

Bilan des connaissances sur la qualité de l'eau dans la zone du polder conchylicole de Bouin

Projet LEAUPOLD



Canal d'alimentation du polder conchylicole de Bouin

Bilan des connaissances sur la
qualité de l'eau dans la zone du
polder conchylicole de Bouin

Projet LEAUPOLD

Fiche documentaire

Numéro d'identification du rapport : Diffusion : libre : <input checked="" type="checkbox"/> restreinte : <input type="checkbox"/> interdite : <input type="checkbox"/>		date de publication : 09/2015 nombre de pages : bibliographie : oui illustration(s) : oui langue du rapport : F
Validé par : Adresse électronique : Sylvie.Lapegue@ifremer.fr		
Titre de l'article		
Contrat n° Rapport intermédiaire <input type="checkbox"/> Rapport définitif <input checked="" type="checkbox"/>		
Auteur(s) principal(aux) : P.J. Hatt, C. Stavrakakis, V. Buchet, B. Dupuy		Organisme / Direction / Service, laboratoire IFREMER/RBE/SG2M/LSPC
Encadrement(s) :		
Cadre de la recherche :		
Destinataire : P. Fera (Agence de l'Eau Loire-Bretagne)		
Résumé <p>Le polder conchylicole de Bouin (Vendée) est le principal bassin français de production de naissains d'huîtres creuses issus d'écloseries. Depuis 2007, et malgré l'installation de dispositifs de traitement de l'eau, des anomalies dans les élevages voire des mortalités affectent la production des écloseries et nurseries du secteur, ainsi que celle de microalgues en grand volume d'une entreprise spécialisée. Les observations des professionnels orientent la recherche de la cause de ces mortalités sur les contaminants chimiques, notamment les pesticides utilisés par l'agriculture, dont les exploitations du polder agricole, qui jouxtent le polder conchylicole. Comme l'ont montré de nombreux travaux, certains de ces produits altèrent la qualité de l'eau de mer nécessaire aux élevages des huîtres, notamment en écloserie et nurserie.</p> <p>Afin d'apprécier l'évolution de la qualité de l'eau du polder, ce rapport centralise les publications et analyses d'eau (marine, douce, saumâtre, salée souterraine) ainsi que des observations faites depuis plusieurs années dans les élevages. En plus de l'activité agricole voisine au polder conchylicole, l'analyse des documents existants et des pratiques actuelles de gestion de l'eau alimentant le polder ont permis d'identifier deux autres causes possibles d'une dégradation de la qualité de l'eau. En effet, le polder est un exutoire pour certains étiers traversant des zones de maraîchage et des zones péri-urbaines présentes sur le bassin versant de la Baie de Bourgneuf. Par ailleurs, cette dernière est également soumise à l'influence du panache de la Loire (dans certaines conditions) qui peut être une source de contaminants chimiques.</p> <p>Ces informations devraient permettre de cibler au mieux les causes de ces anomalies dans les élevages, et de déterminer le bien-fondé et les composantes d'un suivi de la qualité de l'eau. Dans cette optique, les élevages conchylicoles et la production de microalgues seraient un indicateur de l'état écologique du polder.</p>		
Abstract		

Mots-clés

Bassin Loire-Bretagne, baie de Bourgneuf, environnement, conchyliculture, qualité de l'eau, pollution chimique, bassin versant, mortalité, zone côtière

Words keys

Loire-Bretagne district, Bourgneuf bay, environment, shellfish aquaculture, water quality, chemical pollution, watershed, mortality, coastal zone

Bilan des connaissances sur la qualité de l'eau dans la zone du polder conchylicole de Bouin : projet LEAUPOLD

Table des matières

Introduction	7
1 Méthodologie adoptée pour la réalisation de l'étude	9
2 Contexte géographique	10
2.1 Les entités physiques du bassin versant de la baie de Bourgneuf	10
2.2 Bassin versant	11
2.2.1 Topographie – Ruissellement des eaux de surface	12
2.2.2 Activités humaines	13
2.3 Baie de Bourgneuf	16
2.3.1 Topographie - Sédimentologie	16
2.3.2 Courantologie	19
3 L'accès des contaminants chimiques au polder conchylicole de Bouin	22
3.1 Sources potentielles de pesticides en provenance du bassin versant de la baie de Bourgneuf pour le polder de Bouin	22
3.2 Apports de contaminants chimiques de la Loire via la mer et via le Tenu	33
3.3 Evolution de certains contaminants chimiques dans la baie de Bourgneuf	34
3.3.1 Métaux	34
3.3.2 Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et polychlorobiphényles (PCB)	35
3.4 Contaminants chimiques dans la nappe salée souterraine	37
4 Effets des contaminants chimiques sur l'huître	38
4.1 Rappel sur les méthodes d'évaluation des effets de contaminants chimiques	38
4.2 Pesticides à effets directs connus	39
4.3 Effets transgénérationnels	39
4.4 Perturbateurs combinés	40
5 Observations faites par des établissements du polder	41
6 Conclusions	43
7 Sigles	45
8 Bibliographie	46
9 Annexes	50
Annexe 1 : Exemple de fiche de lecture	50
Annexe 2 : Manœuvres des écluses du port des Champs, du port du Bec et du Grand Pont. Observations sur les flux	52
Annexe 3 : Fiche de déclaration des anomalies observées dans les écloséries et nurseries du polder conchylicole de Bouin et sur l'île de Noirmoutier, utilisée depuis mars 2015	53
Annexe 4 : Membres du comité de pilotage	54

Les fiches de lecture des documents utilisés comme références pour la rédaction de ce rapport sont regroupées dans un rapport annexe.

Liste des figures

Figure 1 : Entités physiques du bassin versant de la baie de Bourgneuf (ADBVB, 2014a)	10
Figure 2 : Cours d'eau principaux du bassin versant de la baie de Bourgneuf (ADBVB, 2014c) ..	11
Figure 3 : Situation du polder conchylicole de Bouin, de l'amenée d'eau de mer et des exutoires étiers des Champs et du Dain (port des Champs et port du Bec).....	12
Figure 4 : Réseau hydraulique du bassin versant de la baie de Bourgneuf.....	13
Figure 5 : Parcelles agricoles sur le bassin versant de la baie de Bourgneuf (Registre Parcellaire Graphique 2012)	14
Figure 6 : Parcelles agricoles autour du polder conchylicole (Registre Parcellaire Graphique 2012)	15
Figure 7 : Vue aérienne de la baie de Bourgneuf, montrant les zones intertidales. Les flèches indiquent les exutoires de cours d'eau contrôlés par des écluses.	16
Figure 8 : Topographie de la baie de Bourgneuf (Lazure, 1992)	17
Figure 9 : Carte de répartition des sédiments de la baie de Bourgneuf (Gouleau 1975)	18
Figure 10 : Turbidité (mg.L^{-1}) en baie de Bourgneuf (a : image SPOT du 13/12/2005 à 11h ; b : résultats du modèle le même jour à la même heure).....	19
Figure 11 : Représentation schématique des courants dans la baie de Bourgneuf (Lazure, 1992)....	20
Figure 12 : Carte de la sensibilité des sols au ruissellement des produits phytosanitaires, dans le bassin versant de la baie de Bourgneuf. (rouge : sensibilité très élevée ; jaune : sensibilité moyenne ; bleu : sensibilité très faible) (Pierre et Colmar, 2009)	23
Figure 13 : Points de suivi sur le bassin de la baie de Bourgneuf. (ADBVB, 2012)	24
Les tendances générales de 2008 à 2013 sur ces trois points, pour l'ensemble des pesticides recherchés et pour les pesticides dont les concentrations sont les plus élevées sont illustrées dans les figures suivantes pour le canal de Haute Perche (Figure 15), le Falleron (Figure 17) et l'étier de Sallertaine (14).....	26
Figure 15 : Somme des pesticides au Pont du Clion sur le Canal de Haute-Perche ($\mu\text{g.L}^{-1}$). (ADBVB, 2014c).....	26
Figure 16 : Somme des pesticides au Port La Roche sur le Falleron ($\mu\text{g.L}^{-1}$). (DREAL Pays de la Loire).....	27
Figure 17 : Somme des pesticides à Maison Rousse sur l'étier de Sallertaine ($\mu\text{g.L}^{-1}$). (ADBVB, 2014c).....	27
Figure 18 : Concentration en cadmium et en plomb dans les huîtres prélevées sur le site de la Coupelasse (a) et de Graisseloup (b).....	34
Figure 19 : Concentration en mercure et zinc dans les huîtres prélevées sur le site de la Coupelasse (a) et de Graisseloup (b).....	35
Figure 20 : Evolution de la concentration en PCB dans les huîtres prélevées sur les sites de la Coupelasse et de Graisseloup.....	36
Figure 21 : Evolution de la concentration en HAP dans les huîtres prélevées sur les sites de la Coupelasse et de Graisseloup.....	36
Figure 22 : Mesure de la salinité de l'eau dans le canal d'amenée du polder de Bouin	41

Liste des tableaux

Tableau 1 : Points de prélèvement d'eau dans le bassin versant de la baie de Bourgneuf. Nombre des prélèvements pour le dosage des pesticides et période (mois de l'année).....	25
Tableau 2 : Evolution des concentrations des pesticides dans l'eau sur deux points du bassin versant de la baie de Bourgneuf, (ADBVB, 2014c)	26
Tableau 3 : Fréquence de détection des composés détectés en fonction du site et de la période. (ADBVB, 2014b et DREAL Pays de la Loire)	28
Tableau 4 : Liste des molécules détectées sur un ou deux des trois sites, avec leur fréquence de détection selon les périodes de suivi.	29
Tableau 5 : molécules détectées dans les eaux de la station Ifremer et sur trois cours d'eau du bassin versant.	31

Introduction

Dans le polder conchylicole de Bouin, l'eau de la nappe phréatique à faible profondeur est un milieu très favorable à la culture d'algues, notamment pour la diatomée planctonique *Skeletonema costatum*, utilisée comme fourrage pour les huîtres en écloserie et nurserie, ainsi que pour d'autres espèces de bivalves. Ce fut un élément déterminant pour l'implantation et le développement de nurseries et d'écloseries de mollusques, essentiellement l'huître creuse *Crassostrea gigas*. **Environ les deux tiers des naissains d'huîtres creuses produits en écloseries en France proviennent du polder et de Noirmoutier.** Une entreprise de production de microalgues destinées à l'industrie de la transformation y est aussi implantée.

Des mortalités inhabituelles et des anomalies atypiques sont constatées depuis 2007 dans des écloseries et nurseries ainsi que l'entreprise de production d'algues. Certaines ont été rapportées lors de l'enquête publique pour la révision du Sage de la baie de Bourgneuf en 2013 (Gilbert et col., 2013). Lors de ces épisodes, les productions sont affectées de manière très significative.

Les observations rapportées par écrit lors de la révision du Sage en 2013 puis verbalement par certains établissements indiquent pour :

- l'huître en écloserie : des embryogenèses bloquées ou anormales, des mortalités de larves à tous les âges entre l'éclosion et la métamorphose, toujours brutales,
- l'huître en nurserie : des arrêts rapides de croissance, des changements de couleur des huîtres et des mortalités fortes et brutales,
- certaines cultures de microalgues en grand et petit volume : mortalité rapide et totale,
- les macroalgues dans les bassins de réserve d'eau de mer : des mortalités rapides.

Ces observations sont faites par plusieurs entreprises au même moment, sur des larves ou des naissains issus d'huîtres d'origines différentes, nourris avec des algues produites par chaque entreprise, et/ou sur des microalgues fourrage pour les élevages et/ou sur les macrophytes présentes dans les bassins de réserve d'eau de mer. Les pratiques aquacoles étant très diverses d'un établissement à un autre, le seul facteur commun qui peut être considéré dans ces désordres est l'eau de mer. **Ces constats permettent d'émettre l'hypothèse que la qualité de l'eau de mer entrant dans le polder est, ponctuellement, défavorable voire inadaptée aux élevages.**

Par ailleurs, concernant les écloseries, l'installation de dispositifs de traitement de l'eau en amont des élevages larvaires s'est généralisée du fait de la présence dans le milieu naturel d'agents pathogènes tel que le virus OsHV-1 identifié comme le responsable de fortes mortalités d'huîtres de moins d'un an (Renault, 1998). **Une désinfection par rayonnement UV des eaux entrant dans la plupart des écloseries est réalisée pour protéger les élevages, excluant ainsi toute suspicion de pollution biologique.** Quant aux nurseries, les observations faites sur les élevages et notamment le changement de la couleur des coquilles et des arrêts de croissance ne permettent pas non plus d'envisager une pollution biologique. Enfin, la présence d'un polder agricole utilisé par une agriculture intensive, consommatrice de pesticides, tout autour du polder conchylicole, a logiquement conduit les acteurs de ce dernier à poser la question de la présence de contaminants chimiques néfastes pour les élevages dans l'eau qui les alimente.

Au-delà de l'impact négatif d'une dégradation de la qualité de l'eau sur la conchyliculture à Bouin, la question se pose plus largement d'une détérioration de tout un écosystème littoral. En effet la Directive Cadre sur l'Eau 2000/60/CE, adoptée le 23 octobre 2000 (DCE), vise à prévenir et réduire la pollution de l'eau, promouvoir son utilisation durable, protéger l'environnement, améliorer l'état des écosystèmes aquatiques et atténuer les effets des inondations et des sécheresses (elle inclut dans son champ les eaux côtières ainsi que les eaux dites de transition : lagunes, estuaires, etc.). Au niveau local, il faut noter que le polder est situé sur une zone Natura 2000 dont le suivi est réalisé par l'Association pour le Développement du Bassin Versant de la Baie de Bourgneuf (ADBVB). La zone comprend un Site d'Intérêt Communautaire (SIC) FR 5200653 relatif à la Directive « Habitats »

et une « Zone de Protection Spéciale (ZPS) FR 5212009 relative à la Directive « Oiseaux » où la question des plans d'eau, des marais et du milieu marin est centrale. **Si une dégradation de l'eau du polder conchylicole est avérée, c'est l'écosystème dans son ensemble qui pourrait être impacté.**

Dans ce contexte, la dégradation d'indicateurs biologiques tels que la survie des larves d'huîtres et de certaines microalgues sur le polder conchylicole de Bouin nous incite à réaliser une analyse des informations existantes dans le but de définir des mesures de suivi pertinentes permettant d'identifier les raisons de ces perturbations. Devant le peu d'études concernant directement le périmètre seul du polder de Bouin et face à l'omniprésence de l'agriculture à proximité directe du polder et des cours d'eau qui l'alimentent, l'étude s'est naturellement orientée sur les contaminants chimiques et leur possible transfert depuis les terres agricoles vers la zone ostréicole, mais aussi des autres sources potentielles, notamment les zones urbaines et péri-urbaines.

C'est pourquoi le présent document établit un bilan des connaissances sur l'origine et la qualité de l'eau dans la zone du polder de Bouin, avec une attention particulière portée sur les contaminants chimiques.

Pour tenter d'identifier les causes d'une dégradation de la qualité de l'eau sur le polder conchylicole de Bouin, et donc de vérifier l'intérêt d'y mettre en œuvre un suivi de la qualité de l'eau, la démarche suivante a été proposée :

- analyser et synthétiser les publications qui concernent la qualité de l'eau dans le secteur géographique de la baie de Bourgneuf ;
- recenser les analyses d'eau effectuées ces dernières années sur le polder et dans les eaux alimentant le polder : eau douce de surface, eau de mer, eau salée souterraine, eaux saumâtres, etc.
- analyser si possible les pratiques agricoles présentes autour du polder ostréicole ;
- consolider les observations faites par les différents acteurs du polder ;
- si la pertinence d'un suivi de la qualité de l'eau est confirmée, identifier les principaux paramètres qui devront être contrôlés.

Dans la suite du document, sauf mention particulière le terme "polder de Bouin" désigne le polder conchylicole.

1 Méthodologie adoptée pour la réalisation de l'étude

Le polder de Bouin est alimenté par les eaux de la baie de Bourgneuf qui sont sous l'influence du panache de la Loire, sous certaines conditions climatiques, et des eaux provenant du bassin versant de la baie de Bourgneuf. Leur qualité dépend en grande partie des activités présentes dans ce bassin versant et de ses aménagements.

La première étape de cette étude consiste en un **bilan des connaissances sur le contexte géographique du bassin versant et sur la baie de Bourgneuf**. Dans ce but, une étude bibliographique a été réalisée afin de mieux comprendre les connexions entre le polder de Bouin et les territoires qui l'entourent et de décrire la topographie et les courants dans la baie de Bourgneuf. Toutes ces informations ont donc été rassemblées au sein d'une première partie qui analyse le contexte géographique dans lequel se situe le polder de Bouin et les activités humaines du bassin versant.

Une seconde étape a pour objectif de **présenter les connaissances actuelles sur la présence éventuelle de contaminants chimiques dans le périmètre de l'étude**. La possibilité d'une contamination chimique du polder y est recherchée en s'appuyant sur les données recueillies par un suivi de la qualité de l'eau dans le bassin versant, réalisé depuis plusieurs années en différents points ; les résultats de ce suivi ont été utilisés dans cette étude. La qualité de l'eau de la baie de Bourgneuf est également surveillée en deux points de la baie à l'aide d'analyses d'huîtres utilisées pour leur « qualité » de capteurs de contaminants chimiques, permettant d'évaluer leur présence et/ou les niveaux de concentration.

Dans une troisième étape, **les effets connus de contaminants chimiques sur les huîtres sont décrits**, sur la base des publications disponibles ; ceci permet d'évaluer l'hypothèse de leur rôle privilégié dans les anomalies observées dans les élevages. Les effets des autres paramètres de l'environnement sont pris en compte, notamment les variations parfois brutales de certains paramètres physico-chimiques de l'eau et la charge en sédiments fins dans l'eau.

Enfin, une dernière étape tente de **consolider les observations faites par quelques acteurs du polder** ayant signalé des épisodes de développement et/ou de mortalité « atypique » au sein de leurs établissements. Pour ce faire, l'équipe en charge de l'étude s'est rapprochée de ces mêmes acteurs en vue de vérifier la cohérence et la corrélation entre les différentes déclarations recueillies. Sont aussi rappelés les suivis réalisés par l'éclusier du polder et le Smidap en 2013 et 2014, sur la qualité de l'eau de mer entrant dans le polder, et la relation établie avec des anomalies constatées dans certains établissements et déclarées au Smidap.

Les études qui ont servi de base à ce rapport sont celles faites pour le Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (Sage, http://www.baie-bourgneuf.com/?page_id=45) de la baie de Bourgneuf et le programme sur la GEstion globale des Ressources marines et des Risques dans les espaces Côtiers (Gerrico, 2010a), conduit par l'Ifremer et l'Université de Nantes de 2007 à 2010 sur financement de la Région Pays de la Loire. Des publications dans des revues scientifiques ont aussi été sources d'informations ; mais ce rapport n'est pas une revue complète de la bibliographie sur les différents points traités. Malgré tout, plus de cent publications ont été lues et analysées dont une cinquantaine a fait l'objet de fiches de lectures au regard de leur intérêt pour l'étude. Un exemple de fiche est présenté en Annexe 1. Enfin, un entretien a été réalisé directement avec un responsable afin de recueillir des informations précises sur la gestion de l'eau alimentant le polder et celle qui en est faite par les utilisateurs. Un comité de pilotage a suivi cette étude (liste de ses membres en Annexe 4).

A noter que sur l'île de Noirmoutier, existent également des écloséries et nurseries, sur le Terrain Neuf ; leur environnement présente des points communs. Elles peuvent être des éléments de comparaison, permettant de préciser les causes potentielles de perturbation des élevages de larves et de naissains d'huîtres et des cultures d'algues et ont donc été prises en compte dans la présente étude.

2 Contexte géographique

Le polder de Bouin est situé sur la rive est de la baie de Bourgneuf, en limite du marais Breton, sur la commune de Bouin. Il se trouve entre les exutoires de l'étier des Champs (au nord) et de l'étier du Dain (au sud) tous les deux alimentés par le Falleron qui débouche dans la baie de Bourgneuf au nord du polder.

2.1 Les entités physiques du bassin versant de la baie de Bourgneuf

Cinq entités physiques sont distinguées par le Sage du Marais Breton et du bassin versant de la baie de Bourgneuf :

- marais doux
- marais salés
- dunes
- estran vaseux
- bocage dans la zone amont du bassin versant.

Leurs positions sont données par la carte ci-dessous, sur laquelle est indiquée la position du polder de Bouin. Les zones urbanisées sont aussi indiquées sur cette carte.

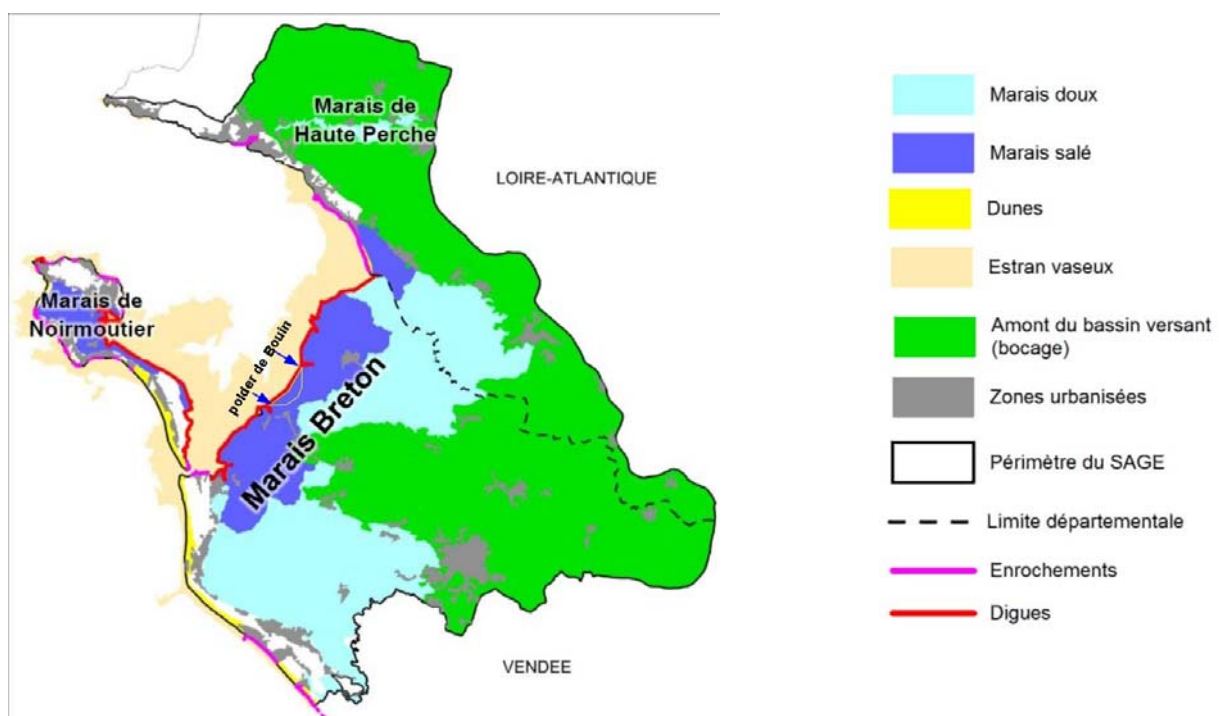


Figure 1 : Entités physiques du bassin versant de la baie de Bourgneuf (ADBVB, 2014a)

2.2 Bassin versant

Le polder est à mi-distance des exutoires des principaux cours d'eau du bassin versant de la baie, le Falleron au nord et les étiers de Sallertaine et de la Taillée au sud. Le Falleron est alimenté en été par les eaux de la Loire, via le canal du Tenu qui débouche dans le Falleron à Machecoul.



Figure 2 : Cours d'eau principaux du bassin versant de la baie de Bourgneuf (ADBVB, 2014c)

Ce polder est alimenté en eau de mer par deux prises d'eau, au nord et au sud, chacune commandée par une écluse. A marée haute les écluses sont ouvertes à pleine mer, pendant deux à quatre heures suivant le coefficient de marée, 5 à 6 jours par semaine ; l'eau est distribuée par gravité aux établissements du polder par un canal principal sur sa rive est et des canaux secondaires. Le canal principal est coupé en son milieu par une écluse, maintenue généralement fermée, qui sépare donc les eaux alimentant la partie Nord et la partie Sud du polder.

A proximité immédiate de chaque écluse débouchent l'étier des Champs au nord et l'étier du Dain au sud ; alimentés par le Falleron, ils drainent les eaux de la partie centrale du marais breton. Leurs débouchés en mer, respectivement au port des Champs et au port du Bec, sont fermés chacun par une écluse, ouverte à marée basse.



Figure 3 : Situation du polder conchylicole de Bouin, de l'amenée d'eau de mer et des exutoires étiers des Champs et du Dain (port des Champs et port du Bec)

2.2.1 Topographie – Ruissellement des eaux de surface

Les flux d'eau douce dans la baie se font principalement par le ruissellement des eaux de surface, directement lié à la topographie. Ces eaux douces sont amenées jusqu'au littoral par un réseau de rivières et d'étiers.

Il est possible de distinguer deux entités dans la topographie du bassin versant qui entoure le polder : les zones basses et plates, et les terres hautes. Chacune correspond à un écoulement différent des eaux. Dans les zones basses, les canaux (étiers) forment un réseau imbriqué dont le bon fonctionnement dépend entièrement de l'entretien par l'homme. Le réseau de ces étiers comporte trois niveaux ; les deux premiers sont sous la responsabilité d'associations syndicales de propriétaires ; le troisième représente environ 80% du linéaire et il est sous la responsabilité individuelle des propriétaires des terrains. Dans ces zones, les eaux sont stagnantes pendant une bonne partie de l'année ; les canaux sont maintenus "en eau" grâce à des apports d'eau de la Loire par le canal du Tenu. Dans les terres hautes, les eaux s'écoulent dans des cours d'eau formant un réseau en éventail. L'eau y circule plus ou moins vite et toujours dans le même sens ; mais en période de sécheresse prolongée certains cours d'eau sont asséchés. Les têtes du bassin versant comportent des zones humides. La densité du réseau hydraulique est donnée par la carte ci-dessous (Figure 4) (source ADBVBB, 2015).

Réseau hydraulique du bassin versant de la baie de Bourgneuf

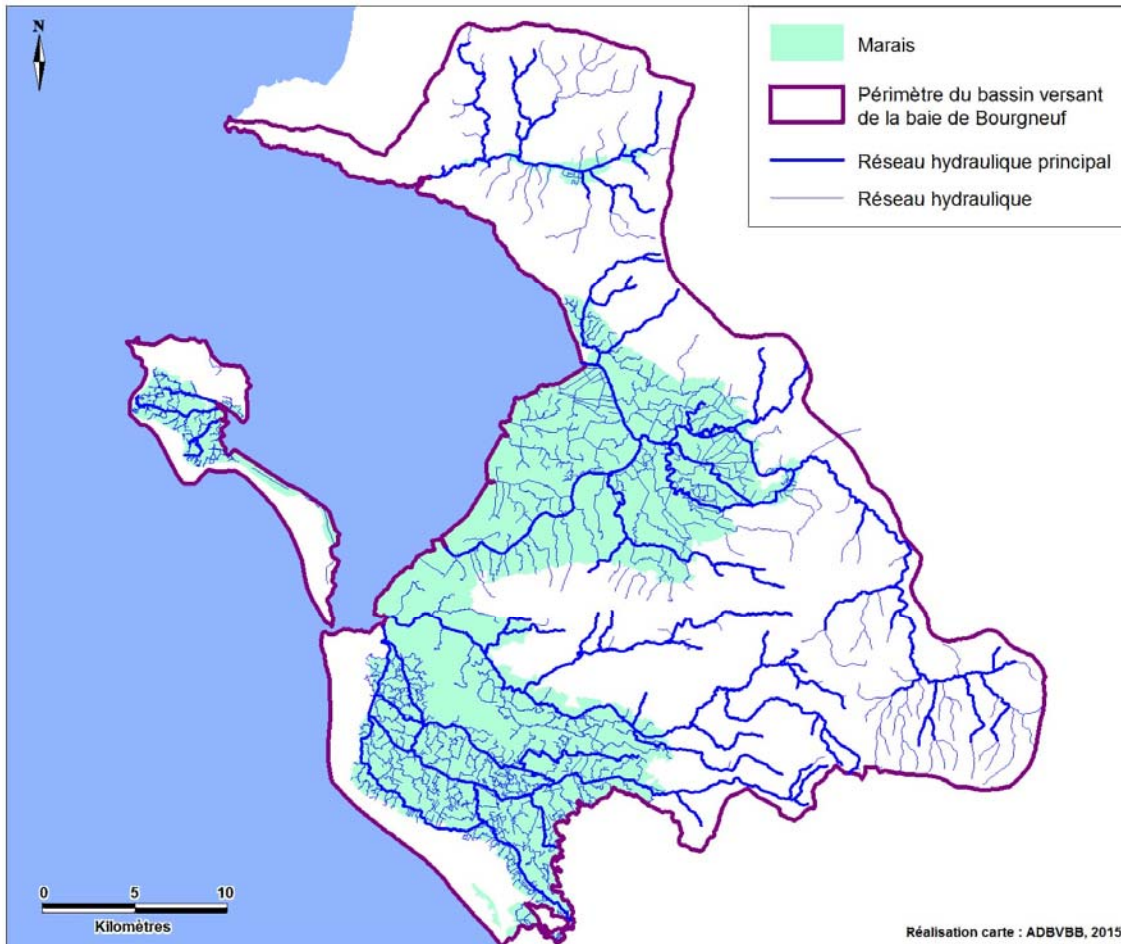


Figure 4 : Réseau hydraulique du bassin versant de la baie de Bourgneuf

La partie Nord du bassin versant de la baie est drainée par le canal de Haute Perche dont l'exutoire en mer est à Pornic. C'est une zone de terres hautes vallonnées.

Le rapport d'évaluation environnementale du Sage (Association pour le Développement du Bassin Versant de la baie de Bourgneuf, ADBVBB, 2014a) approuvé le 3 février 2014 par la Commission Locale de l'Eau (Cle), conclut que les mesures prises pour améliorer le bon fonctionnement hydraulique des cours d'eau concourent à l'amélioration de leur qualité écologique. Mais dans le marais, l'amélioration du bon fonctionnement du réseau tertiaire est plus difficile à obtenir ; son entretien est à la charge des exploitants des terrains drainés par ce réseau. **Mais l'entretien de ce réseau tertiaire est insuffisant et son état jugé mauvais pour une part majoritaire, or il représente 80% du linéaire total des étiers.**

2.2.2 Activités humaines

Les premières sources de contaminants sont les activités humaines, qu'elles soient relativement éloignées du polder de Bouin ou non (Gerrico, 2010b). Parmi les activités présentes sur le bassin versant (ADBVBB, 2014a), l'agriculture occupe la plus grande place. Les exploitations agricoles sont en majorité de type polyculture-élevage de bovins. Le nombre d'exploitations agricoles a diminué (environ 1 400 en 2004 et 900 en 2010) ; la baisse de la surface agricole utile (SAU) est plus faible (environ 73 000 ha en 2004 et 57 000 ha en 2010), ce qui entraîne une augmentation de la surface moyenne des exploitations. Cependant, dans les communes autour du polder de Bouin, les surfaces agricoles ont peu évolué.

Dans les zones humides l'élevage bovin extensif est l'activité majoritaire. Les cultures (maïs, soja, ...) dominantes dans les zones hautes sont en développement dans certaines parties du marais, particulièrement les polders, dont ceux en périphérie immédiate du polder conchylicole. La culture maraîchère, dans les zones hautes et un peu dans les zones humides, occupe une place importante sur les communes de Machecoul et de Challans. Dans une zone limitrophe du bassin versant, qui borde le canal d'aménée des eaux de la Loire vers le Falleron, la culture maraîchère très intensive a eu un développement très important au cours des dernières décennies. Sur les cantons du bassin versant de la baie de Bourgneuf, la surface consacrée au maraîchage est passée de 900 ha environ à plus de 1 300 ha, de 2000 à 2010 (Recensement agricole 2010). Cette augmentation a été plus particulièrement forte sur le canton de Machecoul (626 à 902 ha) ; elle a été aussi sensible sur les cantons de Bourgneuf-en-Retz (162 à 208 ha) et Challans (33 à 77 ha). L'élevage de volailles et de lapins représente également une part non négligeable des exploitations agricoles, en particulier sur la commune de Challans. Les deux cartes ci-dessous donnent la répartition des principaux types d'agriculture pour l'année 2012 sur l'ensemble du bassin versant de la baie de Bourgneuf (Figure 5) et sur la zone entourant le polder conchylicole de Bouin (Figure 6) (Source ADBVBB, 2015). Il faut prendre en compte le maraîchage important dans la zone du département de Loire-Atlantique qui borde le nord du bassin versant de la baie de Bourgneuf. Elle est drainée par le canal du Tenu qui alimente en été le marais Breton via le Falleron (voir supra §§ 2.2.1). A noter que **l'agriculture consomme 90% des pesticides vendus en Région Pays de la Loire** (DRAF-SRAL, 2014).

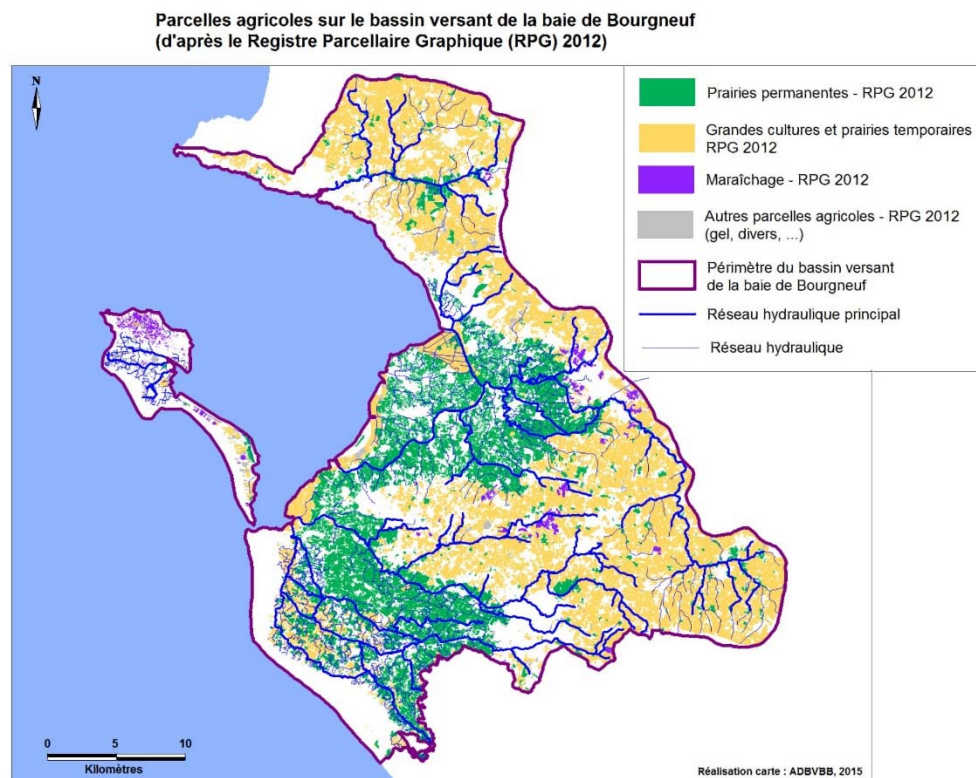


Figure 5 : Parcelles agricoles sur le bassin versant de la baie de Bourgneuf (Registre Parcellaire Graphique 2012)

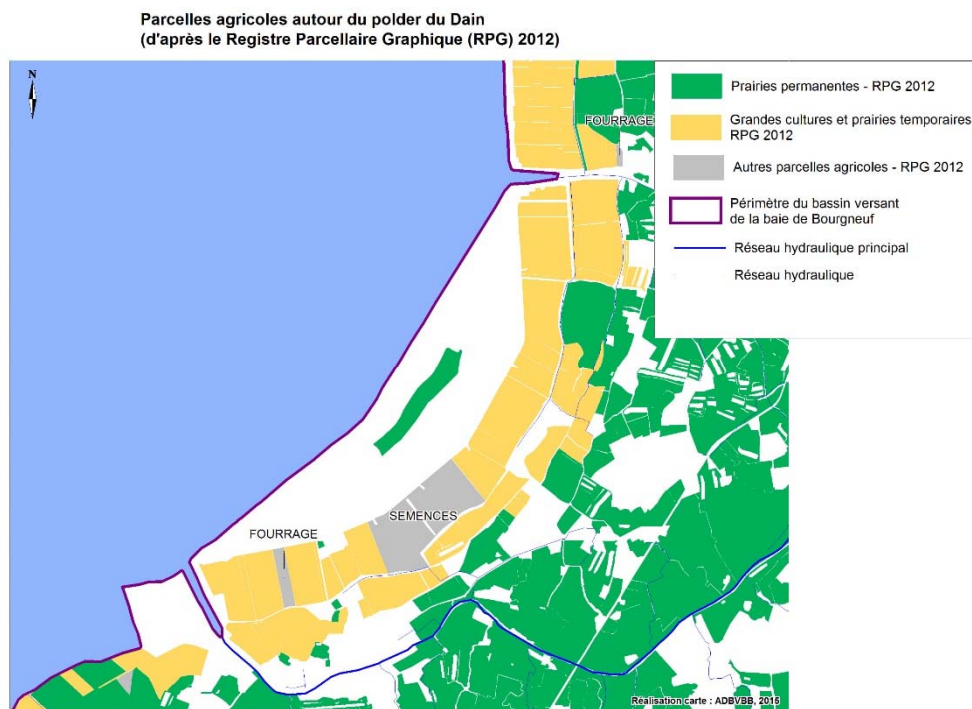


Figure 6 : Parcelles agricoles autour du polder conchylicole (Registre Parcellaire Graphique 2012)

Cependant, la place de l'agriculture est progressivement réduite par une urbanisation et une périurbanisation croissantes, sur plusieurs zones du bassin versant : +17% de 1999 à 2007 sur l'ensemble du bassin versant (maximum +55% pour Saint-Urbain ; minimum 0 à -5% pour plusieurs communes), avec une perspective de +26% de 2007 à 2040 d'après l'Insee (ADBVBB, 2014a). Cette urbanisation, cette périurbanisation et des activités industrielles se concentrent principalement sur les terres hautes et les zones humides autour des agglomérations de Challans et Beauvoir-sur-Mer (ADBVBB, 2014a). Le nombre d'emplois dans les secteurs d'activités de l'agroalimentaire, la construction et entretien de bateaux de plaisance, la mécanique et les services divers, est relativement faible par comparaison avec l'ensemble de la Région Pays de la Loire. Néanmoins l'accroissement de l'urbanisation est en partie lié au développement de ces activités. Mais il est aussi lié à la création de logements pour des personnes travaillant dans des agglomérations situées en dehors du bassin versant (Nantes, La Roche/Yon, ...).

Les activités de loisirs ont entraîné une augmentation importante du nombre des résidences secondaires et des campings, en majorité à proximité du littoral, tous occupés en été : la population sur l'île de Noirmoutier et les communes littorales du pays de Monts est multipliée par 7 (CDT de la Vendée, Schéma d'Aménagement Touristique Départemental 2004-2010, cité dans ADBVBB, 2014a).

Comme sur l'ensemble du littoral français, l'urbanisation et la périurbanisation sont aussi en partie liées à l'arrivée de retraités, principalement sur le littoral.

Dans la partie Nord du bassin versant et sur l'île de Noirmoutier, l'évolution est similaire à celle observée sur l'ensemble du littoral Atlantique. Mais, hormis ces zones, les cartes de densité de population et d'occupation des sols par les logements montrent qu'elles sont inférieures à la moyenne du littoral Atlantique (Observatoire national de la mer et du littoral, données Insee 2010 et 2006).

Toutes ces activités contribuent à la détérioration de la qualité de l'eau, de manières très diverses et avec des intensités très variables.

2.3 Baie de Bourgneuf

Cette baie est largement ouverte au nord, donc sous l'influence de la Loire, et au sud elle présente une ouverture limitée à un goulet au niveau de Fromentine (Figure 7).

2.3.1 Topographie - Sédimentologie

Cette baie est relativement peu profonde, au plus 15 m dans son ouverture nord ; l'intertidal représente une part importante de la surface, favorable à la conchyliculture et à la pêche à pied. La photographie satellitaire (Figure 7) montre la topographie générale de la baie de Bourgneuf et le schéma topographique (Figure 8) en précise les éléments maritimes.

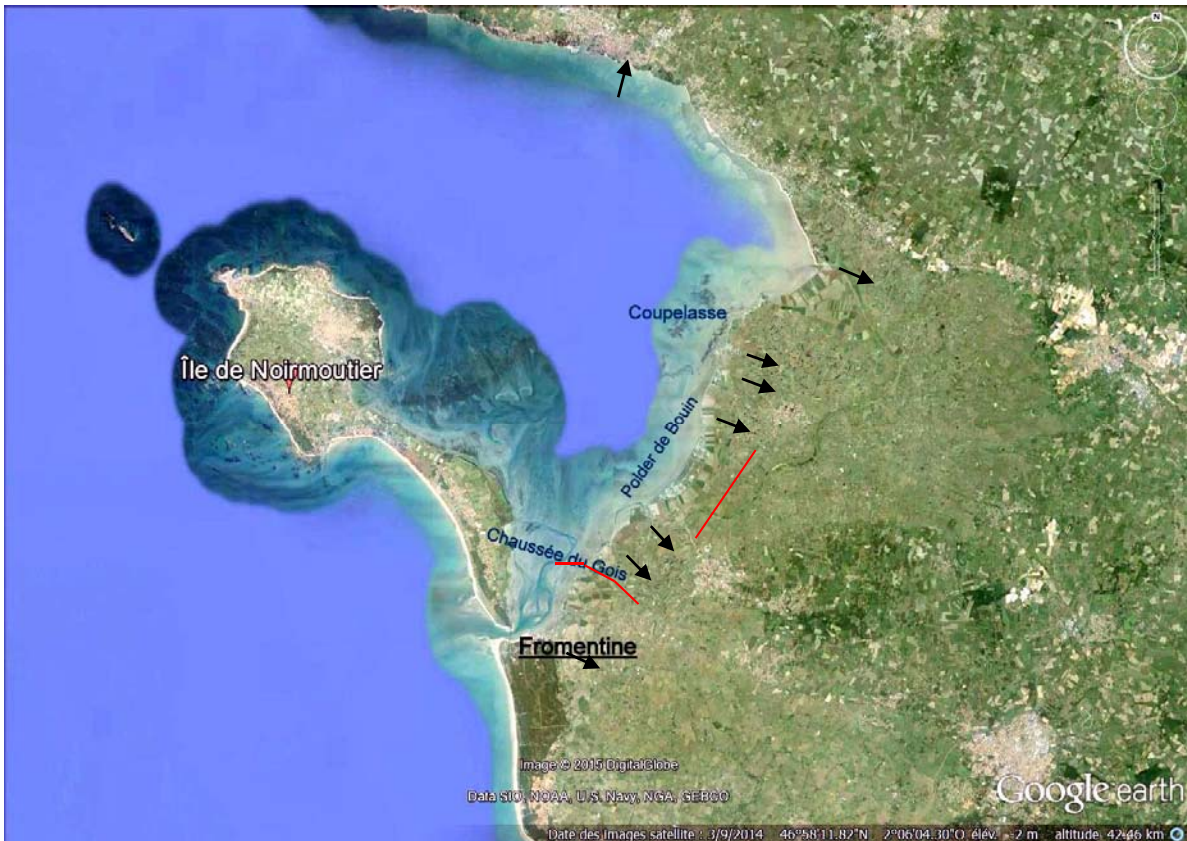


Figure 7 : Vue aérienne de la baie de Bourgneuf, montrant les zones intertidales. Les flèches indiquent les exutoires de cours d'eau contrôlés par des écluses.

La sédimentologie de la baie est caractérisée par une part importante de substrat meuble (Figure 9)

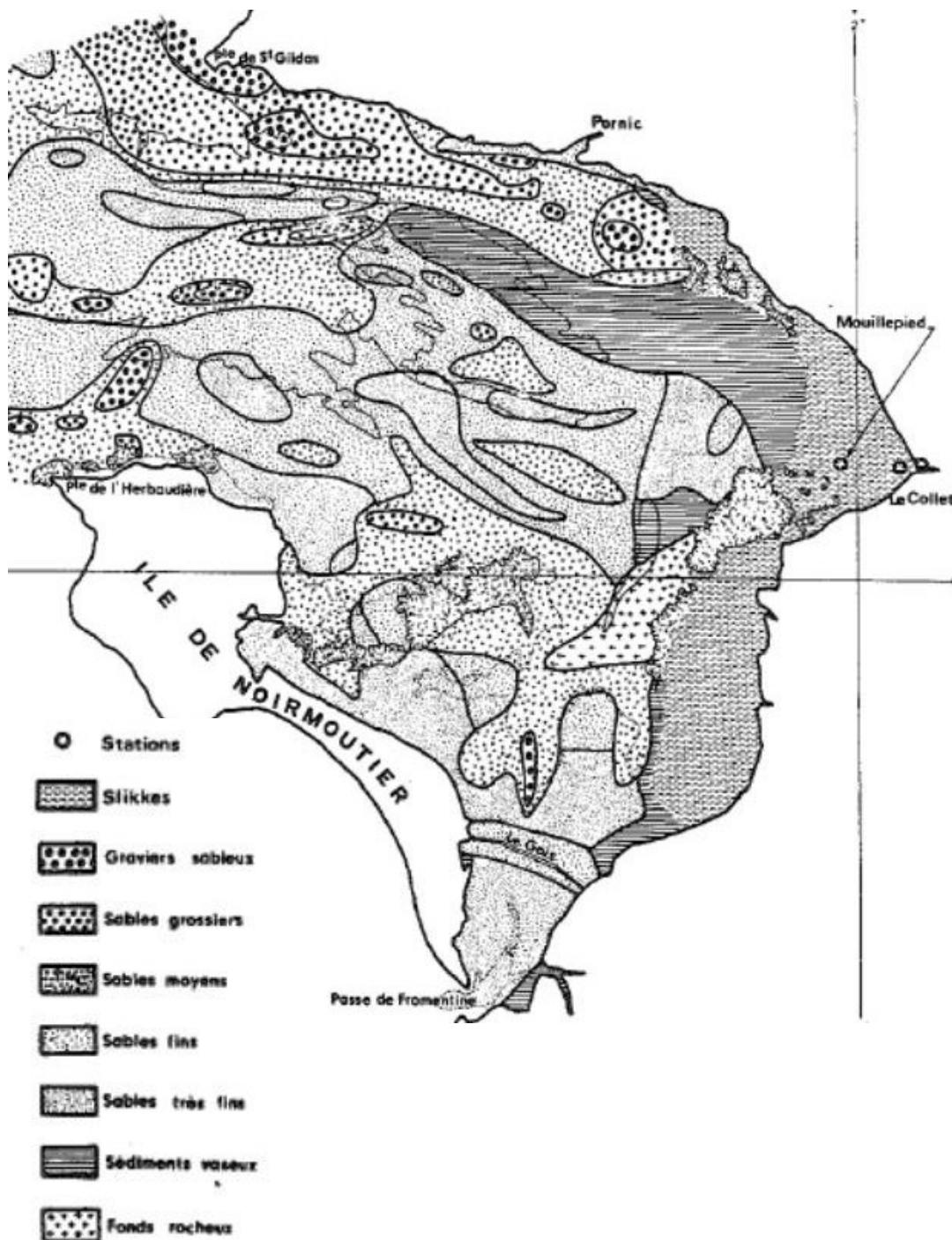


Figure 9 : Carte de répartition des sédiments de la baie de Bourgneuf (Gouleau 1975)

La turbidité des eaux, très importante (Gerrico, 2010b ; Sanchez, 2008), est liée à la remise en suspension du sédiment argileux des vasières et à des apports sédimentaires externes. La charge en seston a été mesurée dans le Nord de la baie = 150 mg.L^{-1} (Barillé-Boyer et col., 1997). La turbidité est plus particulièrement marquée sur les zones intertidales, notamment celles proches du polder de Bouin avec des valeurs supérieures à 250 mg.L^{-1} (Figure 10, Gerrico, 2010b).

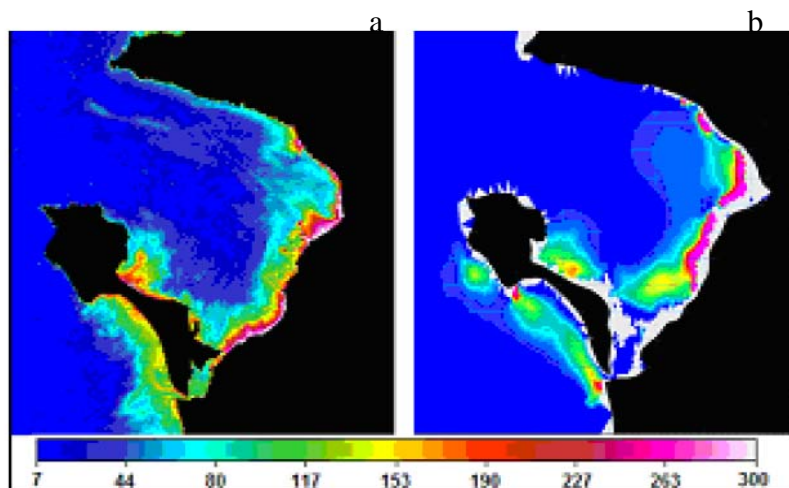


Figure 10 :Turbidité (mg.L⁻¹) en baie de Bourgneuf (a : image SPOT du 13/12/2005 à 11h ; b : résultats du modèle le même jour à la même heure)

Les apports externes proviennent essentiellement de la pénétration du bouchon vaseux de la Loire dans la baie de Bourgneuf par son ouverture nord sous certaines conditions météorologiques et de coefficient de marée. Ceci a été bien observé lorsque des crues de la Loire coïncidaient avec de faibles coefficients de marée (Barillé-Boyer et col., 1997). La sédimentation dans la baie a été évaluée à 0,3-0,5 m par an, avec un maximum de 1 m par an devant le port des Brochets (Schéma de mise en valeur de la mer, baie de Bourgneuf, 1994, cité dans Barillé-Boyer et col., 1997). Mais d'autres études concluent à un engraissement moyen de 2 mm par an sur l'ensemble de la baie de Bourgneuf (Sanchez, 2008), avec un maximum de 1 cm par an sur les vasières du Nord de la baie (Barillé-Boyer et col. 1997).

La population algale benthique est très importante, macroalgues dans les zones d'estran rocheux de la baie, mais surtout phytobenthos dans les zones d'estran meuble. Ce phytobenthos est remis en suspension par les vents d'ouest. Il représente une part importante de l'alimentation des huîtres en élevage et des autres filtreurs benthiques (Barillé-Boyer et col., 1997 ; Dutertre et col., 2009 ; Barillé et col., 2011).

2.3.2 Courantologie

Les courants dominants : l'eau océanique entre principalement dans la partie nord de la baie, circule dans la partie est avant de remonter le long de l'île de Noirmoutier. Cette circulation est bien décrite par les modèles hydrodynamiques de l'Ifremer (Lazure, 1989 et 1992) qui aboutissent à distinguer sept secteurs dans la baie de Bourgneuf (Figure 11) dont deux concernent directement le polder de Bouin :

n°4 : ce secteur « se situe dans l'axe du chenal du Dain. Il représente la zone de renouvellement la plus rapide puisqu'une masse d'eau le traversera en 2 à 4 jours suivant le coefficient de marée. Le vent aura pour principale action de faire varier ce temps de résidence et de modifier la provenance des eaux de ce secteur. Les vents d'ouest provoqueront une alimentation en eau par l'est plutôt que par le secteur central de la baie. » (Lazure, 1992).

n°7 : ce secteur « représente toute la bande côtière de l'est de la baie. Les très faibles courants résiduels induisent des temps de résidence importants en l'absence de vent. Cette zone est donc très sensible à la qualité des eaux apportées par le canal de Haute Perche et l'étier du Falleron en période de calme. » (Lazure, 1992).

quelques jours il n'existe donc pas de schéma unique pour la circulation. Ceci est essentiel pour la qualité des eaux marines qui bordent le polder de Bouin.

Ces modèles permettent d'évaluer l'advection-dispersion des eaux douces des principaux cours d'eau qui drainent le bassin versant de la baie de Bourgneuf (Gerrico 2010b).

Les eaux provenant du canal de Haute-Perche (rive nord de la baie) restent confinées près de la côte. Les courants de flot poussent le panache vers le sud-est et les courants de jusant vers le nord-ouest. Les effluents de la partie Nord du bassin versant de la baie ont donc une probabilité faible d'atteindre le polder de Bouin.

Le panache du Falleron est peu dilué, du fait d'un fort confinement : le mouvement de flux et reflux ramène la majeure partie du panache dans la zone de l'estuaire. Mais la circulation générale le pousse vers le sud.

Le panache de l'étier du Dain, à pleine mer, est collé à la côte et poussé vers le sud, puis au jusant il est éjecté par le goulet de Fromentine. Mais si le vent est du secteur sud, l'évacuation est fortement retardée et le panache est poussé vers le nord.

L'étier de Sallertaine débouche au sud du Gois ; en règle générale son panache est en grande partie évacué par le goulet de Fromentine. Mais lors du flot, le courant de marée le repousse vers le nord et il peut atteindre le polder de Bouin.

En conclusion, l'influence des eaux de la Loire est limitée à certaines conditions, ainsi que celle des cours d'eau du nord de la baie. Mais les effluents du Falleron, directement ou via les étiers des Champs et du Dain, et des étiers de Sallertaine et de la Taillée ont donc une probabilité forte d'atteindre le polder de Bouin. La partie Sud du polder de Bouin est dans une zone de renouvellement rapide puisqu'une masse d'eau le traverse en 2 à 4 jours suivant le coefficient de marée. Le vent a pour principale action de faire varier ce temps de résidence et de modifier la provenance des eaux de ce secteur. Les vents d'ouest provoquent une alimentation en eau par l'est plutôt que par le secteur central de la baie.

La partie Nord du polder de Bouin est dans une zone où les très faibles courants résiduels induisent des temps de résidence importants en l'absence de vent. Cette zone est donc très sensible à la qualité des eaux apportées par le Falleron et l'étier des Champs, en période de météo calme. **Au regard des éléments exposés dans le paragraphe précédent (§§ 2.2), et notamment la présence majoritaire de l'agriculture, mais aussi l'urbanisation, sur les territoires à proximité directe des étiers qui accèdent au polder de Bouin, l'hypothèse d'une contamination chimique des cours d'eau a été envisagée.** C'est pourquoi la suite de l'étude tente d'apporter des éléments permettant de vérifier cette hypothèse en se concentrant sur le recueil de données relatives aux contaminants chimiques et particulièrement aux pesticides.

3 L'accès des contaminants chimiques au polder conchylicole de Bouin

L'alimentation en eau de mer du polder est contrôlée par une écluse au nord et une au sud, chacune à une des extrémités d'un canal qui borde le polder conchylicole à l'est. Elles sont éloignées de 4 kilomètres. Le canal est fermé au centre par une écluse ; la moitié Nord et la moitié Sud sont donc distinctes. La qualité de l'eau peut donc y être différente. L'entrée d'eau est réglée par l'ouverture des écluses, en fonction de la marée. L'évacuation se fait par un canal dont les exutoires sont mitoyens des entrées ; l'évacuation se fait à marée basse par ouverture des écluses.

Ces deux prises d'eau sont à proximité d'exutoires d'étiers. Ces exutoires sont contrôlés par des écluses, dont les règles d'ouverture sont établies pour éviter que l'eau sortant des étiers ne pénètre dans le canal du polder conchylicole. Ces règles sont rappelées dans l'annexe 2.

3.1 Sources potentielles de pesticides en provenance du bassin versant de la baie de Bourgneuf pour le polder de Bouin

Le polder de Bouin est donc encadré par les débouchés du Falleron et de l'étier de Sallertaine. Une des branches du Falleron, l'étier du Dain, draine le marais doux qui entoure le polder, où l'agriculture intensive est peu pratiquée. De plus le polder conchylicole est ceinturé par un polder agricole, de culture intensive (voir Figure 6).

Pour le ruissellement des eaux de surface, un diagnostic a été réalisé pour la Cellule Régionale de la Pollution des Eaux par les Produits Phytosanitaires (Crepepp) des Pays de la Loire sous la forme d'une cartographie de l'impact potentiel des produits phytosanitaires sur les eaux superficielles souterraines de la Région (Pierre et Colmar, 2009). Un coefficient de ruissellement a pu être attribué à chaque parcelle de 50 m de côté. Il est fondé sur trois informations : le type d'occupation des sols, fourni par le Corine Land Cover, la nature des sols et la nature de leur substratum. Sur les cartes ainsi établies, les marais et zones basses apparaissent comme fortement sensibles aux écoulements de surface et sub-surface, les terres hautes comme faiblement sensibles à insensibles et les zones humides, en tête de bassin versant, comme fortement sensibles. De plus, un coefficient de topographie est établi pour chaque parcelle sur la base de la pente. Combiner le facteur de ruissellement et le coefficient de topographie permet d'attribuer à chaque parcelle **un coefficient de vulnérabilité des eaux superficielles au phénomène de transfert des produits phytosanitaires par ruissellement : une sensibilité forte à très forte est attribuée au marais breton aux alentours du polder** et à Noirmoutier (Figure 12). Pour une grande partie du marais et les terres hautes qui l'entourent, la sensibilité est très variable. Notamment le bassin de la Haute Perche est faiblement sensible aux écoulements des eaux de surface et fortement vulnérable au transfert des pesticides par ruissellement ; en cas de fortes pluies, le risque de transfert des pesticides est alors important (Pierre et Colmar, 2009).

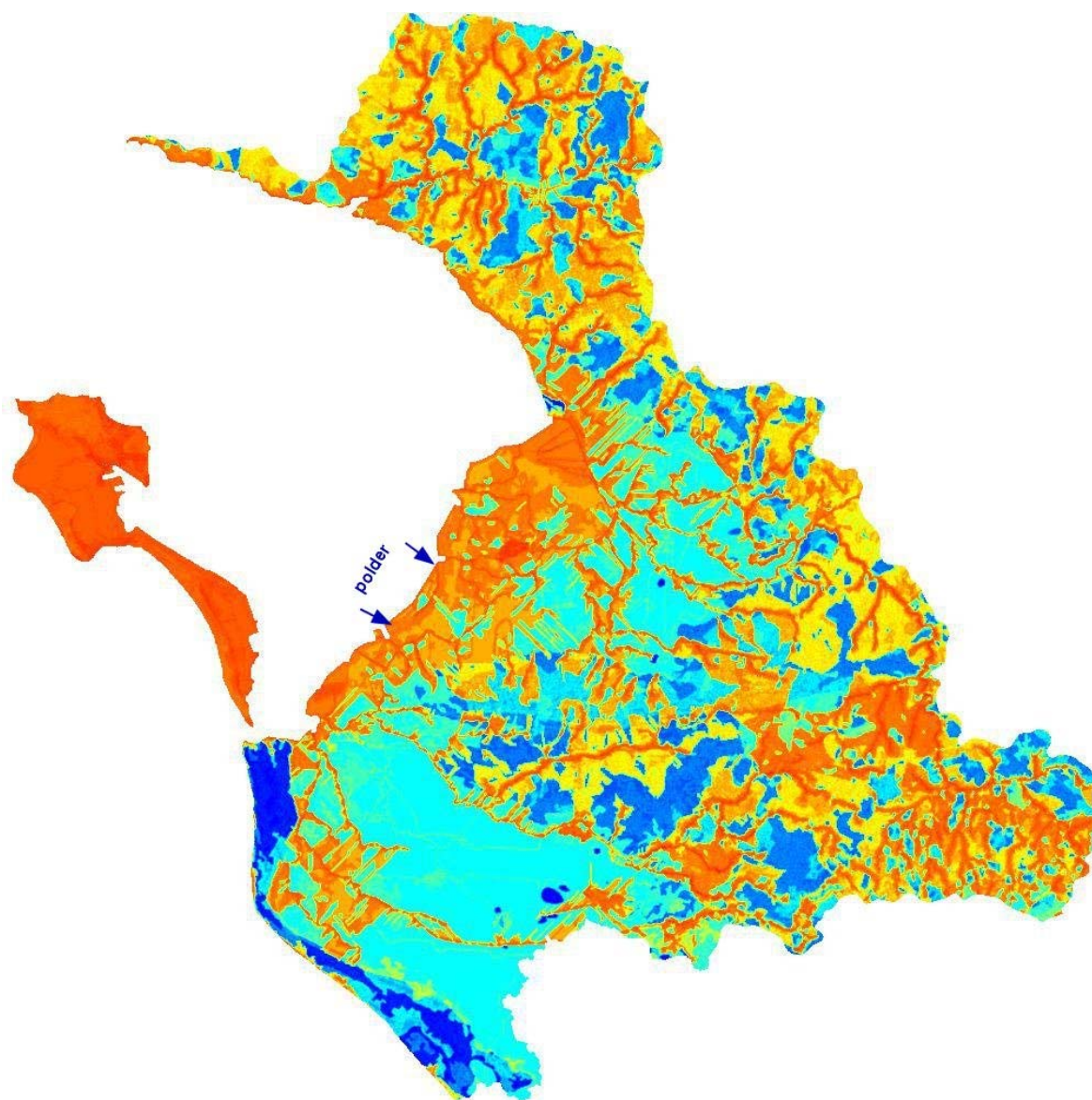


Figure 12 : Carte de la sensibilité des sols au ruissellement des produits phytosanitaires, dans le bassin versant de la baie de Bourgneuf. (rouge : sensibilité très élevée ; jaune : sensibilité moyenne ; bleu : sensibilité très faible) (Pierre et Colmar, 2009)

La carte montre bien que le polder agricole est sensible au ruissellement des produits phytosanitaires. Par ailleurs, en présence de vent, une contamination directe de l'eau du polder lors de traitements pesticides sur ces parcelles n'est pas à exclure.

Concernant les panaches des cours d'eau dont les exutoires sont à proximité du polder de Bouin (le Falleron, par les ports du Collet, du Bec, des Brochets et des Champs, et les étiers de Sallertaine et de la Taillée par l'estuaire au nord de Fromentine), les modèles hydrodynamiques (voir §§ 2.3.2) montrent qu'ils peuvent atteindre les prises d'eau du polder conchylicole. Pour les contaminants provenant du bassin versant, un travail réalisé dans le cadre du programme Gerrico (Gille, 2013) conclut qu'il est possible de modéliser les flux d'eau et de pesticides dans les principaux chenaux du bassin versant de la baie de Bourgneuf. Ce modèle peut être intégré dans une chaîne de modèles sur le continuum terre-mer pour évaluer la diffusion de certains pesticides dans les eaux marines littorales. Le chaînage final a été fait sur le Falleron pour les nitrates, mais il n'a pas pu être fait pour les pesticides, faute de données suffisantes (Gerrico, 2010b). Néanmoins, il a été validé pour un apport

de nitrate à Machecoul dans les eaux du Falleron ; la concentration au débouché (port du Collet) serait la même que celle à Machecoul (soit 1 comme valeur de référence) ; elle serait de 1/100 à la Coupelasse ; sur ce point sa concentration oscillerait en décroissant pendant environ un cycle de marée (1/100 à 1/100 000).

La prise d'eau nord du polder conchylicole est à une distance similaire du port du Collet et de la Coupelasse ; le facteur de dilution des eaux du Falleron à la prise d'eau nord du polder conchylicole serait donc similaire à celui évalué à la Coupelasse.

Dans les cours d'eau, les pesticides sont recherchés en plusieurs points du bassin versant. La carte ci-dessous indique la position des points d'échantillonnage des eaux dans le bassin versant. Le Tableau 1 fait la liste des points où l'eau est échantillonnée pour la recherche des pesticides, avec les périodes et le nombre d'échantillonnages. Le numéro et l'intitulé des points sont ceux de l'observatoire de l'eau du bassin versant de la baie de Bourgneuf, dans la présentation des résultats pour l'année 2013 (ADBVB, 2014c).

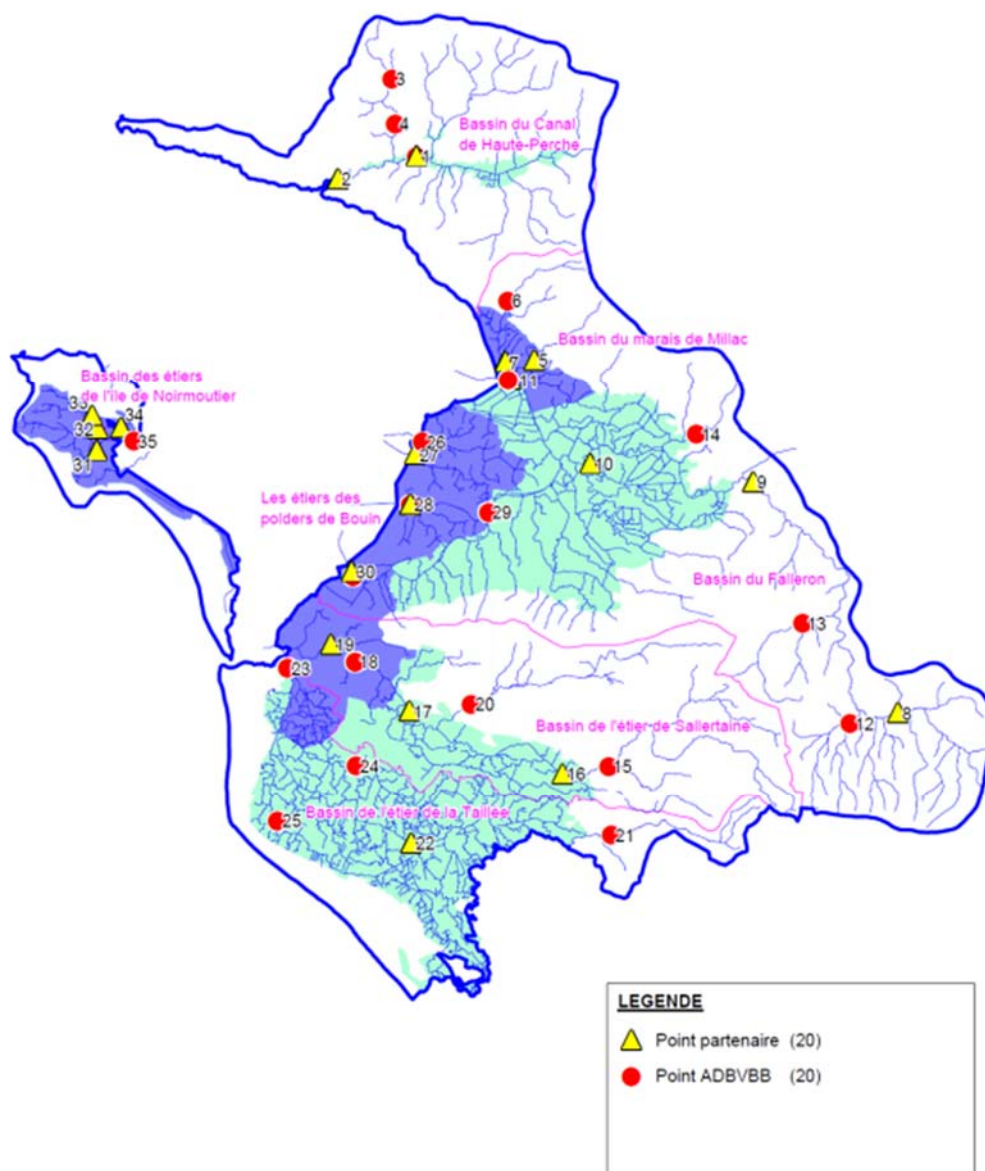


Figure 13 : Points de suivi sur le bassin de la baie de Bourgneuf. (ADBVB, 2012)

Tableau 1 : Points de prélèvement d'eau dans le bassin versant de la baie de Bourgneuf. Nombre des prélèvements pour le dosage des pesticides et période (mois de l'année)

N°	Nom	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Bassin de Haute-Perche								
1	Pont du Clion Canal de Haute-Perche		10 05 à 09	10 05 à 09			5 05 à 11	5 04 à 11
Bassin du Falleron								
6	Ru de Prigny Les Moutiers en Retz						5 05 à 11	5 04 à 11
9	Le Falleron Bourg Saint-Martin	mensuel						
10	Le Falleron Port la Roche	14 03 à 11	10 05 à 09	10 05 à 09			9 01 à 12	19 01 à 12
14	Ru du Loup Pendu Fresnay en Retz						5 05 à 11	5 04 à 11
Bassin de l'étier de Sallertaine								
15	Ru du Pont Habert La Juisière - Challans						5 05 à 11	5 04 à 11
16	Étier Sallertaine La Lavre		10 05 à 09	10 05 à 09				
17	Étier Sallertaine La Maison Rousse		7 03 à 12	7 03 à 12	7 03 à 12	6 03 à 12	6 03 à 09	4 03 à 09
20	Ru du Taizan Sallertaine-Saint Urbain						5 05 à 11	6 04 à 11
21	Ru des Godinières Gué Baudu						5 05 à 11	6 04 à 11
Ile de Noirmoutier								
35	Confluence trois étiers - Fort Larron						5 ou 6 04 à 11	5 ou 6 04 à 11

Les pesticides ne sont donc pas recherchés aux deux points les plus proches du polder de Bouin (28 et 30).

Trois points : 1, 10 et 17 (Figure 15, Figure 16, Figure 17) ont été suivis de 2008 à 2013 : le premier se trouve sur la partie aval du canal de Haute Perche, qui draine la partie Nord du bassin versant de la baie de Bourgneuf ; le deuxième est situé en aval de l'étier de Sallertaine.

Le bassin versant de l'étier de Sallertaine est beaucoup plus grand que celui du canal de Haute-Perche. Des herbicides, le glyphosate et son dérivé l'AMPA, ainsi que le diuron, sont systématiquement recherchés et trouvés sur les deux points. Pour illustrer des tendances générales le Tableau 2 donne les valeurs de concentrations pour deux périodes 2008-2009 et 2012-2013 sur ces deux points.

Tableau 2 : Evolution des concentrations des pesticides dans l'eau sur deux points du bassin versant de la baie de Bourgneuf, (ADBVB, 2014c)

	Période	Concentration médiane (maximale) ($\mu\text{g.L}^{-1}$)		
		Pont du Clion - Canal de Haute-Perche	Port la Roche Le Falleron	La Maison Rousse Étier de Sallertaine
Total des pesticides	2008-2009	0,90 (1,73)	1,89 (5,97)	1,63 (2,66)
	2012-2013	0,48 (0,97)	0,65 (2,19)	0,92 (1,69)
Glyphosate + AMPA	2008-2009	0,56 (1,14)	1,28 (2,82)	1,25 (2,61)
	2012-2013	0,37 (0,53)	0,23 (1,25)	0,80 (1,69)
Diuron	2008-2009	0,07 (0,28)	0,09 (1,11)	0,08 (0,14)
	2012-2013	0,02 (0,04)	0,02 (0,07)	0,04 (0,07)

Les tendances générales de 2008 à 2013 sur ces trois points, pour l'ensemble des pesticides recherchés et pour les pesticides dont les concentrations sont les plus élevées sont illustrées dans les figures suivantes pour le canal de Haute Perche (Figure 15), le Falleron (Figure 17) et l'étier de Sallertaine (14).

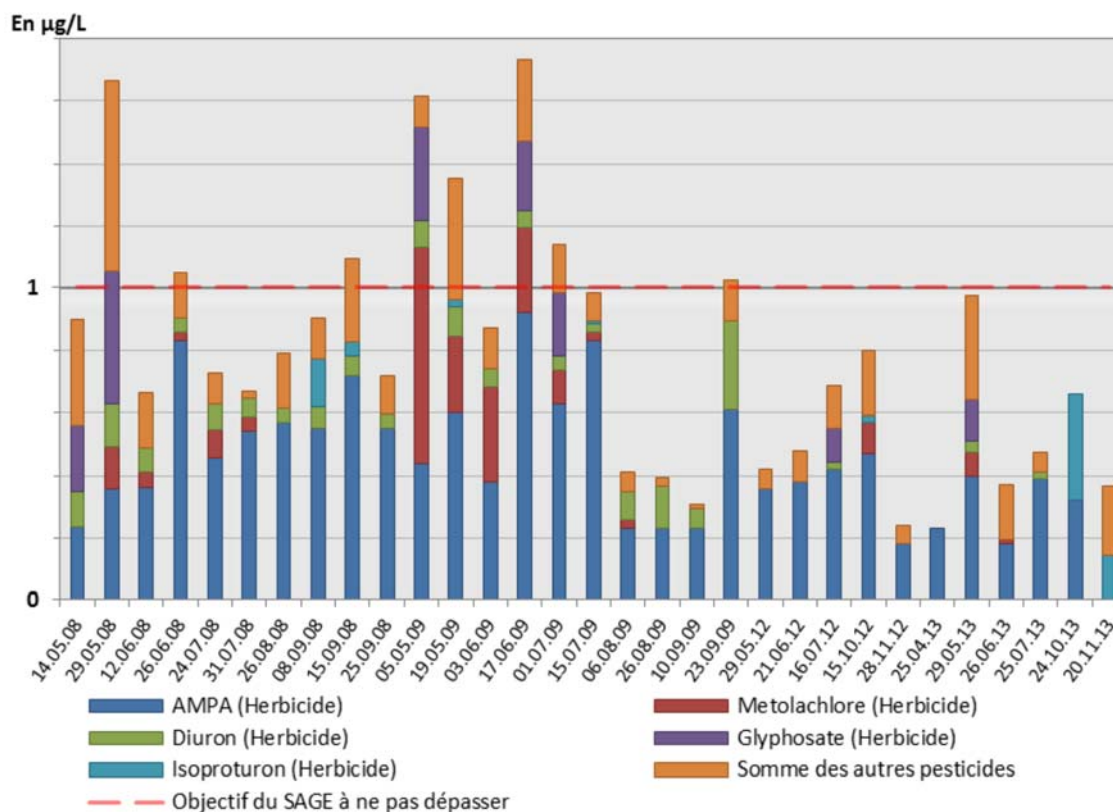


Figure 15 : Somme des pesticides au Pont du Clion sur le Canal de Haute-Perche ($\mu\text{g.L}^{-1}$). (ADBVB, 2014c)

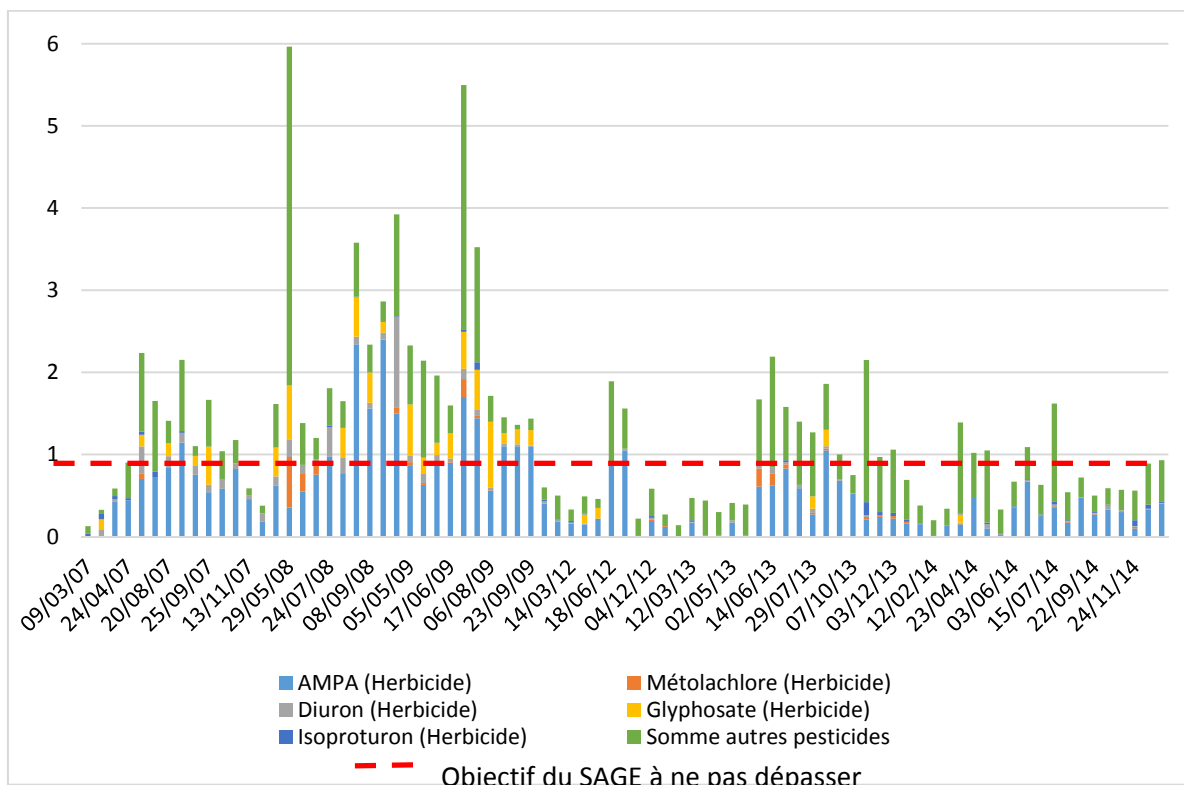


Figure 16 : Somme des pesticides au Port La Roche sur le Falleron ($\mu\text{g.L}^{-1}$). (DREAL Pays de la Loire)

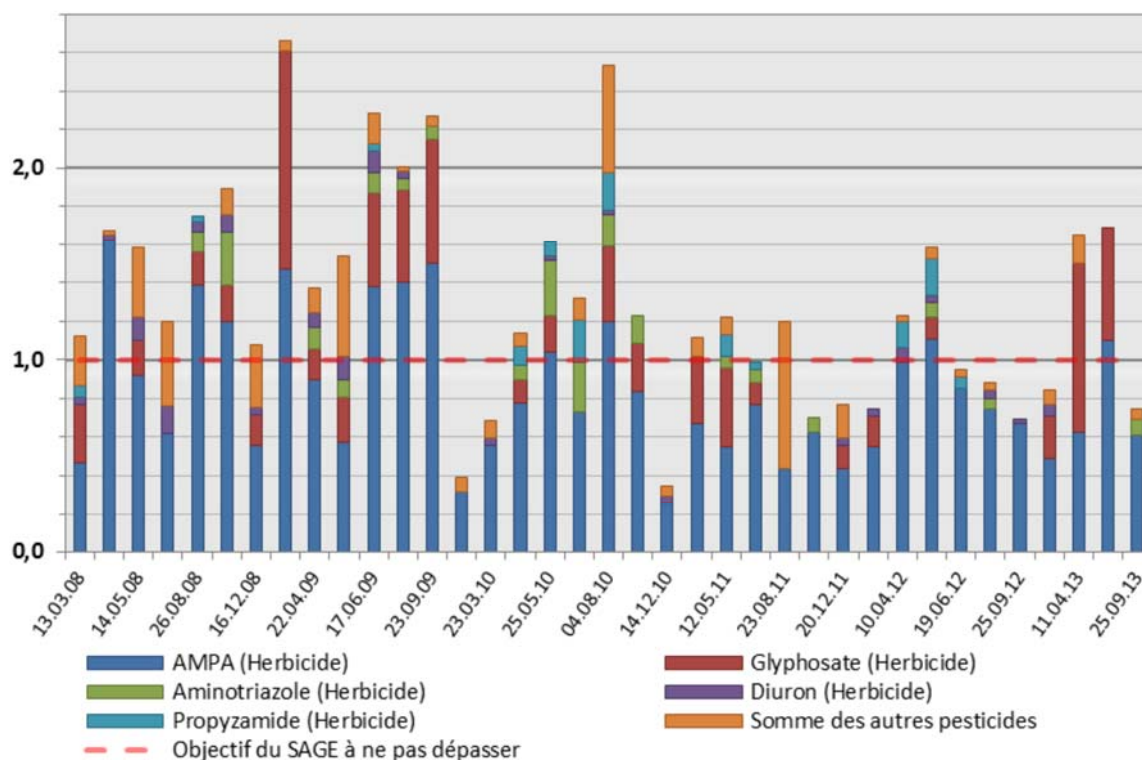


Figure 17 : Somme des pesticides à Maison Rousse sur l'étier de Sallertaine ($\mu\text{g.L}^{-1}$). (ADBVB, 2014c)

De 2008 à 2013, la somme des pesticides quantifiés est supérieure à 1 µg.L⁻¹ pour 23% des échantillons au point du bassin de Haute Perche, pour 65% au point du Falleron et pour 67% au point de l'étier de Sallertaine. Les concentrations totales en pesticides détectés sont les plus faibles dans le canal de Haute Perche et les plus élevées dans le Falleron. Sur les trois sites une tendance à la baisse est observée de 2008 à 2013, mais il faudrait disposer des données sur une plus longue période pour conclure sur la tendance de long terme : les valeurs de 2007 sur le point du Falleron sont inférieures à celles de 2008.

La nature des pesticides détectée est assez différente entre les deux sites : 32 molécules sont détectées sur chacun des trois sites (Tableau 3) et 44 molécules sur un seul ou deux (Tableau 4). Pour la majorité des molécules détectées, la fréquence de détection est différente entre les deux sites. Ceci indique des différences dans les activités des deux bassins (ADBVB, 2014b).

Tableau 3 : Fréquence de détection des composés détectés en fonction du site et de la période. (ADBVB, 2014b et DREAL Pays de la Loire)

Libellé molécule	Famille d'utilisation	Haute Perche Pont du Clion		Falleron Port La Roche		Etier de Sallertaine Maison Rousse		
		2008- 2009	2012- 2013	2008- 2009	2012- 2013	2008- 2009	2010- 2011	2012- 2013
AMPA	Herbicide	100%	91%	100%	82%	100%	100%	100%
Diuron	Herbicide	100%	73%	100%	79%	100%	85%	80%
Métolachlore	Herbicide	80%	55%	60%	43%	64%	23%	10%
Terbutryne	Herbicide	75%	9%	40%	4%	86%	38%	10%
Diflufenicanil	Herbicide	55%	9%	30%	0%	57%	23%	10%
Atrazine Déséthyl	Herbicide	45%	0%	55%	18%	21%	0%	10%
Triclopyr	Herbicide	40%	18%	75%	0%	21%	15%	0%
Nicosulfuron	Herbicide	35%	64%	55%	43%	14%	15%	70%
Simazine	Herbicide	30%	0%	25%	96%	29%	0%	0%
Glyphosate	Herbicide	25%	18%	80%	14%	79%	62%	50%
Mécoprop	Herbicide	25%	9%	60%	7%	36%	31%	10%
Atrazine	Herbicide	25%	9%	45%	14%	57%	0%	10%
Isoproturon	Herbicide	25%	45%	25%	39%	36%	15%	0%
Acétochlore	Herbicide	25%	0%	20%	0%	7%	0%	0%
D-2,4	Herbicide	20%	18%	55%	11%	21%	23%	0%
Linuron	Herbicide	20%	9%	15%	18%	7%	0%	0%
Dichlorprop	Herbicide	20%	0%	5%	4%	7%	0%	0%
Aminotriazole	Herbicide	15%	9%	70%	25%	50%	62%	30%
MCPA-2,4	Herbicide	15%	18%	35%	4%	21%	8%	10%
Oxadiazon	Herbicide	15%	18%	5%	0%	36%	0%	10%
Sulcotrione	Herbicide	10%	0%	25%	4%	14%	0%	0%
Chlortoluron	Herbicide	10%	18%	15%	29%	50%	0%	10%
Bentazone	Herbicide	5%	18%	55%	11%	14%	38%	0%
Alachlore	Herbicide	5%	9%	25%	0%	7%	0%	0%
Carbofuran	Insecticide	5%	0%	25%	0%	7%	0%	0%
Imidaclopride	Insecticide	5%	9%	0%	36%	7%	0%	20%
Oxadixyl	Fongicide	95%	73%	45%	4%	0%	8%	10%
Tébuconazole	Fongicide	30%	18%	70%	4%	7%	15%	40%
Carbendazime	Fongicide	30%	0%	55%	39%	7%	15%	0%
Epoxyconazole	Fongicide	25%	0%	50%	0%	43%	0%	40%
Propiconazole	Fongicide	20%	18%	10%	4%	21%	23%	0%
Cyproconazole	Fongicide	10%	9%	10%	0%	29%	0%	10%

Tableau 4 : Liste des molécules détectées sur un ou deux des trois sites, avec leur fréquence de détection selon les périodes de suivi.

Libellé molécule	Famille d'utilisation	Haute Perche Pont du Clion			Falleron Port La Roche			Etier de Sallertaine Maison Rousse		
		2008- 2009	2010- 2011	2012- 2013	2008- 2009	2010- 2011	2012- 2013	2008- 2009	2010- 2011	2012- 2013
Napropamide	Herbicide	10%	9%		30%		21%			
Monuron	Herbicide	10%	0%		5%		0%			
Aclonifen	Herbicide	5%	0%		15%		0%			
Hexazinone	Herbicide	5%	0%		15%		0%			
Ethofumesate	Herbicide	0%	9%		5%		0%			
Mesotrione	Herbicide	0%	9%		0%		4%			
Isoxaben	Herbicide	0%	18%		0%		25%			
Phoxime	Insecticide	25%	0%		40%		0%			
Fenoxycarbe	Insecticide	0%	9%		5%		0%			
Aldicarb	Insecticide, nématocide	0%	0%		10%		0%			
Azoxystrobine	Fongicide	10%	0%		15%		11%			
Pyriméthanil	Fongicide	5%	0%		60%		36%			
Fenpropimorphe	Fongicide, microbiocide	5%	0%		5%		0%			
Metaldehyde	Molluscide	0%	27%		0%		46%			
Gluphosinate	Herbicide	5%	0%					0%	15%	0%
HCH Gamma	Insecticide	30%	0%					7%	8%	0%
Diméthénamid	Herbicide				40%		11%	14%	0%	0%
Métobromuron	Herbicide				35%		21%	14%	38%	0%
Dinoterbe	Herbicide				10%		0%	7%	0%	0%
Propyzamide	Herbicide				0%		29%	29%	46%	40%
Chlordécone	Insecticide				55%		0%	7%	0%	0%
Méthoxychlore	Insecticide				15%		0%	0%	0%	10%
Métalaxyl	Fongicide				60%		14%	29%	15%	0%
Cyprodinil	Fongicide				10%		0%	7%	0%	0%
Terbuthylazine	Herbicide	25%	9%							
Terbumeton	Herbicide	10%	0%							
Promethrine	Herbicide	5%	9%							
Flurochloridone	Herbicide	0%	9%							
Métazachlore	Herbicide	0%	9%							
Endosulfan Alpha	Insecticide	5%	0%							
HCH Alpha	Insecticide	5%	0%							
Atrazine 2-hydroxy	Herbicide				0%		100%			
Hydroxyterbuthylazine	Herbicide				0%		89%			
Chlorfenvinphos	Insecticide				40%		7%			
Ethoprophos	Insecticide				15%		0%			
Thiametoxam	Insecticide				0%		21%			
Iprodione	Nématocide				50%		18%			
Boscalid	Fongicide				0%		86%			
Métamitrone	Herbicide							7%	0%	0%
Aldrine	Insecticide							7%	0%	0%
HCH Béta	Insecticide							7%	0%	0%
Pyrimiphos-Méthyl	Insecticide							7%	0%	0%
Fipronil	Insecticide							0%	0%	10%
Tétraconazole	Fongicide							7%	0%	0%

Par rapport à la concentration en pesticides, la qualité de l'eau est « moyenne » sur les points de l'étier de Sallertaine et du Falleron selon la carte de l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne pour l'année 2012

même si l'usage de produits phytosanitaires sur l'ensemble du bassin versant de la baie de Bourgneuf est inférieur à la moyenne de l'ensemble de la Région Pays de la Loire (Pierre et Colmar, 2009).

De fortes variations sont constatées entre deux dates de prélèvement sur un même point ainsi que des différences importantes entre deux points de prélèvements sur un même cours d'eau. Ceci illustre bien ce qui est souligné dans les rapports du Sage :

- **les sources de contamination sont multiples et dispersées**, dans l'espace et dans le temps ;
- **les écosystèmes des cours d'eau font évoluer très diversement les molécules**.

Ce deuxième point souligne que **la détection de certains pesticides dans les eaux douces ne signifie pas nécessairement leur présence dans les eaux littorales marines. Mais à certaines périodes, la coïncidence de pluies soutenues et de traitements agricoles entraîne des pics de concentration de ces produits de traitement, et il est fort probable qu'ils soient entraînés dans leur majeure partie vers le milieu marin littoral comme le montrent les suivis réalisés sur les marais de Brouage** (Charente-Maritime) (Masson et His, 1997 ; Masson et col., 2000), sur le bassin d'Arcachon (Mai, 2013) et la modélisation de la dispersion de l'atrazine apportée par le fleuve Charente dans le bassin de Marennes-Oléron (Munaron, 2004). Des pesticides, présents à des concentrations significatives dans le panache des cours d'eau qui débouchent à proximité du polder de Bouin, peuvent être entraînés par le flot dans le canal d'amenée d'eau du polder conchylicole. Les concentrations en pesticides observées dans les eaux du bassin versant de la baie de Bourgneuf sont généralement plus faibles que celles indiquées dans les études sur le bassin du fleuve Charente, mais similaires à celles relevées dans le marais de Brouage. Ces études ont souligné que **pour une juste estimation des concentrations maximales, le nombre et la fréquence des prélèvements doivent être renforcés et le moment des échantillonnages doit être adapté aux conditions climatiques (pluviométrie essentiellement) et aux pratiques agricoles** (périodes et intensité des traitements). Ce n'est pas le cas pour l'Observatoire de l'Eau du Bassin Versant de la Baie de Bourgneuf (ADBVB, 2014c).

La majorité des pesticides détectés dans les eaux du bassin versant de la baie de Bourgneuf sont des herbicides, représentant aussi les quantités les plus importantes. Ils sont utilisés en agriculture et dans les jardins privés ou publics.

Ensuite, sont détectés des produits fongicides et insecticides, utilisés dans tous les secteurs (bâtiment, agriculture, industrie, ...).

Un autre point important est l'évolution de la nature des molécules. Certaines sont interdites depuis plusieurs années, comme le diuron, depuis 2002 pour les usages non agricoles et depuis 2003 pour les usages agricoles, mais sont encore détectés en 2012. De nouvelles molécules (DRAAF-SRAL, 2014) sont apparues, mais la plupart ne font pas partie des molécules recherchées dans les eaux du bassin versant de la baie de Bourgneuf.

Les connaissances acquises par l'Observatoire de l'Eau du Bassin Versant de la Baie de Bourgneuf et les résultats des études réalisées sur ce bassin versant et sur la baie ne fournissent pas d'éléments permettant d'évaluer les pesticides dans les eaux entrant dans le polder conchylicole de Bouin. Mais la présence, à des concentrations significatives, de certains pesticides a été mise en évidence lors des mesures réalisées sur l'eau entrant dans la station de l'Ifremer du 6 juillet au 19 août 2013 et du 2 juin au 5 septembre 2014, pour un projet financé par le Smidap, « utilisation d'INcubateurs *in Situ* pour l'EValuation de la qualité chImique des eaux côtières et de son Impact sur le développement et la survie des huîtres » (Insev3i). Le tableau donne la liste des molécules détectées à une concentration élevée (++) , significative (+) ou nulle (0). Cette liste est comparée aux molécules recherchées dans trois points du bassin versant à la même période de 2013 et en un point en 2014. Pour chaque molécule sont données la concentration maximale (Max) et la fréquence de présence à une concentration significative dans l'échantillon (Fréquence) ; la mention « nr » correspond à une molécule non recherchée dans les cours d'eau, mais recherchée dans les eaux de la station Ifremer, et inversement dans les colonnes « INSEV3I » cette mention indique que la molécule n'a pas été recherchée dans les eaux de la station Ifremer, mais l'a été dans les eaux des cours d'eau du bassin versant.

Tableau 5 : molécules détectées dans les eaux de la station Ifremer et sur trois cours d'eau du bassin versant.

Molécules	INSEV3I		Trois cours d'eau	
	6/07/13-19/08/14	2/06/14-5/09/14	Max	Fréquence
acétochlore ESA	++	++	nr	nr
améthryne	+	+	nr	nr
atrazine	+	+	0,00	0%
atrazine 2 hydroxy	++	++	0,13	75%
azoxystrobine	0	+	0,04	13%
carbendazime	+	+	0,13	63%
carbetamide	0	+	nr	nr
chlorotoluron	+	+	0,00	0%
DEA	0	+	nr	nr
DIA	0	+	0,00	0%
dimétachlore	+	0	nr	nr
diuron	+	+	0,09	81%
DMSA	+	+	nr	nr
DMST	+	+	nr	nr
hexazinone	+	+	nr	nr
hydroxysimazine	+	+	nr	nr
irgarol	+	+	nr	nr
isoproturon	+	+	0,00	0%
métazachlore	+	+	nr	nr
métolachlore	+	+	0,06	69%
métolachlore ESA	++	++	nr	nr
métolachlore OA	+	+	nr	nr
metsulfuron-méthyl	0	+	0,00	0%
nicosulfuron	++	++	0,08	38%
promethrin	0	+	nr	nr
propachlore	+	+	nr	nr
propiconazole	0	+	0,05	19%
simazine	+	+	0,08	75%
terbuthrin	+	+	0,01	6%
terbutylazine	+	+	nr	nr
terbutylazine deséthyl	+	+	nr	nr
AMPA	nr	nr	1,10	94%
boscalid	nr	nr	0,15	75%
hydroxyterbutylazine	nr	nr	0,04	75%
isoproturon	nr	nr	0,04	50%
pyriméthanil	nr	nr	0,07	50%
métaldéhyde	nr	nr	0,03	44%
propyzamide	nr	nr	0,18	44%
aminotriazole	nr	nr	0,19	31%
atrazine déséthyl	nr	nr	0,02	25%
glyphosate	nr	nr	0,59	25%
dichloro phénylurée 124	0	0	0,02	25%
métalaxyl	nr	nr	0,02	19%
propazine	nr	nr	0,58	19%
oxadiazon	nr	nr	0,03	13%
tébuconazole	nr	nr	0,03	13%
diflufénican	0	0	0,02	13%
anthraquinone	nr	nr	0,00	6%
diméthénamide	nr	nr	0,01	6%
diméthomorphe	nr	nr	0,02	6%
iprodione	nr	nr	0,03	6%
MCPA-2,4	nr	nr	0,00	6%
mécoprop	nr	nr	0,05	6%
oxadixyl	nr	nr	0,00	6%
phosphate de tributyle	nr	nr	0,03	6%
pyridafol	nr	nr	0,01	6%
linuron	0	0	0,02	6%
aldrine	nr	nr	0,00	0%

Molécules	INSEV3I		Trois cours d'eau	
	6/07/13-19/08/14	6/07/13-19/08/14	Max	Fréquence
amidosulfuron	nr	nr	0,00	0%
atrazine déséthyl 2 hydroxy	nr	nr	0,00	0%
bromoxynil	nr	nr	0,00	0%
chlordécone	nr	nr	0,00	0%
chlorfenvinphos	nr	nr	0,00	0%
cyproconazole	nr	nr	0,00	0%
cyprodinil	nr	nr	0,00	0%
D-2,4	nr	nr	0,00	0%
DDT op'	nr	nr	0,00	0%
DDT pp'	nr	nr	0,00	0%
desméthylisoproturon	nr	nr	0,00	0%
dicamba	nr	nr	0,00	0%
dichlorprop	nr	nr	0,00	0%
dinitrocrésol	nr	nr	0,00	0%
dinoterbe	nr	nr	0,00	0%
époxyconazole	nr	nr	0,00	0%
fénamidone	nr	nr	0,00	0%
fipronil	nr	nr	0,00	0%
foramsulfuron	nr	nr	0,00	0%
gluphosinate	nr	nr	0,00	0%
HCH Béta	nr	nr	0,00	0%
HCH Gamma	nr	nr	0,00	0%
isoxaben	nr	nr	0,00	0%
mésosulfuron Méthyl	nr	nr	0,00	0%
mésotrione	nr	nr	0,00	0%
métamitrone	nr	nr	0,00	0%
méthabenzthiazuron	nr	nr	0,00	0%
méthoxychlore	nr	nr	0,00	0%
myclobutanil	nr	nr	0,00	0%
napropamide	nr	nr	0,00	0%
pendiméthaline	nr	nr	0,00	0%
phthalimide	nr	nr	0,00	0%
pirimicarbe	nr	nr	0,00	0%
prosulfocarbe	nr	nr	0,00	0%
pyrimiphos-méthyl	nr	nr	0,00	0%
sulcotrione	nr	nr	0,00	0%
thiabendazole	nr	nr	0,00	0%
triclopyr	nr	nr	0,00	0%
acétochlore	0	0	0,00	0%
acétochlore OA	0	0	nr	nr
alachlore	0	0	0,00	0%
bentazone	0	0	0,00	0%
carbofuran	0	0	0,00	0%
carbosulfan	0	0	nr	nr
chlorsulfuron	0	0	nr	nr
cyanazine	0	0	nr	nr
cyromazine	0	0	0,00	0%
dichloro phénylurée 134 (dcpu)	0	0	nr	nr
dichlorophényl 3 methyl urée 134 (dcpmu)	0	0	nr	nr
flazasulfuron	0	0	nr	nr
fluazifop-p-butyl	0	0	nr	nr
flusilazole	0	0	nr	nr
imidacloprid	0	0	0,00	0%
methiocarb	0	0	0,00	0%
metoxuron	0	0	nr	nr
prosulfuron	0	0	nr	nr
pymethrozone	0	0	nr	nr
quizalofop-ethyl	0	0	nr	nr
quizalofop-p-téfuryl	0	0	nr	nr
thiamethoxan	0	0	0,00	0%

Par ailleurs en 2010 lors de fortes mortalités dans les cultures en extérieures de microalgues d'une entreprise, des échantillons d'eau ont été prélevés et analysés. Des échantillons d'eau ont été prélevés en période fonctionnement normal et analysés. La comparaison des résultats de ces analyses montre l'existence d'une dizaine de molécules dans le premier, absentes du second. Mais aucune n'est recherchée dans les cours d'eau du bassin versant.

3.2 Apports de contaminants chimiques de la Loire via la mer et via le Tenu

Le programme Gerrico a permis de confirmer et de préciser les apports en sédiment du panache de la Loire en mer (voir §§ 2.3.1). Le schéma général du modèle hydrodynamique de la baie de Bourgneuf montre un apport en eau marine provenant principalement du sud-ouest. Il permet aussi de conclure que le panache de la Loire est généralement dirigé vers le nord. Mais ce modèle bidimensionnel ne prend pas en compte les différentes couches d'eau dans le domaine plus profond qui est au large de l'estuaire de la Loire. Néanmoins, il est généralement admis qu'en période d'étiage de la Loire (printemps-été) le panache ait tendance à pénétrer dans la baie de Bourgneuf et qu'en période de crue (hiver) le panache s'écoule au nord de l'île de Noirmoutier. Mais les conditions météorologiques peuvent modifier ce schéma général.

Des mesures ont été faites lors d'une crue de la Loire le long de radiales partant de Saint-Nazaire sur des marqueurs de contamination chimique (nitrate, ammoniac, phosphate) (Service Maritime Navigation 44-49, 1995). Ces mesures indiquent que les apports de Loire se dirigent vers le nord et vers l'ouest avec un coefficient de dispersion très faible sur 20km. Au sud, l'impact est beaucoup plus faible, une diminution des teneurs par dilution et par diffusion se fait sentir dès la pointe Saint-Gildas. La concentration en nitrate et ammoniac est divisée par 10 entre Saint-Nazaire et Noirmoutier. Les apports en éléments dissous dans l'eau vers la baie de Bourgneuf ne semblent donc pas significatifs. Or ces mesures ont été faites par vent d'ouest et les modèles hydrodynamiques indiquent que le vent joue un rôle primordial pour l'orientation du panache de la Loire vers la baie de Bourgneuf (Lazure, 1992). **Les apports de la Loire en contaminants chimiques peuvent être considérés comme minoritaires même s'ils sont significatifs dans certaines situations climatiques, par rapport à ceux du bassin versant de la baie de Bourgneuf** (Gerrico, 2010b).

Par ailleurs les sédiments meubles piègent des contaminants chimiques. Leur remise en suspension remet en circulation ces contaminants (Martin et col., 1989 ; Geffard, 2001 ; Poirier et col., 2007 ; Gerrico, 2010b ; Mai, 2013). Les sédiments meubles sont très importants dans la zone proche du polder et proviennent en grande partie de la Loire (voir §§ 2.3.1). Dans le milieu marin littoral, le Réseau d'Observation de la Contamination CHimique du littoral (Rocch) recherche des contaminants chimiques, métaux, hydrocarbures aromatiques, polychlorobiphényles (PCB) et tri-butyle étain (TBT) (http://envylit.ifremer.fr/surveillance/contaminants_chimiques) (voir §§ 3.3). Ce ne sont pas les mêmes contaminants que ceux recherchés dans les eaux du bassin versant. Le niveau de contamination dans la baie de Bourgneuf est quantifié par dosage dans des mollusques échantillonnés en deux points, Coupelasse (moitié nord de la baie) et Graisseloup (moitié sud).

Les eaux de la Loire pénètrent par une autre voie dans le bassin versant de la baie de Bourgneuf. Pour soutenir le niveau des eaux dans le marais Breton pendant les mois d'été, les volumes d'eau de la Loire, arrivant via des canaux qui débouchent dans le Falleron à Machecoul, sont de l'ordre de plusieurs millions de mètre-cubes. C'est une source potentielle de contaminants, car ces canaux traversent des zones d'agriculture très intensive, de maraîchage notamment. Cette activité a eu une croissance très forte. **Ce maraîchage utilise des pesticides et l'arrosage pendant une grande partie de l'année** ; il peut donc être une source de pesticides en période estivale, en cas de chasse des eaux suite à des pluies fortes.

3.3 Evolution de certains contaminants chimiques dans la baie de Bourgneuf

Cette évolution peut être évaluée à partir des résultats des analyses de contaminants chimiques pour le Réseau d'Observation de la Contamination CHimique du littoral (Rocch) réalisées sur des huîtres creuses prélevées en deux points, Coupelasse, dans la moitié nord de la baie, à proximité du polder de Bouin, et Graisseloup, dans la moitié sud, plus éloigné. Sont recherchés des métaux (cadmium, plomb, mercure, cuivre, zinc, nickel, argent), des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), des polychlorobiphényles (PCB) et des dioxines.

Toutes les données présentées ci-dessous sont disponibles sur le site Ifremer : http://envlit.ifremer.fr/surveillance/contaminants_chimiques

Ces contaminants chimiques ne sont pas les mêmes que ceux recherchés dans les eaux du bassin versant. Ceci rend difficile la connexion entre la qualité des eaux du bassin versant de la baie de Bourgneuf et celle de la baie elle-même.

3.3.1 Métaux

La tendance est à la baisse pour le cadmium et le plomb sur les deux sites (Figure 18).

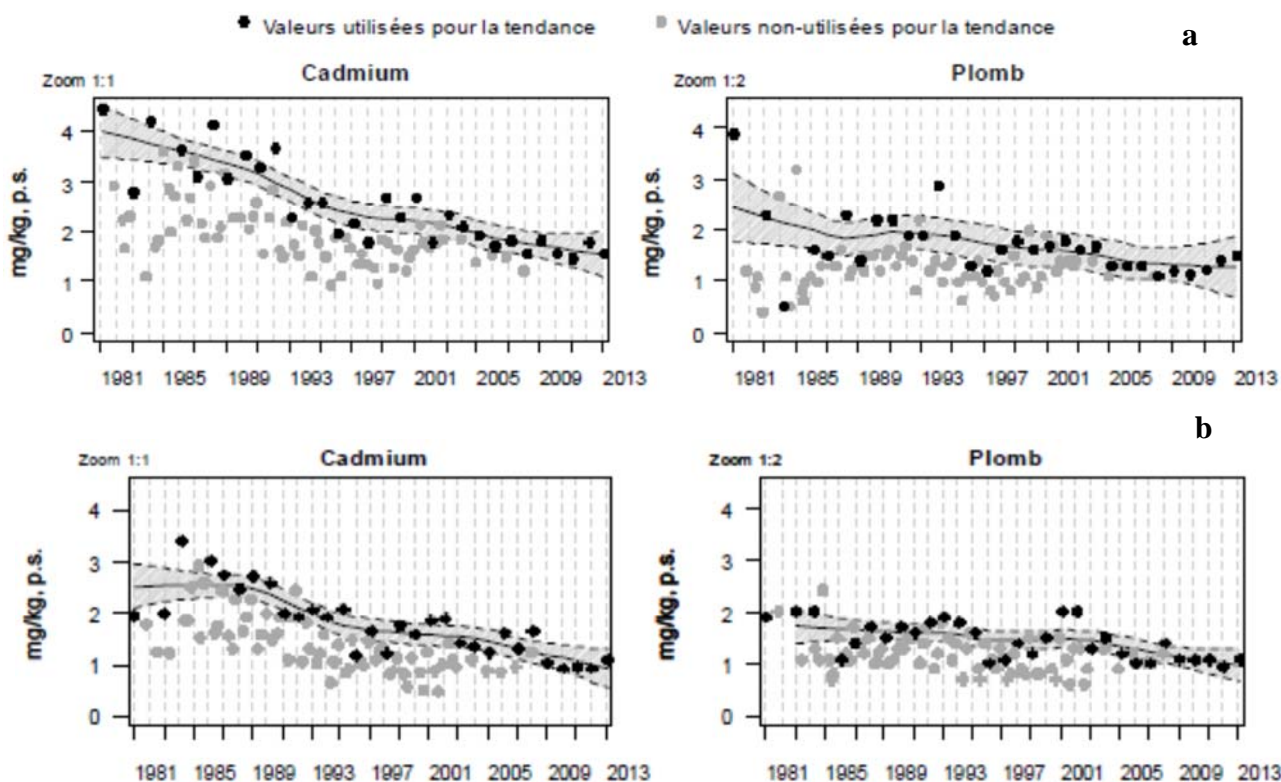
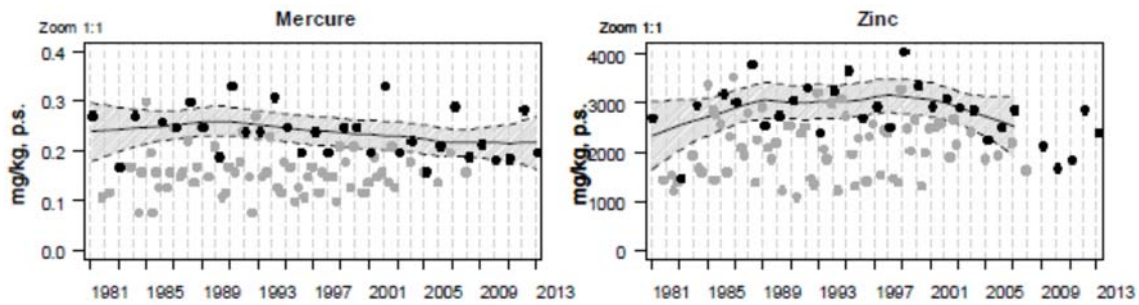


Figure 18 : Concentration en cadmium et en plomb dans les huîtres prélevées sur le site de la Coupelasse (a) et de Graisseloup (b)

Les tendances pour le mercure et le zinc sont à la stabilité sauf pour le zinc sur le site de Graisseloup (Figure 19).

a



b

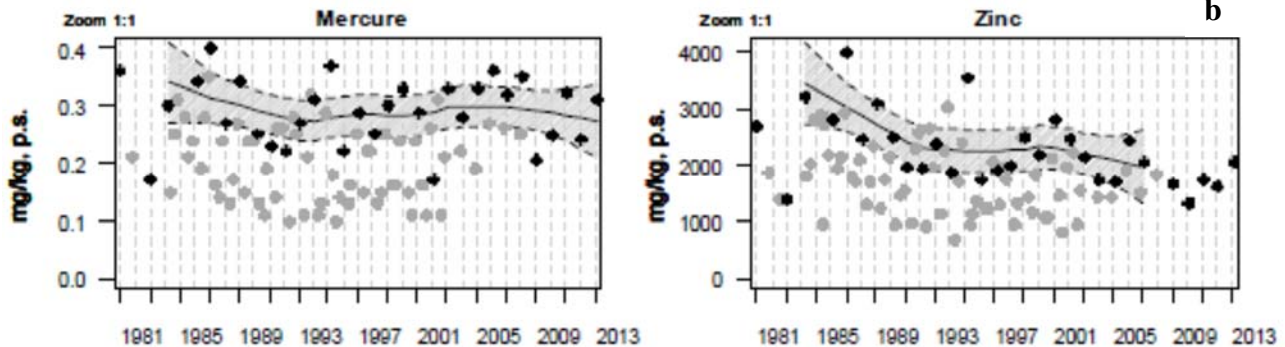


Figure 19 : Concentration en mercure et zinc dans les huîtres prélevées sur le site de la Coupelasse (a) et de Graisseloup (b)

Les concentrations sont voisines sur les deux sites.

3.3.2 Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et polychlorobiphényles (PCB)

Pour les PCB, compte-tenu des données disponibles, la somme des 18 congénères dosés et le congénère 153 qui est le plus important, sont utilisés comme indicateurs pour la Coupelasse. Pour Graisseloup, le seul congénère 153 est pris en compte.

Pour les HAP, sont utilisées pour la Coupelasse, la somme des 10 molécules dosées à chaque date et la molécule la plus importante, le fluoranthène. Pour Graisseloup, la somme des 13 molécules dosées à chaque date et la molécule la plus importante, le fluoranthène, sont utilisées.

Comme l'indiquent les graphiques suivants, les concentrations des composés recherchés dans les huîtres prélevées sur le site de la Coupelasse ne montrent pas une tendance à l'augmentation entre 1995 et 2014. Les concentrations, plus faibles sur le site de Graisseloup présentent une légère tendance à la hausse pour certaines molécules.

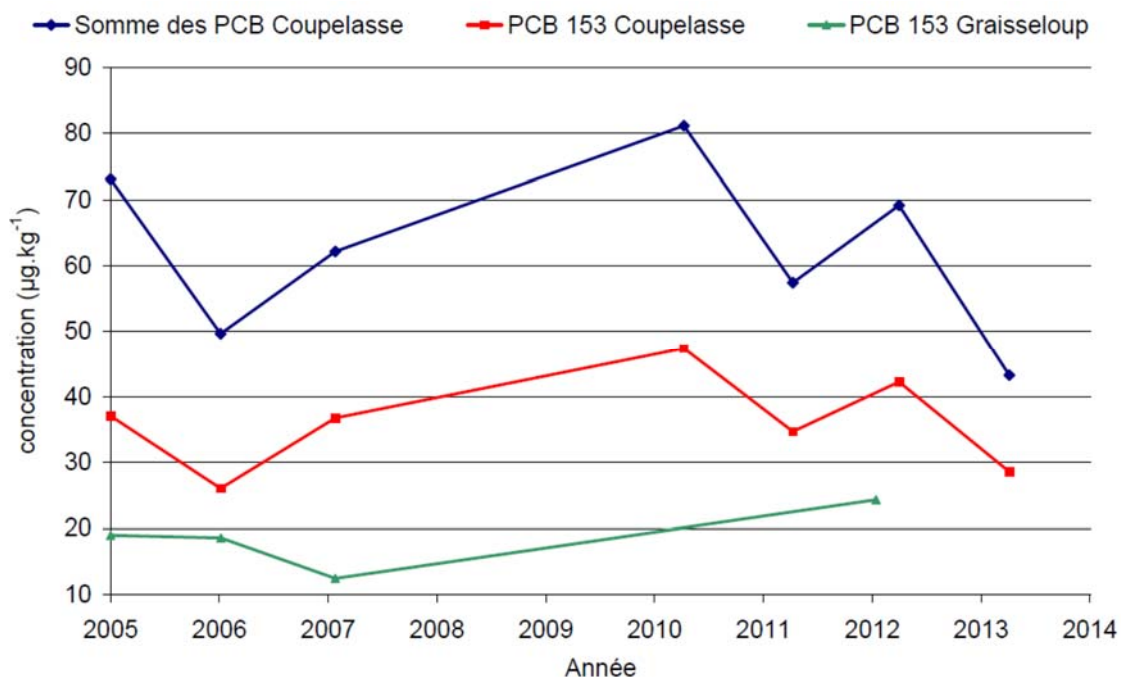


Figure 20 : Evolution de la concentration en PCB dans les huîtres prélevées sur les sites de la Coupelasse et de Graisseloup

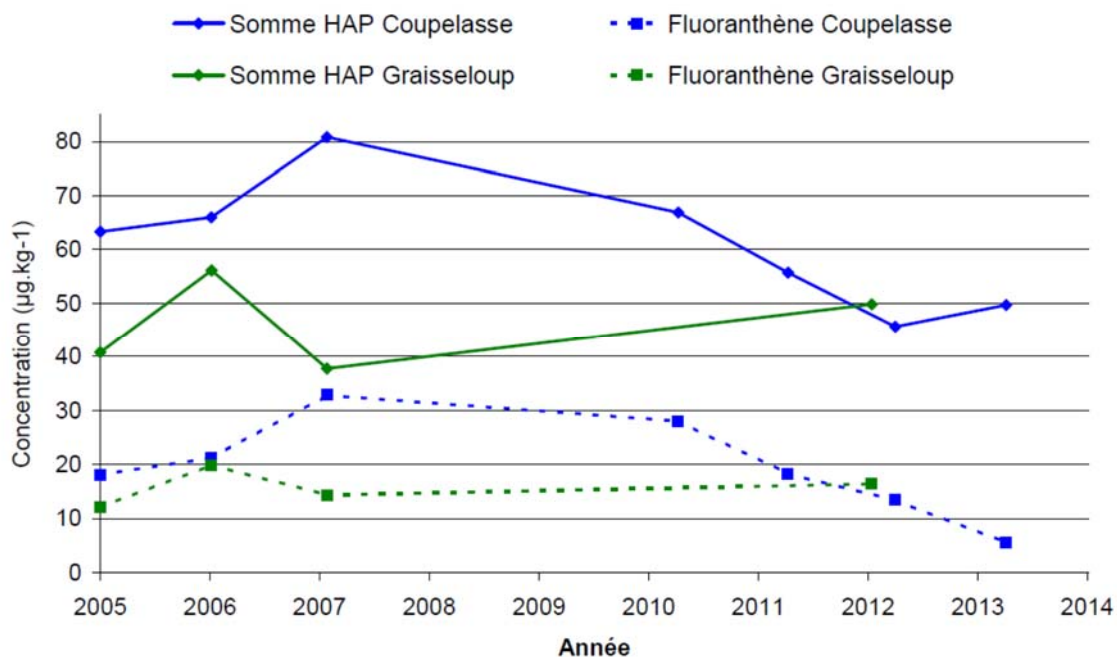


Figure 21 : Evolution de la concentration en HAP dans les huîtres prélevées sur les sites de la Coupelasse et de Graisseloup

Les concentrations sont relativement basses, notamment par comparaison avec d'autres sites comme les Pertuis charentais et le bassin d'Arcachon, où les larves d'huîtres se développent généralement bien. La présence de ces contaminants dans les eaux entrant dans le polder de Bouin est donc fort probable, mais les concentrations sont probablement sans effet sensible sur l'huître.

3.4 Contaminants chimiques dans la nappe salée souterraine

Les eaux de la nappe salée souterraine sont utilisées pour produire une microalgue, *Skeletonema costatum*, en grands volumes, utilisés pour nourrir les naissains d'huître.

Les services du Département de Vendée suivent depuis de nombreuses années la qualité de cette eau par des échantillons réguliers annuels ou biannuels sur plusieurs forages répartis dans le polder conchylicole. Aucun contaminant chimique n'a été trouvé à une dose significative.

4 Effets des contaminants chimiques sur l'huître

4.1 Rappel sur les méthodes d'évaluation des effets de contaminants chimiques

Les méthodes proposées pour détecter la présence de pesticides néfastes pour les huîtres aux différents stades et pour les algues en culture, doivent être en conformité avec les méthodes reconnues pour l'évaluation des effets biologiques des contaminants chimiques. Celles-ci peuvent être classées en trois catégories.

Les méthodes classées dans la première catégorie permettent d'estimer des effets directs : des groupes d'individus sont mis en contact avec des contaminants de concentrations connues sur des périodes de quelques heures. Ces méthodes permettent de calculer :

- la concentration qui provoque la mort de la moitié des individus en H heures, souvent 96 heures ; c'est le seuil LC50H (lethal concentration) ;
- la concentration qui a des effets sensibles sur 50% d'une population expérimentale en termes de reproduction, de croissance ou de comportement, généralement après 96 heures ; c'est le seuil EC50 (efficient concentration).

Certaines méthodes permettent de détecter des perturbations plus ou moins fortes et générales, et ainsi d'estimer les concentrations sans effet sensible (NOEC : No Observed Effect Concentration) ou la plus faible concentration ayant un effet (LOEC : Limit Observed Effect Concentration). A partir de la valeur de NOEC, la concentration sans effets prévisibles (PNEC : Predicted No Effect Concentration) peut être calculée. Sur la base de ces données, il est ensuite possible d'établir le profil de sensibilité de l'espèce (SSD : Species Sensitivity Distribution) puis la concentration préjudiciable (HCs : Hazardous Concentration) et la concentration préjudiciable à 5% au plus des individus d'une communauté (HC5 : Hazardous Concentration for 5% of the species of a community).

Les méthodes classées dans la deuxième catégorie permettent d'estimer les effets « transgénérationnels » : aucun effet n'est identifiable sur les individus, mais leurs descendants présentent des anomalies, altérant leur capacité de croissance, d'adaptation au milieu environnant, de résistance aux agents pathogènes et donc leur capacité de survie.

Les méthodes classées dans la troisième catégorie cherchent à déterminer quels sont les facteurs de l'environnement ou les caractéristiques de l'individu qui le sensibilisent aux effets néfastes de contaminants chimiques. Ceci concerne notamment les conditions limites pour l'espèce (température, salinité, pH, ...) et l'état général des individus (réplétion, perturbations d'origines diverses, ...) ou leurs caractères génétiques.

Toutes ces méthodes reposent sur des observations en milieu contrôlé, parfois dans des systèmes simulant diverses conditions environnementales (*ex situ*), et sur des observations en milieu naturel (*in situ*) de l'espèce étudiée et sur les conditions de l'environnement.

Compte-tenu de la présence simultanée dans le milieu de plusieurs pesticides et/ou autres contaminants chimiques (métaux, molécules organiques, toxines algales, ...), dans les expériences *ex situ* les organismes sont de plus en plus souvent mis en contact avec des mélanges simulant ce qui est observé dans le milieu (Gagnaire, 2005 ; Collin et col., 2010 ; Mai, 2013 ; Geret et col., 2014 ; Moreau, 2014).

Les études sur l'huître permettent de connaître les effets de certains pesticides, seuls ou en mélange. Ces études sont en nombre limité et ne permettent pas de renseigner le potentiel toxique de l'ensemble des molécules de pesticides détectés dans le milieu.

Rappel : de par sa grande sensibilité aux toxiques, la larve d'huître est utilisée comme bioessai (procédure normalisée Afnor XP-T-90-382) pour l'étude des effets toxiques sur les embryons

des polluants chimiques. Certaines espèces de microalgues sont utilisées comme indicatrices biologiques de la qualité chimique de l'eau de mer (Masson et His 1997 ; Masson et col. 2000 ; Auby et col., 2007 ; Mai, 2013).

4.2 Pesticides à effets directs connus

Pour les effets de pesticides sur les larves d'huître creuse *Crassostrea gigas*, en France le premier cas bien documenté est dans le bassin d'Arcachon (His et Robert, 1983). Certaines des molécules présentes dans les eaux du bassin versant de la baie de Bourgneuf ont aussi fait l'objet d'études pour leur effet direct sur les larves (His et Seaman, 1993 : isoproturon, chlorotoluron, metoxuron, 2-4, bromoxynil, carbetamide, mecoprop, lindane, fénitrothion, parathion-méthyl, carbofuran, métaldéhyde ; Mai et col., 2012, 2013, 2014 : métolachlore et irgarol ; McCaughey et col., 2013 : imidaclopride ; Mottier et col., 2013, 2014a, 2014b : glyphosate, composé commercial et dérivés ; Nice et col., 2000 : 4-nonylphénol ; Robert et col., 1986 : atrazine et simazine ; Stachowski-Haberkorn, 2008 : bentazone, glyphosate, diméthénamide, chlorpyrifos, époxiconazole ; Wessel et col. 2007 : benzo_apyrène, 17 alpha-éthynylestradiol, endosulfan).

Pour ces molécules, les concentrations déterminées comme efficaces sont supérieures à celles observées dans les cours d'eau du bassin versant de la baie de Bourgneuf. Seule exception, le diuron, dont les concentrations en pics (0,04-0,28 µg.L⁻¹) sont dans la gamme du LOEC (0,04-4 µg.L⁻¹) (Akcha et col., 2012 ; Mai, 2013).

Il est également démontré que les pesticides sont toxiques à des concentrations plus faibles lorsqu'ils sont utilisés avec d'autres pesticides ou sous leur forme commerciale (Stachowski-Haberkorn, 2008 ; Mottier et col., 2013). Il faut donc bien prendre en compte la concentration totale en pesticides, comme cela est précisé dans le paragraphe 4.4. De plus les produits dérivés des molécules actives sont parfois plus toxiques que celles-ci (Mottier et col., 2014b).

Il serait donc utile de connaître le profil des concentrations de manière plus précise qu'il ne l'est actuellement.

Deux points sont importants pour évaluer la toxicité de certaines molécules :

- certains contaminants sont toxiques lorsqu'ils sont absorbés par le phytoplancton fourrage (His et Robert, 1983 ; Amara, 2012) ;
- en milieu marin littoral, les particules en suspension, minérales et organiques, adsorbent une grande partie des contaminants ; ceux-ci ne sont donc plus détectés dans l'eau, mais sont souvent biodisponibles pour les organismes planctoniques ou benthiques qui rentrent en contact avec ces particules (Geffard, 2001).

4.3 Effets transgénérationnels

Certaines anomalies chromosomiques (aneuploïdie) sont plus fréquentes chez l'huître dans les zones les plus proches des embouchures de fleuves (Benabdelmouna et col., 2012). Lors d'expérimentations contrôlées en éclosérie, l'exposition d'adultes à des herbicides a entraîné des altérations structurales de l'ADN et des anomalies chromosomiques (Akcha et col., 2012 ; Bouilly, 2004 ; Cheung et col., 2006). Ces altérations ont des effets négatifs sur les descendants (Barranger et col., 2014 ; Bouilly, 2004 ; Bouilly et col., 2007) notamment en terme de développement et de croissance (Barranger et col., 2014). L'exposition parentale à des polluants chimiques peut donc avoir un effet sur la génération suivante via notamment la transmission de matériel génétique endommagé. L'huître étant une espèce à reproduction externe, les gamètes peuvent également être directement exposés aux polluants chimiques du milieu. Il a déjà été démontrée que plusieurs herbicides sont toxiques pour les spermatozoïdes à des concentrations proches de celles de l'environnement chez l'huître creuse (Akcha et al., 2012, Mai et al., 2013).

4.4 Perturbateurs combinés

Les travaux sur l'effet combiné de plusieurs pesticides sont réalisés d'abord en milieu contrôlé *ex situ* puis en mésocosmes positionnés dans le milieu naturel, notamment en comparant le comportement des organismes dans différents sites. Quelques observations sur les stades précoces du développement des huîtres peuvent illustrer ces résultats.

En effet, des spermatozoïdes issus de géniteurs maintenus en présence de phytoplancton toxique *Alexandrium minutum* présentent une activité réduite (Haberhorn, 2009) ; ceci peut influencer sur leur capacité fécondante.

Des contaminants tels que les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) deviennent toxiques sous l'effet de rayonnements ultraviolet (UV) pour les larves d'huîtres qui entrent en contact avec ces molécules (Lyons et col., 2002). Des contaminants détectés dans les eaux et les sédiments sont accumulés dans les lipides des huîtres à des concentrations parfois élevées (Auby et col. 2007) ; lors de leur maturation les ovocytes accumulent des lipides et donc ces contaminants. Ces derniers peuvent avoir un effet sur le développement de l'embryon. Il a été montré sur un bivalve benthique (*Mulinia lateralis*) que certains HAP accumulés dans les ovocytes, intoxiquent les larves issues de ces ovocytes lorsqu'elles sont soumises aux UV (Pelletier et col., 2000). Les concentrations dans les chairs du géniteur provoquant des perturbations dans les larves, sont très supérieures à celles mesurées dans les chairs des bivalves en baie de Bourgneuf, mais du même ordre de grandeur que dans d'autres sites du littoral français (Rocch).

Dans le milieu marin littoral, l'eau est souvent chargée en sédiment. La présence de ces particules à forte densité n'a pas d'effet sensible sur les larves (Geffard, 2001) mais ces particules sont souvent fortement chargées en contaminants chimiques adsorbés à leur surface, qui sont ainsi accumulés dans le sédiment ; celui-ci est donc un concentrateur et un vecteur de contaminants chimiques pour les larves. Dans les bassins ostréicoles, il est observé que les sédiments sous les tables d'huîtres sont plus riches en contaminants chimiques. Les huîtres filtrent l'eau et retiennent le plancton, mais aussi les particules, minérales et organiques. Ces dernières agglomérées avant d'être rejetées sous forme de pseudo-fèces qui sédimentent (Martin et col., 1989). Cela peut être un facteur d'accumulation de certains contaminants chimiques dans le sédiment.

Par ailleurs, les sédiments contiennent souvent une concentration en ammoniac suffisamment élevée pour être toxique chez les huîtres, notamment les jeunes stades (Geffard, 2001). Ce sédiment remis en suspension dans l'eau perturbe la consommation alimentaire des huîtres dès le stade naissain (Barillé et col. 2011) et les sensibilise à l'effet de certains contaminants chimiques.

Certaines espèces du phytobenthos relarguent des peptides qui perturbent les larves d'huîtres et peuvent donc contribuer à des mortalités (Poirier et col. 2007).

Les mesures réalisées en 2013 dans le canal d'alimentation en eau de mer du polder montrent des baisses significatives du pH de l'eau (Glize et Cesbron, 2014) synchrones d'incidents graves rapportés par des écoseurs ou des nurseurs. Des observations similaires ont été faites sur la station de l'Ifremer en 2013 et 2014 dans le projet de recherche Insev3i (données en cours de traitement). Ces baisses de pH sont les indicateurs de masses d'eau de caractéristiques différentes. Le pH peut donc être un indicateur de l'entrée d'une masse d'eau particulière, comme la salinité. Cependant des incidents graves ont aussi été cités en l'absence de baisse du pH.

Par ailleurs, la baisse constatée du pH de l'eau de mer, notamment dans les eaux littorales, est de plus en plus citée comme perturbateur pour les invertébrés aux différents stades, mais aucune publication n'a été trouvée concernant les effets sur les jeunes stades de l'huître, hormis sur le métabolisme des spermatozoïdes.

5 Observations faites par des établissements du polder

En 2013 et 2014, des paramètres de l'eau ont été mesurés tous les jours en deux points du canal d'amenée d'eau de mer, un par moitié, de mai à décembre et quatre entreprises, écloveurs et/ou nurseurs ont communiqué des observations sur les lots en élevage en nurserie (Glize et Cesbron, 2014). Ces deux années de suivi permettent de conclure que ce suivi journalier fournit des indications pertinentes sur la qualité de l'eau : en particulier certaines baisses brutales du pH sont synchrones d'anomalies dans les élevages (mortalités, blocage de croissance). Mais ce synchronisme n'est pas toujours observé. Cette opération a aussi montré que les éleveurs sont prêts à s'impliquer dans un système d'observation de la qualité de l'eau.

Depuis 2010, la société Innov'Alg observe des mortalités massives et très fréquentes dans les cultures de l'algue planctonique *Odontella*. Depuis 1994 cette algue est cultivée en routine de mai à novembre : quelques mortalités avaient été constatées de 1998 à 2003. En 2014, un changement dans les pratiques de culture a permis de réduire le nombre de ces mortalités, mais certaines ont été aussi fortes que les années précédentes, avec les mêmes symptômes. Un bilan complet des cultures a été établi.

Les membres du Senc (Syndicat des écloveurs et nurseurs de coquillages) ont rapporté des observations de mortalités anormales dans leurs élevages lors d'une réunion en novembre 2014 de présentation du projet de suivi de la qualité de l'eau dans le polder, confirmant les déclarations faites antérieurement par quelques établissements (voir l'introduction). **Il a été alors convenu d'établir une fiche rapportant les différentes observations relevées en cas d'anomalie**, sur les huîtres, les algues et les paramètres physico-chimiques. Cette fiche est mise en œuvre pour une période d'essai et de mise au point (voir document en Annexe 3).

Depuis le mois de mars 2015, certains écloveurs et nurseurs signalent les anomalies constatées dans leurs élevages :

Le premier épisode a eu lieu lors de la prise d'eau succédant le mort d'eau de la fin février. Le suivi à haute fréquence de l'eau entrant dans la branche Nord du canal d'amenée d'eau de mer, mis en place depuis février, a montré pendant deux jours une baisse brutale et significative de la salinité due à une entrée d'eau provenant en partie des étiers. Les écluses de l'étier des Champs ont été ouvertes en grand pour faire une chasse et évacuer les eaux accumulées dans le marais, lors des pluies importantes des semaines précédentes. Cette chasse a été faite à basse mer, comme d'habitude.

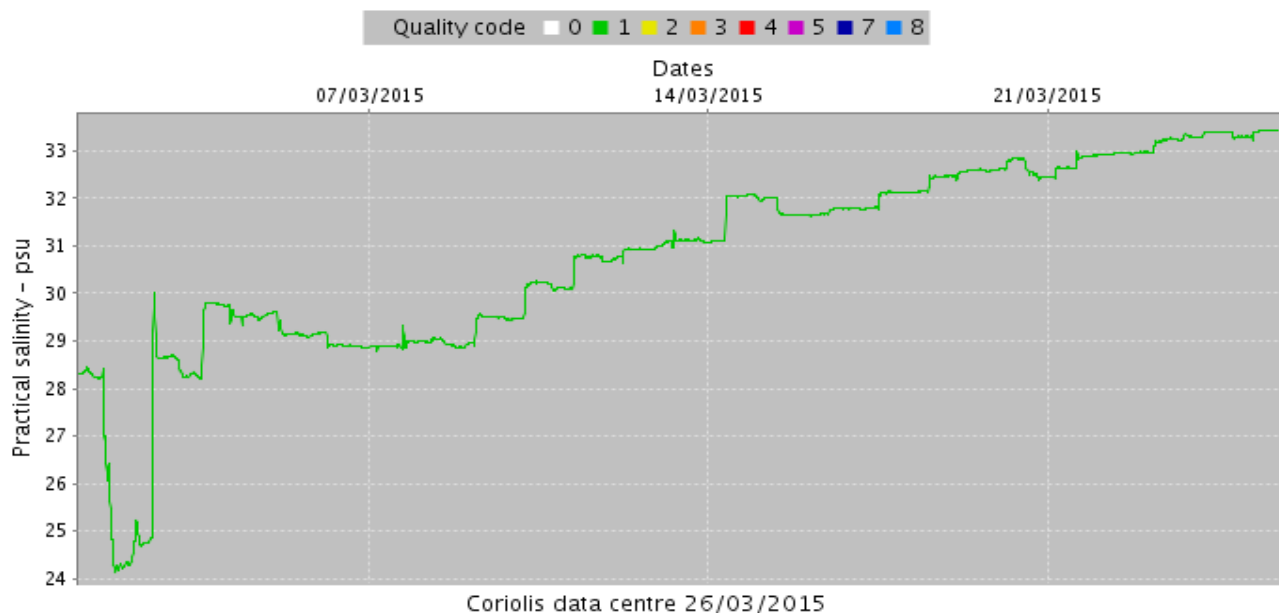


Figure 22 : Mesure de la salinité de l'eau dans le canal d'amenée du polder de Bouin

Le deuxième épisode a eu lieu le 18 mars 2015 dans la partie Sud du polder, les jours qui ont suivi le désherbage chimique de certaines parcelles agricoles jouxtant le canal d'amenée ; cependant aucune anomalie n'a été observée dans les paramètres hydrologiques du canal d'amenée. Ce deuxième épisode est à rapprocher de celui rapporté verbalement par des éclosiers à la même période en 2013.

Pour le premier épisode, des déclarations verbales ont été faites par quatre éclosiers-nurseurs, sur les deux parties du polder. Des fiches d'anomalies ont été communiquées par deux éclosiers pour le deuxième épisode.

6 Conclusions

L'évolution des paramètres mesurés par l'Observatoire des eaux du bassin versant de la baie de Bourgneuf montre une tendance à la baisse des pesticides de 2008 à 2012. Sur le point de suivi des contaminants chimiques dans les mollusques de la baie de Bourgneuf, la tendance est soit à la baisse soit à la stabilité au cours des dix dernières années.

A l'exception de quelques molécules, les concentrations des pesticides recherchés dans les eaux de surface du bassin versant et des contaminants chimiques dans la baie indiquent des teneurs inférieures aux valeurs reconnues comme toxiques pour l'huître, pour les molécules recherchées et dont les effets sur l'huître et le phytoplancton sont connus.

Mais les pesticides les plus récemment introduits sur le marché ne sont pas recherchés et leurs effets pas toujours connus. Par ailleurs, les échantillonnages sont relativement espacés et ne sont pas calés sur les conditions de plus forte probabilité de présence. **Dans le bassin conchylicole de Marennes, certains pics de pesticides ont été détectés grâce à des échantillonnages fréquents et adaptés aux conditions climatiques,** notamment la pluviométrie, et aux pratiques agricoles.

Par ailleurs, les mesures sont effectuées sur des cours d'eau en des points relativement éloignés du littoral. Le transit dans le cours d'eau modifie sensiblement les concentrations, hormis les périodes de fort débit successives à des pluies fortes sur le bassin versant. Mais des activités en aval du point peuvent contribuer significativement aux apports dans les eaux de la baie proches du polder conchylicole. Des activités agricoles de grande culture intensive jouxtent ce polder conchylicole. Des contaminations d'origine urbaine sont peu probables car les zones urbaines proches du littoral sont peu nombreuses et clairsemées. Par contre pour Noirmoutier, les zones urbaines proches des établissements conchylicoles, notamment l'écloserie France Turbot, sont plus nombreuses et plus denses.

La détection de ces contaminants chimiques serait donc plus efficace par des prélèvements à proximité des prises d'eau du polder et des marais de Noirmoutier, à des périodes de plus forte probabilité de présence, notamment aux pics de flux d'eau douce et aux périodes de traitements agricoles. **Cette façon de procéder permettrait par la suite de rechercher la source de contamination, en recoupant les résultats de ces mesures avec la liste des pesticides utilisés en agriculture et/ou les activités non agricoles.**

Un autre point est à prendre en compte, même si les résultats des études l'estiment secondaire : le panache de la Loire peut atteindre de manière significative la baie de Bourgneuf sous certaines conditions climatiques, il faudrait évaluer, à l'aide des modèles hydrodynamiques les éventuels apports de la Loire.

Pour la détection de pesticides dans l'eau de mer, les analyses chimiques peuvent être réalisées de manière ponctuelle. Plus récemment, des échantillonneurs passifs de type POCIS (Polar organic chemical integrative sampler) ont été utilisés. Ces échantillonneurs permettent de concentrer sur des membranes des polluants plutôt hydrophiles présents dans la phase dissoute et ceci pendant plusieurs semaines. Ils permettent ainsi de calculer une concentration dans l'eau intégrée dans le temps. Leur analyse reste onéreuse mais il est possible d'opter pour l'analyse des seules membranes dont la période d'immersion correspond à des anomalies constatées au sein des écloserie. Ce traitement permet d'identifier les pesticides présents dans l'eau et leur concentration moyenne sur la période ; la précision de la mesure est d'autant plus élevée que leur temps d'immersion est court.

Des travaux concluent que le flux de pesticides est directement lié au flux des eaux continentales.

Pour la baie de Bourgneuf, sur la base de modèles hydrodynamiques et de mesures *in situ*, celles-ci proviendraient principalement du bassin versant de la baie. Des contaminants peuvent aussi provenir du polder agricole ceinturant le polder conchylicole. En période de crues, certains paramètres de l'eau (salinité, pH,...) sont sensiblement modifiés, notamment dans les zones entourant les prises d'eau du polder de Bouin. Ces modifications peuvent être mesurées par des moyens simples, comme cela est déjà fait (Glize et Cesbron, 2014 et 2015) ; mais il a été montré que les mesures à haute fréquence de paramètres physico-chimiques permettent de détecter de manière plus précise et fiable les flux d'eaux

continentales ainsi que les périodes de forte remise en suspension des sédiments, souvent chargés en contaminants chimiques. Dans la zone de la baie qui entourent le polder, ces dernières sont fréquentes et durent plusieurs jours ou semaines.

Le suivi de la qualité de l'eau du polder conchylicole de Bouin, peut donc être réalisé sur la base de trois méthodes :

- un suivi de paramètres physico-chimiques de l'eau (température, salinité, pH, turbidité, oxygène dissous) à haute fréquence, aux prises d'eau nord et sud ; les résultats des mesures seraient consultables en temps réel ;
- des indicateurs biologiques, sur la base des constats d'anomalies dans les écloséries, les nurseries et les cultures de microalgues ; ces constats individuels n'ont de valeur que s'ils sont concordants entre plusieurs entreprises et avec les mesures des paramètres de l'eau ; ceci peut être fait par une entité à qui ces constats sont adressés sans délai ;
- l'échantillonnage de l'eau aux prises d'eau nord et sud du polder, par des échantillonneurs passifs, qui ne sont analysés qu'en cas d'anomalie confirmée dans les élevages. Mais chaque type d'échantillonneur ne capte qu'un nombre limité de contaminants en fonction de leurs propriétés physico-chimiques. Il faut donc les choisir selon les molécules utilisées par les activités du bassin versant, les plus susceptibles d'avoir des concentrations significatives à l'exutoire des cours d'eau. Une recherche préalable des molécules utilisées dans le bassin versant permettrait de bien cibler les molécules à rechercher.

Ceci serait complété par la collecte d'informations sur l'ouverture et la fermeture des écluses sur les étiers, sur la pluviométrie, ainsi que sur les pratiques culturales agricoles (dates et produits de traitement). Ceci ne pourra se faire qu'en concertation avec les organismes en charge de la manœuvre des écluses et avec les agriculteurs.

Ce système permettrait aussi de signaler rapidement aux entreprises l'existence d'un risque de perturbations lié à la qualité de l'eau de mer entrant dans le polder, ainsi les entreprises pourraient prendre des mesures pour réduire ou supprimer ce risque.

L'analyse des échantillonneurs passifs permet d'identifier la présence dans l'eau de pesticides utilisés en agriculture et d'autres activités. En recoupant cette information avec les résultats des enquêtes sur l'usage des pesticides dans la zone, il est possible de déterminer les activités « polluantes ». Ceci serait une information complémentaire utile pour le Sage.

7 Sigles

ADBVB : Association pour le Développement du Bassin Versant de la Baie de Bourgneuf

Afnor : association française de normalisation

AMPA : Acide AminoMéthylPhosphonique, dérivé du glyphosate, plus stable que celui-ci

Cle : Commission Locale de l'Eau, instance locale de concertation qui élabore le SAGE

Crepepp : Cellule Régionale de la Pollution des Eaux par les Produits Phytosanitaires

DCE : Directive Cadre Européenne sur l'Eau, qui établit un cadre pour une politique globale communautaire dans le domaine de l'eau, continentale, superficielle ou souterraine, de transition et marine littorale.

EC50 : Effect Concentration = concentration provoquant un effet sur 50% des individus d'une population

Gerrico : Gestion globale des Ressources marines et des Risques dans les espaces Côtiers, programme de recherche financé par l'Ifremer, l'Université de Nantes, la Région Pays de la Loire

HAP : hydrocarbures aromatiques polycycliques, sous-famille des hydrocarbures aromatiques, composés présents dans tous les milieux environnementaux et qui montrent une forte toxicité

HC5 : Hazardous Concentration = concentration dangereuse pour 5% des espèces d'une communauté, concentration généralement considérée comme saine

LC50H : Lethal Concentration = concentration létale pour 50% des individus d'une population après H heures d'observation

LOEC : Limit Observed Effect Concentration = la plus faible concentration à laquelle un effet toxique est observable sur une espèce donnée

NOEC : No Observed Effect Concentration = la plus forte concentration à laquelle aucun effet toxique n'est observable sur une espèce donnée

Ospar : convention internationale Oslo - Paris qui guide la coopération internationale pour la protection de l'environnement marin de l'Atlantique du Nord-Est.

PCB : polychlorobiphényles (nom commercial souvent utilisé Pyralène), composés stables à la chaleur très utilisés, interdits en France depuis 1987.

Pocis : Polar organic chemical integrative sampler

Rocch: Réseau d'Observation de la Contamination CHimique du littoral, opéré par l'Ifremer (http://envlit.ifremer.fr/surveillance/contaminants_chimiques)

Sage : Schéma d'Aménagement et de Gestion de l'Eau

SAU : surface agricole utile, instrument statistique destiné à évaluer la surface foncière déclarée par les exploitants agricoles comme utilisée par eux pour la production agricole

Senc : Syndicat des Ecloseurs et Nurseurs de Coquillages

Smidap : Syndicat Mixte pour le Développement de l'Aquaculture et de la Pêche en Pays de la Loire

TBT : tri-butyle étain, composé utilisé dans les peintures anti-salissures, notamment pour les coques de bateau, interdit en France et banni par l'organisation maritime internationale suite au constat de sa forte toxicité.

8 Bibliographie

- ADBVBB (2000). "Observatoire de qualité des eaux de la Baie de Bourgneuf – Rapport technique 1998", 89p.
- ADBVBB (2006). "Tableau de bord de suivi du Sage du Marais Breton et du bassin versant de la Baie de Bourgneuf – Année 2003", 24p.
- ADBVBB (2010). "Tableau de bord de suivi du Sage du Marais Breton et du bassin versant de la Baie de Bourgneuf – Année 2008-2009", 116p.
- ADBVBB (2014) a. "SAGE du Marais Breton et du bassin versant de la Baie de Bourgneuf - Évaluation environnementale", 71p.
- ADBVBB (2014) b. "SAGE du Marais Breton et du bassin versant de la Baie de Bourgneuf – Plan d'aménagement et de gestion durable des ressources en eaux des milieux aquatiques", 130p.
- ADBVBB (2014) c. "Observatoire de l'Eau du Bassin Versant de la Baie de Bourgneuf - Présentation des résultats de l'année 2013", 123p.
- Agence de l'Eau Loire-Bretagne (2013). "Guide méthodologique - Réduction des pollutions bactériologiques sur les bassins versants littoraux", 108p.
- Agence de l'Eau Loire-Bretagne (2014). "Guide méthodologique - Réduction des pollutions bactériologiques sur les bassins versants littoraux - Élaboration des profils de vulnérabilité conchylicole", 56p.
- Akcha, F., C. Spagnol, et col. (2012). "Genotoxicity of diuron and glyphosate in oyster spermatozoa and embryos." *Aquatic Toxicology* 106-107:104-113.
- Amara, A. (2012). Évaluation de la toxicité de pesticides sur quatre niveaux trophiques marins: microalgues, échinoderme, bivalves et poisson. Université de Bretagne occidentale – Brest et Université de Tunis El Manar, Thèse de Doctorat, 214p.
- Auby, I., G. Bocquené, et col. (2007). "État de la contamination du Bassin d'Arcachon par les insecticides et les herbicides sur la période 2005-2006. Impact environnemental." Ifremer/Laboratoire Environnement Ressources d'Aquitaine, 108p.
- Barranger, A., F. Akcha, et al. (2014). "Study of genetic damage in the Japanese oyster induced by an environmentally-relevant exposure to diuron: Evidence of vertical transmission of DNA damage." *Aquatic Toxicology* 146: 93-104.
- Barillé-Boyer, A.-L., J. Haure, et col. (1997). "L'ostréiculture en baie de Bourgneuf. Relation entre la croissance des huîtres *Crassostrea gigas* et le milieu naturel: synthèse de 1986 a 1995." Ifremer/Direction des Ressources Vivantes, 193p.
- Barillé, L., A. Lerouxel, et col. (2011). "Growth of the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) in a high-turbidity environment: Comparison of model simulations based on scope for growth and dynamic energy budgets." *Journal Of Sea Research* 66 (4) 392.
- Barranger, A., F. Akcha, et col. (2014). "Study of genetic damage in the Japanese oyster induced by an environmentally-relevant exposure to diuron: Evidence of vertical transmission of DNA damage." *Aquatic Toxicology* 146:93-104.
- Benabdelmouna, A., S. Ollier, et col. (2012). "Niveau de ploïdie des naissains d'huître creuse captés dans les bassins de Marennes Oléron, Baie de Bourgneuf et Arcachon. Réseau Biovigilance, campagne 2011." Ifremer, 37p.
- Bouilly, K. (2004). "Impact de facteurs environnementaux sur l'aneuploïdie chez l'huître creuse, *Crassostrea gigas*, dans le bassin de Marennes-Oléron." Université de La Rochelle, Thèse de Doctorat, 238p.
- Bouilly, K., M. Bonnard, et col. (2007). "Impact of diuron on aneuploidy and hemocyte parameters in Pacific oyster, *Crassostrea gigas*." *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 52(1)58-63.

- Cheung, V. V., A. Jha, et col. (2006). "Development of the in vivo chromosome aberration assay in oyster (*Crassostrea gigas*) embryo-larvae for genotoxicity assessment." *Marine Environmental Research* 62:278-282.
- Collin, H., A. L. Meistertzheim, et col. (2010). "Response of the Pacific oyster *Crassostrea gigas*, Thunberg 1793, to pesticide exposure under experimental conditions." *Journal Of Experimental Biology* 213(23): 4010-4017.
- DRAAF-SRAL Pays de la Loire (2014). "Données de l'observatoire régional des achats de produits phytosanitaires Pays de la Loire 2008-2010." 12p.
- Dutertre, M., P. G. Beninger, et col. (2009). "Temperature and seston quantity and quality effects on field reproduction of farmed oysters, *Crassostrea gigas*, in Bourgneuf Bay, France." *Aquatic Living Resources* 22(3)319-329.
- Gagnaire, B. (2005). "Étude des effets de polluants sur les paramètres hématocytaires de l'huître creuse, *Crassostrea gigas* - Interactions entre environnement, mécanismes de défense et maladies infectieuses." Université de la Rochelle, Thèse de Doctorat, 412p.
- Geffard, O. (2001). "Toxicité potentielle des sédiments marins et estuariens contaminés: évaluation chimique et biologique, biodisponibilité des contaminants sédimentaires." Université de Bordeaux 1, Thèse de Doctorat, 351p.
- Geffard, A., O. Geffard, et col. (2007). "Bioaccumulation of metals in sediment elutriates and their effects on growth, condition index, and metallothionein contents in oyster larvae." *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 53(1): 57-65.
- Geret, F., T. Burgeot, et col. (2014). "Effects of low-dose exposure to pesticide mixture on physiological responses of the pacific oyster, *Crassostrea gigas*." *Environmental Toxicology* 28(12)689-699.
- GERRICO (2010). "GERRICO - Gestion globale des ressources marines et des risques dans les espaces côtiers - Vol.1 Rapport de synthèse." Université de Nantes - Ifremer - Région Pays de la Loire, 78p.
- GERRICO (2010). "GERRICO - Gestion globale des ressources marines et des risques dans les espaces côtiers - Vol.2 fiches action par axe." Université de Nantes - Ifremer - Région Pays de la Loire, 145p.
- Gilbert, B., J. Bethanis, et col. (2013). "Enquête publique portant sur le projet de révision du schéma d'aménagement et de gestion des eaux du Marais Breton et du Bassin Versant de la Baie de Bourgneuf - Synthèse des observations – Procès verbal." Commission d'Enquête, 13p.
- Gille, J. (2013). "Suivi et modélisation des flux dans un marais maritime: essais et tentative d'application sur la partie Nord du marais Breton." Géographie - Ecole Doctorale Droit, Économie-Gestion, Sociétés, Territoires. Universités Nantes, Angers et Le Mans, Thèse de Doctorat, 339p.
- Glize, P. and R. Cesbron (2014). "Suivi de la qualité de l'eau de mer du polder de Bouin - Bilan synthétique des résultats 2013." Smidap – Senc, 19p.
- Gouleau, D. (1975). "Les premiers stades de la sédimentation sur les vasières littorales atlantiques - Rôle de l'émersion." Université de Nantes, Thèse de Doctorat, 378p.
- Haberkorn, H. (2009). "Impact du dinoflagellé toxique, *Alexandrium minutum*, sur l'huître creuse, *Crassostrea gigas* : approche intégrative." Université de Bretagne occidentale. Thèse de Doctorat, 195p.
- His, E. and R. Robert (1983). "Développement des véligères de *Crassostrea gigas* dans le bassin d'Arcachon. Études sur les mortalités larvaires." *Revue des Travaux de l'Institut des Pêches Maritimes* 47(1-2): 63-88.
- His, E. and M. Seaman (1993). "Effects of twelve pesticides on larvae of oysters (*Crassostrea gigas*) and on two species of unicellular marine algae (*Isochrysis galbana* and *Chaetoceros*

calcitrans)." Acte du Conseil International pour l'Exploration de la Mer, C.M. 1993/E:22, Marine Environment Quality Committee, 8p.

- Ifremer. Océanographie et Dynamique des Ecosystèmes. Unité Littoral. Laboratoire Environnement Ressources Morbihan – Pays de la Loire (2014). Qualité du Milieu Marin Littoral. Bulletin de la surveillance 2013. Départements de Loire Atlantique et Vendée (partie nord). <http://archimer.ifremer.fr/doc/00190/30120/28582.pdf>
- Lazure, P. (1989). "Synthèse des études hydrodynamiques de la baie de Bourgneuf." Ifremer DERO-EL, 50p.
- Lazure, P. (1992). "Étude de l'hydrodynamique de la Baie de Bourgneuf." Ifremer DERO-EL, 118p.
- Lyons, B. P., C. K. Pascoe, et col. (2002). "Phototoxicity of pyrene and benzo[a]pyrene to embryo-larval stages of the pacific oyster *Crassostrea gigas*." Marine Environmental Research 54: 627-631.
- Mai (2013). Evaluation of the deleterious effects of heavy metals and pesticides on early life stages and gametes of the Pacific Oyster, *Crassostrea gigas*: Application to the pollution context of the Arcachon Bay. Université de Bordeaux, Thèse de Doctorat, 237p.
- Mai, H., J. Cachot, et col. (2012). "Embryotoxic and genotoxic effects of heavy metals and pesticides on early life stages of Pacific oyster (*Crassostrea gigas*)." Marine Pollution Bulletin 64(12)2663-2670.
- Mai, H., P. Gonzalez, et col. (2014). "Comparative responses of sperm cells and embryos of Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) to exposure to metolachlor and its degradation products." Aquatic Toxicology 147:48-56.
- Mai, H., B. Morin, et col. (2013). "Environmental concentrations of irgarol, diuron and S-metolachlor induce deleterious effects on gametes and embryos of the Pacific oyster, *Crassostrea gigas*." Marine Environmental Research 89: 1-8.
- Martin, J. L., J. M. Sornin, et col. (1989). "La biodéposition dans les aires ostréicoles: son rôle dans la concentration de la matière organique et de contaminants potentiels: son impact sur le sédiment." Ifremer DRV-RA, 85p.
- Masson, D. and E. His (1997). Contribution à l'étude de la qualité des eaux de rejet agricoles dans les marais charentais. Ifremer/DEL, Rapport d'étude
- Masson, D., E. His, et col. (2000). Produits phytosanitaires et conchyliculture en Charente-Maritime. Ifremer/DEL, Rapport d'étude
- McGaughey, B., J. M. Giddings, et col. (2013). "Risk assessment for use of imidacloprid to control burrowing shrimp in shellfish beds of Willapa Bay and Grays Harbor, WA." Compliance Services International, 130p.
- Moreau, P. (2014). "Étude des interactions entre infection à ostreid herpesvirus 1, immunité, autophagie et pesticides chez l'huître creuse, *Crassostrea gigas*." Université de La Rochelle, Ecole doctorale Gay Lussac, Thèse de Doctorat, 328p.
- Mottier, A., V. Kientz-Bouchart, et col. (2013). "Effects of glyphosate-based herbicides on embryo-larval development and metamorphosis in the Pacific oyster, *Crassostrea gigas*." Aquatic Toxicology 128: 67-78.
- Mottier, A., J. Pini, et col. (2014) a. "Effects of a POEA surfactant system (Genamin T-200 (R)) on two life stages of the Pacific oyster, *Crassostrea gigas*." Journal of Toxicological Sciences 39(2)211-215.
- Mottier, A., V. Kientz-Bouchart, et col. (2014) b. "Effects of acute exposures to mecoprop, mecoprop-p and their biodegradation product (2-MCP) on the larval stages of the Pacific oyster, *Crassostrea gigas*." Aquatic Toxicology 146: 165-175.

- Munaron, D. (2014). "Etude des apports en herbicides et en nutriments par la Charente: Modélisation de la dispersion de l'atrazine dans le bassin de Marennes-Oléron." Université Pierre et Marie Curie Paris VI. Thèse de Doctorat, 341p
- Nice, H. E., M. C. Thorndyke, et col. (2000). "Development of *Crassostrea gigas* larvae is affected by 4-nonylphenol." *Marine Pollution Bulletin* 40(6): 491-496.
- Pelletier, M. C., R. M. Burgess, et col. (2000). "Importance of maternal transfer of the photoreactive polycyclic aromatic hydrocarbon fluoranthene from benthic adult bivalves to their pelagic larvae." *Environmental Toxicology And Chemistry* 19(11): 2691-2698.
- Pierre, D. et A. Colmar (2009). "Réalisation d'une cartographie de l'impact potentiel des produits phytosanitaires sur les eaux superficielles et souterraines de la région Pays de la Loire - Diagnostic régional." *Géo-Hyd pour FREDON et CREPEPP Pays de la Loire*, 52p.
- Poirier, L., F. o. Quiniou, et col. (2007). "Toxicity assessment of peptaibols and contaminated sediments on *Crassostrea gigas* embryos." *Aquatic Toxicology* 83(4)254-262.
- Renault, T., (1998) "Etude de l'herpès virus de l'huître" - Fonds d'Aide à la Recherche et à l'Innovation - Décision d'Aide à la Recherche n° 95-07-01 - Rapport Final Août 1998
- Robert, R., E. His, et col. (1986). "Toxicité d'un désherbant, l'atrazine-simazine, sur les jeunes stades larvaires de *Crassostrea gigas* et sur deux algues fourrages, *Isochrysis aff-galbana* et *Chaetoceros calcitrans*." *Haliotis* 15: 319-325.
- Sanchez, M. (2008). "Dynamique des sédiments fins dans une zone côtière à forte turbidité à proximité de l'embouchure de la Loire." X^{èmes} Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil, Sophia Antipolis, 14-16/10/2008, 10p.
- Service Maritime Navigation 44 49 (1995). "Incidence des crues de la Loire sur la qualité des eaux littorales de Loire-Atlantique", Rapport d'étude, 55p.
- Stachowski-Haberkorn, S. (2008). "Méthodes d'évaluation de l'impact de pesticides sur le phytoplancton marin et le naissain d'huître creuse." Ecole Doctorale des Sciences de la Mer, Université de Bretagne Occidentale, Thèse de Doctorat, 187p.
- Wessel, N., S. Rousseau, et col. (2007). "Investigating the relationship between embryotoxic and genotoxic effects of benzo[alpha]pyrene, 17 alpha-ethinylestradiol and endosulfan on *Crassostrea gigas* embryos." *Aquatic Toxicology* 85(2)133-142.

9 Annexes

Annexe 1 : Exemple de fiche de lecture

Les fiches de lecture des documents qui ont été utilisés comme références pour la rédaction de ce rapport sont regroupées dans un document annexe.

Notes de lecture de documents

P-J. Hatt

24/02/2015

Nature : rapport

Auteur : Association pour le Développement du Bassin Versant de la Baie de Bourgneuf (ADBVB)

Titre : Observatoire de l'eau du bassin de la baie de Bourgneuf – Présentation des résultats de l'année 2013

Date de publication : juin 2014

Objet :

L'Observatoire de l'eau de la baie de Bourgneuf a pour objet d'assurer un suivi de la qualité des eaux sur le bassin versant. Le suivi est réalisé sur 20 points par les gestionnaires (Conseils généraux de la Loire-Atlantique et de la Vendée, Agence de l'Eau Loire-Bretagne, DREAL, CREPEP, DDTM 85 et 44) et sur 15 points par l'Association. Ce suivi qualifie l'ensemble des sous-bassins versants du territoire du SAGE et effectue les inventaires biologiques indispensables à la qualification du milieu. D'une manière globale, la stratégie adoptée est de s'attacher à réaliser des prélèvements dans la partie bocagère des cours d'eau notamment avant l'entrée dans le marais et à leur exutoire, en aval des portes à la mer dans la zone saumâtre. Pour les cours d'eau de la partie bocagère, les paramètres recherchés relèvent de la qualité physico-chimique (NO₃⁻, PO₄, ...), de la présence ou non des pesticides dans l'eau (avec quantification le cas échéant) et de la qualité biologique des habitats présents (IBD, IBGN et IPR). Pour les exutoires/portes à la mer, une analyse bactériologique (*Escherichia coli*) dans l'eau est destinée à évaluer les sources éventuelles de contamination bactérienne que l'on peut retrouver dans les coquillages et de comparer les secteurs entre eux afin de déterminer lequel ou lesquels sont le(s) plus contributeur(s). Les paramètres physico-chimiques sont analysés plus sommairement.

Ce rapport synthétise sous forme de fiches, la qualité de l'eau depuis 2008 pour 35 points de suivi sur le bassin versant de la baie de Bourgneuf. Le niveau d'information par point (physico-chimique, pesticide, biologique, bactériologique) est fonction des analyses faites par l'Association et/ou les autres gestionnaires.

Les résultats de la qualité des eaux douces en 2008-2009 et 2012-13, sont présentés et analysés pour le canal de Haute Perche, le bassin du marais de Millac et de ses affluents, du Falleron et du canal du Dain, de l'étier de Sallertaine et du Taizan, des étiers de la Grande Taillée et de la Petite Taillée.

Résumé :

Résultats utiles pour l'évaluation des pesticides dans le polder de Bouin (et le polder de Noirmoutier)

Dosage des pesticides

Points de mesure de cours d'eau dont les débouchés sont proches du polder de Bouin :

- le Falleron, sur un de ses affluents, en amont de Machecoul, donc très loin de l'embouchure ; ce point n'est donc pas d'intérêt pour l'étude ;
- étier de Sallertaine
 - en amont de Challans, sur le Ru du Pont Habert à La Juisière,
 - sur un de ses affluents, le Ru du Taizan, à Saint-Urbain,

-
- au pont de la Maison Rousse, à Saint-Urbain.

Fréquence des mesures en 2010 et 2011 : 6 ou 7 prélèvements de mars à décembre pour l'étier de Sallertaine - pont de la Maison Rousse.

Fréquence des mesures en 2012 et 2013 :

- 5 prélèvements de mai à novembre pour l'étier de Sallertaine - La Jusière,
- 5 ou 6 prélèvements de mai à novembre pour l'étier de Sallertaine - Ru du Taizan,
- 4 ou 6 prélèvements de mars à septembre pour l'étier de Sallertaine - pont de la Maison Rousse.

Produits recherchés : 150 à 225 molécules.

L'objectif du Sage est fixé à $1\mu\text{g.L}^{-1}$ pour la somme des pesticides. Parmi les molécules détectées certaines sont interdites d'utilisation depuis quelques années.

Nombre de molécules détectées parmi les molécules recherchées :

- Étier de Sallertaine - La Jusière, sur 200 recherchées, 25 détectées en 2012 et 20 en 2013. La dose "objectif" est dépassée pour 5 des 11 campagnes. Maximum $1,9\mu\text{g.L}^{-1}$.
- Étier de Sallertaine - Ru du Taizan, sur 157 recherchées, 34 détectées en 2008 et 30 en 2009. La dose "objectif" est dépassée pour 13 des 14 campagnes, la dose double pour 4 campagnes.

Molécules présentant les plus fortes concentrations :

- le Falleron, aval de Machecoul, pour l'aminotriazole, l'AMPA, le pyriméthanil, l'alachlore, le carbofuran et le diuron, les concentrations maximales relevées sont supérieures à $1\mu\text{g.L}^{-1}$.
- Étier de Sallertaine, aval de Challans, pour le glyphosate et l'AMPA (dérivé du premier) les concentrations sont supérieures à $1\mu\text{g.L}^{-1}$. Ces deux molécules responsables du dépassement de l'objectif sur Sage. Le terbutryne et l'atrazine sont aussi à des concentrations élevées.
- Étier de Sallertaine, Saint Urbain, pour le glyphosate et AMPA (dérivé du premier) les concentrations sont supérieures à $1\mu\text{g.L}^{-1}$.

Molécules les plus fréquemment détectées :

- le Falleron, aval de Machecoul, diuron, AMPA (dérivé du glyphosate),
- Étier de Sallertaine, aval de Challans, diuron, AMPA, terbutryne, glyphosate, oxadiazon, diflufenicanil,
- Étier de Sallertaine, Saint Urbain, diuron, AMPA, terbutryne, glyphosate.

Analyse des données : voir tableaux

Annexe 2 : Manœuvres des écluses du port des Champs, du port du Bec et du Grand Pont. Observations sur les flux

Ces informations ont été obtenues lors d'un entretien avec J-M. Girard (Pôle Technique\CRD Beauvoir-Pôle éclusier\DMD Olonne, 6 rue du Port, 85230 Beauvoir/mer) et par la consultation des documents « Manœuvres à l'écluse des Champs » et « Manœuvres à l'écluse du Bec » de janvier à mai 2015.

Règle générale :

Sont distinguées deux saisons, été (mi-mars – mi-septembre) et hiver mi-septembre – mi-mars).

Port des Champs (étier des Champs) :

- En hiver, l'écluse est ouverte à marée basse une fois par jour pour évacuer les eaux des étiers ; lors des trois plus fortes marées de vives eaux, elle est ouverte pour une prise d'eau de mer. En été, lors des marées de coefficient supérieur à 80, l'écluse est ouverte à marée haute pour faire entrer de l'eau de mer. Lors de quatre marées basses, des chasses sont faites pour évacuer le trop plein d'eau douce. Si les pluies ont été faibles l'écluse est ouverte au minimum pour limiter le flux sortant, et ainsi maintenir le niveau d'eau dans les étiers. Si les pluies ont été fortes, l'écluse est ouverte totalement. Lors des marées de coefficient inférieur à 80, lors des trois ou quatre premières journées, l'écluse est maintenue fermée puis mise en libre va et vient.

Port du Bec (étier du Dain) :

- En hiver, l'écluse est ouverte à basse mer à tous les coefficients de marée une fois par jour pour évacuer les eaux douces « si besoin ». Le niveau de l'eau en amont de l'écluse atteint 4m30-5m00 (côte marine). Si le niveau dépasse 5m00, elle est ouverte deux fois par jour. L'écluse est maintenue ouverte 5 à 6 heures, suivant le volume d'eau à évacuer.
- En été, lors des marées de coefficient supérieur à 60, l'écluse est ouverte à pleine mer pour une prise d'eau de mer et elle est ouverte à basse mer pour une chasse, lors de trois marées ; lors des marées de coefficient inférieur à 60, l'écluse est maintenue ouverte en « va et vient libre ».

Pont Neuf (étier de Sallertaine) : les règles sont les mêmes que pour l'écluse du port du Bec, mais le niveau de l'eau en amont de l'écluse qui déclenche l'ouverture de l'écluse à marée basse est 3m80 (côte marine) pour une ouverture une fois par jour et 4m00 pour une ouverture deux fois par jour.

Pour ces deux dernières écluses, les côtes d'ouverture sont différentes du fait de la topographie différente entre les marais drainés par l'étier du Dain et les marais drainés par l'étier de Sallertaine et ses affluents.

Observations importantes :

L'étier des Champs draine des marais de surface plus limitée que les deux autres. Par ailleurs, les étiers secondaires et tertiaires sont mieux entretenus que dans les autres marais et la capacité de réserve de ces marais en est plus importante.

Depuis une dizaine d'année, il est observé, suite à une forte pluie (>20mm/jour environ), que l'afflux d'eau aux écluses du port du Bec et du Grand Pont est beaucoup plus rapide et fort ; la côte déclenchant l'ouverture deux fois par jour est atteinte 24 à 48 heures après la pluie, contre quelques jours précédemment. Ceci est attribuable d'une part à l'assèchement des marais qui bordent Challans, suite à la périurbanisation très importante, et d'autre part à un entretien insuffisant des étiers secondaires et tertiaires.

Les manœuvres des écluses peuvent être adaptées aux situations extrêmes, soit pour conserver un niveau d'eau dans les marais doux, soit pour évacuer un excès inhabituel d'eau.

Annexe 3 : Fiche de déclaration des anomalies observées dans les écloseries et nurseries du polder conchylicole de Bouin et sur l'île de Noirmoutier, utilisée depuis mars 2015.

Constat d'anomalies dans une écloserie ou nurserie du polder de Bouin et sur l'île de Noirmoutier					
Date	<input style="width: 100%;" type="text"/> JJ/MM/AAAA	Lieu	<input style="width: 100%; height: 20px;" type="text"/>		
		Entreprise (adresse + téléphone)	<input style="width: 100%; height: 20px;" type="text"/>		
Nom de la personne ayant fait le constat :					
Les anomalies ont été constatées sur :					
Les huîtres	géniteurs	<input style="width: 100%;" type="text"/>	Symptômes	croissance	<input style="width: 100%;" type="text"/>
	larves	<input style="width: 100%;" type="text"/>		mortalité	<input style="width: 100%;" type="text"/>
	micronurserie	<input style="width: 100%;" type="text"/>		couleur	<input style="width: 100%;" type="text"/>
	nurserie	<input style="width: 100%;" type="text"/>	Autres informations utiles (origine des animaux, ...) :		
Les cultures de phytoplancton	intérieure	<input style="width: 100%;" type="text"/>			
	extérieure	<input style="width: 100%;" type="text"/>			
	espèce :	<input style="width: 100%;" type="text"/>			
Eau de mer ou eau de forage :					
Conditions d'élevage lors du constat :					
Physico-chimie	température	<input style="width: 100%;" type="text"/>	Coef. marée	<input style="width: 100%;" type="text"/>	
	pH	<input style="width: 100%;" type="text"/>	Vent (direction)	<input style="width: 100%;" type="text"/>	
	salinité	<input style="width: 100%;" type="text"/>			
	couleur de l'eau	<input style="width: 100%;" type="text"/>			
	turbidité	<input style="width: 100%;" type="text"/>			
Cultures de phytoplancton	intérieure	<input style="width: 100%;" type="text"/>			
	extérieure	<input style="width: 100%;" type="text"/>			
	espèce(s) :	<input style="width: 100%;" type="text"/>			
Autres observations sur l'exploitation (réserves, canaux, ...) :					
bloom phytoplancton naturel	<input style="width: 100%; height: 20px;" type="text"/>				
macrophytes	<input style="width: 100%; height: 20px;" type="text"/>				
travaux en cours ou récents	<input style="width: 100%; height: 20px;" type="text"/>				
autre	<input style="width: 100%; height: 20px;" type="text"/>				
Commentaires :	<input style="width: 100%; height: 20px;" type="text"/>				

Annexe 4 : Membres du comité de pilotage

Agence de l'Eau Loire Bretagne : Philippe FERA, Chef de projet "Littoral", Délégation Ouest Atlantique

Association pour le Développement du Bassin Versant de la Baie de Bourgneuf : Sopia ROCQ, Animatrice du SAGE du Marais Breton et du bassin versant de la Baie de Bourgneuf

Université de Nantes Département des Sciences de la Vie Laboratoire Mer Molécules Santé : Christophe MOREAU

Syndicat Mixte pour le Développement de l'Aquaculture et de la Pêche en Pays de la Loire : Philippe GLIZE

Ifremer Laboratoire Environnement Ressources Bretagne Sud-Pays de la Loire : Anne GROUHEL-PELLOUIN

Ifremer Laboratoire Ecotoxicologie : Farida AKCHA

Ifremer Laboratoire Sauvegarde des Productions Conchylicoles : Christophe STAVRAKAKIS, Philippe-Jacques HATT, Vincent BUCHET

