aucune action n'est observée en présence de ce sédiment (valeurs comprises entre $5,0 \pm 2,8$ et $6,0 \pm 3,5$).

3.3.1.6. Sédiment 10 (point de sortie d'îlot drainé)

Les trois plus basses concentrations (de $0,5$ à $2,5$ g/l) n'exercent aucune action statistiquement significatives (moyennes des pourcentages d'anomalies larvaires variant de $9,0 \pm 5,0$ à $8,8 \pm 2,3$).

Seule la valeur de 5 g/l permet d'observer $14,4 \pm 4,6$ % d'anomalies larvaires.

3.3.2. Campagne 1995

Deux séries de tests ont été conduites en 1995 sur les sédiments (tableaux 10 et 11), la première série sur trois points seulement.

Tableau 10 : Toxicité potentielle des sédiments du marais de Moëze (prélèvements du 19 avril 1995).

Lieu	Moyenne avec I.C.	Lieu	Moyenne avec I.C.	Lieu	Moyenne avec I.C.
Témoin	20,4 ± 3,2				
Sédiment 4		Sédiment 5		Sédiment 6	
5 g/l	11,4 ± 2,5	5 g/l	25,2 ± 4,3	5 g/l	16,2 ± 5,7
2 g/l	19,6 ± 4,0	2 g/l	26,4 ± 3,3	2 g/l	18,0 ± 2,9
1 g/l	11,2 ± 8,8	1 g/l	29,2 ± 1,2	1 g/l	18,8 ± 1,8
0,5 g/l	6,6 ± 3,8	0,5 g/l	27,8 ± 3,2	0,5 g/l	17,6 ± 2,3

3.3.2.1. Prélèvements du 19 avril 1995 (tableau 10)

Le point 5 présente les pourcentages d'anomalies les plus élevés. Il reste malgré tout peu pollué puisqu'inférieur à 30 %.

3.3.2.2. Prélèvements du 6 juin (tableau 11)

Tableau 11 : Toxicité potentielle des sédiments du marais de Moëze (prélèvements du 6 juin 1995).

Lieu	Moyenne avec I.C.	Lieu	Moyenne avec I.C.	Lieu	Moyenne avec I.C.
Témoin	7,6 ± 3,8				
Sédiment 3		Sédiment 5		Sédiment 9	
5 g/l	14,6 ± 2,9	5 g/l	7,4 ± 9,8	5 g/l	4,0 ± 1,4
2 g/l	13,4 ± 2,9	2 g/l	9,8 ± 1,8	2 g/l	4,6 ± 2,1
1 g/l	9,6 ± 2,9	1 g/l	6,6 ± 1,6	1 g/l	6,6 ± 2,9
0,5 g/l	3,5 ± 2,1	0,5 g/l	5,0 ± 1,0	0,5 g/l	4,8 ± 1,8
Sédiment 4		Sédiment 7		Sédiment 10	
5 g/l	13,4 ± 2,9	5 g/l	19,6 ± 2,5	5 g/l	19,4 ± 4,5
2 g/l	14,0 ± 5,4	2 g/l	9,4 ± 3,3	2 g/l	8,0 ± 2,2
1 g/l	12,0 ± 4,4	1 g/l	5,2 ± 3,0	1 g/l	4,2 ± 1,8
0,5 g/l	6,8 ± 1,2	0,5 g/l	2,8 ± 1,2	0,5 g/l	3,8 ± 1,2

Aucun des tests sédiments n'atteint 30 % d'anomalies, la plupart étant même inférieurs au pourcentage témoin.

Aux plus fortes concentrations, notons Beaugeay aval (sédiment 3 à 15 %), le Havre de Brouage (sédiment 4 à 13 %), milieu du marais (sédiment 7 à 20 %) et Monportail (sédiment 10 à 19 %).

4. DISCUSSION

Afin de répondre aux questions posées au début de cette étude, nous passerons en revue successivement les résultats de tests sur les produits eux-mêmes, les eaux, puis les sédiments.

4.1. Toxicité des produits phytosanitaires étudiés

Le développement de la culture du maïs (maïssiculture) au cours de la précédente décennie à proximité des principaux centres conchylicoles français (Bassin de Marennes-Oléron et Bassin d'Arcachon, qui ont tous deux vocation de centres de captage du naissain) nous avait amenés à étudier l'action de l'atrazine-simazine sur les embryons et les larves de *C. gigas* ; ces deux herbicides qui sont particulièrement utilisés pour ce type de culture, induisent des anomalies larvaires dès la concentration de 250 µg/l (Robert et al., 1986).

Plus récemment, l'action de douze pesticides (7 herbicides, 4 insecticides et un molluscicide) utilisés dans les zones du Bassin de Marennes-Oléron (Chevalier et al., 1988), sur les embryons et les larves de l'huître japonaise a été mise en évidence (His et Seaman, 1993).

En ce qui concerne la présente étude, le Dinoterbe se révèle particulièrement toxique puisqu'une action délétère s'exerce dès la concentration de 10 µg/l. A l'inverse, ce produit ayant donc une toxicité moindre, le Benfuracarbe se situe à un niveau nettement plus élevé (200 µg/l).

L'inocuité du glyphosate semble se confirmer.

Enfin le Mercaptodimétur, molluscicide avéré, n'est toxique qu'à une concentration élevée (200 µg/l).

4.2. Bilan relatif aux tests sur l'eau

Parmi les stations retenues pour cette étude, deux se caractérisent par des eaux franchement marines : les stations 4 (Havre de Brouage) et 9 (Chenal de Brouage aval).

Toutes les autres stations présentent des dessalures plus ou moins importantes ; elles ont été utilisées dans la proportion de 1/3 (eau testée) 2/3 (eau marine prélevée dans une zone non soumise à l'influence des activités anthropiques).

Il a été ainsi recréé une eau saumâtre telle que celle que l'on rencontre dans la plupart des biotopes où les huîtres, *Crassostrea gigas*, qui sont à l'heure actuelle cultivées dans le Bassin de Marennes-Oléron, peuvent réaliser sans problème, leur cycle-biologique (croissance, engraissement, reproduction).

Afin de comparer les résultats entre eaux, une échelle de classification de la "qualité biologique" des eaux est proposée, les valeurs moyennes étant exprimées avec intervalle de confiance au seuil de sécurité de 95 %. Elle a permis de classer les différents prélèvements (tableau 12) selon l'échelle suivante :

- milieu aquatique non pollué : le pourcentage d'anomalies larvaires ne diffère pas de celui du témoin.
- milieu peu pollué : le pourcentage d'anomalies larvaires diffère, mais de moins de 25 % de celui du témoin.
- milieu moyennement pollué : le pourcentage d'anomalies larvaires est supérieur de 25 % et inférieur à 50 % de celui du témoin.

Tableau 12 : Classification des différents prélèvements en fonction du degré de pollution. 1 : Entrée du marais de Moëze ; 2 : Ecluse de Beaugey amont ; 3 : Ecluse de Beaugey aval ; 4 : Havre de Brouage ; 5 : Ouvrage de sortie de la lagune, amont ; 6 : Ouvrage de sortie de la lagune, aval ; 7 : Milieu marais doux ; 8 : Ouvrage général de sortie du marais (écluse des Tannes) ; 9 : Ouvrage général de sortie du marais (aval, chenal de Brouage) ; 10 : Sortie d'îlot drainé (Monportail).

Catégorie	1994					1995					
	11.07	19.07	4.08	10.08	16.08	19.04	4.05	10.05	29.05	6.06	21.06
Non pollué	1-2-3-4- 5-7-8	3-4	2-3-4-5- 6-7-8-9- 10	3-4-9	1-2-3-4- 7-8-9	1-2		1-4-7	1-3-7	10	4-7-8-9- 10
Peu pollué	6-10	1-2-7-8- 9		1-2-5-6- 7-8-10	6-10	3-4-5-6- 7-8-9-10	1-2-3-4- 5-6-7-8- 9-10-	2-3-5-6	2-5	1-3-4-7- 8-9	2-3
Moyennement pollué									4	2	1-5
Fortement pollué										6	
Massivement pollué		5-6	1		5			8-9-10	6-8-8-10	5	6

- **milieu fortement pollué** : le pourcentage d'anomalies larvaires est supérieur à 50 % mais inférieur à 75 % de celui du témoin.
- **milieu massivement pollué** : le pourcentage d'anomalies larvaires est supérieur de plus de 75 % de celui du témoin.

4.2.1. Campagne 1994

Les eaux à caractère franchement marin (Havre de Brouage, point n°4 et Chenal de Beaugeay aval point n°9) n'ont fait l'objet d'aucune perturbation (catégorie non polluée...).

L'entrée du marais (point n°1) n'a été indemne de pollution que le 11 juillet et le 16 août, dans tous les autres cas, on a pu observer soit des eaux peu polluées (19 juillet et 10 août) soit des eaux massivement polluées (4 août), après de faibles précipitations, qui n'ont pas par ailleurs particulièrement affecté la qualité biologique des eaux sur l'ensemble du marais, tous les autres prélèvements figurant dans la catégorie non polluée.

Les prélèvements de l'écluse de Beaugeay amont (point n°2) ont été généralement de bonne qualité mais ont figuré dans la catégorie "peu polluée" le 19 juillet et le 10 août. En aval (écluse de Beaugeay aval, point n°3), aucune perturbation n'a jamais été observée : c'est le seul cas au cours de cette étude, en ce qui concerne les eaux saumâtres ou franchement dessalées.

En ce qui concerne les points n°5 et 6 (ouvrage de sortie de lagune amont et aval respectivement), le premier n'a jamais fait l'objet de perturbations les 11 juillet et 4 août ; ils se situent tous les deux dans la catégorie "peu polluées" le 10 août. Mais des pollutions massives sont observées sur le premier site le 19 juillet et le 16 août. En ce qui concerne le second, une absence totale de perturbation n'a été notée que le 4 août ; dans tous les autres cas, la catégorie la plus fréquente a été celle des eaux "peu polluées", mais là encore des pollutions massives ont été observées le 19 juillet.

Le milieu de marais (point n°7) n'a généralement pas été perturbé, si l'on excepte les prélèvements du 19 juillet et du 10 août, dans ce dernier cas après de violents orages, que l'on peut classer dans la catégorie "peu polluée".

L'ouvrage général de sortie du marais (point n°8) ne s'est avéré que "peu pollué" le 19 juillet et le 10 août (orages).

Enfin la sortie d'îlot drainé (point n°10), qui n'a fait l'objet que de 4 observations, n'a été indemne que le 4 août ; il se situe pour les trois autres cas dans la catégorie "peu polluée".

On peut constater (tableau) que de 7 à 9 prélèvements sur les 10 n'étaient pas perturbés les 11 juillet, 4 août et 16 août, soit 3 fois sur 5.

Par ailleurs, les violents orages du 9 au 10 août ont eu pour conséquence une augmentation sensible du nombre de stations soumises à de faibles pollutions (7 sur les 8 stations d'eaux douces au saumâtres) ; seule l'écluse de Beaugeay aval, par ailleurs peu dessalée (22 p. mille) se situe alors dans la catégorie "non polluée", comme les stations à caractère marin.

Enfin les eaux des stations 5 (2 fois) 6 et 1 ont figuré dans la catégorie "massivement polluée", ce qui semble indiquer la présence de nuisances à caractère massif dans ces secteurs

4.2.2. Campagne 1995

La période étudiée a été relativement sèche (41 mm en avril, 26 mm en mai et 10 mm en juin contre 135 en janvier et 94 en février ; données météorologiques : station INRA DE Moëze) et l'on ne constate pas de précipitations aux périodes de prélèvements.

L'on peut néanmoins constater au mois de mai que les points de sortie des marais sont massivement pollués (8, 9 et 10).

Les points 5 et 6 sont eux aussi fortement ou massivement pollués à la même époque.

Il est clair que le lessivage des terres par les précipitations n'est pas la seule cause de la dégradation des eaux sur ces points, lesquels ne paraissent pas pollués constamment. Le phénomène est net pour le point n° 10 très pollué en mai, mais plus du tout en juin.

4.3. Bilan relatif aux tests sur les sédiments

Les sédiments côtiers piègent les contaminants qui sont véhiculés vers le littoral par les eaux douces et les retombées des poussières atmosphériques ; c'est sur les particules fines que sont essentiellement adsorbés les contaminants.

Sédiments estuariens et côtiers constituent donc le plus important réservoir de polluants d'origine anthropique (Carr et al., 1988 ; Bourg, 1991).

Les bioéssais sur les embryons et les larves de *Crassostrea gigas* permettent de préciser la "biodisponibilité" des micro polluants vis à vis des organismes littoraux (Chapman et Morgan, 1983 ; Anderson et al., 1987 ; Swartz, 1989).

Pour ce qui concerne 1994, si nous appliquons l'échelle précédemment définie pour les eaux, les sédiments 3, 4 5 et 9 n'étaient pas pollués ; le sédiment 10 (point de sortie de l'îlot drainé) se classait dans la catégorie "peu polluée".

Seules les vases prélevées au milieu du marais (point n°7) atteignaient le stade de pollution moyenne dès la teneur de 1 gr.l⁻¹ et même celui de pollution massive à la valeur de 5 gr.l⁻¹.

Cette étude a été conduite sur deux mois en période estivale, c'est à dire pendant la saison de reproduction des huîtres, à une époque de l'année où les traitements agricoles liés à l'exploitation des marais sont peu importants.

En 1995, aucun prélèvement de sédiment ne provoque un pourcentage élevé d'anomalies.

Comme dans le cas des eaux, ceci laisse supposer que les contaminations du sédiment peuvent être périodiques puisqu'une d'une année sur l'autre, les mêmes points peuvent être légèrement pollués après l'avoir été massivement dix mois plut tôt. Il est vrai que les phénomènes d'adsorption-désorption des molécules de synthèse dans les sédiments sont complexes, gouvernés par de nombreux facteurs (turbidité, température, salinité, turbulences...) et que la réponse à la question n'est pas simple.

L'intérêt principal de cette première étude est de montrer, sans doute pour la première fois *in situ*, que les eaux de rejet agricoles peuvent avoir une action néfaste sur la vie marine. Il faut enfin rappeler que la méthode de monitoring utilisée, si elle autorise l'obtention de réponses

rapides sur un nombre relativement élevé d'échantillons, ne permet de mettre en évidence que des perturbations bien individualisées : une perturbation qui induit déjà des anomalies dans le déroulement de l'embryogenèse chez les bivalves marins, peut être considérée comme sérieuse.

A titre d'exemple, si l'on considère le cas désormais classique du TBT sur les embryons et les larves de *C. gigas* (His et al., 1983), aucune anomalie larvaire ne se manifeste en dessous de 0,5 µg/l mais faut descendre à moins de 0,02 µg/l (soit 25 fois moins) pour qu'aucune action ne se manifeste sur la croissance larvaire.

La méthode utilisée présente toutefois deux difficultés :

- Elle n'est pas utilisable facilement toute l'année, sauf peut être en ayant recours à des géniteurs particuliers, dont le coût est élevé,
- Elle ne donne pas d'indication sur les molécules responsables des anomalies constatées, comme toutes les méthodes utilisées en biomonitoring.

5. PRINCIPALES CONCLUSIONS

Il ressort de l'analyse qui vient d'être faite que sur le secteur de Moëze Brouage, un certain nombre de zones peuvent être considérées comme polluées, ce terme signifiant ici que les eaux et les sédiments qui y ont été prélevés induisent notamment des malformations larvaires, lesquelles seraient provoquées par les produits phytosanitaires présents dans les eaux de rejet agricoles, à dose non déterminée pour le moment, ou par les résidus de leur dégradation. Les tests réalisés sur les produits depuis plusieurs années donnent du poids à cette hypothèse : l'on ne voit pas bien en effet quel autre type de polluant pourrait intervenir dans ces zones non urbanisées ni industrielles.

5.1. Zones les plus touchées par cette pollution

Ainsi que le montre le tableau 12, les points les plus pollués que cette étude a mis en évidence sont les entrées et sorties de la lagune, l'entrée et la sortie du marais de Moëze, ainsi que la sortie de l'îlot des Berlotteries, lequel est malheureusement contigu à la zone ostréicole de Montportail. Du fait du caractère périodique de ces pollutions, rien ne dit que les autres points ne sont pas eux aussi pollués à d'autres périodes et donc non détectés ici.

5.2. Causes probables

Les terres cultivées qui sont à proximité immédiate des points sont évidemment suspectées puisque soumises à des traitements.

Si la liste des produits phytosanitaires utilisés sur les cultures intensives du marais drainé est connue pour le département (Annexe 1 : fiches traitements - Chambre d'Agriculture de Charente-Maritime), il ne faut pas oublier que le marais constitue le fond d'une cuvette où se retrouvent les eaux de ruissellement (et de lessivage...) des terres hautes qui le bordent, ajoutant ainsi des produits non utilisés sur le marais lui-même. Enfin, l'alimentation en eau de la majorité desdits marais se fait à partir du chenal Charente-Seudre, lequel véhicule des substances pouvant venir du bassin versant de la Charente (750 000 ha de terres agricoles avec beaucoup de vigne et de maïs).

Depuis la première expérience de culture drainée sur le marais de Moëze-Brouage (1984), la superficie s'est fortement accrue puisque l'on est passé en quelques années de 80 à 500 ha au nord du chenal de Brouage.

5.3. Impact sur les activités conchyloles

Du point de vue conchylicole, l'arrivée en milieu salé de substances polluantes peut avoir des conséquences néfastes, soit directement (cas du cadmium en Gironde ayant abouti à l'abandon de l'élevage ostréicole sur Bonne Anse) soit indirectes (érosion de l'image de marque du bassin conchylicole auprès des consommateurs). Les produits les plus susceptibles d'entraîner des effets négatifs sur la conchyliculture sont les herbicides du fait de leur toxicité avérée sur le phytoplancton (Robert et al., 1986) et des grandes quantités utilisées. S'il est peu probable que la toxicité directe des herbicides soit un problème sur le bassin ostréicole lui-même du fait de la dilution (4 milliards de m³ d'eau à marée haute) il reste deux sujets d'inquiétude :

- la bioaccumulation possible de certaines molécules dans les mollusques.
- la toxicité directe des herbicides sur le phytoplancton des claires, là où le facteur dilution joue peu (proximité immédiate des rejets).

Les claires sont l'atout majeur (et sans doute la survie à moyen terme) de la production ostréicole de Marennes-Oléron. Les pluies d'automne sont donc particulièrement à surveiller, au moment de l'affinage des huîtres (Daste et Neuville, 1974).

5.4. Prospective

Remédier à cet état de fait passe avant tout par une bonne connaissance des degrés de pollution et des substances susceptibles de polluer le milieu. En effet, la prise de conscience par le monde agricole des nuisances environnementales possibles en aval s'est traduite par des opérations visant à diminuer les intrants (opérations Ferti-mieux, Phyto-mieux) ainsi que les rejets (recours au lagunage, allongement des trajets avant l'arrivée au marais salé), voire même la subvention des prairies naturelles d'élevage (O.G.A.F. environnement).

Il reste toutefois beaucoup à faire et le maintien dans cette voie constructive rend indispensable la poursuite des études sur la qualité des rejets : il n'est pas possible de continuer à parler en termes de risques pour l'aval si l'on n'apporte pas de preuves, à partir de résultats acquis sur le milieu. Les aménagements demandés sont le plus souvent très onéreux (lagunage = 100 000 F/ha) et il faut montrer s'ils sont (ou non) nécessaires.

Une amélioration de la qualité des eaux conchyloles passe aussi par la réalisation de campagnes d'analyse des eaux, l'utilisation éventuelle de biointégrateurs, des tests écotoxicologiques (ACHE) et l'estimation des flux polluants arrivant à la mer (par *mesures in situ* et par calcul) qui devraient apporter des éléments permettant d'apprécier les phénomènes de bioaccumulation.

Des tests écotoxicologiques réalisés sur le phytoplancton (facilement disponible à l'écloserie de La Tremblade) permettraient de dire s'il y a un problème réel (et dans ce cas rechercher avec l'INRA et le monde agricole des solutions pratiques) ou non, rassurant ainsi conchyliculteurs et consommateurs sur la qualité des productions conchyloles.

REMERCIEMENTS :

Les auteurs tiennent à remercier Mrs Christian Cantin, André Gérard et Michel Noinin pour leur aide, ainsi que leurs collègues de la station INRA de Saint-Laurent de la Prée.

6. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Anderson J., W. Birge, J. Lake, J. Rodgers Jr., and R. Swartz, 1987. Biological effects, bioaccumulation and ecotoxicology of sediment-associated chemicals, in *Fate and Effects of sediment-bound Chemicals in aquatic Systems*. (K.L. Dickson, A.W. Maki W.A. Brungs, eds) pp. 267-296, Pergamon Press, New-York.
- Bourg A., 1991. Echanges eaux-sédiments. In *l'écotoxicologie des Sédiments. Rapport et Communications du Congrès international de La Rochelle, Juin 1991, SEFA*, p. 96.
- Brouwer H., T. Murphy, L.A. McArdle, 1990. A sediment-contact bioassay with *Photobacterium phosphoreum*. *Environm. Toxicol. Chem.*, **9** : 1353-1358.
- Carr R.S., J.W. Williams, C.T.B. Fragata, 1989. Development and evaluation of a novel marine sediment porewater toxicity test with the polychaete *Dinophilus gyrociliatus*. *Environm. Toxicol. Chem.*, **8** : 533-543.
- Chapman P.P. and J.D. Morgan, 1983. Sediment bioassays with oyster larvae. *Bull. Environm. Contamin. Toxicol.*, **31** : 438-444.
- Chevalier C. et D. Masson, 1988. Agriculture, conchyliculture et circulation des eaux en Charente-Maritime. Etat actuel des recherches. *Aqua. Revue*, **21** : 27-33.
- Daste P. et D. Neuville D., 1974. Toxicité des pesticides agricoles en milieu marin. *La Pêche Maritime* n° 1159.
- Hayes Jr W.J. and E.R. Jr (Eds), 1991. *Handbook of Pesticide Toxicology*. 3 vols : 1576 pp., Academic Press, San Diego.
- His E., D. Maurer et R. Robert, 1983. Estimation de la teneur en acétate de tributyl-étain dans l'eau de mer, par une méthode biologique. *J. mol. Stu.*, **12A** : 60-68.
- His E. et R. Robert, 1986. Utilisation des élevages larvaires de *Crassostrea gigas* en écotoxicologie marine. *Haliotis*, **15** : 301-308.
- His E., R. Robert and A. Dinet, 1989. Combined effects of temperature and salinity on fed and starved larvae of the Mediterranean mussel, *Mytilus galloprovincialis* and the Japanese oyster, *Crassostrea gigas*. *Mar. Biol.*, **100** : 455-463.
- His E. and M. Seaman, 1993a. Effects of twelve pesticides on larvae of oysters (*Crassostrea gigas*) and on two species of unicellular marine algae (*Isochrysis galbana* and *Chaetoceros calcitrans*). *Intern. Council for the Exploration of the Sea, C.M.* 1993/E : 22, 8 p.

- His E. and M. Seaman, 1993b. A simple, rapid and inexpensive method for monitoring pollutant effects on bivalve embryogenesis and larval development. *Society of Ecotoxicology and Environmental Safety, Regional Meeting, Roma 26 et Nat. Res. 31* : 351-355 - 1977.
- Masson D., 1994. Gestion de l'eau douce et conchyliculture en Charente-Maritime. *Equinoxe* n° 51 : 15-22.
- Munsch C., 1995. Comportement géochimique des herbicides et de leurs produits de dégradation en milieu estuarien et marin côtier. Thèse de doctorat, Université Paris VI.
- Robert R., E. His et D. Maurer, 1986. Toxicité d'un désherbant, l'atrazine-simazine, sur les jeunes stades larvaires de *Crassostrea gigas* et deux algues fourrages, *Isochrysis galbana* et *Chaetoceros calcitrans*. *Haliotis*, 15 : 319-325.
- Swartz R.C., 1989. Marine sediment toxicity tests. In Contaminated marine Sediments. - Assessment and Remediation. Committee on contaminated marine Sediments, Marine Board, Commission on Engineering and technical Systems, National Research Council, pp. 115-129, National Academy Press, Washington, D.C.
- Woelke C.E., 1972. Development of a receiving water quality bioassay criterion based on the 48 hour Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) embryo. *Tech. Rep. Dept Fish. Wash.*, 9 : 1-93.



**CHAMBRE
D'AGRICULTURE**

CHARENTE
MARITIME

Annexe I
Produits phytosanitaires les
plus utilisés dans les marais
charentais

PROTOCOLE D'AMENAGEMENT

DES MARAIS LITTORAUX DE LA CHARENTE MARITIME

Fiche "FONGICIDES" les plus utilisés au sein des périmètres des Associations Syndicales des marais Charentais, établie par les techniciens de la Chambre d'Agriculture, du SRPV, Coop Océane coop de St Agnant, Etablissements SOUFFLET - ATLANTIQUE .

	FONGICIDES UTILISES EN VEGETATION
BLE	<ul style="list-style-type: none">■ TRIAZOLES - famille la plus utilisée suivie des :■ CARBAMATES■ MORPHOLINES■ PHTALIQUES (CHLOROTHALONIL) <p>La sole blé est traitée 1.5 fois /ha /an</p>
POIS	<ul style="list-style-type: none">■ CARBAMATES■ TRIAZOLES
MAIS	NEANT
TOURNESOL	Très peu (exceptionnel)

31 mars 1993.



**CHAMBRE
D'AGRICULTURE**

CHARENTE
MARITIME

PROTOCOLE D'AMENAGEMENT

DES MARAIS LITTORAUX DE LA CHARENTE MARITIME

Fiche "INSECTICIDES" les plus utilisés au sein des périmètres des Associations Syndicales de marais Charentais, établie par les techniciens de la Chambre d'Agriculture, du SRPV, Coop Océan coop de St Agnant, Etablissements SOUFFLET - ATLANTIQUE.

INSECTICIDES		
	SOL	EN VEGETATION
BLE	très peu utilisés	PYRETHRINOIDES 1 traitement/ha/an
MAIS	- ORGANOPHOSPHORES = 20 % (1) - CARBAMATES = 80 % (1) (1) de la sole maïs	. PYRETHRINOIDES = 80 % (1) . DIFLUBENZURON (1) (2) (DIMILIN) (1) utilisation liée aux risques Pyrale et Sésamie (2) Insecticide utilisé également sur 3 000 ha de forêt (chenilles)
POIS	NEANT	. PYRETHRINOIDES . PYRIMICARBE . ENDOSULFAN + THIOMETON (Serck)
TOURNESOL	- ORGANOPHOSPHORES - CARBAMATES . 50 % de la sole traitée avant 1992 . 10 à 20 % depuis 1992 (effet PAC)	Peu d'insecticides utilisés
CAS PARTICULIERES DES MOLLUSCICIDES : MERCAPTODIMETHUR et METHALDEHYDE - utilisation souvent limitée occasionnellement aux bordures de parcelles. - l'utilisation importante des molluscicides est constatée les années très pluvieuses telle que 1988		

31 mars 1993



**CHAMBRE
D'AGRICULTURE**

CHARENTE
MARITIME

PROTOCOLE D'AMENAGEMENT

DES MARAIS LITTORAUX DE LA CHARENTE MARITIME

Fiche "HERBICIDES" les plus utilisés au sein des périmètres des Associations Syndicales des marais Charentais, établie par les techniciens de la Chambre d'Agriculture, du SRPV, coop océane, coop St Agnant, Etablissements SOUFFLET - ATLANTIQUE,

		HERBICIDES	
		ANTI-GRAMINEES	ANTI-DICOTYLEDONES
		SECTEUR ROCHEFORT - ST AGNANT - MARENNES	
		- CHLORTOLURON } 30 % (1) - ISOPROTURON }	<ul style="list-style-type: none"> ■ BIFENOX ■ DIFLUFENICANIL (D.F.F) M.A le plus souvent utilisées ■ FLUROXYPYR ■ IOXYNIL ■ BROMOXYNIL ■ M.C.P.P EN MELANGE
		- FENOXAPROP - P.ETHYL } 70 % (2) (PUMA'S) }	
BLE		SECTEUR MARANS	
TENDRE		- CHLORTOLURON } 20 % (1) - ISOPROTURON } - CHLORSULFURON }	<ul style="list-style-type: none"> ■ LES SULFONYLUREES : - METSULFURON METHYLE + THIFENSULFURON METHYLE = SCOOP - TRIASULFURON + FLUROGLYCOFENE ETHYL = SATIS - AMIDOSULFURON = GRATIL
+ D'HIVER		- METHABENZTHIAZURON } 80 % (2) - FENOXAPROP - P.ETHYL } (PUMA S) }	
		(1) Ces M.A avant 1990 représentaient 80 % des anti-graminées utilisés.	
		(2) % d'utilisation depuis 1990	
TOURNESOL		<ul style="list-style-type: none"> ■ GLYPHOSATE = 1000 à 1200 GR/HA % utilisation liée à l'état d'enherbement courant ou sortie d'hiver 	
		<ul style="list-style-type: none"> ■ FLUROCHLORIDONE (RACER) = 60 % ■ ACLONIFEN (CHALLENGE) = 40 % 90 % de la sole tournesol sont désherbes avec ces 2 M.A 	

HERBICIDES		
	ANTI-GRAMINEES	ANTI-DICOTYLEDONES
MAIS	<ul style="list-style-type: none"> ■ ATRAZINE .1 500 g MA/ha sur la quasi totalité de la sole Maïs ■ METOLACHLOR } 5 % de la sole ■ ALACHLORE } 	<ul style="list-style-type: none"> ■ BENTAZONE ■ PYRIDATE ■ BROMOXYNIL ■ DICAMBA ■ FLUROXYPYR ■ 2, 4, D (en dirigé) <p style="text-align: right;">} sur 60 à 75 % de la sole Maïs</p>
	<p>GLYPHOSATE 800 à 1 200 g/ha</p> <p>utilisée depuis les années 90 - Son pourcentage d'utilisation, comme pour le tournesol, est liée aux conditions climatiques selon qu'elles favorisent ou défavorisent le reverdissement des terrains. Son pourcentage d'utilisation varie de 20 à 60 %.</p>	
POIS		
très peu de surface, hormis 93	<ul style="list-style-type: none"> . GLYPHOSATE . FLUROCHLORIDONE + NEBURON (WINNER) . ACLONIFEN (CHALLENGE) 	

31 mars 1993.

Annexe II
Les zones d'étude
et les sites de prélèvement



Complexe conchyicole de Brouage



Le chenal de Brouage (point n° 4)



Le canal de Beaugeay et son écluse aval (points n° 2 et 3)



Entrée du marais de Moëze (point n° 1)



Station de pompage des sartières de Pressais



L'écluse des Tannes vue du chenal de Brouage (points n° 8 et 9)



Ilot du Coeur Volant à Brouage : Maïs en bordure de claire



Ecluse de sortie de la lagune (points n°5 et 6)



Marais mis à plat pour culture intensive



Prairie naturelle sur ancien marais salant



Ilot des Berlotteries mis à plat et complexe ostréicole de Montportail



Ecluse de sortie de l'îlot des Berlotteries (point n° 10)