

PRODUITS PHYTOSANITAIRES ET CONCHYLICULTURE EN CHARENTE MARITIME

Daniel MASSON*, Edouard HIS**, Jean François DUBERNET***,
Pierre SCRIBE****



* Laboratoire Environnement Littoral ,

IFREMER

Mus de Loup

17390 LA TREMBLADE

*** CEMAGREF, 50 Av de Verdun ,

33612 CESTAS

** Laboratoire Environnement Littoral ,

IFREMER

Quai du Commandant Silhouette

33120 ARCACHON

**** URA 2076 , UNIVERSITE P. & M. CURIE

4, PI Jussieu, 75252 PARIS

Ifremer

SOMMAIRE

	Pages
1. INTRODUCTION	4
Figure 1	5
2. MATERIELS ET METHODES	7
2.1. Points de prélèvement	7
2.2. Le test "embryon" de <i>Crassostrea gigas</i>	7
2.3. "Monitoring" de la qualité biologique de l'eau	8
3. RESULTATS	8
3.1. Campagne 1999	8
3.1.1. <i>Prélèvements du 11 mai 1999 (tableau 2)</i>	8
3.1.2. <i>Prélèvements du 27 mai 1999 (tableau 3)</i>	9
3.1.3. <i>Prélèvements du 3 juin 1999 (tableau 4)</i>	6
3.2. Campagne 2000	10
3.2.1. <i>Prélèvements du 21 avril 2000</i>	10
3.2.2. <i>Prélèvements du 27 avril 2000</i>	11
3.2.3. <i>Prélèvements du 9 mai 2000</i>	11
4. DISCUSSION	12
5. CONCLUSIONS	13
6. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	14
ANNEXE 1 Exemple de l'îlot de drainage des Tannes. Bilan des apports sur 4 ans	15
ANNEXE 2 Photographies de la zone étudiée.....	16

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.

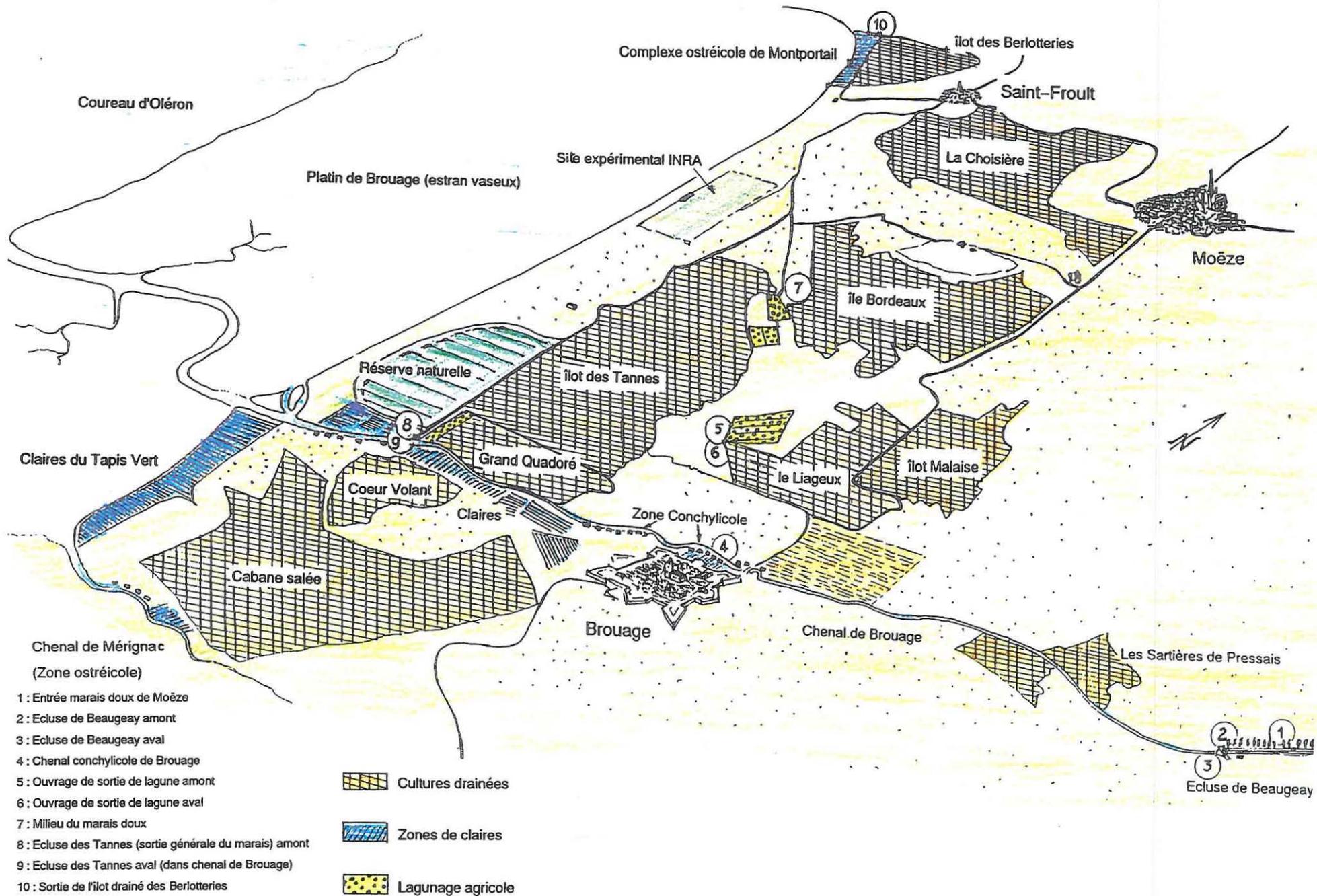


Figure 1 : Zones de l'étude.

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 (annexe 1, 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 ?

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).

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 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

2.1. Points de prélèvement

En 1999, quatre à cinq points ont été retenus sur la zone d'étude (Fig. 1) :

- Monportail : canal de drainage d'un îlot cultivé de marais doux, avant et/ou après l'écluse de sortie à la mer.
 - Ecluse des Tannes : canal de marais doux cultivé, en amont de l'écluse de sortie dans le chenal (ostéicole) de Brouage.
 - claires de Brouage : champ de claires ostréicoles prenant l'eau en aval du point précédent
 - Havre de Brouage : milieu du chenal ostréicole, en amont du complexe d'établissements d'expédition.
 - Ecluse de Beaugeay : limite amont de remontée des eaux salées (prélèvement en amont de l'écluse)
- Lors de la campagne 2000, deux points supplémentaires ont été prélevés :
- entrée d'eau de mer dans le complexe ostréicole de Monportail, à cent mètres de la sortie du marais doux déjà cité (dénommé « entrée Monportail ») ;
 - Claire Monportail, dans le même complexe.

2.2. 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.

2.3. « Monitoring » 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 végétaux 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.

3. RESULTATS

3.1. Campagne 1999 :

3.1.1 Prélèvements du 11 mai 1999 (Tableau 2) :

	A	B	C	D	E	µ	I.C. à 95 %	µ+I.C.	µ-I.C.
1	27	19	24	24	24	23.60	2.53	26.13	21.07
2	27	26	30	26	26	27.00	1.52	28.52	25.48
3	46	30	32	40	41	37.80	5.83	43.63	31.97
4	37	33	24	26	32	30.40	4.66	35.06	25.74
Témoin	20	9	9	9	11	11.60	4.19	15.79	7.41

1 : Monportail

2 : Ecluse des Tannes

3 : Ecluse de Beaugeay

4 : Havre de Brouage

3.1.2. Prélèvements du 27 mai 1999 (Tableau 3) :

	A	B	C	D	E	μ	I.C.à 95%	μ +I.C.	μ -I.C.
1	15	16	16	14	15	15.20	0.73	15.93	14.47
2	12	9	12	15	16	12.80	2.43	15.23	10.37
3	14	13	16	17	17	15.40	1.59	16.99	13.81
4	16	13	15	12	16	14.40	1.59	15.99	12.81
5	18	13	14	17	16	15.60	1.82	17.42	13.78
Témoin	12	10	11	18	13	12.80	2.73	15.53	10.07

- 1 : Monportail(aval écluse)
 2 : Monportail(amont écluse)
 3 : Claires du chenal de Brouage
 4 : Ecluse des tannes
 5 : Ecluse de Beaugeay

3.1.3. Prélèvements du 3 juin 1999 (Tableau 4) :

	A	B	C	D	E	μ	I.C.à95 %	μ +I.C.	μ -I.C.
1	99	99	95	97	99	97.80	1.57	99.37	96.23
2	7	9	13	13	9	10.20	2.35	12.55	7.85
3	98	98	98	98	99	98.20	0.39	98.59	97.81
4	13	26	20	14	14	17.40	4.86	22.26	12.54
Témoin 1	18	13	12	13	17	14.60	2.37	16.97	12.23
Témoin 2	19	14	18	16	13	15.33	2.82	18.15	12.52

- 1 : Monportail(aval écluse)
 2 : Claires du chenal de Brouage
 3 : Ecluse des Tannes
 4 : Ecluse de Beaugeay

3.2. Campagne 2000 :

3.2.1. Prélèvements du 21 avril 2000 :

acuvette échantillon	A	B	C	D	E	moyenne	Ecart type	I.C. à 95%	$\mu + I.C.$	$\mu - I.C.$
1(Témoin)	16	14	17	13	24	16,8	5,66	4,96	21,76	11,84
2(Témoin)	11	15	15	10	25	15,2	9,90	8,68	23,88	6,52
3	24	28	22	35	31	28	4,95	4,34	32,34	23,66
4	12	17	15	22	21	17,4	6,36	5,58	22,98	11,82
5	17	14	22	14	20	17,4	2,12	1,86	19,26	15,54
6	52	58	35	35	72	50,4	14,14	12,40	62,80	38,00
7	6	13	12	15	18	12,8	8,49	7,44	20,24	5,36
8	26	33	33	28	43	32,6	12,02	10,54	43,14	22,06
9	46	40	31	34	22	34,6	16,97	14,88	49,48	19,72
10	29	33	32	30	24	29,6	3,54	3,10	32,70	26,50
11	16	17	21	21	23	19,6	4,95	4,34	23,94	15,26
12	22	18	36	26	15	23,4	4,95	4,34	27,74	19,06
13	30	36	14	18	12	22	12,73	11,16	33,16	10,84

Tableau 1 : résultats du test larves d'huîtres du 21/04/00 et intervalles de confiance au risque de 5 %

ECHANTILLONS

NOMS

SALINITES INITIALES

échantillon 3	Charente	27.4 ‰
échantillon 4	Seudre PM	30.4 ‰
échantillon 5	Monportail vanne	4.9 ‰
échantillon 6	Monportail claire (entrée d'eau)	30.8 ‰
échantillon 7	Claire Brouage	24.9 ‰
échantillon 8	Tannes écluse	7 ‰
échantillon 9	Brouage havre	23.8 ‰
échantillon 10	Beaugeay	15.9 ‰
échantillon 11	Seudre BM	27.7 ‰
échantillon 12	Monportail claire	27.1 ‰
échantillon 13	Ecloserie	29.9 ‰

3.2.2. Prélèvements du 27 avril 2000 :

% anomalies

acuvette échantillon	A	B	C	D	E	moyenne	Ecart type	I.C. à 95%	$\mu + I.C.$	$\mu - I.C.$
1(Témoin)	2	3	3	3	1	2,4	0,71	0,62	3,02	1,78
2(Témoin)	#	2	1	4	6	2,6	2,83	2,77	5,37	-0,17
3(Témoin)	28	19	13	23	12	19	11,31	9,92	28,92	9,08
4	3	2	9	4	11	5,8	5,66	4,96	10,76	0,84
5	10	5	6	12	4	7,4	4,24	3,72	11,12	3,68
6	28	41	31	39	42	36,2	9,90	8,68	44,88	27,52
7	8	11	10	6	7	8,4	0,71	0,62	9,02	7,78
8	100	98	95	77	88	91,6	8,49	7,44	99,04	84,16

(# = 41: Résultat aberrant non compté dans la moyenne)

Tableau 2 : résultats du test larves d'huîtres du 27/04/00 et intervalles de confiance au risque de 5 %

ECHANTILLONS**NOMS****SALINITES INITIALES**

témoin 1	Eau de mer filtrée	28 ‰
témoin 2	Eau de mer filtrée	28 ‰
témoin 3	Eau de mer filtrée	diluée à 19 ‰ et resalée à 25 ‰
échantillon 4	Monportail vanne	2.3 ‰
échantillon 5	Monportail entrée d'eau	28.5 ‰
échantillon 6	Monportail claire	28.0 ‰
échantillon 7	Tannes écluse	8.7 ‰
échantillon 8	Brouage Havre	1.0 ‰

3.2.3. Prélèvement du 9 mai 2000 :

% anomalies

acuvette échantillon	A	B	C	D	E	moyenne	Ecart Type	I.C. à 95%	$\mu + I.C.$	$\mu - I.C.$
1(Témoin)	14	14	15	14	11	13,6	2,12	1,86	15,46	11,74
2(Témoin)	17	#	16	27	18	15,6	0,71	0,69	16,29	14,91
3	100	100	98	98	96	98,4	2,83	2,48	100,88	95,92
4	14	28	33	30	#'	26,25	11,31	11,09	37,34	15,16
5	100	100	100	100	100	100	0		100	100
6	100	100	100	100	100	100	0		100	100
7	100	100	100	100	100	100	0		100	100
8	100	100	100	100	100	100	0		100	100
9	74	64	70	85	76	73,8	1,41	1,24	75,04	72,56

(# = 98 : Résultat aberrant non compté dans la moyenne)

(#' = 97 : idem)

Tableau 3 : résultats du test larves d'huîtres du 09/05/00 et intervalles de confiance au risque de 5 %

Les échantillons 3 et 9 présentent des larves déformées.

Par contre, dans les échantillons 5, 6 et 7 les larves ne sont plus que des agrégats cellulaires : la coquille ne s'est pas formée ou a été détruite.

Dans l'échantillon 8 les larves sont reconnaissables mais elles sont déformées et abîmées.

ECHANTILLONS	NOMS	SALINITES INITIALES
échantillon 3	Monportail vanne	28.7 ‰
échantillon 4	Monportail claire	28.0 ‰
échantillon 5	Vanne des Tannes	4.1 ‰
échantillon 6	Brouage havre	24.2 ‰
échantillon 7	Beaugeay écluse amont	1.7 ‰
échantillon 8	Charente (aval pont de Rochefort)	0.7 ‰
échantillon 9	Charente (Fort Lupin)	7.6 ‰

4. DISCUSSION

Un commentaire des résultats s'impose avant tout, pour chaque campagne :

-11 mai 1999 : la qualité des eaux paraît presque normale, à l'exception du point Beaugeay, un peu plus pollué .

-12 mai 1999 : les pourcentages d'anomalies sont très faibles quel que soit le point.

-3 juin 1999 : Les points des vanne de Monportail et des Tannes présentent un pourcentage d'anomalies très élevé, contrairement au point Beaugeay, presque au niveau du témoin.

-21 avril 2000 : le pourcentage le plus élevé de la série s'observe dans le chenal d'alimentation des claires ostréicoles (50%), suivi du havre de Brouage (proximité des établissements d'expédition) et de l'écluse de Beaugeay.

-27 avril 2000 : deux points sont pollués. La claire ostréicole de Monportail, signe que l'eau d'alimentation contenait quelque chose (qui a disparu du chenal) ou que la claire a été polluée par voie aérienne. Le havre de Brouage ensuite, très pollué ce jour là : nous sommes à basse mer et l'eau prélevée vient directement de l'écluse de Beaugeay (très faiblement salée).

Par ailleurs, pour répondre à l'objection possible de l'effet de mélange eau salée-eau douce nécessaire à la survie des larves d'huître, un essai a été réalisé avec de l'eau de mer diluée à 19 pour mille et resalée à 25, avec des résultats inférieurs au seuil d'acceptabilité du test (20%).

-9 mai 2000 : à l'exception de la claire de Monportail (même que lors du test précédent), tous les autres points présentent un pourcentage d'anomalies très élevé (de 70 à 100%). Exceptionnellement, deux prélèvements ont été faits sur la Charente, qui ne présentent pas de meilleurs résultats.

Dans l'état actuel de l'étude, il faut donc remarquer :

-que les anomalies ne sont pas constantes, ni dans l'espace, ni dans le temps.

-qu'elles se produisent sur plusieurs points à la même date.

Ceci fait soupçonner des pics de pollution des eaux, sans que l'on puisse pour le moment déterminer la nature de cette pollution. Il faut toutefois remarquer que les plus mauvais résultats sont observés lors de la période de traitement des cultures : en avril 2000, les quelques analyses réalisées sur le point de Monportail (vanne) font notamment apparaître une concentration élevée en isoproturon (1,2 µg/l). A cette même date, tous les points du marais échantillonnés contiennent des herbicides.

Malheureusement, le coût élevé des analyses ne permet pas pour le moment de développer cette démarche comme il conviendrait.

5. CONCLUSION

Il faut noter avant tout, que les eaux de rejet agricole vers le milieu marin, lorsqu'elles sont testées, laissent apparaître des événements pollués, générateurs d'anomalies larvaires chez les huîtres (ici organismes test) et donc susceptibles d'avoir un effet néfaste sur la vie marine.

Le test, imparfait car ne rendant compte que d'une mauvaise qualité des eaux sans pouvoir en définir la cause, doit obligatoirement être couplé à une démarche analytique.

Enfin, il paraît également nécessaire de resserrer les échantillonnages sur les périodes critiques :

- affinage ou pousse en claire
- traitement des cultures.

Ce travail n'est qu'un préliminaire à une étude plus approfondie, évaluant notamment les flux de pollution aux embouchures des cours d'eaux de Charente-Maritime.

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.

Annexe 1 : Exemple de l'ilot 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	?	?	

Annexe 2 : Photographies de la zone étudiée.



Complexe conchylicole de Brouage



Havre de Brouage



Canal de Beugeay et écluse aval



Vanne des Tannes



Ilot du cœur Volant à Brouage : maïs en bordure de claire



Marais mis à plat pour culture intensive



Ilot des Berlotteries (culture drainée) contigu au complexe ostréicole de Monportail



Vanne de Monportail (sortie du canal de drainage des Berlotteries)