



## EVALUATION DE LA QUALITE BIOLOGIQUE DES MILIEUX LITTORAUX SEMI-FERMES

## EVALUATION OF THE BIOLOGICAL QUALITY OF COASTAL SEMI-SHELTERED ECOSYSTEMS

Programme **LITEAU 2**  
Rapport de fin de contrat

Université Bordeaux 1 – CNRS, UMR 5805 EPOC  
Xavier de Montaudouin  
Station Marine d'Arcachon  
2, rue du Pr Jolyet F-33120 Arcachon  
x.de-montaudouin@epoc.u-bordeaux1.fr

Date : 15/07/2009

N° de contrat : CV05000151  
Date du contrat : 01/12/2005

## TABLE DES MATIERES

Evaluation de la qualité biologique des milieux littoraux semi-fermés.....	1
Evaluation of the biological quality of coastal semi-sheltered ecosystems.....	1
Table des matières.....	2
Synthèse.....	3
Programme LITEAU 2.....	3
Contexte général.....	4
Objectifs généraux du projet.....	4
Quelques éléments de méthodologie (et éventuelles difficultés rencontrées).....	5
Résultats obtenus.....	6
<i>Implications pratiques, recommandations, réalisations pratiques, valorisation.....</i>	15
Partenariats mis en place, projetés, envisagés.....	16
Pour en savoir plus (quelques références).....	17
Liste des opérations de valorisation issues du contrat (articles de valorisation, participations à des colloques, enseignement et formation, communication, expertises...).....	17
Résumés.....	22
Mots clés.....	22
Abstract.....	22
Key words.....	23
Rapport scientifique.....	24

## SYNTHESE

(destinée aux utilisateurs et gestionnaires publics)

(Environ 10 pages, hors liste des publications et autres valorisations)

# EVALUATION DE LA QUALITE BIOLOGIQUE DES MILIEUX LITTORAUX SEMI-FERMES

## PROGRAMME LITEAU 2

**Nom du responsable scientifique du projet : Xavier de Montaudouin**

**Noms des autres partenaires scientifiques bénéficiaires :**

Nom des autres partenaires scientifiques bénéficiaires :

UMR 5805 EPOC

A. Amiotte

R. Butel

C. Desclaux

JM Froidefond

G. Lamaison

M. Leconte

G. Bachelet

P. Chardy

S. Dubois

C. Glé

N. Lavesque

F. Poulain

H. Blanchet

Y. Del Amo

H. Dupuis

V. Lafon

A. Le Bris

UMR 6250 LIENSs

P.-G. Sauriau

UMR 8187 LOG

J.-C. Dauvin

N. Desroy<sup>1</sup>

T. Ruellet

A.-L. Janson

IFREMER LER Arcachon

I. Auby

D. Maurer

M. Plus

---

<sup>1</sup> Aujourd'hui à IFREMER LER Saint-Malo

## En français

---

### CONTEXTE GENERAL

*Quelle situation, quels enjeux motivent ce projet ?*

La Directive Cadre sur l'Eau 2000/60/CE établit un nouveau cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau. Elle fixe comme objectif général l'atteinte, à l'horizon 2015, d'un bon état écologique et chimique des masses d'eau, incluant les eaux côtières et de transition. Pour évaluer l'état écologique d'une masse d'eau, la DCE introduit la notion d'écart par rapport à une situation de référence. Les valeurs de référence, que l'on peut considérer comme niveau étalon de très bon état écologique, doivent être établies par type de masse d'eau et par élément de qualité biologique (phytoplancton, macrophytes, macro-invertébrés, poissons).

Les indices de mesure de la qualité biologique des milieux ont fait l'objet d'une bibliographie abondante, sous diverses dénominations selon le degré d'intégration, des indices multivariés (échelle du peuplement) aux biomarqueurs (échelle de l'individu), en passant par les bioindicateurs et les espèces sentinelles. Un premier travail des personnes impliquées dans l'application de la DCE a été de sélectionner les indicateurs les plus pertinents, après un travail d'intercalibration.

La spécificité de certains écosystèmes côtiers, et plus précisément les écosystèmes semi-fermés à sédiments fortement envasés, a suscité une réelle inquiétude quant à l'applicabilité et la significativité des indices pressentis, ne serait-ce que du point de vue de la définition des états de référence ou des métriques utilisées. En d'autres termes et pour nous référer aux compartiments que nous avons étudiés, les questions qui sont à l'origine de notre projet étaient par exemple : est-il possible de définir un état écologique d'un milieu aussi chargé en matière en suspension que l'estuaire de la Gironde avec un indicateur biologique ? Comment les indicateurs benthiques actuels, sensibles à la teneur en matière organique du sédiment, vont-ils réagir dans des milieux naturellement enrichis en matière organique ? Est-il possible de mesurer la surface des herbiers à un rythme suffisamment rapide pour intégrer la variabilité saisonnière ?

L'expérience acquise par nos équipes dans ces milieux littoraux permettait d'anticiper un certain nombre de difficultés sur la transposition des indices entre des milieux marins variés, difficultés qu'il restait à démontrer, mais aussi de proposer des pistes de réflexion dans le cadre de la DCE mais également dans un contexte plus large d'étude sur le diagnostic de la qualité biologique des milieux littoraux.

### OBJECTIFS GENERAUX DU PROJET

L'objectif *in fine* de ce projet était de rechercher des indicateurs biologiques susceptibles de mesurer l'état écologique des systèmes littoraux semi-fermés, à sédiments fortement envasés. Cette recherche s'effectue : 1) le cas échéant, parmi les solutions proposées aujourd'hui dans la bibliographie et qui sont éprouvées sur des bases de données entièrement formatées à cet effet, et 2) par des améliorations ou de nouvelles propositions.

Les trois compartiments biologiques étudiés ici sont ceux qui ont été retenus comme éléments de qualité par la Directive Cadre sur l'Eau, soit le compartiment phytoplanctonique, le compartiment faune invertébrée benthique et le compartiment flore aquatique. Les niveaux de réflexion étant différents selon les compartiments, et chaque compartiment ayant ses questions propres, le projet a été à la base construit de manière relativement cloisonnée. Néanmoins, à l'issue du projet, il est possible de tirer un certain nombre de conclusions plus intégratives.

- Les objectifs du volet «phytoplancton» étaient, en premier lieu, de tester la pertinence de divers indicateurs phytoplanctoniques en milieu littoral (Bassin d'Arcachon) et dans les eaux à turbidité élevée

## QuaLiF – Evaluation de la qualité biologique des milieux littoraux semi-fermés

(estuaire de la Gironde). Dans un deuxième temps, il était aussi question d'évaluer la qualité de l'information apportée par différentes stratégies d'échantillonnage en termes de fréquence.

- Le volet « faune invertébrée benthique » du projet QuaLiF proposait de travailler sur deux écosystèmes littoraux semi-fermés : le Bassin d'Arcachon, à vocation ostréicole caractérisé par de vastes herbiers à *Zostera noltii* et l'estuaire de la Gironde, large estuaire de 625 km<sup>2</sup> caractérisé par une forte turbidité. Les données de macrofaune benthique de ces deux sites ont été comparées à celles de deux autres sites : la baie de Marennes-Oléron, baie atlantique de 180 km<sup>2</sup> et l'estuaire de la Seine (50 km<sup>2</sup>). Les objectifs étaient :
  - d'évaluer la pertinence (intérêts, limites) des indices biotiques existants en les testant sur les bases de données acquises sur les sites du Bassin d'Arcachon, l'estuaire de la Gironde, la baie de Marennes-Oléron et l'estuaire et la baie de Seine.
  - d'évaluer la possibilité de déterminer selon une approche homogène la Qualité Ecologique de chacune de ces Masses d'Eau sur la base des cinq classes de Qualité Ecologiques requises par la DCE par l'utilisation de ces seuls indices.
  - d'évaluer l'intérêt et la faisabilité d'approches intégrant plusieurs facteurs pour l'interprétation du signal en termes de qualité écologique sur la base des peuplements d'invertébrés benthiques.
- Concernant le compartiment macrophytique (herbiers), les estimations de surface sont actuellement réalisées par analyse des orthophotoplans. C'est une méthode fiable et précise mais excessivement chronophage. L'hypothèse testée dans ce projet était que la télédétection spatiale était une méthode appropriée pour l'estimation des surfaces à des échéances plus resserrées, et l'objectif était de le démontrer en proposant une méthodologie pertinente.
- Enfin, suite à une recommandation des comités d'orientation et scientifique à mi-parcours, une réflexion centrée objet a été tentée avec les trois compartiments. Pour cela, nous avons pris le problème dans l'autre sens : en prenant une perturbation avérée, nous avons cherché à voir si les indices et techniques utilisées pour l'estimation de la qualité biologique du milieu étaient aptes à la détecter.

### QUELQUES ELEMENTS DE METHODOLOGIE (ET EVENTUELLES DIFFICULTES RENCONTREES)

Les zones ateliers sont le bassin d'Arcachon (eaux côtières au sens de la DCE) et l'estuaire de la Gironde (eaux de transition), étendues à la Baie de Marennes-Oléron et l'estuaire de la Seine pour le compartiment invertébré benthique.

- Pour le phytoplancton, la base de données était constituée d'une part de bases fournies dans le cadre d'autres programmes ou réseaux (BDD interne UMR, Archyd, SOMLIT, PNEC, REPHY...) et d'autre part d'un programme spécifiquement établi pour ce projet. Les résultats de chaque année ont permis de calculer 14 indices et d'affecter un niveau de qualité annuel (très bon, bon, moyen, médiocre, mauvais) sur 8 à 19 ans selon les indices pour le Bassin d'Arcachon et entre 2 et 10 ans sur l'estuaire de la Gironde. Ainsi, sur des bases de données similaires, il a été possible de tester la réponse des indices et leurs éventuelles divergences de diagnostic. Par ailleurs, une adaptation du traitement des échantillons en milieu très turbide a été proposée sur l'estuaire de la Gironde (diminution du volume de l'échantillon à observer et répliqués). Enfin, les résultats d'indices ont été comparés en dégradant progressivement l'information d'une base de données 'Arcachon': quelles sont les répercussions d'un pas d'échantillonnage plus large, et donc plus économique (entre 1 campagne tous les 3 jours et une campagne par mois), sur l'estimation de la qualité biologique du milieu ?
- L'étude autour du compartiment 'macrofaune benthique' s'est décomposé en 3 grandes étapes. 1) la récolte et l'homogénéisation des bases de données sur des campagnes d'échantillonnage récentes (Arcachon, Marennes-Oléron, estuaire de Seine) et provoquées par le projet (estuaire de la Gironde). Ce travail est particulièrement fastidieux et délicat (synonymies, stratégies d'échantillonnage légèrement différentes, etc.). 2) mise à l'épreuve des différents indices biologiques pressentis pour la DCE et tentatives

## QuaLiF – Evaluation de la qualité biologique des milieux littoraux semi-fermés

d'harmonisation des seuils entre les différentes qualités écologiques (très bon, bon, moyen, médiocre, mauvais). 3) mise au point d'un indice multivarié à partir d'une étude de dégradation d'herbier à grande échelle et du constat de l'échec des indices classiques.

- Le principe général est de lire et d'interpréter des images satellites afin d'obtenir (rapidement) la couverture de la végétation. La validation passant par la 'vérité de terrain', une méthode rapide de détermination de la biomasse végétale a été développée en utilisant des photos numériques et en corrélant un indice simple à calculer (intersection de lignes fictives avec les brins d'herbe) et la biomasse, elle-même corrélée au pourcentage de couverture végétale. L'analyse des longueurs d'ondes, notamment proche infrarouge et rouge, sur les images SPOT permettent d'identifier avec une bonne précision la couverture végétale (méthode NDVI pour Normalised Difference Vegetation Index). Une autre méthode plus complexe mais plus fine (voir compte-rendu scientifique) permet d'obtenir une carte thématique donnant des surface par substrat (herbier, sables, vases) mais également des données quantitatives (taux de recouvrement des herbiers).

### RESULTATS OBTENUS

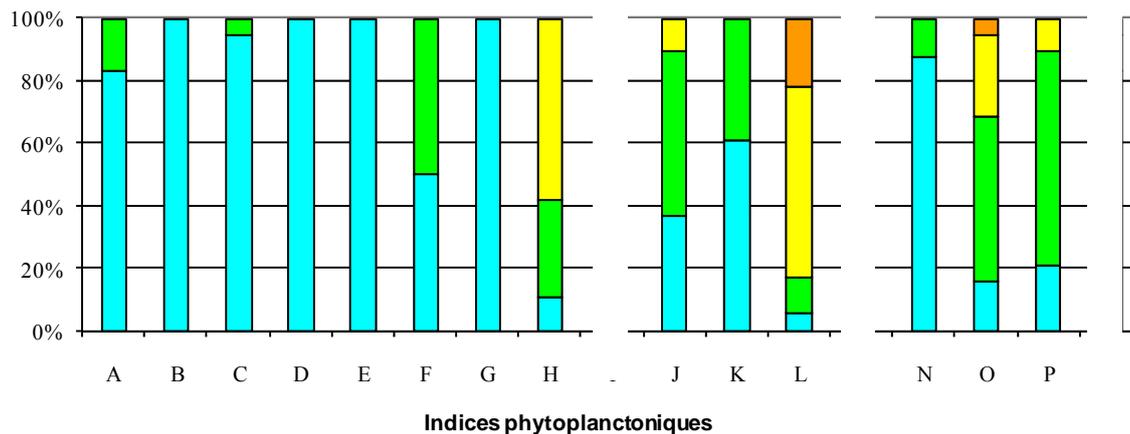
#### 1. Compartiment phytoplanctonique

- Bassin d'Arcachon

Quatorze indices biologiques ont été testés sur la même base de données. Il aurait été logique d'aboutir à des conclusions similaires en termes de diagnostic de la qualité du milieu. La Figure 1 montre qu'il n'en est rien : là où l'indice B estime que la qualité de l'eau a été 'très bonne' toutes les années investiguées alors que l'indice L trouve 80% d'années de 'moyenne' qualité (même masse d'eau, Arcachon Amont). La question qui se pose alors est celle de savoir lequel de ces indices reflète le mieux la réalité. En l'absence de certitude quant à un état de référence d'une part, ou une perturbation avérée d'autre part il est délicat, voire impossible, de répondre à cette question. Néanmoins, le bon sens et l'expertise permettent de privilégier certaines approches. La première conclusion qui est mise en avant est la nécessité d'utiliser des grilles de classification (ainsi que des seuils) adaptées à la zone géographique considérée et non, globaux. La première question à se poser est « à partir de combien de cellules ou à partir de quelles teneurs en chlorophylle *a* considère-t-on un bloom ? » Ainsi, des seuils spécifiques seraient définis par masse d'eau. Les indices multiparamétriques et ceux basés sur les groupes fonctionnels sont aussi nécessaires à l'évaluation de la qualité du milieu.

L'étude visant à optimiser la stratégie d'échantillonnage, et notamment à explorer le rapport entre la fréquence d'échantillonnage et la réponse en termes de diagnostic dépend de l'indice utilisé. Un indice basé sur la biomasse phytoplanctonique (rappel : plus cette biomasse est faible meilleure est censée être la qualité du milieu) est très faiblement dégradé lorsqu'on passe d'un échantillonnage tous les 3 jours à un échantillonnage tous les mois. Le signal est un peu plus altéré lorsqu'on utilise un indice basé sur le nombre de bloom (rappel : plus ce nombre est faible meilleure est censée être la qualité du milieu), ce qui semble logique puisqu'on a plus de chance de 'rater' des blooms.

## QuaLiF – Evaluation de la qualité biologique des milieux littoraux semi-fermés



TB
B
Moy
Méd
Mauv

**Figure 1 : Pourcentage des différentes qualités écologiques obtenues pour chaque indice phytoplanctonique testé année par année, au niveau du Bassin d’Arcachon amont. Les indices A, B, E, G et K concernent la station Comprian. L’indice N concerne la station Eyrac. Les autres indices concernent la station Teychan. Toutes ces stations appartiennent à la masse d’eau Arcachon Amont FRFC06.**

- Estuaire de la Gironde

L’un des défis était d’arriver à obtenir un indice de la qualité du milieu dans un milieu excessivement riche en matières en suspension (=MES), c’est-à-dire une eau où les cellules phytoplanctoniques sont noyées dans 350 mg de MES/L. Le protocole a consisté à travailler sur des volumes très faibles (1 à 2 mL) mais en réalisant plusieurs réplicats.

Là encore, l’évolution de l’état écologique dépend de l’indice utilisé (Exemple Gironde aval, Tableau 1).

Indice	Métrique	2007*	2006	2005	2004	2003	2002	2001	2000	1999	1998	1997
Biomasse phytoplanctonique	Moyenne [Chl <i>a</i> ] µg.L <sup>-1</sup>	0,70	1,34	1,11	2,44	2,11	3,89	1,72	1,22	3,08	7,62	6,35
	<i>Etat de référence</i>											3,98
	P <sub>90</sub> [Chl <i>a</i> ] µg.L <sup>-1</sup>	1,16	2,45	1,62	4,81	2,78	8,17	2,66	2,62	9,58	21,60	13,45
	<i>Etat de référence</i>											
Nombre de blooms	Abondance > 10 <sup>5</sup> cell.L <sup>-1</sup>	1	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Abondance > 2,5.10 <sup>5</sup> cell.L <sup>-1</sup>	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	P <sub>97,5</sub> [Chl <i>a</i> ] µg.L <sup>-1</sup>	0	1	0	2	1	2	0	0	2	5	3
	<i>Etat de référence</i>											2
	P <sub>97,5</sub> abondance cell.L <sup>-1</sup>	3	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	[Chl <i>a</i> ] > 16 µg.L <sup>-1</sup>	0	0	0	0	0	1	0	0	1	2	0
<i>Etat de référence</i>												1
Fréquence de blooms %	Abondance > 10 <sup>5</sup> cell.L <sup>-1</sup>	33	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Abondance > 2,5.10 <sup>5</sup> cell.L <sup>-1</sup>	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	P <sub>97,5</sub> [Chl <i>a</i> ] µg.L <sup>-1</sup>	0	10	0	20	10	22	0	0	25	56	50
	<i>Etat de référence</i>											25
Multi-paramétrique	P <sub>97,5</sub> abondance cell.L <sup>-1</sup>	100	88	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	TRIX (unité TRIX)	5	5	5	5	-	5	6	5	5	5	6
<i>Etat de référence</i>												5
Groupes fonctionnels	P <sub>90</sub> Log <sub>10</sub> (1 + (nd/d))	0,03	0,09	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	P <sub>90</sub> Log <sub>10</sub> (1 + (dino/d))	0,03	0,07	-	-	-	-	-	-	-	-	-

**Tableau 1 : Résultats des indices d’état écologique et des classements des masses d’eaux de l’aval de l’estuaire de la Gironde.**

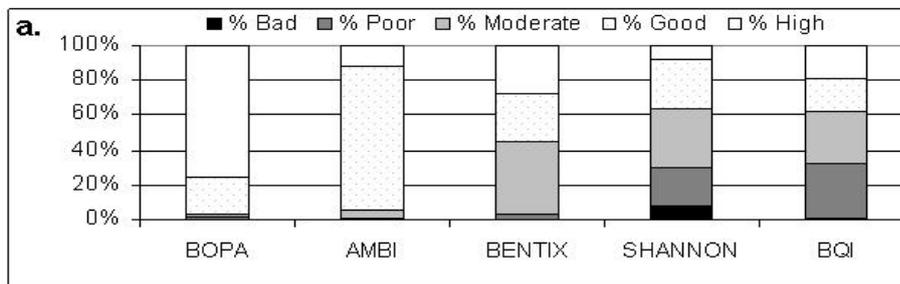
## QuaLiF – Evaluation de la qualité biologique des milieux littoraux semi-fermés

La tendance semble être à l'amélioration de la qualité du milieu (en tout cas à une diminution de la biomasse phytoplanctonique et du nombre de blooms (pour ce dernier indice, notre jeu de données est cependant assez faible).

### 2. Compartiment de la macrofaune benthique

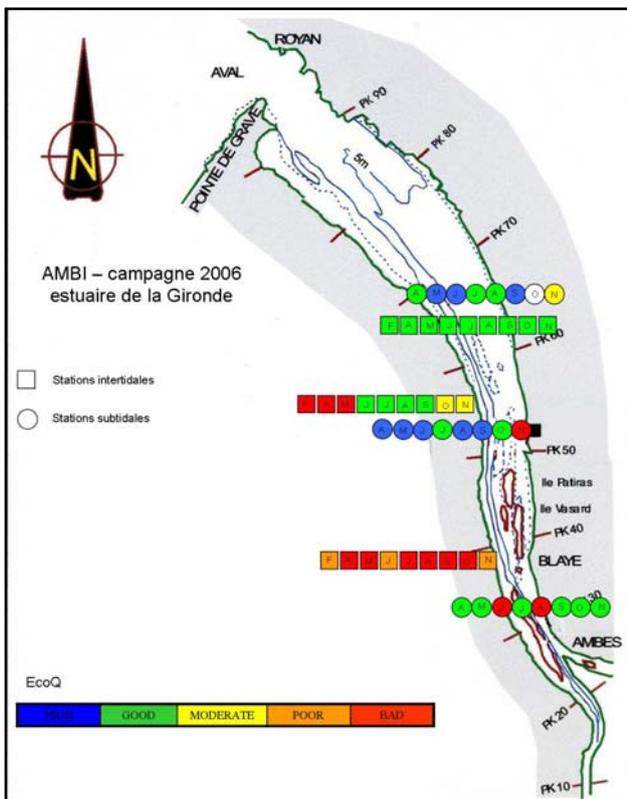
En nous basant sur les mêmes bases de données, à Arcachon, Marennes-Oléron, estuaires de la Gironde et de la Seine, les indices benthiques pressentis pour l'estimation de la qualité écologique des masses d'eau dans le cadre de la DCE ont été calculés. Selon l'indice, les pourcentages de stations se plaçant dans chaque catégorie de qualité du milieu (très bonne, bonne, moyenne, médiocre, mauvaise) étaient très différents.

#### MARENNES-OLERON Bay



En prenant l'exemple de la baie de Marennes-Oléron et ses 262 stations échantillonnées, certains indices comme le BOPA ont une vision 'optimiste' par rapport à des indices comme Shannon ou le BQI (Figure 2).

**Figure 2 : Pourcentage de stations de la Baie de Marennes-Oléron classées comme en « Très Bon » (High), « Bon » (Good), « Moyen » (Moderate), « Médiocre » (Poor) et « Mauvais » (Bad) état écologique selon les cinq indices biotiques utilisés (BOPA, AMBI, BENTIX, indice de SHANNON et BQI).**



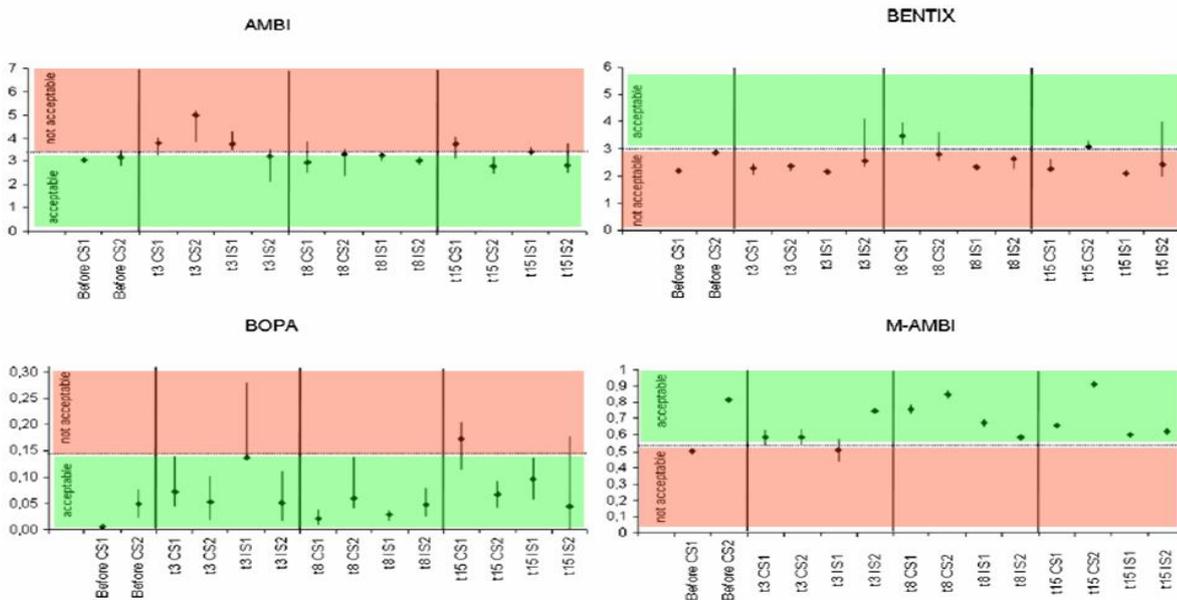
Dans certaines situations, comme dans l'estuaire de la Gironde, le schéma se complique : 1) certains indices sont impossibles à calculer car le nombre d'espèces et/ou d'individus par espèce est trop bas (BQI) ; 2) les indices qu'il est mathématiquement possible d'employer ont une variabilité importante, surtout en domaine intertidal, et semble plus en relation avec une saisonnalité (crue/étiage) qu'avec une variation de la qualité du milieu (Figure 3).

**Figure 3 : Evolution mensuelle du classement par l'indice AMBI de la qualité écologique (High = Très Bon, Good = Bon, Moderate = Moyen, Poor = Médiocre, Bad = Mauvais) des stations de l'Estuaire de la Gironde échantillonnées au cours de la campagne 2006 (Février à Novembre).**

Dans les quatre écosystèmes étudiés, les indices benthiques ont souvent eu une appréciation moyenne de la qualité du milieu, en contradiction avec 'l'avis d'expert'. Des études plus approfondies ont montré que ces indices étaient le plus souvent sensibles à l'exondation (les stations intertidales avaient une tendance à être de moins bonne qualité) et au taux d'envasement (la présence de vase 'détériorant la qualité du milieu')

## QuaLiF – Evaluation de la qualité biologique des milieux littoraux semi-fermés

Ici encore, la question était donc de savoir quel indice était le plus fiable quant à l'estimation de la qualité du milieu (s'il en existait un). Dans leur globalité, il était difficile de savoir quel était le degré de perturbation ou de bon état des sites et donc de juger objectivement de la fiabilité des indices. Notre démarche a alors consisté à éprouver ces indices face à une perturbation avérée, le cas s'étant présenté pendant l'hiver 2004-05 à l'occasion de la destruction de 30 ha d'herbier à *Zostera noltii* recouvert par une nappe de sédiments sablo-vaseux. L'hypothèse était que les indices calculés à partir de la structure des communautés benthiques avant et après le recouvrement et à l'intérieur et à l'extérieur de la zone impactée subiraient des modifications. Un indice ne variant pas serait considéré comme peu sensible à une perturbation en milieu naturellement envasé.



**Figure 4 : Valeurs médianes et variations (valeurs minimales et maximales) des valeurs des indices biotiques avant et après la perturbation (t+n : n mois après le dépôt de sédiment). Seuils (----) entre l'état acceptable (bon, très bon) et non acceptable (moyen ou pire). CS : stations témoins non impactées, IS : stations impactées.**

Globalement les résultats ne sont satisfaisants pour aucun des indices (Figure 4) : AMBI considère globalement les sites impactés acceptables et a même une tendance à trouver les contrôles (herbier hors recouvrement) en moins bon état ; BENTIX place les sites contrôles comme les sites impactés en 'non acceptables' ; le BOPA et le M-AMBI placent tous les sites comme acceptables.

Ces résultats totalement insatisfaisants nous ont amené à réfléchir à un indice se référant à un nombre beaucoup plus important de paramètres. Quinze métriques, rassemblées en trois types de descripteurs (description de la communauté, composition trophique et indicateurs de pollution), ont été sélectionnées (parmi 45 initialement) afin de décrire l'intégrité du peuplement (Figure 5). Les valeurs seuils ont été déterminées sur la base de 38 stations d'herbier à *Zostera noltii* montrant un niveau de végétation normal échantillonnées au printemps 2002 dans le Bassin d'Arcachon, site sélectionné comme état de référence (ou au moins état initial) pour les herbiers à *Zostera noltii*. A partir de ces données, la variabilité naturelle de chaque paramètre a été définie. A partir d'un échantillon de faune, un score (0 ou 1) est attribué pour chaque métrique. La moyenne des scores est ensuite calculée pour chaque descripteur. La moyenne de ces trois scores ( $\mu$ ) et son écart-type ( $\sigma$ ) associé sont enfin déterminés. La valeur  $\mu$  est un EQR (Ecological Quality Ratio) qui varie entre 0 et 1 et constitue une mesure du degré d'éloignement des conditions de références auquel est associé un intervalle de confiance. Cette valeur (indice MISS : Macrobenthic Index of Sheltered Systems) est enfin convertie en Etat Ecologique selon l'échelle indiquée sur la Figure 5.

## QuaLiF – Evaluation de la qualité biologique des milieux littoraux semi-fermés

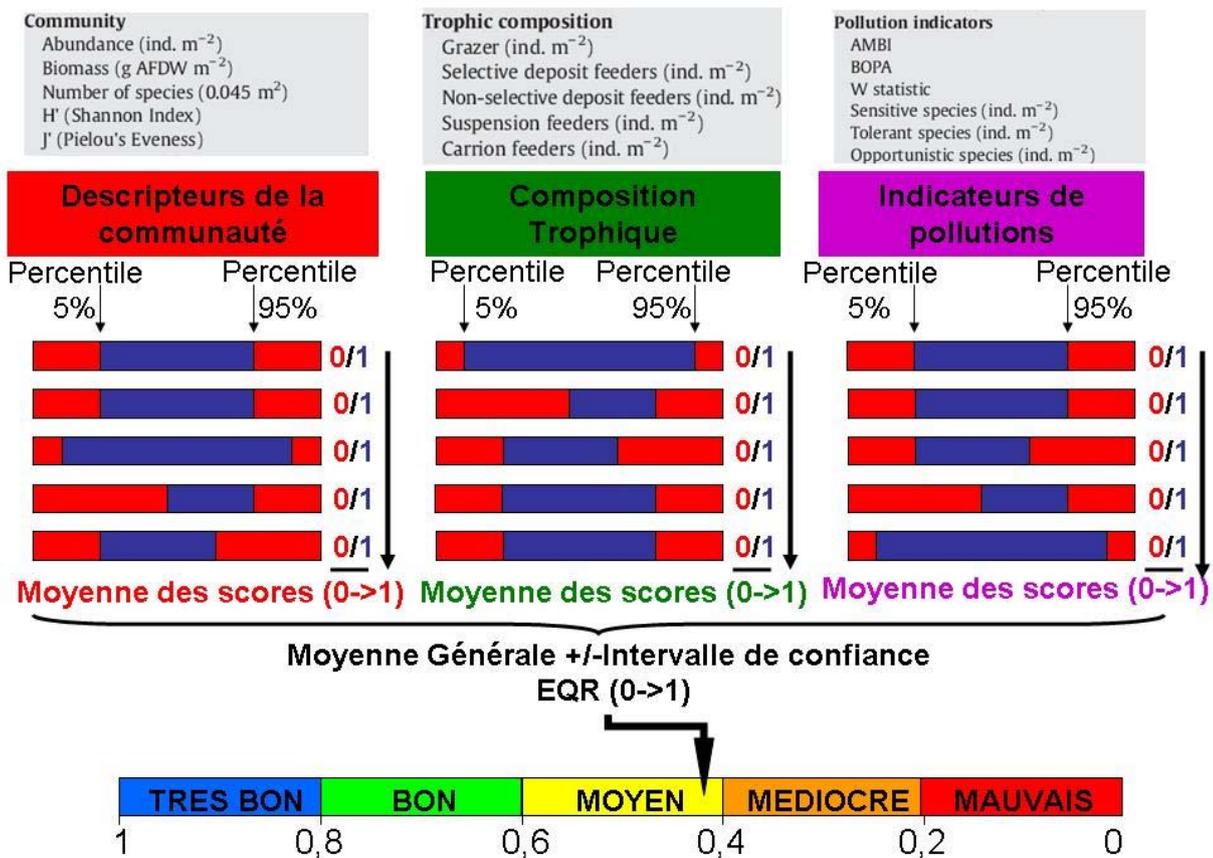


Figure 5 : Principe de l'approche multimétrique développée sur les herbiers à *Z. noltii* du Bassin d'Arcachon (Indice MISS).

L'approche multimétrique développée dans le cadre de ce travail montre un parfait accord entre statut écologique et présence/absence de perturbation (Figure 6).

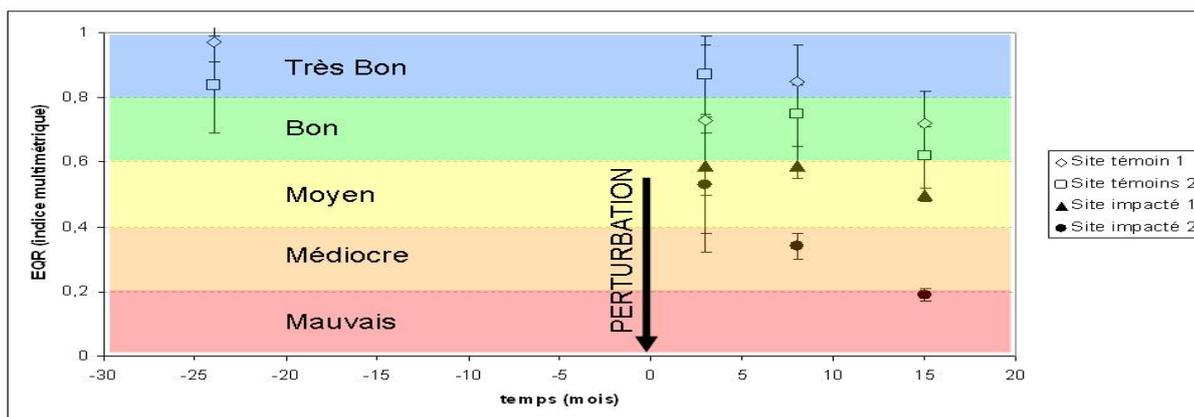


Figure 6 : Evolution temporelle des valeurs de l'indice multimétrique MISS pour les sites impactés et non impactés par les dépôts de sédiments. Le site impacté 1 correspond à un recouvrement pas des sédiments fins, c'est-à-dire proche de la granulométrie initiale (mais sans herbier) alors que le site impacté 2 correspond à un recouvrement par des sables.

### 3. Compartiment macrophytique (télé-détection).

L'objectif *in fine* étant de déterminer la couverture végétale d'herbiers dans la zone de balancement des marées à partir d'image satellitales, il s'agissait dans un premier temps de calibrer toute une série de mesures avec des données terrain. Cependant, la détermination de la biomasse est souvent une opération

## QuaLiF – Evaluation de la qualité biologique des milieux littoraux semi-fermés

fastidieuse (couper les brins de feuille, faire des poids secs, etc.). Un certain nombre de relations mathématiques simples ont donc été établies permettant à partir de photos numériques d'obtenir en quelques minutes des biomasses (valable pour *Zostera noltii*) et des pourcentages de couverture.

Par une méthode d'analyse des longueurs d'ondes (NDVI) des images spot ont permis d'estimer des biomasses en poids sec (PS). Un exemple d'image sur le Bassin d'Arcachon, à deux dates est données sur les Figures 7 et 8:

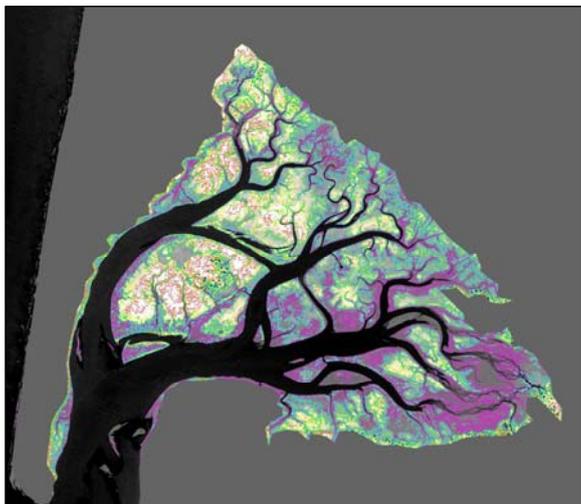


Figure 7 : NDVI du 8 octobre 2006

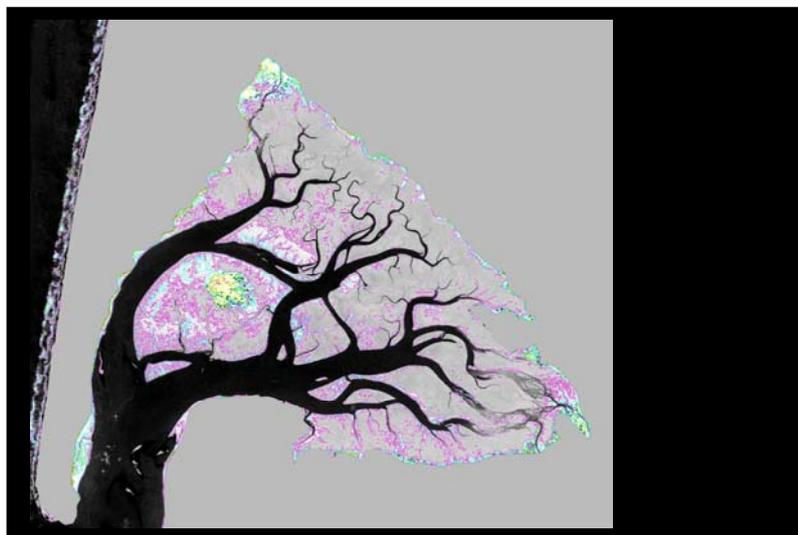


Figure 8 : NDVI du 17 février 2007

Les iso-contours sur les Figures 7 et 8 correspondent aux biomasses suivantes :

- Cyan: NDVI: 0.1: biomasse: 8 PS g/m<sup>2</sup>
- Vert: NDVI: 0.2 : biomasse: 30 PS g/m<sup>2</sup>
- Jaune: NDVI: 0.3 : biomasse: 63 PS g/m<sup>2</sup>
- Rouge: NDVI: 0.4: biomasse: 109 PS g/m<sup>2</sup>

Nous constatons la diminution brutale du NDVI entre octobre 2006 et février 2007. Les biomasses ne correspondent pas uniquement aux herbiers, en particulier en bordure du littoral et sur l'île aux Oiseaux.

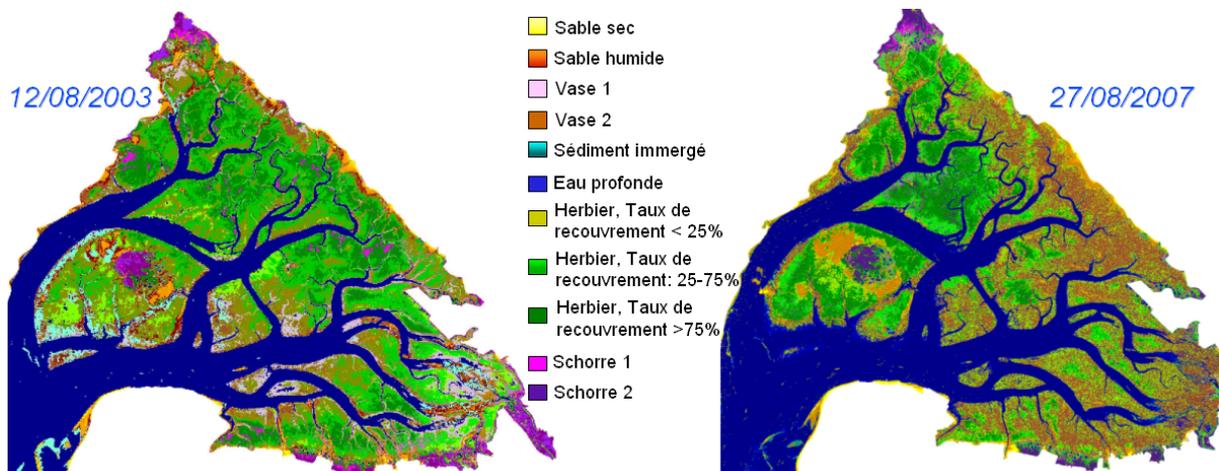
Deux survols ULM réalisés à 90m d'altitude valident ces résultats et montrent une disparition quasi-complète des feuilles de zostères entre novembre 2006 et février 2007 (Figure 9).



Figure 9 : Photographies prises à 90m d'altitude le 26 nov. 2006 et le 21 février 2007 montrant le chenal Traversier et les prés salés de La Hume au second plan.

## QuaLiF – Evaluation de la qualité biologique des milieux littoraux semi-fermés

L'approche NDVI a été comparée avec une méthode encore plus perfectionnée (méthode dite de classification supervisée basée sur des zones d'entraînement calculées par un algorithme non supervisé optimisé par la méthode du recuit simulé)). Cette technique permet d'obtenir des cartes thématiques comme celles présentées dans la Figure 10.



**Figure 10 : Evolution des superficies occupées par les sédiments nus l'herbier et les zones de schorre entre 2003 et 2007 (d'après Lafon *et al.*, 2009)**

La comparaison ces cartes d'août 2003 et août 2007 permet de calculer une diminution de la surface de l'herbier de 35%. Une étude en cours d'analyse de la répartition des herbiers par orthophotoplans fait état d'une réduction, entre 2005 (année considérée comme amorçant le déclin) à 2007-08, de 25%. Les ordres de grandeur sont donc très similaires. Cette technique permet également d'obtenir des taux de couvert de l'herbier par tranche de 25%.

### 4. Réflexions sur une analyse intégrée

Dans un premier temps, il ressort des études sur le phytoplancton et sur la faune benthique un certain nombre de convergences en terme de réflexion autour des indices biologiques de la qualité des milieux :

- Pour une base de données similaire, les différents indices utilisés au sein de chaque compartiment donnent des diagnostics divergents.
- Les indicateurs paraissant les plus fiables sont ceux qui privilégient d'une part l'approche multivariée, et d'autres part ceux qui peuvent être comparés à des seuils déterminés à l'échelle locale, par exemple de la masse d'eau.
- Dans les milieux littoraux naturellement envasés ou turbides, les indicateurs sont particulièrement sensibles aux paramètres environnementaux (naturels) qui peuvent largement brouiller la nature de leur réponse et le message en termes d'évaluation de la qualité du milieu.
- Si une avance significative a été marquée sur des eaux côtières type Bassin d'Arcachon, l'estuaire de la Gironde présente des caractéristiques qui continuent à rendre délicate l'interprétation des indices de qualité de l'environnement. Cependant, il a été possible dans les deux cas de calculer des indices qui ouvrent la porte à des développements ultérieurs.

Même si le projet n'avait pas été imaginé dans ce sens, nous avons tenté d'estimer une réponse multiparamètres (phytoplancton, macrofaune benthique et télédétection) à une perturbation mécanique de grande envergure. Il s'agit du recouvrement d'un herbier sur 30 ha, par des sédiments fins, pendant l'hiver 2004-05. Ce site perturbé, nommé la Dispute, est situé au milieu du Bassin d'Arcachon. En rassemblant toutes nos données encadrant spatialement et temporellement cet évènement, l'objectif a été de voir quels indicateurs réagissaient, à quelle échelle, et dans un contexte de régression générale de l'herbier.

- **AVANT TRAVAUX** : en 2002, avant les travaux, des prélèvements de la faune benthiques ont été réalisés sur les herbiers environnants. Ces herbiers étaient denses et considérés comme en bon état (Blanchet et al., 2004). Cependant, comme nous l'avons vu précédemment (Figure 4), les indicateurs classiques (AMBI, M-AMBI, BENTIX, BOPA) ont classé ces prélèvements en-dessous de la limite d'acceptabilité (prélèvements 'Before' CS1 et CS2 de cette figure). En appliquant un indice multivarié, avec des seuils calculés d'après des sites de références locaux (38 stations), MISS (Macrobenthic Index of Sheltered Systems), nous situons bien ces stations dans une qualité écologique bonne à très bonne (Figure 6, points situés à -24 mois).

Une image Spot de juin 2004 permet de voir en rouge les herbiers. Sur la Figure 11 (3 juin 2004), il est possible d'observer cet herbier plutôt en bon état autour de l'ancienne souille (partie blanche en bas à gauche – Remarque : la partie blanche située plus haut est un nuage).

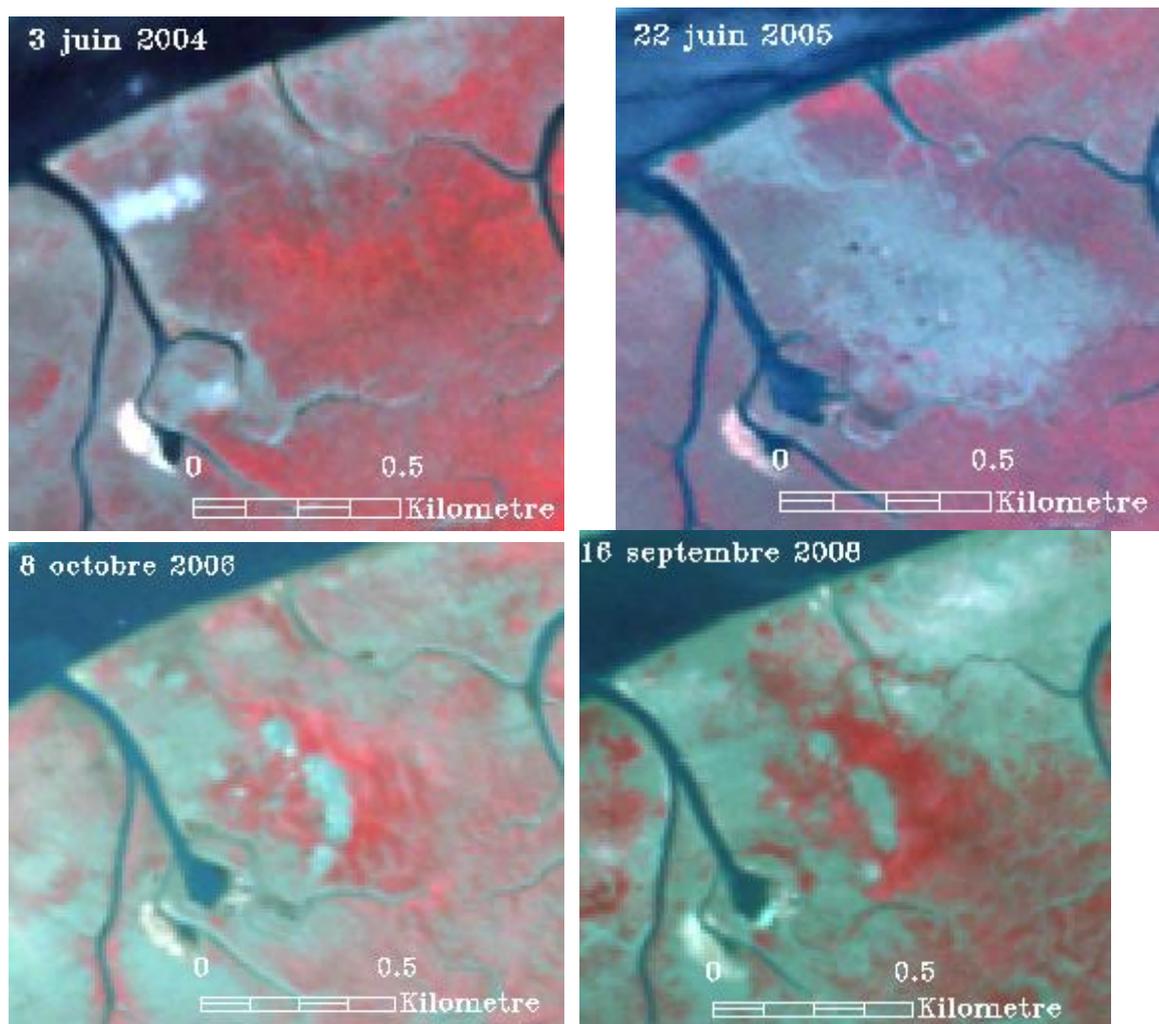


Figure 11 : Images SPOT sur le site de la Dispute à basse mer.

Les indices phytoplanctoniques « chlorophylle *a* », et « nombre de blooms », ainsi que les indices multiparamétriques (TRIX) classent les eaux des différentes stations étudiées du Bassin dans des catégories allant de « très bon » à « bon » niveau écologique pour la tranche d'années de 1988 à 2003. Les indices « fréquence de blooms » et ceux basés sur les groupes fonctionnels présentent eux les eaux à des niveaux de qualité inférieure pouvant aller ponctuellement jusqu'à un niveau « médiocre ».

- **APRES TRAVAUX :** Les travaux ont eu lieu pendant l'hiver 2004-05. Il est parfaitement possible de voir la nouvelle souille sur l'image SPOT du 22 juin 2005 (plan d'eau à droite de l'ancienne souille, Figure 11.), ainsi que tous les sédiments refoulés et étalés sur le côté oriental (environ 30 ha). Comme rappelé précédemment (Figure 4), les indicateurs classiques (AMBI, M-AMBI, BENTIX, BOPA) ont classé les prélèvements de la faune benthique des sites perturbés à un niveau de qualité écologique supérieur à celui des herbiers avant travaux. En revanche l'indice MISS situe bien ces stations dans une qualité écologique non acceptable (Figure 6, points situés à +3, +6, +15 mois). Concernant le phytoplancton, sur les années 2005 à 2007 les premiers indices (chlorophylle, nombre de blooms et TRIX) ne voient aucun effet de perturbation dans la colonne d'eau engendrée par le recouvrement de l'herbier. Par contre, il est difficile de conclure quant aux indices « fréquence de blooms » et « groupes fonctionnels ». Ceux-ci mettent, en effet, en évidence des prélèvements de moins bonne qualité (moyenne et médiocre) par rapport à la période précédant les travaux. Cependant, la comparaison des seules 3 dernières années face à la variabilité des niveaux de qualité observés au cours de 1988-2003, ne permet pas avec certitude de conclure que ces indices aient effectivement détecté une perturbation du milieu.

## QuaLiF – Evaluation de la qualité biologique des milieux littoraux semi-fermés

- **REGRESSION DE L'HERBIER.** A partir de 2005, l'herbier a commencé à régresser partout dans le Bassin, incluant le site de la Dispute, même dans les zones non impactées. Cette régression se voit assez rapidement sur les clichés 2005, 2006 et 2008 (Figure 11). En revanche, les peuplements benthiques ont continué à 'ne voir' que la différence perturbé/non perturbé (données hors LITEAU-QuaLif, actuellement non disponibles).
- **BILAN.** La perturbation physique d'un habitat benthique (recouvrement d'un herbier par des sédiments) a été détectée par un seul indice benthique nouvellement élaboré (MISS) et dont robustesse dans d'autres systèmes n'a pu être encore démontrée. Cette perturbation aiguë en milieu intertidal a également été mise en évidence par télédétection dans les premiers mois. Ce moyen d'investigation offre une vision à petite échelle très appréciable dans un suivi de larges territoires mais ne va pas discerner les types de perturbation entre eux. Dans notre cas, l'herbier détruit par les travaux se confond visuellement avec l'herbier qui quelques mois plus tard régresse chroniquement dans tout le Bassin pour des raisons encore inconnues. L'indice MISS, quinze mois après les travaux, parvenait encore à faire cette distinction sur un petit nombre de stations (il devrait être de nouveau éprouvé en 2009-10 à une échelle spatiale plus vaste). La masse d'eau alentour, au vu des indices phytoplanctoniques n'a pas été impactée. Cette tentative d'interprétation croisée, sur un jeu de données qui n'a pas été acquis au départ dans ce but, est en faveur de la complémentarité des approches, mais aussi d'une décision de type 'one out, all out' : si un seul indice décèle une mauvaise qualité écologique, la masse d'eau au sens large (incluant habitats benthiques et sous-jacents) peut être considéré comme perturbée.

### *IMPLICATIONS PRATIQUES, RECOMMANDATIONS, REALISATIONS PRATIQUES, VALORISATION*

- *Recommandations et limites éventuelles :*

#### ➤ **Phytoplancton**

Nos résultats montrent que certains indices sont plus pertinents que d'autres : c'est le cas du  $P_{90}$  de Chl *a* (plutôt que la moyenne) et des fréquences de blooms (plutôt que le nombre de blooms). D'ailleurs, dans les dernières recommandations faites par IFREMER, la notion de fréquence de blooms a aussi été introduite. Par ailleurs, ces résultats montrent également la nécessité de bien définir la notion de bloom, par l'utilisation de seuils (abondances et Chl *a*) adaptés au site d'étude, c'est-à-dire calculés à partir de la base de données (méthode du  $P_{97,5}$  décrite par Carstensen et ses collaborateurs en 2004 et adaptée ici). Enfin, lorsqu'on s'intéresse aux abondances cellulaires et afin de tenir compte de la totalité des espèces présentes, il semble primordial de distinguer 2 classes de taille différentes (nano- et micro-phytoplancton).

Il est important de développer des indices à partir de jeux de données prenant en compte différents types de données du site étudié, ceci afin de mieux évaluer sa qualité écologique. En effet, la composition et l'abondance phytoplanctoniques varient avec les paramètres du milieu, et notamment avec la disponibilité des nutriments. Il apparaît donc utile, voire même indispensable, de tenir compte d'autres paramètres (concentrations en nutriments, teneurs en oxygène dissous...), ainsi que de combiner abondance et biomasse phytoplanctoniques dans un même indice, afin de calculer des indices de qualité écologique du milieu.

Le principal intérêt de ce type d'indices est qu'ils tiennent compte de l'abondance relative de chaque groupe fonctionnel et des paramètres environnementaux, souvent caractéristiques du milieu, et qui varient lors de perturbations.

L'étude préliminaire méthodologique montre que malgré les difficultés d'analyse d'échantillons en provenance de sites très turbides, il est possible d'estimer de manière fiable (coefficient de variation inférieur à 10%) les abondances phytoplanctoniques par l'observation de petits volumes d'eau (1 ou 2 mL) au nombre de trois réplicats. Ceci reste toutefois un travail particulièrement lourd et non envisageable dans le cadre de suivis de type DCE. Cependant, l'utilisation future de cytomètres de flux de type FlowCam doit être envisagée. Au sein de l'UMR EPOC, l'acquisition récente de ce type d'équipement devrait permettre dans un futur proche l'ajout du paramètre « phytoplancton » au sein du service d'observation SOMLIT.

### ➤ **Faune benthique invertébrée**

Il a été démontré que les indices classiques (AMBI, M-AMBI, BENTIX, etc.) avaient une fâcheuse tendance à sous-estimer la qualité écologique d'un milieu, dans le cas des systèmes littoraux (semi)-abrités naturellement envasés et/ou enrichis en matière organique, et surtout en zone de balancement des marées. Par ailleurs, la faune de ces milieux étant par nature résistante, elle est faiblement impactée par certaines perturbations. Des indices benthiques basés sur une ou peu de variables ont alors peu de chance de varier et donc de nous alerter. Même si l'indice MISS semble prometteur pour ce type de milieu, il n'a pas encore été assez éprouvé, par exemple sur d'autres périodes, ou d'autres herbiers, ou d'autres substrats. Nous ne le considérons donc pas à ce jour comme opérationnel dans le cadre d'un suivi DCE, mais pas plus que les autres indices (concernant ces masses d'eau assez particulières).

### ➤ **Compartiment flore aquatique/téledétection**

#### *Indice de biomasse par photographies numériques*

Le développement de cette méthode permettra dans l'avenir de déterminer assez rapidement des biomasses de feuilles et ainsi d'intensifier les vérités terrain. D'un point de vue écologique, cependant, cette méthode ne permet pas d'évaluer la biomasse endogée (racines et rhizomes) dont la fonction est importante, non seulement sur la potentialité de repousse des zostères mais également sur la structuration des peuplements zoobenthiques.

#### *Indice de biomasse à partir de l'indice du NDVI (images satellites)*

Cette méthode a été testée sur 6 images satellites SPOT prises entre octobre 2006 et décembre 2007. Les résultats obtenus sont cohérents et ont été validés sur le plan qualitatif. La fonction de Barillé et al. devra être vérifiée et ajustée pour le Bassin d'Arcachon. Il serait préférable d'utiliser des images corrigées des effets atmosphériques afin d'obtenir une meilleure précision. L'utilisation de photographies aériennes et de mesures de terrain ne pourra pas être abandonnée car le NDVI ne permet pas de différencier les types de végétaux. Malgré cet inconvénient, cette méthode d'estimation rapide de la biomasse à l'échelle du Bassin d'Arcachon est bien adaptée pour quantifier l'évolution saisonnière.

#### *Cartographie thématique*

Cette méthode a été testée sur 7 scènes satellites SPOT et FORMOSAT acquises entre 2003 et 2007. Son application nécessite un effort plus important que la cartographie du NDVI car elle nécessite des traitements informatiques plus sophistiqués et des relevés de terrain plus nombreux pour valider les résultats.

### • Réalisations pratiques et valorisation :

La méthode de cartographie thématique, ainsi que les cartes extraites des images spatiales, ont fait l'objet de présentations lors de plusieurs colloques (Lafon et al., 2008; Lafon et al., 2009). Toujours en phase de validation et d'amélioration (notamment au niveau des zones les plus faiblement couvertes), cette technique, qui permet de discriminer les espèces végétales, sera prochainement couplée à l'approche du NDVI afin de décrire le taux de recouvrement de l'herbier détecté par classification. Cette approche couplée allégera les besoins en données de validation tout en préservant la discrimination de l'herbier.

## **PARTENARIATS MIS EN PLACE, PROJETS, ENVISAGES**

L'Agence de l'Eau Adour Garonne a représenté pour le projet l'interlocuteur privilégié pour adosser nos résultats à la problématique DCE. L'AEAG attendait de nous 'd'alimenter la réflexion' autour des

## QuaLiF – Evaluation de la qualité biologique des milieux littoraux semi-fermés

différents paramètres biologiques retenus par la DCE. En dehors du Comité de Pilotage, nous sommes en contact régulier avec Mme M. Lamouroux, Chargée de Mission Littoral.

Le Syndicat Intercommunal du Bassin d'Arcachon (SIBA), collectivité territoriale, et particulièrement son Pôle Maritime (Sabine Jeandenand), exerce ses compétences statutaires à l'intérieur du Domaine Public Maritime constitué du plan d'eau du Bassin d'Arcachon, de ses rivages et de certains de ses ports. L'une des opérations traitées dans le projet QuaLiF (comportement des indices benthiques dans un milieu perturbé par des travaux de grande envergure) s'est faite en collaboration avec cette Collectivité. Des collaborations hors Liteau continuent entre l'UMR EPOC et le SIBA.

L'implication de l'IFREMER dans l'application des paramètres biologiques de la DCE (Nicolas Desroy, Catherine Belin, Isabelle Aubry, Gilles Trut, ...) a motivé des contacts réguliers et fréquents.

L'UMR EPOC, sous l'impulsion de Hugues Blanchet, est en charge de différents suivis du paramètre « faune invertébrée benthique » des masses d'eau côtières et de transition du District Hydrographique Adour Garonne dans le cadre de la DCE.

L'UMR EPOC et l'UMR LOG sont également chargées dans le cadre d'une étude financée par l'ONEMA d'acquies et de traiter les données sur la macrofaune invertébrée benthique des eaux de transition à l'échelle du littoral métropolitain français (360 stations d'échantillonnage réparties dans 6 estuaires, 4 baies et 2 lagunes). L'objectif à terme est de définir un ou des états de références spécifiques à ces zones et de proposer une batterie d'indicateurs biotiques adaptés aux spécificités de ces zones. Ce travail s'inscrit pleinement dans la lignée du travail réalisé dans le cadre du projet QuaLiF puisque qu'il cherche à apporter des solutions pratiques aux problèmes mis en évidence dans le cadre du présent projet.

Enfin, certains partenaires du projet QuaLiF (Guy Bachelet, Jean-Claude Dauvin, ...) participent aujourd'hui à un autre projet LITEAU, BEEST, centré sur les Eaux de Transition.

### POUR EN SAVOIR PLUS (QUELQUES REFERENCES)

DIRECTIVE 2000/60/CE DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau. Journal officiel des Communautés européennes. 22.12.2000. L 327/1.

[http://europa.eu/legislation\\_summaries/agriculture/environment/128002b\\_fr.htm](http://europa.eu/legislation_summaries/agriculture/environment/128002b_fr.htm)

Présentation de la directive cadre sur l'eau. Site du ministère du MEEDDAT.

<http://www.ecologie.gouv.fr/La-directive-cadre-sur-l-eau.html>.

Directive cadre européenne (DCE) sur l'eau. Site de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne.

<http://www.eau-adour-garonne.fr/page.asp?page=2260>.

Directive cadre « eau ». Site internet de l'IFREMER.

[http://wwz.ifremer.fr/envlit/surveillance/surveillance\\_en\\_europe/directive\\_cadre\\_eau](http://wwz.ifremer.fr/envlit/surveillance/surveillance_en_europe/directive_cadre_eau)

### LISTE DES OPERATIONS DE VALORISATION ISSUES DU CONTRAT (ARTICLES DE VALORISATION, PARTICIPATIONS A DES COLLOQUES, ENSEIGNEMENT ET FORMATION, COMMUNICATION, EXPERTISES...)

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES	
Publications scientifiques parues	<p><b>Dauvin J.C., Bachelet G., Barille A.L., Blanchet H., de Montaudouin X., Lavesque N., Ruellet T.</b> (2009) Development of benthic indicators and indices approaches in the three main estuaries of the French Atlantic coasts (Seine, Loire and Gironde) for the implementation of the European Water Framework Directive (WFD), <i>Marine Ecology, an evolutionary perspective</i>, 30, 228-240.</p> <p><b>Lavesque N., Blanchet H., de Montaudouin X.</b> (2009) Development of a multimetric approach to assess perturbation of benthic macrofauna in <i>Zostera noltii</i> beds, <i>Journal of Experimental Marine Biology and Ecology</i>, 368, 101-112.</p> <p><b>Bakalem A., Ruellet T., Dauvin, J.C.</b> (2009). Benthic Indicators and Ecological Quality of shallow Algeria fine sand community. <i>Ecological</i></p>

*Indicators 9: 395-408.*

**Dauvin JC, Ruellet T.** (2009). The Estuarine Quality Paradox: is it possible to define an Ecological Quality Status for specific modified and naturally stressed estuarine ecosystems? *Marine Pollution Bulletin*, 59: 38-47.

**Ruellet, T., Dauvin, J.C. (2008).** Comments on Muxika et al., 2007 “Using historical data, expert judgement and multivariate analysis in assessing reference conditions and benthic ecological status, according to the European Water Framework Directive”, *Marine Pollution Bulletin*, 56, 1234-1235.

**Dauvin, J.-C., Fisson, C., Garnier, J., Lafite, R., Ruellet, T., Billen, G., Deloffre, J., Verney, R.** (2008). A report card and quality indicators for the Seine estuary: From scientific approach to operational tool. *Marine Pollution Bulletin* 57, 1-5, 187.

**Blanchet H., Lavesque N., Ruellet T., Dauvin J.C. Sauriau P.G., Desroy N., Desclaux C., Leconte M., Bachelet G., Janson A.L., Bessineton C., Duhamel S., Jourde J., Mayot S., Simon S., de Montaudouin X.** (2008) Use of Biotic Indices in semi-enclosed coastal ecosystems and transitional waters habitats - Implications for the implementation of the European Water Framework Directive, *Ecological indicators*, 8, 360-372.

**Ruellet, T., Dauvin, J.-C.** (2007). Benthic indicators: Analysis of the threshold values of ecological quality classifications for transitional waters. *Marine Pollution Bulletin* 54, 11, 1707.

Publications scientifiques à paraître  
Publications scientifiques prévues

**Blanchet H., Bachelet G., de Montaudouin X., Lavesque N., Grémare A.** (*soumis*). Biodiversity and bio-evaluation methods in transitional waters: a theoretical challenge. *Soumis à Transitional Water Bulletin*

**Del Amo Y., Amiotte A., Le Bris A., Poulain F., Chardy P., Maurer D.** (en prep). Evaluation of ecological water quality by phytoplankton indicators tested for the implementation of the Water Framework Directive in a shallow coastal water: Arcachon lagoon (Southwest of France).

#### COLLOQUES

Participations passées à des colloques

**Blanchet, H. ; Bachelet, G.,** Bessineton C., **Dauvin, J.-C., de Montaudouin, X., Desclaux, C.,** Desroy, N., Duhamel, S., Jourde, J., Mayot, S., **Lavesque, N., Ruellet, T., Sauriau, P.-G.,** Simon, S. (2006). Development of benthic indicators and indices approaches in muddy soft-bottom communities within the European Water Framework Directive (WFD) along the French coasts. Présentation réalisée pour l’ASLO Summer Meeting. Victoria (Canada), 4-9 juin 2006.

**Blanchet, H. ; Sauriau, P.-G., de Montaudouin, X., Lavesque, N., Dang, C.** (2007). Analyse comparée de la structure fonctionnelle de deux baies atlantiques, Arcachon et Marennes-Oléron : apports des descripteurs macrofaune benthique. Poster réalisé lors des IX Journées d’Ecologie Fonctionnelle. Biarritz (France), 19-22 mars 2007.

**Dauvin JC.** (2007) Towards an integrated tool for the global management of the Seine estuary : opportunities offered by the Port 2000 project. Conférence EcoSummit 2007, symposium ‘Integrative tools and methods in assessing Ecological Integrity in Estuarine and Coastal systems’. Pékin, 22-27 May 2007, Chine.

**Dauvin JC.** (2007). The Estuarine Quality Paradox : is it possible to define Ecological Quality Status of specific modified and naturally stressed estuarine ecosystems. Estuarine Research Federation Conference. Symposium ‘Integrative approaches to ecological integrity : using multiples indices and ecosystem components to assess estuarine and coastal ecosystems’. Novembre 4-8, 2007, Providence, Rhode Island, USA.

## QuaLiF – Evaluation de la qualité biologique des milieux littoraux semi-fermés

**Dauvin JC & Ruellet T.** (2008) Benthic indicators, From BOPA to BO2A. Workshop on Benthos Related Environmental Metrics [WKBEMET]. 11–14 February 2008, Oostende, Belgique.

**Dauvin JC** (2008) Development of benthic indicators and indices approaches in the three main estuaries along the French Atlantic coasts (Seine, Loire and Gironde) within the European Water Framework Directive (WFD). Colloque 'The implementation of the Water Framework Directive (CE2000/60) in Italy : state of the art on benthic indicators and European experiences, 29<sup>th</sup> April 2008, Ferrara, Italy.

**Del Amo Y., Chardy P., Poulain F., Maurer D.** (2005). Quels indices phytoplanctoniques pour l'évaluation de la qualité écologique des masses d'eau ? Journées estuaires 2005, 10 octobre 2005, Bordeaux, France

**Lafon, V., Marieu, V., Butel, R. Dehouck, A., Froidefond, J.-M. et Trut, G.** (2008). Cartographie des faciès bio-sédimentaires du Bassin d'Arcachon à partir de l'imagerie FORMOSAT-2. X<sup>èmes</sup> Journées Nationales Génie Côtier-Génie Civil, (Eds) D. Levacher, P. Gaufrès et Centre Français du Littoral, T. 2, pp. 563-572.

**Lafon, V., Dehouck, A., De Montaudouin, X., Marieu, V., Blanchet, H et Froidefond, J.M.** (2009). Cartographie de l'herbier du Bassin d'Arcachon par télédétection spatiale: potentiel pour le suivi d'un indicateur DCE. 193ème session du Comité Scientifique et Technique de la SHF: «Utilisation de l'imagerie satellite pour l'étude de l'eau dans le sol et proche sous-sol», Toulouse, 30 mars – 1<sup>er</sup> avril 2009.

**Lafon, V., Dehouck, A., Trut, G., De Montaudouin, X., Marieu, V. et Froidefond, J.M.** (2009). Intertidal seagrass meadows monitoring using Spot and Formosat imagery. Spot Image International Conference, 10-11 Juin 2009, Toulouse, France.

**Lavesque, N. ; Blanchet, H., de Montaudouin, X.** (2007). Use of biotic indices to assess physical disturbances on benthic macrofauna in marine seagrass beds. Environmental Indicators: Utility in Meeting Regulatory Needs, ICES Symposium. London (Grande Bretagne), 20-23 novembre 2007.

**Lavesque, N. ; Desclaux, C., Blanchet, H., Bachelet, G., Desroy, N., Sauriau, P.-G., Ruellet, T ; Leconte, M. et de Montaudouin, X.** (2006). Testing the adequacy of currently available Biotic Indices for ecological quality assessment in muddy ecosystems. Présentation réalisée pour le Xème colloque international d'Océanographie du Golfe de Gascogne. Vigo (Espagne), 19-21 avril 2006.

### Participations futures à des colloques

#### THESES

Thèses passées

Thèses en cours

Prévue 2009-2012 : Etude de la santé des populations et des peuplements des herbiers du Bassin d'Arcachon. Collaboration Vietnam.

#### ARTICLES DE VALORISATION-VULGARISATION

Articles de valorisation parus

**Blanchet H.** (2008) Recherche et développement : surveillance de la macrofaune benthique invertébrée. Adour-Garonne revue de l'Agence de l'Eau, n° 102. Juin 2008.

Articles de valorisation à paraître

**Blanchet H.** (2009) La faune invertébrée benthique : un outil pour la surveillance de l'état écologique des eaux littorales. Lettre de l'Observatoire Aquitain des Sciences de l'Univers.

Articles de valorisation prévus

#### AUTRES ACTIONS VERS LES MEDIAS

Actions vers les médias

Interviews...) effectuées

Actions vers les médias prévues

#### ENSEIGNEMENT - FORMATION

## QuaLiF – Evaluation de la qualité biologique des milieux littoraux semi-fermés

Enseignements/formations dispensés	<p><b>Blanchet H. – Cours – 12H</b> « Réponses du benthos aux perturbations des écosystèmes littoraux » - Master 2 FDEA. Université de Bordeaux.</p> <p><b>Blanchet H. – Cours – 6H</b> « Indices biotiques et Perturbation des écosystèmes » - Master 2 Professionnel QEA. Université de Bordeaux.</p> <p><b>Dauvin JC.- Cours – 3H</b> « Indicateurs benthiques » - Master 2 Professionnel USTL/ULCO, gestion des systèmes aquatiques</p> <p><b>Del Amo Y. – Cours – 2H</b> « Eutrophisation et conséquences » - MASTER 1 « Sciences de la Terre, Ecologie, Environnement » Univ Bordeaux 1, dans « Gestion des écosystèmes littoraux »</p> <p><b>de Montaudouin X.. – Cours – 6H</b> « Etudes d'impact : la place de l'écologie benthique » - Master 2 FDEA. Université de Bordeaux.</p> <p><b>de Montaudouin X.. – Cours – 6H</b> « Indices biotiques et Perturbation des écosystèmes » - Master 2 Professionnel QEA. Université de Bordeaux.</p> <p><b>Le Bris A. 2007 (Resp. Y. Del Amo).</b> Indices phytoplanctoniques pour l'évaluation de la qualité écologique des masses d'eau en milieu estuarien en vue de l'application de la DCE. Cas de l'estuaire de la Gironde. Rapport de Master 2, Univ Pasquale Paoli, Corse.</p> <p><b>Lafon V. - Cours – 3H</b> « Cartographie du Bassin d'Arcachon par classification optimisée – Evolution de l'herbier ». Master 2 « Environnement, Océanographie Littorale et Hauturière », module, « Aménagement et gestion des zones côtières », Université Bordeaux 1.</p>
Enseignements/formations prévus	
<b>EXPERTISES</b>	
Expertises menées	<p>Garcia A, <b>Blanchet H</b>, Gouillieux B, <b>Bachelet G</b>, <b>Leconte M</b>, <b>Lavesque N</b>, Lebleu P, Bouillard H, Prince F (2009) Echantillonnage DCE des Masses d'Eau Côtières pour le paramètre "faune invertébrée benthique" - District hydrographique Adour-Garonne - Année 2008. Rapport No. 2008 5 210 115, UMR 5805 EPOC, Arcachon</p> <p><b>Blanchet H</b>, Gouillieux B, <b>Bachelet G</b>, <b>Leconte M</b> (2008) Echantillonnage DCE des Masses d'Eau pour le paramètre "faune invertébrée benthique" - District Hydrographique Adour-Garonne- Année 2007. Rapport No. 2007 5 210 942, UMR 5805 EPOC, Arcachon</p> <p>Cottet M, Gouillieux B, <b>Bachelet G</b>, <b>Blanchet H</b>, <b>De Montaudouin X</b>, <b>Lavesque N</b>, <b>Leconte M</b>, <b>Sauriau PG</b> (2007) Etude préliminaire de la macrofaune benthique des masses d'eau côtières et de transition du District Hydrographique Adour-Garonne - Rapport Final - Novembre 2007-, Agence de l'Eau Adour-Garonne - Station Marine d'Arcachon - Centre de Recherche sur les Ecosystèmes Littoraux Anthropisés, Arcachon</p>
Expertises en cours	
Expertises prévues	
<b>METHODOLOGIES (GUIDES...)</b>	
méthodologies produites	Guideline for the computation of MISS ( <i>Macrobenthic Index for Sheltered Systems</i> ); <a href="http://www.epoc.u-bordeaux.fr/indiv/Blanchet/MISS_computation.xls">http://www.epoc.u-bordeaux.fr/indiv/Blanchet/MISS_computation.xls</a>
méthodologies en cours d'élaboration	
méthodologies prévues	
<b>AUTRES</b>	
Contrats de valorisation en cours	Surveillance DCE des Masses d'eau côtière et de transition du District Hydrographique Adour-Garonne : années 2007, 2008 et 2009.. Maître d'œuvre : IFREMER/AEAG, Expert scientifique : Hugues Blanchet.
Contrats de valorisation prévus	Etude de la faune invertébrée benthique des eaux de transition métropolitaines françaises. Maître do'œuvre : ONEMA/IFREMER, Correspondant scientifique : Hugues Blanchet. Etude de la qualité écologique autour d'un émissaire en mer d'eaux usées retraitées (Wharf, Gironde) par les indicateurs benthiques. Maître d'œuvre : SIBA, Expert scientifique : X. de Montaudouin (2009-10) Suivi des peuplements benthiques du site de la Dispute. Maître d'œuvre : SIBA

## QuaLiF – Evaluation de la qualité biologique des milieux littoraux semi-fermés

, Expert scientifique : X. de Montaudouin.

Cartographie des herbiers du Bassin d'Arcachon par imagerie satellite au cours de l'été 2007. Exécuté par GEO Transfert (Cellule de transfert de technologie de l'UMR EPOC – UB1); Maître d'œuvre: IFREMER/AEAG; Expert scientifique: J. M. Froidefond.

Cartographie des herbiers de l'île d'Oléron et de l'île de Ré en fonction du taux de recouvrement par télédétection spatiale. Exécuté par GEO Transfert (Cellule de transfert de technologie de l'UMR EPOC – UB1); Maître d'œuvre: IFREMER/Agence de l'Eau Adour Garonne/Agence de l'Eau Loire Bretagne; Experts scientifiques: P.-G. Sauriau, X. de Montaudouin.

## RESUMES

### En français

---

#### RESUME

*1/2 à 1 page*

L'objectif *in fine* de ce projet était de rechercher des indicateurs biologiques susceptibles de mesurer l'état écologique des systèmes littoraux semi-fermés, à sédiments fortement envasés. Deux sites atelières caractéristiques ont été retenus, le Bassin d'Arcachon et l'estuaire de la Gironde, auxquels ont été comparés pour la faune benthique, la baie de Marennes-Oléron et l'estuaire de la Seine. Trois éléments de qualité écologique ont été retenus par la Directive Cadre sur l'Eau : le phytoplancton, la faune benthique invertébrée et les angiospermes.

Quatorze indicateurs phytoplanctoniques ont été testés sur une base de données concernant un chenal principal du Bassin d'Arcachon et ont abouti à des résultats assez contrastés. Selon les indicateurs, 18 à 100% des échantillons répondaient au critère de bonne ou très bonne qualité. Les indices basés sur la fréquence des blooms sont plus pertinents que ceux basés sur le nombre absolu. Un indice définissant le seuil de définition d'un bloom et prenant en compte la spécificité des sites est proposé. Une méthodologie privilégiant des prélèvements de faible volume permet de calculer des indices biologiques en milieu très turbide (estuaire de la Gironde) mais qui semblent plus influencés par la variabilité environnementale naturelle que par d'éventuelles perturbations/améliorations du milieu.

Les indicateurs communément utilisés à partir de la faune benthique donnent des résultats également très divers. Les fortes contraintes physiques dans l'estuaire de la Gironde ne permettent l'installation que de peuplements benthiques paucispécifiques composés d'espèces opportunistes et rendent les indicateurs biologiques inutilisables ou incohérents. La comparaison des indicateurs benthiques issus des bases de données provenant de l'estuaire de la Seine, la baie de Marennes-Oléron et le Bassin d'Arcachon met en évidence de fortes incohérences au niveau des conclusions sur la qualité du milieu. La re-définition des seuils peut être une solution pour homogénéiser les résultats. Un nouvel indice multivarié (MISS pour MacroBentic Index of Sheltered Systems) a été développé et testé en conditions expérimentales et a donné des résultats encourageants.

L'analyse des photos aériennes et satellites a été réalisée pour évaluer la biomasse, le taux de recouvrement et la superficie de l'herbier à *Zostera noltii* (angiosperme) du Bassin d'Arcachon, ainsi que la variabilité de ces paramètres. Des cartes thématiques (par faciès écologique) et des cartes de biomasse ont été développées. La validation terrain de la biomasse est facilitée par le développement automatisé à partir de photos numériques.

#### MOTS CLES

**INDICATEURS BIOLOGIQUES, INVERTEBRES BENTHIQUES, PHYTOPLANCTON, ANGIOSPERMES, TELEDETECTION, ECOSYSTEMES SEMI-ABRITES, DCE.**

### In English

---

#### ABSTRACT

*1/2-1 page*

The aim of the project was to find biological indicators able to assess the environment quality in semi-sheltered, naturally carbon enriched ecosystems. Field studies were mainly performed in Arcachon bay and

## **QuaLiF – Evaluation de la qualité biologique des milieux littoraux semi-fermés**

Gironde estuary. Data from Seine estuary and Marennes-Oléron bay were also analysed for benthic fauna. Three quality elements of the Water Framework Directive were investigated: phytoplankton, invertebrate benthic fauna and angiosperms.

Fourteen phytoplanktonic indicators were tested using data from the main channel of Arcachon Bay and provided rather contrasted results. Following the indicator, 18 to 100% of samples were considered from good or very good quality water mass. Indicators based on blooms frequency are more reliable than those based on blooms number. An indicator providing bloom thresholds in relation with the specificity of the site is proposed. In highly turbid waters (Gironde estuary), sampling of small volumes allow to calculate biological indices. However, these indices seemed more influenced by natural environmental variations than by probable perturbations/improvements of the water mass.

Classical benthic indicators also gave opposite results. The high physical constraints within the Gironde estuary stimulate paucispecific benthic communities with opportunistic species. Consequently, indicators are either useless or irrelevant. Comparisons of benthic indicators values issued from Seine estuary, Marennes-Oleron bay and Arcachon bay data highlighted the strong incoherence in interpreting site biological quality. A new calculation of the thresholds could be one solution to homogenize results. A new index has be developed and tested (MISS pour Macrobenthic Index of Sheltered Systems) in experiment conditions and gave promising results.

Satellite and aerial photos were tested to assess biomass and cover of the *Zostera noltii* (Angiosperms) in Arcachon Bay and their variability. Thematic maps (by habitats), fraction cover and biomass maps were developed. Field validation of biomass is facilitated by automatic interpretation of numeric photos.

### **KEY WORDS**

**BIOLOGICAL INDICATORS, BENTHIC INVERTEBRATES, PHYTOPLANKTON, ANGIOSPERMS, REMOTE SENSING, SEMI-SHELTERED ECOSYSTEMS, WFD.**

# **RAPPORT SCIENTIFIQUE**