

Direction des Opérations

Laboratoire Environnement Ressources Provence Azur Corse

François Galgani

Yoann Baldi

Février 2010 – RST/DOP/LER/PAC/10-02

Evaluation de la toxicité globale des sédiments du littoral du Languedoc Roussillon, du Var et des Alpes Maritimes par un bio essai : Développement larvaire de l'huître creuse *Crassostrea gigas* en présence d'élutriats de sédiments



*D'après le tableau intitulé « Petit Plage, Saint Tropez »
De Theo Van Rysselberghe*

Convention Ifremer / AERM&C n° 2008-0721

Evaluation de la toxicité globale des
sédiments du littoral du Languedoc
Roussillon, du Var et des Alpes Maritimes par
un bio essai :

Développement larvaire de l'huître creuse *Crassostrea
gigas* en présence d'élutriats de sédiment

Fiche documentaire

Numéro d'identification du rapport : RST/DOP/LER/PAC/10-02		Date de publication : Février 2010
Diffusion : libre : <input checked="" type="checkbox"/> restreinte : <input type="checkbox"/> interdite : <input type="checkbox"/>		Nombre de pages : 29
Validé par : Bruno. Andral		Bibliographie : oui
Adresse électronique : bruno.andral@ifremer.fr		Illustration(s) : oui
Langue du rapport : français		
Titre de l'article Evaluation de la toxicité globale des sédiments du littoral du Languedoc Roussillon du Var et des Alpes Maritimes par un bio essai : Développement larvaire de l'huître creuse <i>Crassostrea gigas</i> en présence d'élutriats de sédiments.		
Contrat n° 2008-072		Rapport intermédiaire <input type="checkbox"/> Rapport définitif <input checked="" type="checkbox"/>
Auteur(s) principal(aux) : F. Galgani, Y. Baldi (LER/PAC)	Organisme / Direction / Service, laboratoire IFREMER/LER/PAC/BASTIA	
Collaborateur(s) : C. Ravel, G. Hervé (LER/PAC), J. Barret (LER/LR)		
Cadre de la recherche :		
Résumé <p>Cette étude vise à évaluer la toxicité des sédiments et de définir les modalités d'un éventuel suivi à long terme du littoral méditerranéen français. L'étude concerne le littoral de la région Languedoc Roussillon et des départements du Var et des Alpes Maritimes.</p> <p>L'étude complète les travaux déjà réalisés sur les lagunes méditerranéennes françaises ainsi que sur les côtes des Bouches du Rhône et de Corse. L'ensemble des travaux vise à terme de disposer d'une cartographie complète de la toxicité des sédiments des côtes de la Méditerranée française.</p> <p>L'approche proposée est globale, non spécifique et représente la toxicité des molécules xénobiotiques bio disponibles de la couche superficielle des sédiments. Dans le cadre de ce travail, nous avons appliqué la méthode des tests écotoxicologiques sur larves d'huîtres à l'ensemble du littoral des régions PACA et Languedoc Roussillon où 329 stations ont été échantillonnées. Les prélèvements ont été réalisés en juin 2008 (Littoral du Var et des Alpes Maritimes), en septembre 2008 (Rade de Toulon et Port de Sète) et en juin 2009 (littoral du Languedoc Roussillon).</p> <p>Les zones étudiées apparaissent, dans leur majorité, dans un bon état puisque les sédiments mis en présence de larves d'huître n'accusent que de faibles taux de malformations larvaires. 80 (25 %) stations ont une toxicité inférieure à 20% et 150 (45,2 %) une toxicité inférieure à 40%. Il existe cependant des stations présentant de fortes toxicités, notamment au niveau du débouché des apports principaux et dans les ports. 134 stations (40,7 %) ont des toxicités supérieures à 80% et 62 stations (18,8%) ont des sédiments qui présentent 100% de toxicité dans les conditions opératoires de l'étude. Ces toxicités importantes sont principalement localisées dans les ports et dans les Alpes Maritimes.</p> <p>Dans le Languedoc Roussillon à l'inverse, les toxicités intermédiaires sont plus nombreuses et les fortes toxicités limitées à quelques ports ou zones portuaires (Carnon, Port Vendres, Cap d'Agde, Fleury, Port la Nouvelle, Port Leucate). Pour les zones non portuaires, rares sont les stations présentant des toxicités très élevées. Dans le cas du Languedoc Roussillon, l'Embouchure du Tech et de l'Orb et dans une moindre mesure la station du grand Travers près de Carnon sont les stations les plus affectées.</p> <p>Dans le cas du littoral Sud Est, la Baie de Bandol et la Cride, la pointe des Sardineaux, l'embouchure de l'Argens et Nice Plage sont les stations les plus affectées. D'une manière générale, les embouchures de rivières ont des sédiments faiblement toxiques ou se diluent rapidement (Tech). Sur les côtes varoises et des Alpes Maritimes en particulier, les apports fluviaux de faible envergure (Argens, Saint Raphaël, la Napoule etc.) et les apports plus conséquents, (Paillon, Var) ne sont pas responsables de toxicités importantes.</p> <p>Ce travail a été réalisé dans le cadre de la convention AERM&C-Ifremer n° 2008- 072 (avec le support logistique de l'Ifremer (LER/PAC et LER/LR), Toulon/Naval (Laboratoire environnement) et M. J Guillaume du Comité local des pêches de St Mandrier). Les analyses ont été réalisées par le laboratoire Ifremer/LER/PAC à Bastia.</p>		
Mots-clés : Ecotoxicologie, Sédiments, ports, <i>Crassostrea gigas</i> , pollution.		



sommaire

1. Introduction	5
1.1. Les effets toxiques des sédiments.....	5
1.2. Les limites de la méthode	6
2. Méthodologie.....	7
2.1. Prélèvements	7
2.2. Principe de la méthode (AFNOR XP-T-90-382)	8
2.3. Test de développement larvaire.....	8
3. Résultats.....	10
3.1. Zone de Menton à Beaulieu (figure 2)	10
3.2. Baies de Nice et Cannes (figures 3 et 4)	11
3.3. Zone de Saint Raphaël aux îles du Levant (figures 5 et 6).....	13
3.4. Rade d 'Hyères et presqu'île de Giens (figures 7 et 8)	14
3.5. Rade de Toulon (figure 9)	15
3.6. Ouest Var (de Sicié à Saint Cyr) (figure 10)	17
3.7. Côtes du Languedoc (figure 11, 12 et 13)	18
3.8. Côtes du Roussillon (figures 14 à 18).....	20
4. Discussion et perspectives.....	24
5. Références bibliographiques.....	28



1. Introduction

Cette étude a été réalisée pour disposer d'une cartographie complète de la toxicité des sédiments des côtes de la Méditerranée française et définir les modalités d'un éventuel suivi à long terme du littoral méditerranéen français. Spécifiquement elle concerne le littoral de la région Languedoc Roussillon et des départements du Var et des Alpes Maritimes, elle complète les travaux déjà réalisés sur les lagunes méditerranéennes françaises ainsi que sur les côtes des Bouches du Rhône et de Corse.

1.1. Les effets toxiques des sédiments

L'étude de la toxicité d'un échantillon sédimentaire provenant du milieu naturel repose sur la présence d'un mélange de substances potentiellement toxiques pouvant provoquer un effet biologique sur la biocénose environnante. Le point de vue chimique tend à caractériser la présence de tel ou tel contaminant et d'en déterminer les concentrations, alors que le point de vue écotoxicologique vise à déterminer l'effet biologique de l'échantillon sur une espèce de référence caractéristique du milieu étudié, en s'affranchissant des paramètres de contamination.

C'est cette approche écotoxicologique qui a été mise en œuvre ces dernières années sur divers compartiments du littoral méditerranéen français telles que les lagunes (Languedoc Roussillon, Corse), le milieu profond (Canyon de Cassidaigne, Canyon du Var) et certaines zones marines (rade de Nice et de Marseille, littoral des Bouches du Rhône, côtes de Corse). La méthode utilisée, non spécifique vis à vis des micropolluants, prend en compte l'effet total des contaminants présents, des interactions entre composés, de leurs biodisponibilité, sans considérer leur nature et leurs concentrations.

Le risque environnemental mesuré correspond aux toxicités globales, maximales, lors de remises en suspension, pouvant provoquer des effets sur le recrutement ou les fonctions physiologiques des organismes marins.

Ce risque provient :

- d'une part de la capacité à s'absorber et/ou à se complexer avec les particules en suspension transférant ainsi les contaminants de la colonne d'eau vers le sédiment (Tarbouriech, 2001). Le compartiment sédimentaire agit donc comme un réservoir en contaminants dans lequel leurs concentrations peuvent être de plusieurs ordres de magnitudes supérieures à celles observables dans la colonne d'eau (Livett, 1988) et dans lequel leur durée de vie peut atteindre plusieurs dizaines d'années (Alzieu, 2001).
- d'autre part, la capacité du sédiment superficiel (quelques premiers cm) à être remis en suspension sous l'effet d'événements climatiques associés à la faible profondeur ou à des courants importants. Les sédiments ainsi remis en suspension, peuvent restituer à la colonne d'eau environnante, une fraction importante de l'ensemble des contaminants initialement présent.

1.2. Les limites de la méthode

Les toxicités chroniques pouvant être le fait de contaminants non disponibles ou re-largables mais fixés de manière irréversible (fraction non disponible) sur les sédiments ne sont pas incluses dans ce travail et peuvent être, en revanche, l'objet d'études complémentaires.

Les prélèvements sont effectués sur une surface réduite et ne sont représentatifs, en terme de toxicité, que d'une zone limitée autour du point échantillonné en raison de l'hétérogénéité de structure du sédiment due aux conditions locales. En revanche, en terme de risque, la validité spatiale est accrue car, après remise en suspension du sédiment et re-largage des micropolluants dans la colonne d'eau, les masses d'eau ainsi contaminées se diffusent sur une surface bien plus importante que la surface d'échantillonnage elle-même. Dans ces conditions, la cartographie de la toxicité ne peut avoir qu'une valeur probable.

L'analyse d'échantillons sédimentaires provenant du milieu naturel, ayant des proportions très variées en particules fines, rend très difficile et peu significatives les extrapolations de la toxicité globale vers la contamination (His, Beiras, Seaman, 1999). Dans ce contexte, une toxicité avérée permet de conclure globalement à la présence de contaminants sans information précise sur leur nature et leurs quantités. Seuls les effets toxiques globaux d'un échantillon total (toutes fractions granulométriques confondues, excepté les débris coquilliers) seront considérés dans notre étude.

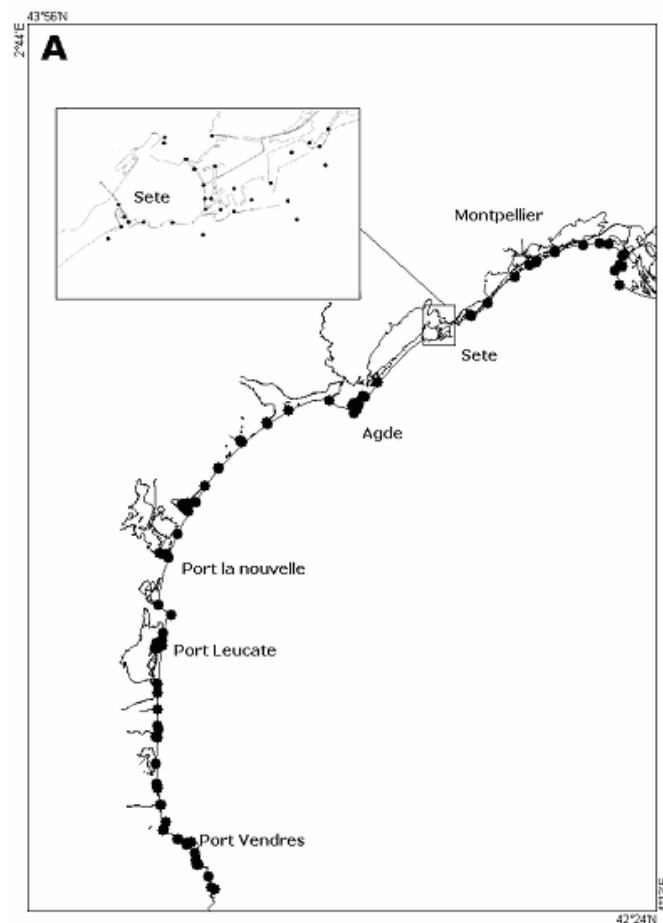
Les travaux réalisés de 2001 à 2008 (Etude RSL, Campagne CYATOX, Campagne METROC, étude des Bouches du Rhône, des côtes de Corse) ont montré que les sédiments des lagunes littorales ainsi que certaines zones marines (rade de Marseille, zone de Fos sur mer) pouvaient présenter des toxicités significatives, avec des maximums au niveau du débouché des apports principaux (rejets, émissaires et dans les zones portuaires). Aux vues de résultats préliminaires, il apparaissait nécessaire de réaliser une étude sur l'ensemble du littoral méditerranéen.

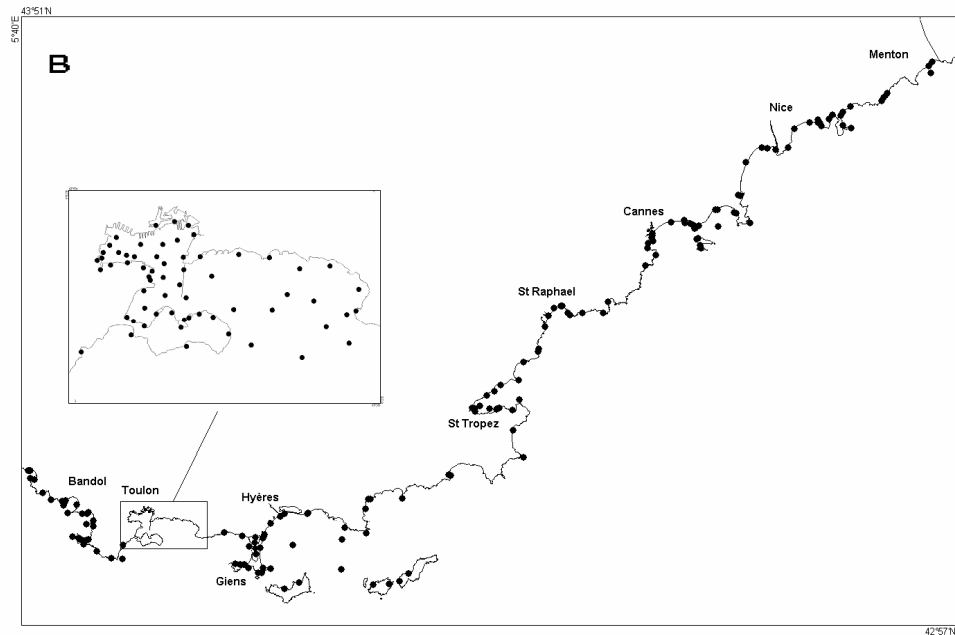
2. Méthodologie

2.1. Prélèvements

Dans le cadre de ce travail, nous avons appliqué la méthode des tests écotoxicologiques sur larves d'huîtres à l'ensemble du littoral des régions PACA et Languedoc Roussillon où 329 stations ont été échantillonnées (figure 1). Les prélèvements ont été réalisés en juin 2008 (Littoral du Var et des Alpes Maritimes), en septembre 2008 (Rade de Toulon et Port de Sète) et en juin 2009 (Littoral du Languedoc Roussillon). Environ 50 -100g des 3 premiers centimètres de sédiments ont été prélevés. Les échantillons ont été conservés dans des tubes en polyéthylène puis stockés au réfrigérateur à +4°C jusqu'à traitement. L'eau de référence pour la réalisation des tests a été prise au large.

Figure 1 : Ensemble des stations de prélèvements de sédiments dans la région Languedoc Roussillon(A) et dans les départements du Var et des Alpes





3 zones (Rade de Toulon, baies de Cannes et Nice et Zone de Sète) ont été étudiées de manière approfondie en raison d'activités portuaires importantes et la présence de zones industrielles.

2.2. Principe de la méthode (AFNOR XP-T-90-382)

Le sédiment à analyser est agité dans de l'eau de mer reconnue non toxique (référence). Le surnageant (élutriat) contient alors la fraction relarguée de l'ensemble des micropolluants présents initialement. Puis des œufs d'huîtres creuses fraîchement fécondés sont alors mis en développement dans différentes proportions de l'élutriat et les pourcentages d'anomalies de développement larvaire sont alors déterminés, servant à estimer la relation liant l'effet toxique mesuré à la concentration en élutriat (donc à la concentration en sédiment).

2.3. Test de développement larvaire

Les géniteurs mûres proviennent de l'écloserie GUERNESEY SEA FARMS spécialisée dans la maturation de coquillages pour test en laboratoire.

60 g de chaque échantillon est mélangé avec 240 ml d'eau de référence filtrée, et agité pendant 8 h, avant 8 h de décantation. Les surnageants (élutriats) sont récupérés. Des microplaques de cultures stériles IWAKI à puits de 3 ml sont remplies avec le surnageant. L'eau de mer filtrée sert à remplir les cuves des témoins (0 %). Pour chaque échantillon, 5 cuves formant les réplicats sont remplies. Les géniteurs mûres sont soigneusement nettoyés et immergés dans de l'eau de référence non filtrée à 18°C pendant 30 minutes. Le bain est ensuite remplacé par de l'eau chauffée à 28°C et ce, pour 30 minutes. Il faut recommencer jusqu'à ce que ce choc thermique provoque l'émission des gamètes. Les individus en cours d'émission sont placés dans 2 bains successifs d'eau de référence filtrée. Le dernier bain sera utilisé comme suspension de gamètes pour la fécondation après avoir sélectionné le mâle le plus mobile et la femelle dont les œufs sont les plus gros.

La fécondation est réalisée en introduisant la suspension de gamètes femelles dans une éprouvette de 250 ml en complétant le volume avec de l'eau de référence filtrée. Ajouter alors 3 ml de suspension dense de sperme et agiter doucement et sans arrêt. Un contrôle sous microscope permet de voir l'apparition des globules polaires qui est témoin de la réalisation de la fécondation.

Quand la fécondation est effective, la concentration en œufs est déterminée et le volume nécessaire pour obtenir 300 larves est calculé. 300 larves sont alors introduites dans chaque cuve et les plaques sont mises en développement dans une enceinte thermorégulée à 23C + ou - 1°C pendant 24 h. Après incubation, les larves sont fixées au formaldéhyde 40%. Celles-ci décantent et le comptage sous microscope de 100 larves (comptage aléatoire sur les 300 inoculées) par cuve permet d'en tirer le taux d'anomalies. Les résultats sont regroupés en tableaux pour chaque concentration de chaque éluviat.

La détermination de ces taux dépend fortement des définitions des larves au stade D normales et des larves anormales. Les larves considérées normales sont définies exhaustivement par les deux valves de la coquille formant un D parfait, associées à un vélum (masse de chair du futur manteau) parfaitement en place.

Toutes les autres formes de larves seront considérées comme anormales. Plusieurs cas particuliers se démarquent : barre du D convexe, encoche sur une des valves, développement externe du vélum, irrégularité morphologique générale et blocage à un stade de développement antérieur au stade D.

Seuls les pourcentages d'anomalies mesurés pour une concentration maximum en éluviat (P100%) et pour le témoin (P0%) sont pris en compte dans les calculs. Le PBA étant le pourcentage brut (comptage) d'anomalies larvaires observées, le PNA (pourcentage net d'anomalies larvaires) correspond au taux d'anomalies maximum mesuré corrigé du taux d'anomalies mesuré dans le témoin ($PNA = (PBA_{essai} - PBA_{témoin}) / (100 - PBA_{témoin}) * 100$)

Ce mode d'expression de la toxicité permet la mise en relation des données, toutes exprimées dans la même unité (% anomalies).

3. Résultats

De manière à limiter la variabilité des résultats, les échantillons d'une même zone ont été prélevés et analysés avec la même série de géniteurs. Les résultats (tableau 1) démontrent l'existence de sédiments toxiques, induisant des malformations larvaires, avec une toxicité cependant très variable, allant de 0 à 100 % de larves anormales.

Tableau 1 : Synthèse des résultats de toxicité de sédiments du Var, des Alpes Maritimes et de la région Languedoc-Roussillon. Les valeurs de toxicité correspondent au pourcentage net d'anomalies larvaires au stade D (2-4 réplicats).

* Toxicité comprise en 80 et 100 % de larves anormales (% des stations)

Zone	Nombre de stations	Toxicité moyenne	valeurs extrêmes	stations très toxiques* (%)
Alpes Maritimes	59	81.4	10 - 100	37 (62)
Cannes Nice	40	78.6	10 - 100	24 (60)
Var est	53	76.3	7 - 100	18 (34)
Rade Toulon	69	36.6	7 - 100	16 (23)
Var ouest	27	81.8	11 - 100	13 (48)
Sète	37	40.3	10 - 100	6 (16)
Languedoc	34	59.69	0 - 80	6 (17.6)
Roussillon	54	48.8	0-100	4 (7.4)

3.1. Zone de Menton à Beaulieu (figure 2)

Les ports de Ferrat, Fourmi, Beaulieu, Sylva Marina, les trois ports de Monaco et les deux ports de Menton (vieux port et Garavan) ont été échantillonnés. Les sédiments présentent tous 100% de toxicité à l'exception du port de Monaco qui présente une toxicité de 70% d'anomalies larvaires dans le vieux port et de 97.5 dans le port de Fontvieille. Par ailleurs, les deux stations de référence (cap Ferrat et large Menton) situées à 40 mètres de profondeur présentent respectivement une toxicité de 16 et 17% indiquant une toxicité décelable mais à des niveaux très faibles.

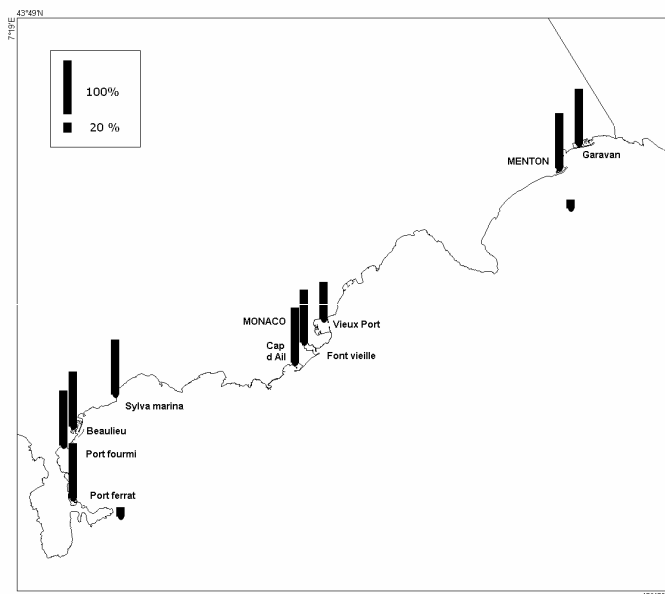


Figure 2: Toxicité des sédiments (% d'anomalies au stade D de *Crassostrea gigas*) de la zone de Menton

3.2. Baies de Nice et Cannes (figures 3 et 4)

Respectivement 15 et 25 stations ont été échantillonnées dans les rades de Nice et Cannes. Sur 40 stations, 20 ports présentent une toxicité des sédiments de 100 %. Pour la baie de Nice, 6 ports ne présentent pas un maximum de toxicité : avant port (76) et Port des ferrys de Nice (60), fond de la baie de Villefranche/mer (70 %), Saint Laurent du Var (80%) et Marina baie des anges (76%).

Le petit port du Crès de Cagnes ne présente qu'une toxicité de 22%. Les stations en dehors des ports ont des sédiments moins toxiques et présentant moins de 20% d'anomalies larvaires (Embouchure du Paillon, Nice Aéroport et Cap d'Antibes) l'exception de la plage de Nice (100%). Dans la baie de Cannes, les ports de moindre toxicité sont La Napoule (92.5%), Port Canto à Cannes (84%) et le port du Palm Beach (64%). 3 stations de référence au large de la Napoule, à La Bocca et à la Fourmigue (40 mètres de profondeur) présentent des toxicités inférieures à 15 % d'anomalies larvaires. 35 % d'anomalies larvaires ont été trouvés sur la station entre les îles de Saint Honorat et Sainte Marguerite.

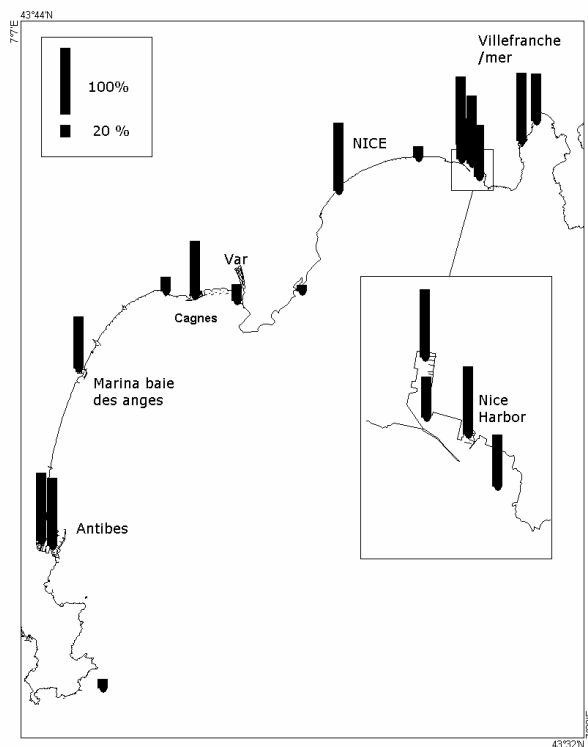


Figure 3 : Toxicité des sédiments (% d'anomalies au stade D de *Crassostrea gigas*) de la baie de Nice

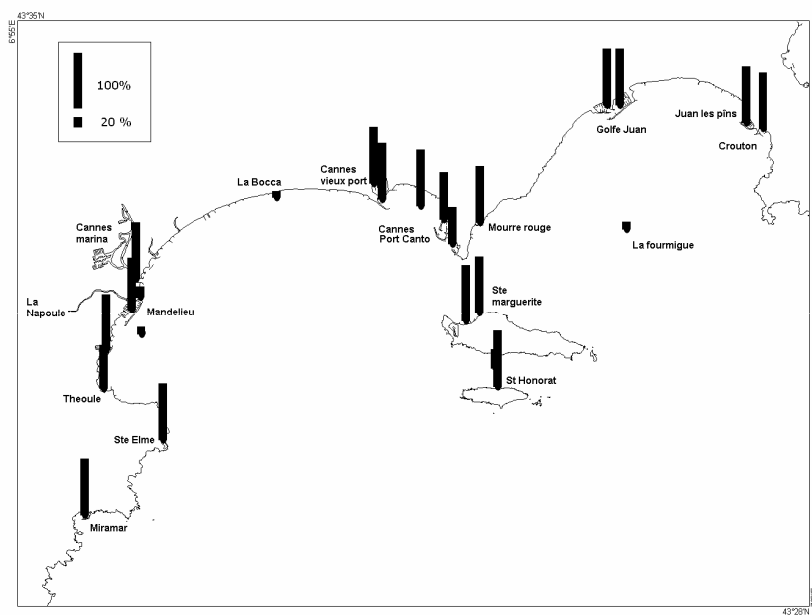


Figure 4: Toxicité des sédiments (% d'anomalies au stade D de *Crassostrea gigas*) de la baie de Cannes

3.3. Zone de Saint Raphaël aux îles du Levant (figures 5 et 6)

7 des 11 ports du cap Drammont à port Ferreal présentent des toxicités de 100%. Les sédiments de la baie d'Agay, du port Sainte Marie, de la baie portuaire de Saint Aygulf et de port Tonic présentent des toxicités causant respectivement 85, 24, 94 et 37.5 % d'anomalies au cours du développement larvaire. Les sédiments aux embouchures des rivières Argens et du Pedegal (Saint Raphaël) causent respectivement 82.5 et 20 % de malformations.

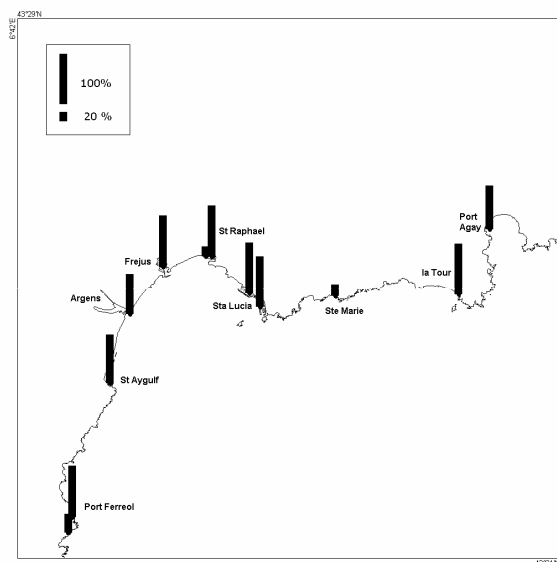


Figure 5: Toxicité des sédiments (% d'anomalies au stade D de *Crassostrea gigas*) de la zone de Saint Raphaël

Dans la zone de Saint-Tropez, tous les ports possèdent des sédiments très toxiques (85 -100% d'anomalies larvaires) à l'exception de Port Grimaud (44% d'anomalies larvaires). Les sédiments des stations en milieu de baie sont très peu toxiques (15-30%) et les stations à la côte présentent des sédiments à toxicité significative (15-30%), voire très toxiques dans le cas de Pampelonne et de la pointe des Sardineaux (100%).

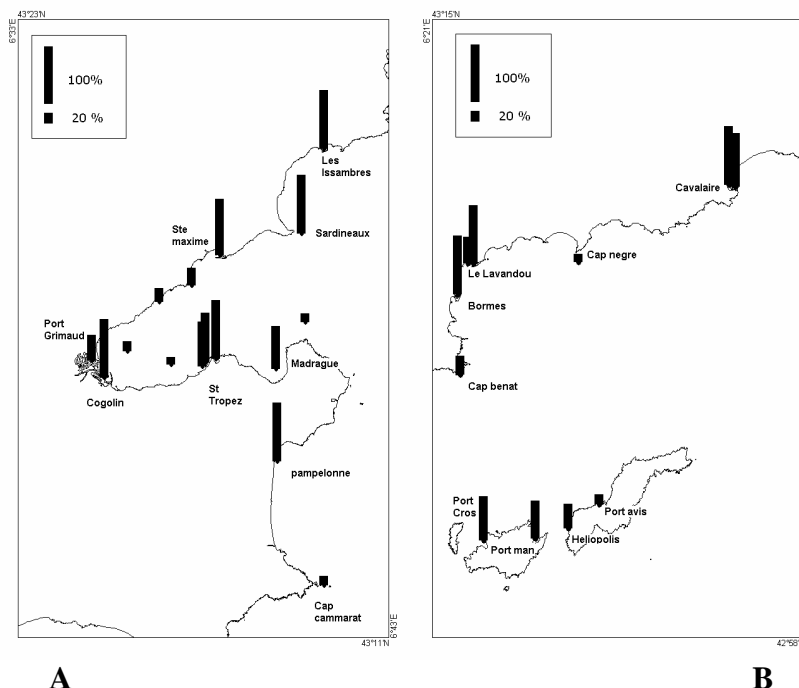


Figure 6: Toxicité des sédiments (% d'anomalies au stade D de *Crassostrea gigas*) de la baie de Saint-Tropez (A) et de la zone du Lavandou et des îles du Levant (B)

Dans la zone des îles du Levant, les sédiments portuaires sont de toxicité variable allant de 17.5% d'anomalies larvaires (port Avis) à 40, 42.5 et 65 % pour les ports d'Héliopolis, d'Est-Lavandou et de port Cros. Les autres ports ont des sédiments très toxiques (95-100%). Les zones de référence (cap Nègre, cap Bénat) présentent des toxicités décelables (15 et 32.5 % d'anomalies larvaires) comme la baie de Port Man (65%).

3.4. Rade d'Hyères et presqu'île de Giens (figures 7 et 8)

Les 3 bassins du port d'Hyères, le port d'Aygades, de Porquerolles, de la Turbie et celui de La Londe Miramar ont des sédiments très toxiques (95-100%). Dans une moindre mesure, les sédiments portuaires de la Capte, du Gapeau, de Porthuau, du canal de la Londe et de Brégançon ont des toxicités significatives (17.5-32.5 %). Les zones de référence ont des toxicités variant de 10.5 (rade d'Hyères) à 17.5 % (anse Notre Dame à Porquerolles).

Les travaux réalisés sur la presqu'île de Giens démontrent une toxicité maximale des sédiments de tous les étangs des Pesquiers (100%) comme pour les sédiments portuaires d'Auguier et de la Madrague. Les autres ports (Niel, Carqueiranne), zones de mouillage (Madrague) et zone de référence (vfv et Almanarre) ont des toxicités de respectivement 17, 27, 20 et 13-24 %.

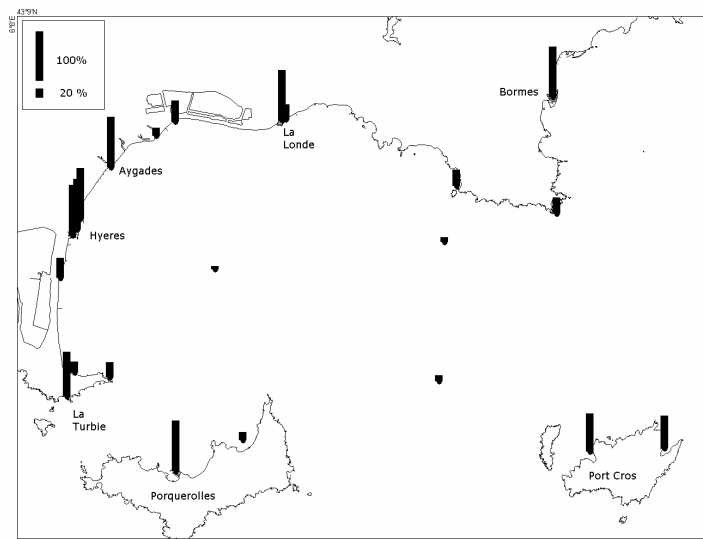


Figure 7 : Toxicité des sédiments (% d'anomalies au stade D de *Crassostrea gigas*) de la rade d'Hyères

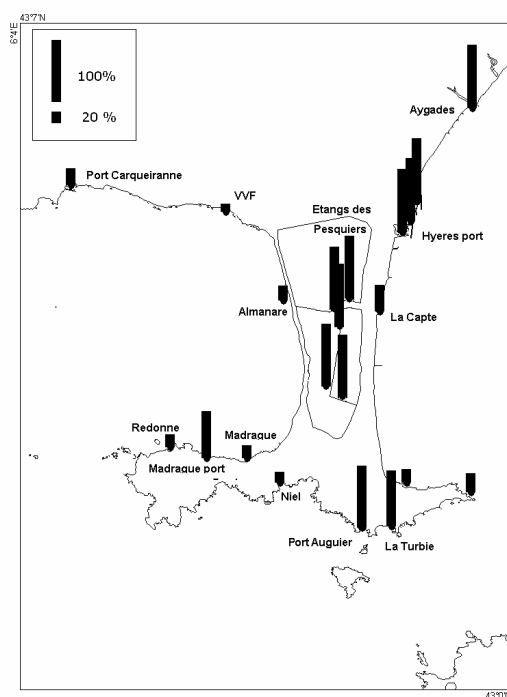


Figure 8 : Toxicité des sédiments (% d'anomalies au stade D de *Crassostrea gigas*) de la presqu'île de Giens

3.5. Rade de Toulon (figure 9)

5 zones de fortes toxicités ont été identifiées dans la rade de Toulon : Le Lazaret, la partie ouest de la rade, une partie de la zone Toulon naval (port militaire), les stations autour de la digue principale et la zone de l'émissaire (Le Pradet). Pour la

zone militaire, la partie située à l'ouest (Arsenal) est la moins affectée avec une toxicité de 27.5% d'anomalies larvaires. Cette faible toxicité est encore plus marquée pour la zone centrale (base sous-marine) et pour la zone Est du port militaire ou respectivement 12.5 et 15 % d'anomalies larvaires ont été observées. A l'inverse le bassin central présente une toxicité significative (70% d'anomalies larvaires). La zone du Lazaret est semblable à la plus touchée de l'ensemble de la rade avec toutes les stations, à l'exception de la sortie Est (raffinerie, 34%) ayant des sédiments fortement toxiques vis à vis des larves (entre 82 et 95 %). La partie occidentale du port est moins affectée par la présence de contaminants dans les sédiments. Les extraits de sédiments de tous les ports ou anses autour de la Seyne sur mer ne causent pas plus de 46% de malformations. Cependant la station située dans l'ouest de la rade au Nord de la zone de la Seyne est significativement toxique (85% d'anomalies).

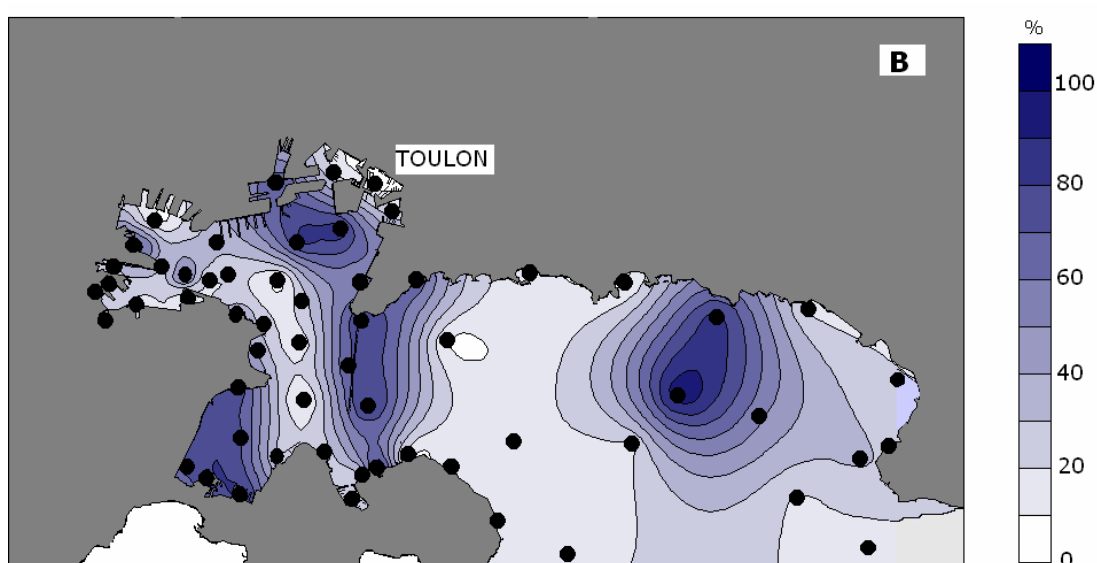
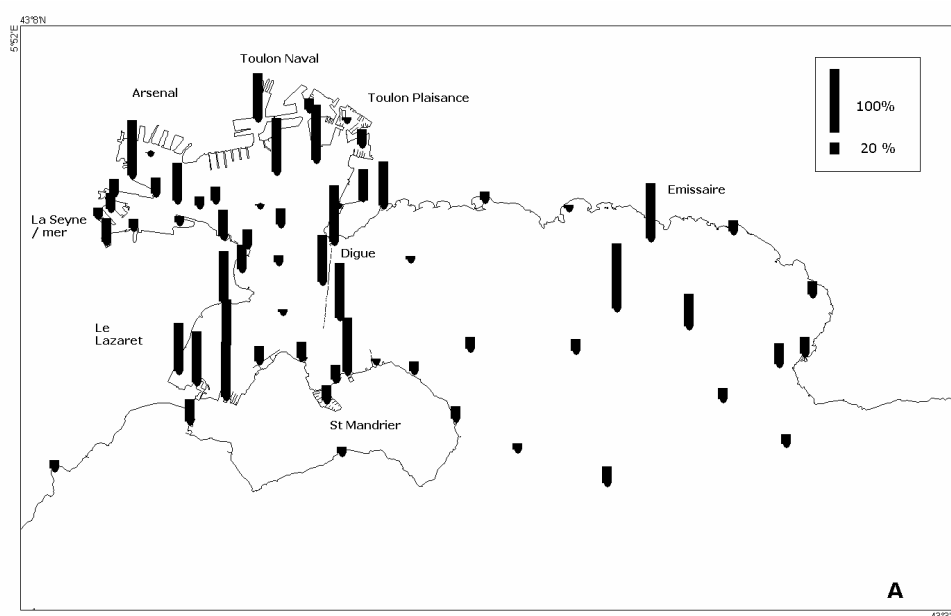


Figure 9 : Toxicité des sédiments (% d'anomalies au stade D de *Crassostrea gigas*) de la rade de Toulon (A) et krigeage des données (B) (Données surfer VI, grille 50X50)

Dans la partie centrale de la rade et autour de la jetée (digue) principale, 3 stations (à l'extérieur et à l'intérieur de la digue) ont des sédiments toxiques (72-85%). De même, le port de Saint Mandrier sur marine présente des sédiments toxiques (85%).

Dans la grande rade de Toulon les stations situées le long de l'émissaire du Pradet présentent des toxicités respectivement de 85 % à la côte (terre promise), 100% à la sortie de l'émissaire et 50 % dans le Sud Est de l'émissaire. Les sédiments des stations situées à l'Est de la rade ont des toxicités de 25 % (port des Oursinières, Garonne) et 35 % (pointe des Oursinières).

Les stations les moins affectées de la rade de Toulon sont les stations centrales de la petite rade (5-15%) et les stations centrales de la grande rade situées entre la presqu'île de Saint Mandrier et la zone Nord de la grande rade (6 – 15% d'anomalies larvaires).

3.6. Ouest Var (de Sicié à Saint Cyr) (figure 10)

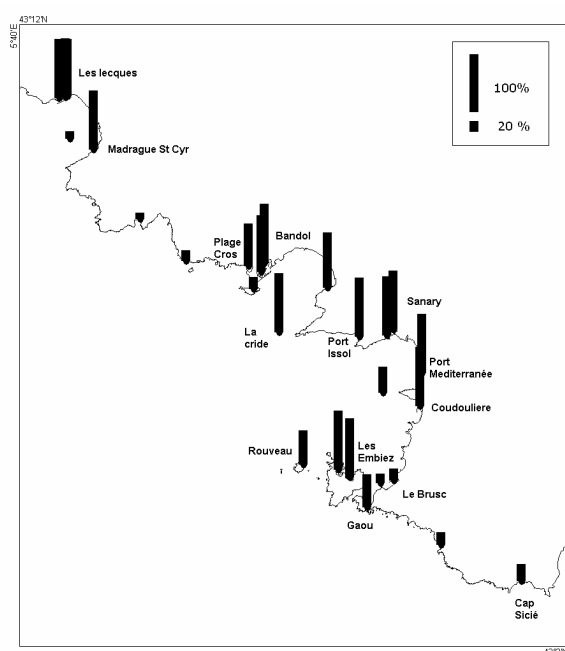


Figure 10 : Toxicité des sédiments (% d'anomalies au stade D de *Crassostrea gigas*) de la partie occidentale du département du Var

Tous les ports de la zone occidentale du Var ont des sédiments toxiques (95-100% de toxicité) à l'exception des ports de Bendor et du Brusac (port ouvert). Les zones de port d'Alon (calanque) et d'île Rousse sont exemptes de toxicité (11-15%). La zone de la Cride est très toxique (100%). Dans une moindre mesure les prélèvements de Port Rouveau (appointement) et du Gaou présentent des toxicités de 58 et 57 %. Plus à l'Est, les sédiments de l'anse de la Fosse (référence) et de la station d'épuration de Sicié ne présentent pas de toxicité significative (22 et 29%).

3.7. Côtes du Languedoc (figures 11, 12 et 13)

Tous les sédiments des ports de la région Languedoc présentent des toxicités significatives. Les toxicités observées à Port Camargue, le Grau du Roy, La Grande Motte, Carnon, Palavas et dans le port de plaisance de Frontignan, au Nord de Sète varient de 33% (La grande Motte) à 96% (Carnon). Les avants ports ainsi que les sorties de Grau (canaux d'échange entre étangs et la mer) présentent des toxicités moindres. Les stations les moins toxiques ne sont pas portuaires (Aresquiers, Maguelonne, Espiguette) à l'exception du grand Travers où la toxicité atteint 70 % d'anomalies larvaires.

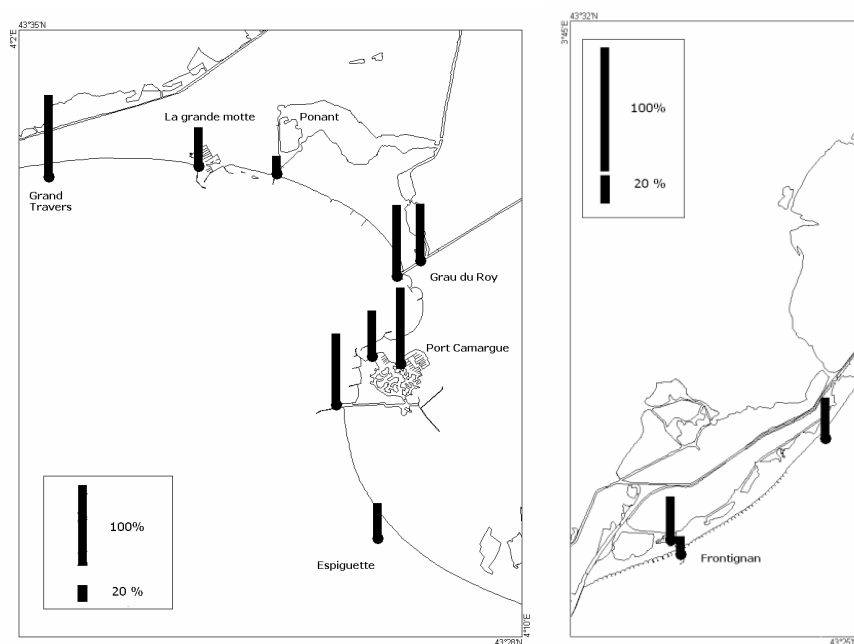


Figure 11 : Toxicité des sédiments (% d'anomalies au stade D de *Crassostrea gigas*) de l'Espiguette à Frontignan

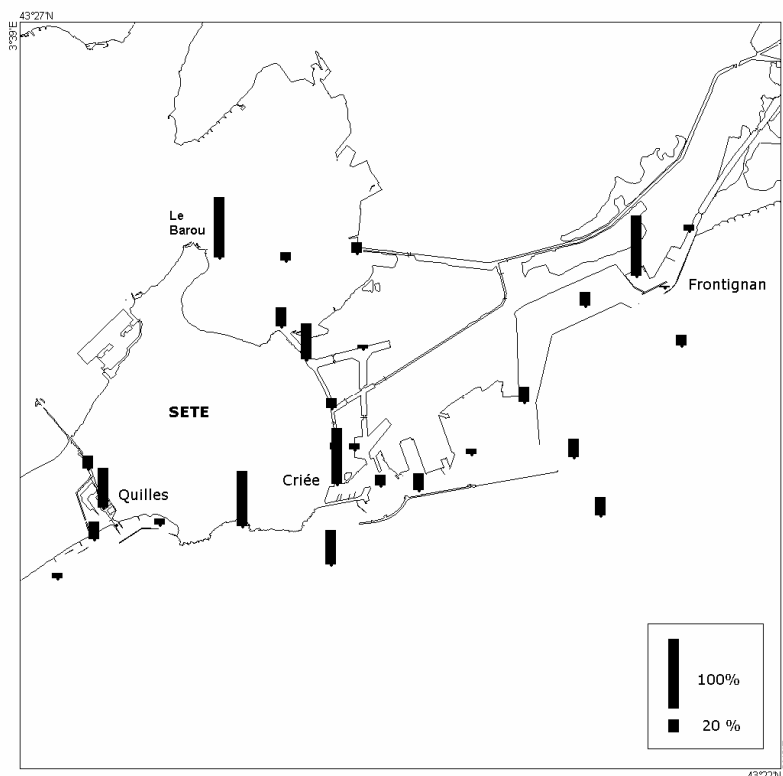


Figure 12 : Toxicité des sédiments (% d'anomalies au stade D de *Crassostrea gigas*) de la zone portuaire de Sète

Pour la zone de Sète, les toxicités les plus fortes (100%) sont observées dans les zones les plus actives du port telles que la zone de débarquement du port de pêche (Criée) au Sud du canal principal et la zone conchylicole de Frontignan. La pointe du Barou et la plage de la corniche présentent également des toxicités maximales. Dans une moindre mesure, le port des quilles et le Nord du canal Principal ont des sédiments toxiques (61 - 65 %) ainsi que les sorties Sud et Ouest du port (36-58%). Les sédiments du port de commerce et de nombreux prélèvements dans les canaux présentent de faibles toxicités (16-26%).

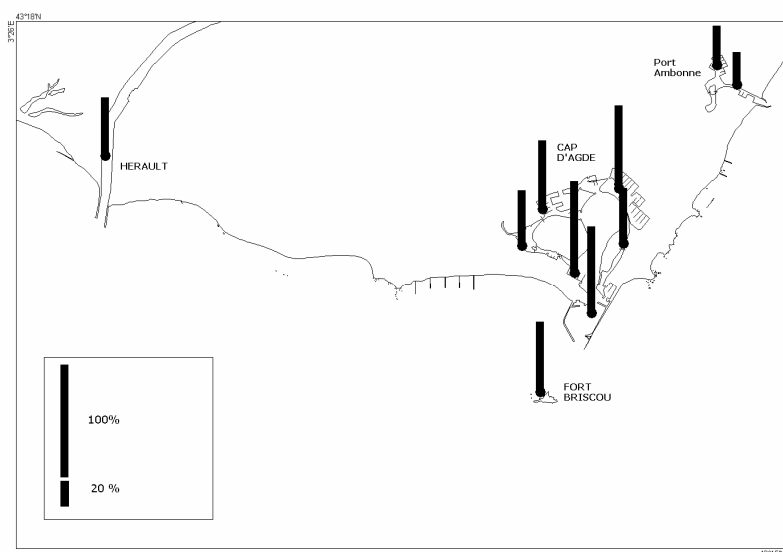


Figure 13 : Toxicité des sédiments (% d'anomalies au stade D de *Crassostrea gigas*) de la zone du cap d'Agde

Au sud de Sète et Marseillan (64% d'anomalies larvaires), les toxicités observées varient de 25% (avant port Ambonne) à 85% (Cap d'Agde). Pour le Cap d'Agde, 6 stations de prélèvements ont été échantillonnées et la toxicité minimale a été mesurée dans la partie ouest réputée la moins active du port (51 %).

3.8. Côtes du Roussillon (figures 14 à 18)

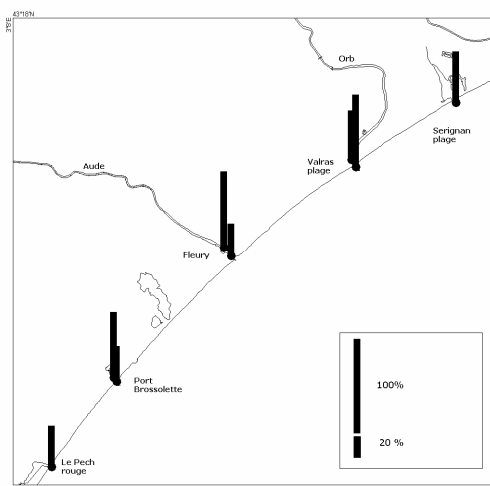


Figure 14 : Toxicité des sédiments (% d'anomalies au stade D de *Crassostrea gigas*) du Pech rouge à Sérignan.

Les sédiments prélevés entre le Pech Rouge et Sérignan plage sont moyennement toxiques (36–56% d'anomalies larvaires) à l'exception de Port Fleury (port Conchylicole, 85 % de toxicité) et l'embouchure de l'Orb (80 %).

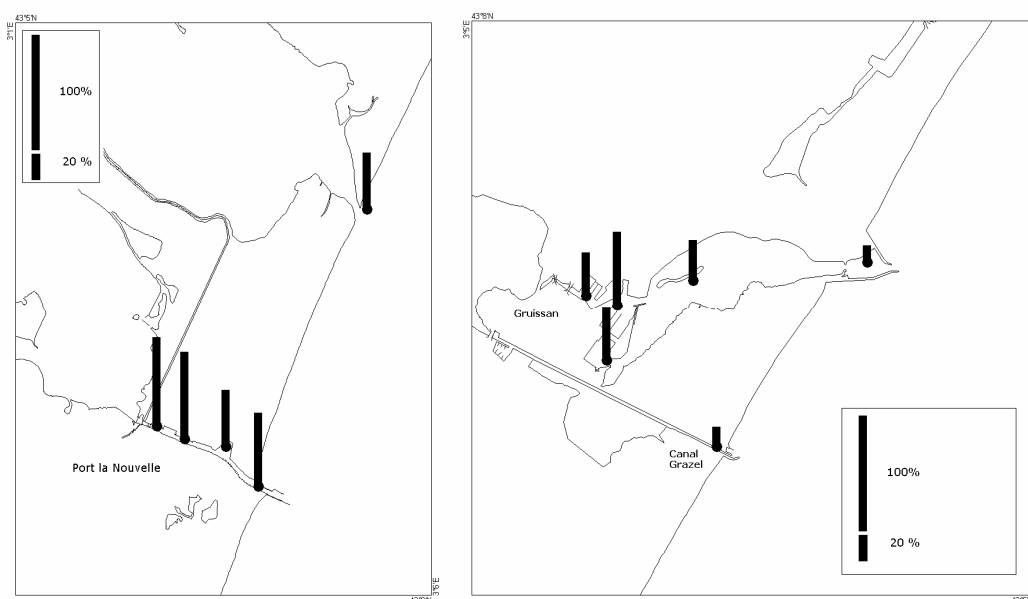


Figure 15: Toxicité des sédiments (% d'anomalies au stade D de *Crassostrea gigas*) des zones portuaires de Gruissan et Port la Nouvelle

Les toxicités des sédiments prélevés dans la zone portuaire de Gruissan sont également moyennement élevées (36-66% d'anomalies larvaires), celles du canal Grazel et de l'avant port de Gruissan restant très faibles (18 et 15 %). Pour la zone de Port la Nouvelle, les quatre stations situées dans l'axe du Port présentent des sédiments toxiques (51-80 %).

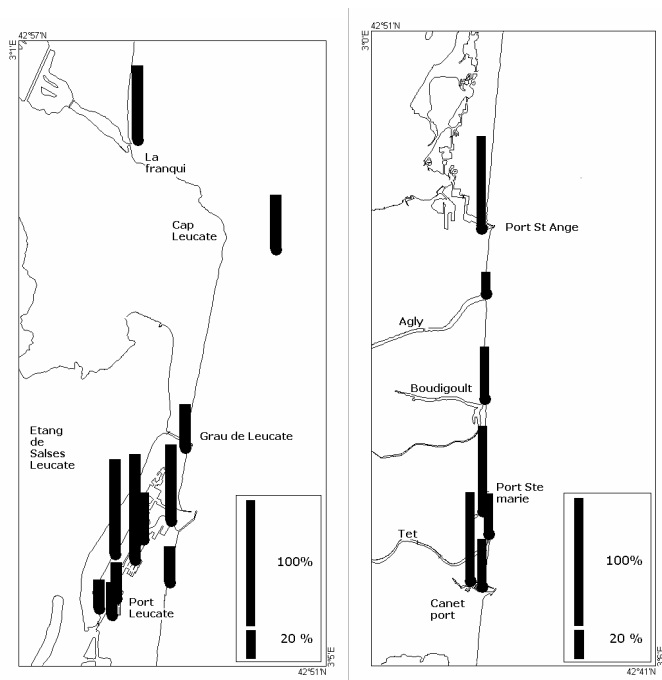


Figure 16 : Toxicité des sédiments (% d'anomalies au stade D de *Crassostrea gigas*) de la zone portuaire de Port Leucate au Port du Cannet

La zone de port Leucate est affectée par les contaminants. En effet si certaines stations (Port Leucate sud, sud du chenal entre la mer et l'étang) ont des sédiments peu toxiques (24-30%), voire toxiques que les prélèvements réalisés en mer (30-66 %). Les stations situées dans le bassin principal, le chenal de sortie et dans l'avant port ont des sédiments plus toxiques (88, 79 et 69 %).

Plus au sud, les stations situées dans les ports (Canet, Ste Marie, Port St Ange) ont des sédiments toxiques (70-75%) alors que les embouchures de rivières (Têt, Boudigout, Agly) ont des sédiments largement moins toxiques (33, 43 et 18 % respectivement).

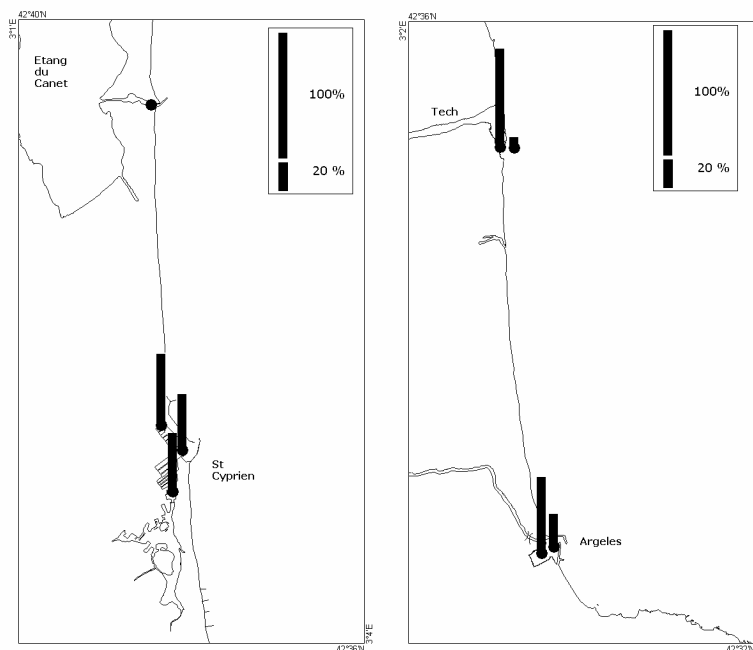


Figure 17 : Toxicité des sédiments (% d'anomalies au stade D de *Crassostrea gigas*) du grau du Canet à Argeles sur mer

Aucune toxicité n'a été observée sur les sédiments prélevés à la sortie du Grau, du Canet et du Tech, à l'exception du prélèvement réalisé dans la partie non marine de ce dernier (81%). Comme pour les autres zones du littoral, les ports d'Argeles et de St Cyprien ont des sédiments toxiques (27-63%).

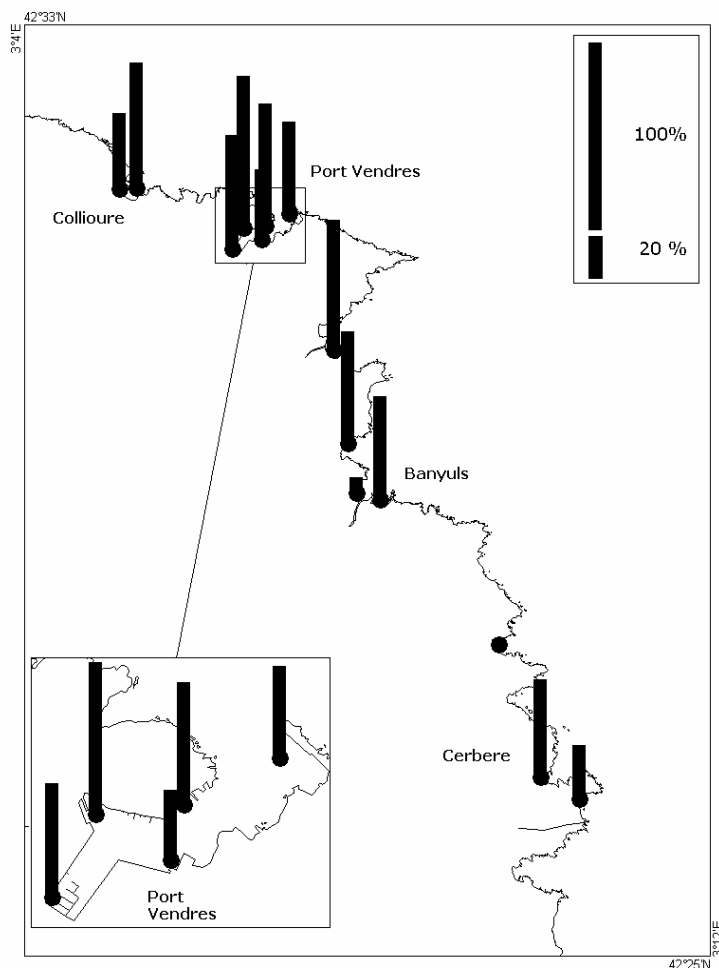


Figure 18 : Toxicité des sédiments (% d'anomalies au stade D de *Crassostrea gigas*) de la zone de Collioures à la frontière espagnole.

La zone de Collioures à la frontière espagnole présente les mêmes caractéristiques que les autres zones : Sédiments portuaires toxiques (Cerbere, 39% ; Banyuls, 57% ; Port Vendres, 39-84% ; Collioures, 42-69%) et des sédiments hors zones portuaires beaucoup moins toxiques avec des toxicités variant de 3% (sud Banyuls) à 30 % (Frontière). Seule la zone de Banyuls à Port Vendres présente 2 stations avec des sédiments toxiques (72 et 62 %).

4. Discussion et perspectives

L'objet de cette étude était de démontrer l'intérêt d'une approche écotoxicologique pour l'évaluation de la qualité du milieu marin côtier en vue, d'une part, de dresser un bilan environnemental par une technique de screening non spécifique et, d'autre part, de donner les bases scientifiques et techniques en vue d'une surveillance à long terme de la qualité des sédiments du littoral méditerranéen.

L'approche proposée est donc globale, non spécifique et représente la toxicité des molécules xénobiotiques biodisponibles de la couche superficielle des sédiments.

Dans ce contexte nous avons choisi :

D'étudier le compartiment sédimentaire dans ses 2 premiers cm sous forme d'élutriat (surnageant d'agitation du sédiment dans de l'eau de mer non toxique) simulant une remise en suspension des sédiments qui prend en compte l'effet global des contaminants présents, des interactions entre composés et de leurs biodisponibilités ;

Un test de développement larvaire utilisant comme espèce de référence l'huître creuse *Crassostrea gigas* car celle-ci possède une large répartition, une bonne représentativité du milieu, un intérêt économique et une sensibilité accrue aux polluants (His et al. 1999).

L'analyse de la littérature (Quiniou et al. 2005 ; His et al., 1999 a & b) permet de préciser les limites d'utilisation et les informations accessibles par cette technique :

Les prélèvements sont effectués sur une surface réduite et ne sont représentatifs, en terme de toxicité, que d'une zone limitée autour du point échantillonné.

Le risque environnemental considéré correspond aux toxicités globales, maximales, observables dans la colonne d'eau à proximité du fond lors d'épisodes climatiques intenses ou lors de remises en suspension, pouvant provoquer des problèmes de recrutement d'organismes marins par la toxicité sur les larves.

Le compartiment sédimentaire agit comme un réservoir en contaminants dans lequel leurs concentrations peuvent être de plusieurs ordres de magnitudes supérieures à celles observables dans la colonne d'eau

Les sédiments remis en suspension peuvent restituer une fraction importante de l'ensemble des contaminants initialement présents. Cette fraction représente la partie biodisponible des contaminants.

Les toxicités chroniques ne sont pas prises en compte par le test.

L'ensemble de ces polluants ne se retrouve pas dans les mêmes proportions suivant la nature des apports. Une caractérisation des effluents ainsi que de leurs toxicités relatives vis à vis de l'embryogenèse de l'huître *Crassostrea gigas*, permettrait de se faire une idée plus précise du rôle de chacun dans les toxicités mesurées.

La cartographie de la toxicité ne peut avoir qu'une vocation démonstrative et non prédictive.

Les zones étudiées apparaissent, dans leur majorité, dans un bon état puisque les sédiments mis en présence de larves d'huître n'accusent que de faibles taux de malformations larvaires. 80 (25%) stations ont une toxicité inférieure à 20% et 150 (45,2 %) une toxicité inférieure à 40%.

Il existe cependant des stations présentant de fortes toxicités, en particulier dans les ports. 134 stations (40,7%) ont des toxicités supérieures à 80% et 62 stations (18,8%) ont des sédiments qui présentent 100% de toxicité dans les conditions opératoires de l'étude.

Ces toxicités importantes sont principalement localisées dans les ports et dans les Alpes Maritimes. Pour cette région, seuls quelques petits ports ou abris (Niel, Sainte Marie, Bendor, le Brusç, Crès de Cagne) présentent des toxicités inférieures à 25 % d'anomalies larvaire. Dans le Languedoc Roussillon à l'inverse, les toxicités intermédiaires sont plus nombreuses et les fortes toxicités limitées à quelques ports ou zones particulières de Ports (Carnon, Port Vendres, Cap d'Agde, Fleury, Port la Nouvelle, Port Leucate). Pour les zones non portuaires, rare sont les stations présentant des toxicités très élevées. Dans le cas du Languedoc Roussillon, l'embouchure du Tech et de l'Orb et dans une moindre mesure la station du grand Travers près de Carnon sont les stations les plus affectées. Dans le cas du littoral sud est, la Baie de Bandol et la Cride, la pointe des Sardineaux, l'embouchure de l'Argens et Nice Plage sont les stations les plus affectées. D'une manière générale, les embouchures de rivières ont des sédiments faiblement toxiques où se diluent rapidement (Tech). Sur les côtes varoises et des Alpes Maritimes en particulier, les apports fluviaux de faible envergure (Argens, Saint Raphaël, la Napoule etc.) et les apports plus conséquents (Paillon, Var), ne sont pas responsables de toxicités importantes.

En raison de la force du courant, les contaminants éventuellement transportés ne seraient pas accumulés dans les sédiments aux alentours des embouchures mais transportés au large comme cela est démontré dans le cas du Tech dans notre étude et dans le cas du Rhône précédemment (Galgani, 2007).

La diversité des contaminants présents sur le littoral des côtes étudiées (RNO, 1998 ; Andral et al., 2004), la diversité des sources, des apports et des voies de transport des contaminants, ainsi que la diversité des approches méthodologiques, rendent complexe une étude environnementale à l'échelle d'un large linéaire côtier. L'utilisation d'une méthode globale, non discriminante vis à vis des polluants permet d'harmoniser les mesures. Bien que la méthode soit de sensibilité différente selon les contaminants, que l'interprétation soit globale et que l'approche écotoxicologique soit différente de la mesure directe des contaminants, l'étude présentée ici est cohérente avec les résultats issus de la bibliographie concernant la contamination chimique. Elle permet de comparer les sites entre eux en terme de qualité des sédiments et de donner des éléments permettant de classer des zones (figure 19).

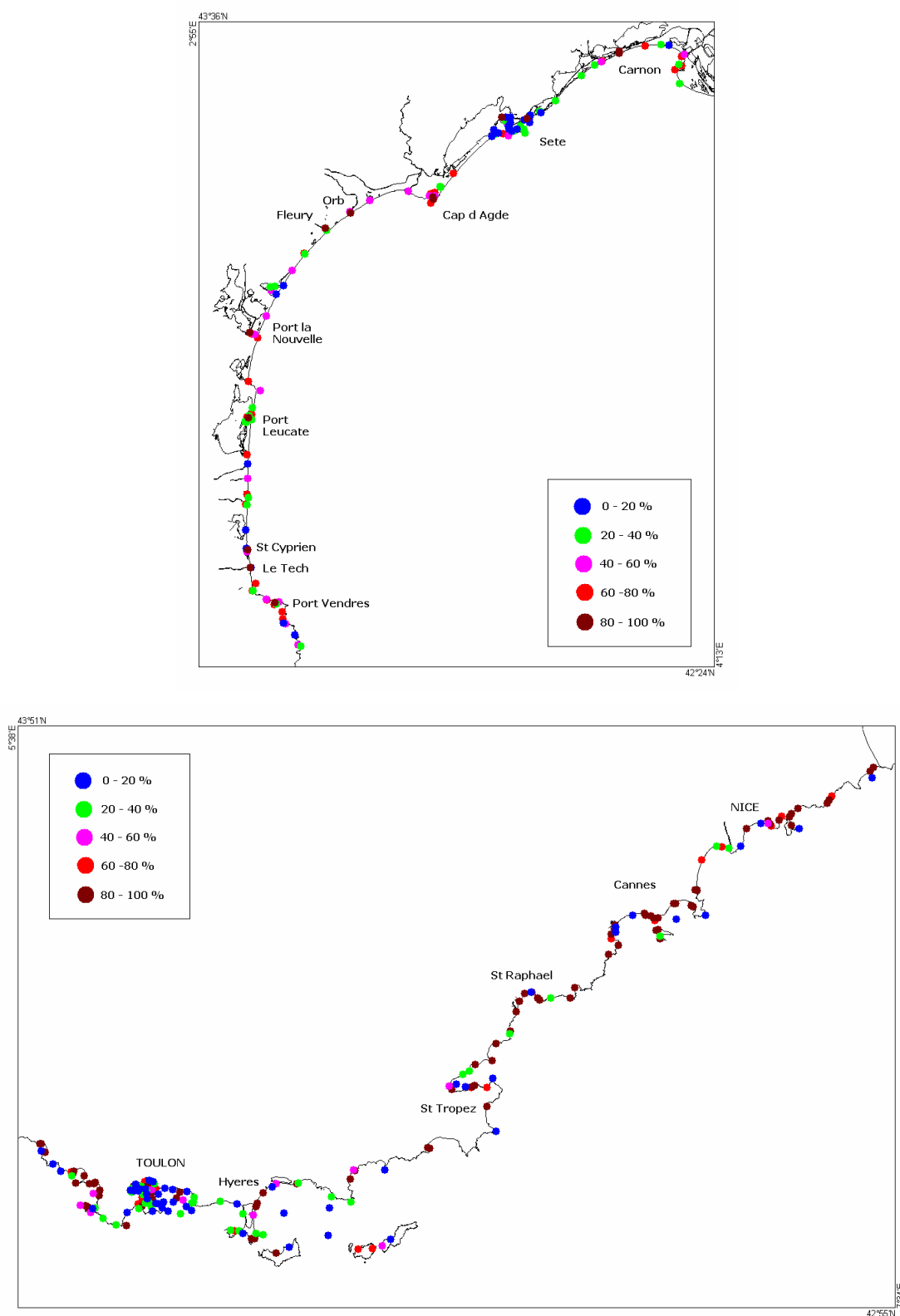


Figure 19: Synthèse des mesures de toxicité des sédiments des côtes du Var, des Alpes Maritimes, du Languedoc et du Roussillon. Localisation des sites par classes de toxicité des sédiments.

D'une manière générale on peut conclure que la toxicité sédimentaire est confinée à des zones très localisées. D'un point de vue méthodologique, la technique utilisée permet de discriminer des stations distantes de quelques centaines de mètres indiquant l'échelle d'utilisation possible de cette approche environnementale.

Les résultats donnent des bases scientifiques et techniques préalables à toute surveillance des effets toxicologiques des sédiments. Ils démontrent l'intérêt d'une telle approche :

- Mise en évidence et localisation d'effets toxicologiques ;
- Validation du test de mesure d'anomalies larvaires de mollusques dans d'autres secteurs et notamment dans les lagunes corses. Application potentielle à la surveillance des zones humides (lagunes, marais ...).
- Cohérence des mesures au regard des informations disponibles sur la présence de contaminants ;
- Faisabilité technique ;
- Intérêt économique lié à la nature des informations (anomalies du développement des mollusques) dans le contexte de la production conchylicole de Carreau ;
- Coûts limités au regard d'une surveillance des contaminants.

L'expérimentation a permis par ailleurs d'apporter des éléments en vue de définir les modalités d'une surveillance du littoral :

- Les zones les plus exposées doivent être prises en compte,
- La nature de la réponse permet d'envisager une surveillance avec un nombre réduit de points,
- L'existence de réseaux de surveillance (REPOM, RINBIO etc..) devrait permettre de disposer d'un support logistique déjà existant.
- La normalisation est réalisée (Norme AFNOR XP-T-90-382) et permet de disposer d'une référence méthodologique.

En effet, les techniques mises en œuvre peuvent faire l'objet de développements : étude approfondie de certains sites en vue d'une délimitation plus précise des effets toxiques (échantillonnage plus dense, mesure de toxicité par procédure de sédiments contact) ou mise en place de structure de surveillance de la toxicité des sédiments. L'identification des molécules responsables de la toxicité, étape ultérieure, doit faire l'objet de travaux plus conséquents afin de mieux comprendre les effets des contaminants.

5. Références bibliographiques

Andral B., Stanisiere JY., Damier E., Thebault H., Galgani F & Boissery (2004) Chemical contamination levels in the Mediterranean based on the use of mussel caging. *Mar Pollut. Bull.*, 49, 704-712.

Emmens, C.W. (1948). *Principles of biological assays*. Chapman and Hall. London, 205p.

His E, Heyvang I; Geffard O, De Montaudouin X (1999) A comparison between oyster (*Crassostrea gigas*) and sea urchin (*Paracentrotus lividus*) larval bioassays for toxicological studies. *Water Res.*, Vol. 33, no. 7, 1706-1718.

His E, Beiras R, Seaman M (1999) *The Assessment of Marine Pollution – Bioassays with Bivalve Embryos and Larvae*. *Advances in Marine Biology*, volume 37, 1-178. Academic Press, London, 178 p.

Galgani F, Chiffolleau JF, Orsoni V, Costantini L, Boissery P, Calendini, Andral B (2006) Chemical contamination and toxicity of sediments from coastal areas of Corsica islands, chemistry and ecology, Volume 22(4), 299 – 312.

Galgani F. (2007) *Evaluation de la toxicité globale des sédiments du littoral des bouches du Rhône par un bio essai : développement larvaire de l'huître creuse Crassostrea gigas en présence d'élutriats de sédiment, rapport IFREMER DOP/LER-PAC/07-06 (convention AERMC-Ifremer)*. 20 pages.

Galgani F. (2009) *Evaluation de la toxicité globale des sédiments du littoral des côtes de Méditerranée par un bio essai : Développement larvaire de l'huître creuse Crassostrea gigas en présence d'élutriats de sédiments, rapport IFREMER DOP/LER-PAC/09 (convention AERMC-Ifremer)*. 25 pages, sous presse.

Galgani F, J Senia, JL Guillou, T Laugier, F Munaron, B Andral, G. Bernard, E. Coulet, P Boissery, L. Brun & M Bertrand (2009) *Assessment of the environmental quality of french continental mediterranean lagoons with oyster embryo bioassay*. *Arch Env Cont Tox*, sous presse. (DOI 10.1007/s00244-009-9302-2)

Lillies FR (1921) *Studies on fertilization reaction in Arbacia and a composition on mercury effects*. *Biol. Bull.*, 41, 121-143.

Moriarty F (1990) *Ecotoxicology. The study of pollutants in Ecosystems*. Academic Press, London, 289 p.

Quiniou F, His E, Delesmont R, Caisey X, Thebaud MJ (2005) *Bio-indicator of potential toxicity in aqueous media: a bivalve embryo-larval development bioassay. Methodes d'analyse en milieu marin. Ifremer [Methodes Anal. Milieu Mar. Ifremer]*. 22 pp.

Galgani F. (2002). *Niveaux d'activité acétylcholinestérasique dans les moules de quelques lagunes de Languedoc-Roussillon. Rapport 2001, Réseau de Suivi Lagunaire du Languedoc-Roussillon*. 337-343. *Direction de l'Environnement et de l'aménagement Littoral, laboratoire côtier de Sète*. 7 p.



Prytherch HF (1924) Experiments in the artificial propagation of oysters. Rep. US com fish, 1923, XI, 14 p.

MEDD (2005) Surveillance de la qualité des eaux et des sédiments des ports maritimes de 1998 à 2004, suivi REPOM. (<http://www.ecologie.gouv.fr/Le-REPOM-Reseau-national-de.html>).

RNO 1998, Surveillance du milieu marin, Travaux du RNO, Edition 1998, Ifremer et Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement.

*Senia J, Galgani F (2003) Evaluation de la réponse globale des sédiments dans les lagunes languedociennes à un bioessai : Développement larvaire de l'huître creuse *Crassostrea gigas* en présence d'élutriats de sédiments. Rapport volet écotoxicologie du RSL, n° 16, pp 467-488. Ed. Ifremer, 2003. Réseau de Suivi Lagunaire du Languedoc-Roussillon : Bilan des résultats 2002. Rapport RSL-03/2003, 523 p.*

*Thain J., 1991. Biological effects of contaminants: oyster (*Crassostrea gigas*) embryo bioassay. ICES, Tech. mar. environm. Sci., 11, 1-12.*

Woelke CE (1967) Measurement of water quality with the Pacific oyster embryo bioassay. Water Quality Criteria, ASTM STP 416, Am. Soc. Testing Mats, 112-120.

*Woelke CE (1972) Development of a receiving water quality bioassay criterion based on the 48 hours pacific oyster (*Crassostrea gigas*) embryo. Washington dep fish tech rep., 9, 93*

