

Thibaut Nebout
Nicolas Desroy
Patrick Le Mao

RST.DOP-LER/FBN-09-010

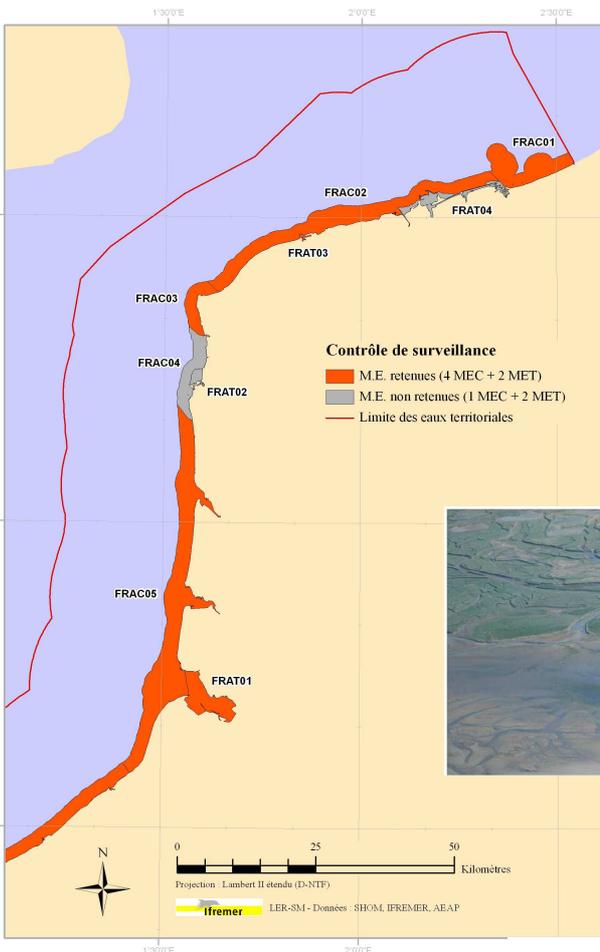
Contrôle de surveillance benthique de la
Directive Cadre sur l'Eau (2000/60/CE) :
Année 2009

> **District Artois-Picardie**

Décembre 2010



Coordination



Fiche documentaire

Numéro d'identification du rapport : Diffusion : libre : <input checked="" type="checkbox"/> restreinte : <input type="checkbox"/> interdite : <input type="checkbox"/> Validé par : Adresse électronique :	date de publication : Décembre 2010 nombre de pages : 36 pp. + annexes bibliographie : oui illustration(s) : oui langue du rapport : français
Contrôle de surveillance benthique de la Directive Cadre sur l'Eau (2000/60/CE) : Année 2009 – District Artois-Picardie	
Contrat n° Rapport intermédiaire <input type="checkbox"/> Rapport définitif <input checked="" type="checkbox"/>	
Auteur(s) principal(aux) : Nebout Thibaut Desroy Nicolas Le Mao Patrick	PDG / DOP / LER / FBN-Saint Malo
Cadre de la recherche : Soutien à la Directive Cadre Eau	
Destinataires : Agence de l'eau Artois-Picardie, DREAL Nord-Pas de Calais et Picardie, Rebent	
Résumé Ce rapport présente les résultats des opérations menées en 2009 (contrôle de surveillance du compartiment benthique : macroinvertébrés benthiques et macroalgues), sur l'ensemble des masses d'eau côtières rattachées au district Artois-Picardie.	
Abstract This report deals with results of monitoring carried out in 2009 (monitoring control for benthic compartment: benthic invertebrates and macroalgae) for the area concerned by the Artois-Picardie water district.	
Mots-clés Directive Cadre Eau, Benthos, Réseau de surveillance, Manche	
Words keys European Water Framework Directive, Benthos, Monitoring Network, English Channel	

Sommaire

1- Rappel du contexte et des obligations imposées par la Directive Européenne Cadre sur l'Eau

2- Suivi surfacique des algues opportunistes

3- Etude des peuplements de fucales

4- Suivi stationnel des invertébrés benthiques des sites d'appui

1- Rappel du contexte et des obligations imposées par la Directive Européenne Cadre sur l'Eau

1- Rappel des attendus relatifs aux éléments de qualité biologique du benthos marin pour la DCE (Guillaumont et al., 2005)

L'application de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) nécessite la mise en place de contrôles pour évaluer l'état écologique des Masses d'Eau côtières et de transitions avec comme objectif l'atteinte du bon état en 2015. L'ensemble des eaux côtières, dont la limite extérieure s'établit à 1 mille de la ligne de base, et des eaux de transitions, correspondant aux eaux de surface situées près des embouchures de rivières/fleuves et partiellement salines mais influencées par les eaux douces, a fait l'objet d'un découpage en Masses d'Eau. Ces Masses d'Eau ont été définies en fonction de leurs caractéristiques physiques ainsi que des pressions qui s'y exercent.

Sur ces Masses d'Eau, différents types de contrôle peuvent être exercés :

- le **contrôle de surveillance**, appliqué sur une sélection de Masses d'Eau considérées comme représentatives en se référant à la typologie préétablie. Les objectifs de cette surveillance sont de « (...) *concevoir de manière efficace et valable les futurs programmes de surveillance, évaluer les changements à long terme des conditions naturelles, évaluer les changements à long terme résultant d'une importante activité anthropique.* » (Annexe V – art. 1.3.1) ;

- le **contrôle opérationnel**, appliqué sur les Masses d'Eau présentant un Risque de Non Atteinte du Bon Etat Ecologique (RNBAE) d'ici 2015, afin d'en établir l'état et d'en évaluer les changements dus aux programmes de mesure mis en place ;

- le **contrôle additionnel**, requis pour les zones protégées (notamment les zones de protection d'habitat et/ou d'espèces résultant des directives européennes "Oiseaux" et "Habitats", risquant de ne pas répondre à leurs objectifs environnementaux) ;

- le **contrôle d'enquête**, appliqué aux Masses d'Eau présentant un RNABE pour des raisons inconnues, ainsi qu'aux zones touchées par des pollutions accidentelles, pour lesquelles le benthos est un indicateur privilégié de l'ampleur et de l'incidence des contaminations.

L'article 1.1.4 de l'annexe V de la DCE, précise les paramètres biologiques qui participent à l'évaluation de l'état écologique des Masses d'Eau côtières. Ces derniers se réfèrent à la composition, abondance et biomasse du phytoplancton, à la composition et

abondance de la flore aquatique (autre que le phytoplancton) et à la composition et abondance de la faune benthique invertébrée.

Dans le cadre du contrôle de surveillance du compartiment benthique, la végétation benthique (macroalgues et angiospermes), ainsi que les macroinvertébrés benthiques, doivent obligatoirement être pris en considération.

Pour les contrôles opérationnels on retiendra les éléments les plus sensibles "(...) afin d'évaluer l'ampleur des pressions auxquelles les masses d'eau de surface sont soumises, les États membres contrôlent les éléments de qualité qui permettent de déterminer les pressions auxquelles la ou les masses sont soumises. Afin d'évaluer l'incidence de ces pressions, les États membres contrôlent (...) les paramètres permettant de déterminer l'élément de qualité biologique ou les éléments qui sont les plus sensibles aux pressions auxquelles les masses d'eau sont soumises (...)".

A partir du texte de la DCE, des travaux de réflexion ont été conduits au niveau européen (travaux du groupe COAST, aboutissant notamment à des recommandations générales consignées dans le rapport *Guidance on monitoring* destiné à guider les stratégies à mettre en œuvre dans chaque pays, travaux des groupes informels d'intercalibration NEA GIG), chaque pays restant libre de définir la stratégie de surveillance la plus adaptée, avec toutefois un impératif d'intercalibration sur le classement relatif à l'état écologique des Masses d'Eau défini selon 5 niveaux (très bon, bon, moyen, médiocre, mauvais - Art. 1.2. de l'annexe V de la DCE).

2- Rappel des caractéristiques des masses d'eaux du District côtier Artois-Picardie

Le district côtier Artois-Picardie est composé de cinq masses d'eaux côtières et de quatre masses d'eaux de transition (Figure 1). Au total, quatre masses d'eaux côtières ont été retenues pour le contrôle de surveillance ainsi que deux masses d'eau de transition [voir Guérin, Le Mao & Desroy, 2007 pour la présentation des caractéristiques (générales et biologiques) des masses d'eau].

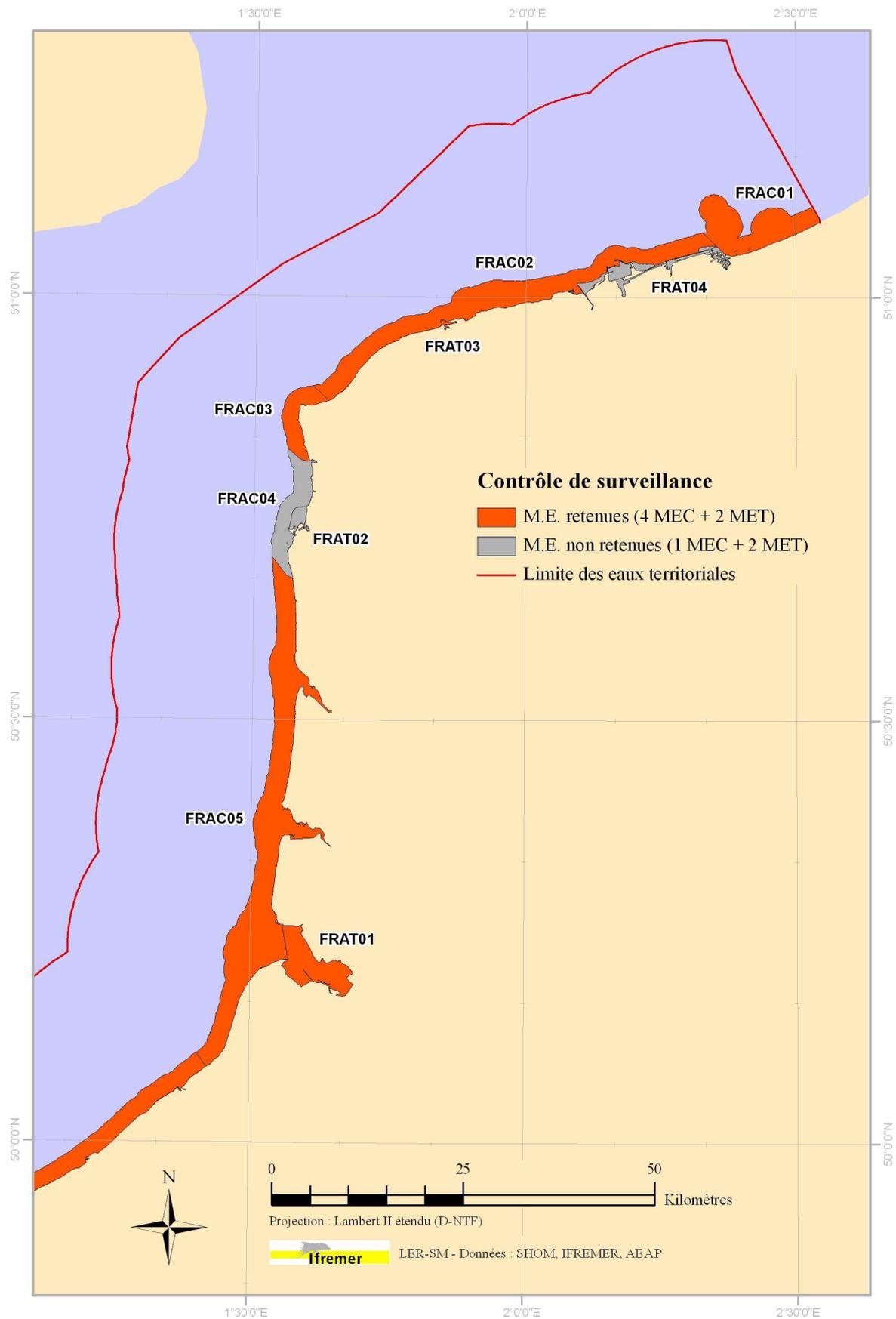


Figure 1 : Masses d'eau retenues pour le contrôle de surveillance.

Ce rapport synthétise les résultats du CEVA pour le suivi des algues opportunistes et de la Station marine de Wimereux (Université des Sciences et Technologies de Lille – JM Dewarumez pour l'étude de la macrofaune et F Gevaert pour l'étude des macroalgues).

2- Suivi surfacique des algues opportunistes (Cette partie reprend le rapport réalisé par le CEVA)

1- Contexte et objectifs

Depuis la fin des années 60, le littoral breton est touché, en certains points, par des proliférations de macroalgues vertes de type Ulves, connues du public sous le terme de « marées vertes ». Des échouages parfois massifs sont également rapportés depuis quelques années sur le littoral normand, ce qui inquiète les riverains, les collectivités locales et les gestionnaires du milieu. De premières photos aériennes avaient été acquises par le CEVA en 2005 pour la DIREN. Suite à ces premières investigations, le CEVA a été chargé, en 2006 par l'Agence de l'Eau et EDF de faire des repérages aériens complémentaires assortis de contrôles de terrain et de mesures de l'importance des surfaces couvertes : deux survols, le 13 juillet puis le 22 août 2006 des côtes de Basse Normandie ont ainsi été réalisés. L'analyse des données de terrain et les mesures des surfaces couvertes ont permis de mettre en évidence 13 secteurs représentant des surfaces équivalentes voire supérieures à la majorité des sites bretons (exclusion faite des baies de Saint-Brieuc et Saint Michel en Grève).

La Directive Cadre sur l'Eau impose, dans le cadre du réseau de surveillance, un suivi des blooms macroalgues, dont l'Ifremer est le responsable national.

Le CEVA suit, depuis 2002, le phénomène de marées vertes, dans le cadre du programme Prolittoral, programme régional et interdépartemental de lutte contre les marées vertes. Dans ce cadre, le CEVA a développé des outils spécifiques pour évaluer le phénomène et son évolution. Ces outils ont été élaborés en partant de la connaissance du phénomène acquise au travers des suivis antérieurs, réalisés pour le compte du Conseil général des Côtes d'Armor, de l'Agence de l'Eau Loire Bretagne et de collectivités locales bretonnes particulièrement touchées par le phénomène.

Aucune observation de surveillance d'échouages n'avait jusqu'alors été entreprise sur le littoral du Tréport à la frontière belge. Bien que cette portion du littoral soit a priori peu concernée par des échouages d'ulves, l'Ifremer, a commandé au CEVA, pour la première fois en 2009, dans le cadre du réseau de contrôle de surveillance, le suivi d'éventuels échouages d'ulves à travers trois volets :

- un dénombrement des points du littoral touchés par des proliférations d'algues vertes à Ulves,
- une évaluation des surfaces concernées par les algues vertes (dépôt+rideau),
- une veille auprès des communes sur les volumes de ramassage.

Pour ce programme de surveillance du littoral étaient prévues une à trois dates d'inventaire, sur les côtes allant Tréport à la frontière belge, en fonction des conditions météorologiques. Bien que disposant de très peu de références sur les dates les plus appropriées (pas de suivi antérieur sur cette portion de littoral) afin de couvrir l'ensemble de la saison a priori la plus favorable et pour pouvoir combiner les vols avec la surveillance des côtes normandes, les dates suivantes ont été pré définies : marée de vive eau de fin mai- début

juin, de fin juin – début juillet puis de fin août – début septembre (en fonction des possibilités : conditions météorologiques et heures possibles de survol).

2- Méthodes

Les méthodes et outils utilisés ici ont été mis au point par le CEVA dans le cadre du programme Prolittoral 2002-2006 de suivis des marées vertes sur les côtes bretonnes en s'appuyant sur de premiers outils et méthodes développés dans des études antérieures comme décrites en partie 1.

2.1 Dénombrement des sites

Le dénombrement des sites touchés par des échouages d'ulves a été réalisé, par survols aériens au moyen d'un CESSNA. La vitesse de l'avion et le déplacement de l'onde de marée sont compatibles avec des acquisitions en une seule journée pour chacun des inventaires.

Les survols sont planifiés pour correspondre au mieux aux heures de basse mer des zones survolées et lors de coefficients de marée les plus forts (supérieurs à 75 quand cela est possible) afin de pouvoir observer de manière optimale les dépôts sur l'estran. Ces conditions doivent coïncider avec des caractéristiques météorologiques suivantes : bonne visibilité et plafond nuageux suffisamment haut pour procéder à des photographies qui soient à des échelles convenables.

En plus du pilote, deux observateurs sont à bord : un photographe et un opérateur qui localise sur carte les photos prises. C'est dans l'avion également, en fonction de la perception des observateurs, que sont décidés les contrôles de terrain. Les sites pour lesquels il y a apparemment échouage d'algues pouvant être de l'ulve font l'objet d'une validation de terrain qui permet de vérifier le type d'algue en présence, le fait que celles-ci sont libres et non fixées.

Une fois les photos acquises, des équipes sont rapidement mobilisées et dépêchées sur le terrain afin de valider ou non le constat d'échouage d'ulves, si de tels échouages sont repérés. Ces équipes recueillent des échantillons d'algues, ainsi que des informations relatives au type de dépôt et au mode de croissance (présence de base indicatrice d'une phase fixée récente dans la vie de l'algue...). Ces informations relevées sont ensuite archivées et intégrées dans la base de données « Marées vertes ».

La définition d'un site à marée verte repose sur :

- un seuil de quantité anormale d'algues vertes détectable par avion,
- un contrôle de terrain qui vérifie que ce sont bien des ulves, qu'elles sont libres et représentent visuellement plus d'un tiers des échouages (ou d'un rideau de bas de plage)

Il n'y a donc pas, à proprement parler, de seuil de superficie minimale pour qu'un site soit considéré comme touché, si ce n'est le fait que celui-ci doit pouvoir être détectable par avion (et visible sur les photos). Cela permet de considérer les sites émergents (« alerte précoce »), de petites tailles, comme les sites plus importants. La notion d'importance de la prolifération est par contre traitée dans l'approche surfacique décrite ci dessous.

2.2 Estimation quantitative surfacique

Lors des survols, les observateurs prennent un nombre plus ou moins important de photographies en fonction de la taille du site et des conditions météorologiques (altitude de vol). Les meilleures photos de chaque site sont sélectionnées pour l'estimation sous SIG des surfaces couvertes par les ulves. Le nombre de photos utilisées pour l'estimation des surfaces varie en fonction de la taille du site et de l'altitude de vol (une quinzaine de clichés pour les plus grands sites du littoral breton).

Une fois intégrées au SIG « Marées vertes », les photos sont géoréférencées (alignement sur des données de référence). Pour disposer de références fiables, le CEVA a récupéré les orthophotolittorales de l'ensemble du littoral. Cette opération de géoréférencement permet d'obtenir des données géométriquement redressées.

Cela permet ensuite la saisie d'indices quantitatifs surfaciques. Trois digitalisations distinctes sont effectuées :

- délimitation de l'estran correspondant à la surface de la partie du littoral découverte au moment de la photographie d'un site,
- délimitation correspondant à l'emprise du rideau au moment de la prise de vue,
- délimitation des dépôts d'algues sur l'estran,

Pour pouvoir comparer entre eux les dépôts (entre sites ou sur un même site au cours de la saison) le CEVA a défini une surface dite « équivalent 100% » de couverture. Chaque dépôt fait l'objet d'une détermination de taux de couverture, par photo-interprétation. Les photos interprétation sont rationalisées par l'élaboration d'un catalogue de référence illustrant des recouvrements types (ceux-ci ont été étalonnés en utilisant une procédure de traitement d'image).

Les surfaces en algues digitalisées pour chaque site sont ensuite traitées sur la banque de données : agrégation de l'ensemble des surfaces d'un même site et calcul pour chaque entité des surfaces en « équivalent » (taux de couverture x surface du dépôt). Intégrée à la base de données « Marées Vertes », une table synthétique des résultats permet alors de disposer pour chaque site et pour chaque inventaire :

- de la surface de l'estran
- de la somme des surfaces couvertes par le rideau
- de la somme des surfaces « globalement » concernées par les dépôts d'ulves
- de la surface totale réellement couverte par les ulves (équivalent 100%)

Le traitement des données issues de cette procédure permet l'analyse statistique et la cartographie automatique des résultats concernant chacun des inventaires sur l'ensemble de la saison.

2.3 Enquête ramassage

L'enquête sur les ramassages d'algues vertes par les communes (Annexe 1) a été envoyée en janvier 2010 à 49 communes d'Artois-Picardie. A l'occasion de ces envois a été jointe une notice d'information concernant les teneurs d'hydrogène sulfuré (H₂S) émises par les algues vertes en putréfaction (Annexe 2).

2.4 Enquête type de dépôt algal

A la suite des survols, aucun dépôt algal ne justifiait le déplacement d'une équipe sur le terrain. Néanmoins, pour établir le type d'algues se développant en baie de Somme, une prise de contact a été engagée avec le GEMEL (Groupe d'Etude des milieux Estuariens et Littoraux) (interlocuteur : Antoine Meirland) et la Commission Régionale Environnement et Biologie Subaquatiques du Nord-Pas de Calais (interlocuteur : Sylvie Kubala) qui ont pu nous fournir des photos de terrain sur le secteur de la plage du Hourdel prises en juin 2009 et en mai 2010.

3- Résultats

3.1 Dénombrement de sites

Deux inventaires ont pu être réalisés aux dates suivantes :

- 6 mai : du Tréport à la frontière belge (condition météo difficiles à partir du Tréport : vent + houle peu favorables aux dépôts)
- 6 juillet : du Tréport à la frontière belge

Il était envisagé de faire une troisième observation début septembre mais les conditions météorologiques n'ont pas permis de faire un survol en début de coefficient (heures de basse mer plus précoces) et le survol finalement déclenché le 5 septembre sur la côte normande aurait impliqué un survol de nuit de la côte « Artois-Picardie » et n'a donc pu être réalisé.

Lors des deux inventaires de mai et juillet, l'analyse des clichés n'a mis en évidence aucun dépôt ne justifiant un déplacement sur le terrain. **Aucun site n'a été classé comme site à marée verte.** La reprise des photos après la saison d'acquisition des données permet cependant de distinguer sur quelques clichés de la baie de Somme des dépôts qui pourraient être de type ulves (cf. Annexe 2).

3.2 Estimation quantitative surfacique

Aucun dépôt n'ayant été classé, il n'était *a priori* pas prévu de réaliser un géoréférencement puis une digitalisation des surfaces d'échouages. Cependant, afin d'avoir une idée du potentiel que représente les dépôts présentés en Annexe 3 (baie de Somme), ces dépôts ont fait l'objet de digitalisation **comme s'il s'agissait bien d'ulves libres.**

- Le premier dépôt au nord de la plage du Hourdel représente une surface de 3 ha en équivalent.
- Le second dépôt identifié au niveau des Mollières est le dépôt le plus important constaté en baie de Somme lors des différents survols avec une surface totale de 9 ha en équivalent.
- Le troisième dépôt sur la plage du Hourdel est le plus faible en termes de surface ne recouvrant que 0,6 ha en équivalent.

La morphologie des dépôts laisse penser que les algues présentes sont plutôt fixées et non libres (cf. § 3.4 ci-dessous), ces dépôts ne sont donc pas assimilables aux marées vertes telles à proprement parler.

3.3 Enquête ramassage

Sur les 49 communes interrogées (10 dans le département du Nord, 24 dans le département du Pas-de-Calais et 15 dans le département de la Somme), 15 ont répondu (4 dans le département du Nord, 7 dans le département du Pas-de-Calais et 4 dans le département de la Somme). Le taux de réponse par département est par conséquent de 40 % pour le Nord, 29 % pour le Pas-de-Calais et 27 % pour la Somme. La totalité des communes qui ont répondu n'ont déclaré aucun échouage d'algues vertes. Il est à noter que la commune de Cucq a ramassé 110 tonnes d'algues brunes échouées en deux jours (5 et 10 août 2009). Le faible taux de réponse et l'absence d'algues vertes signalée par l'ensemble des communes qui ont répondu à l'enquête sont en accord avec les observations qui ont été faites au cours des survols aériens, à savoir une quasi-absence d'algues vertes sur le littoral d'Artois-Picardie.

3.4 Enquête type de dépôt algal

Les photographies de terrain transmises par Sylvie Kubala (Commission Régionale Environnement et Biologie Subaquatiques du Nord-Pas de Calais) et Antoine Meirland (GEMEL) ont permis d'établir que les dépôts algaux identifiés sur les photos aériennes étaient essentiellement fixés avec des algues de type entéromorphes (Photo 1) et des ulves en lame (*Ulva linza* ?) (Photo 2). Quelques ulves libres sont présentes sur l'estran dont certaines semblent être issues de l'arrachage (Photo 3).

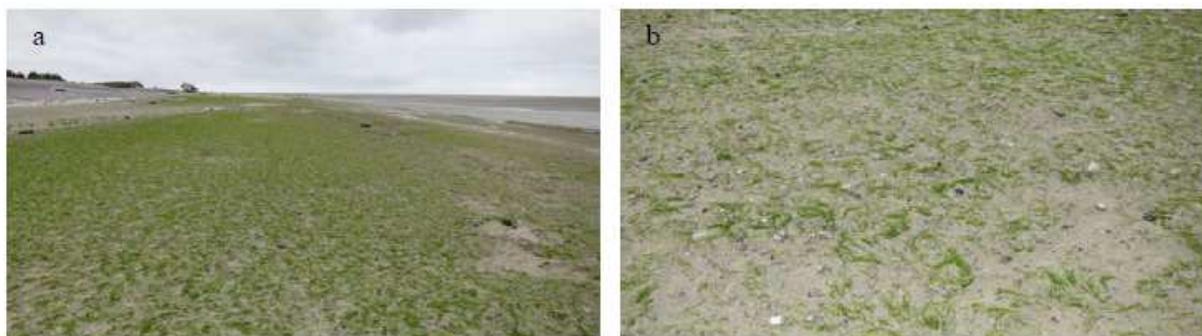


Photo 1 : Développement algal à la pointe du Hourdel, mai 2010. Vue d'ensemble (a) et vue rapprochée du dépôt (b). Photo fournies par Sylvie Kubala, Commission Régionale Environnement et Biologie Subaquatiques du Nord- Pas de Calais



Photo 2 : Développement algal au sud du Hourdel, juin 2009. Ulves « en lame » fixées sur les coquilles de coques. Vue d'ensemble (a) et vue rapprochée du dépôt (b). Photos fournies par Antoine Meirland du GEMEL.



Photo 3 : Ulves échouées sur l'estran, pointe du Hourdel, mai 2010. La présence d'un crampon (a) indique une croissance à l'état fixé. Photos fournies par Sylvie Kubala, Commission Régionale Environnement et Biologie Subaquatiques du Nord-Pas de Calais

4- Discussion

L'eutrophisation de la baie de Somme est un processus déjà mis en évidence dans différentes études (Rybarczyk, 1993 ; Loquet et al., 1999). Elle se manifeste par un développement phytoplanctonique important induisant une anoxie périodique des eaux entraînant, entre autres, une mortalité importante des coques notamment en période estivale (Ducrotoy et al., 1985). Les travaux de Wilson et al. (2007) ont montré que l'hydrodynamique de la Baie de Somme était plus favorable au développement phytoplanctonique qu'au développement des macroalgues. Néanmoins, même si la baie de Somme est peu touchée par le développement d'algues vertes, des proliférations importantes d'*Ulva lactuca* ont été répertoriées en été 1982, au printemps 1983 et de façon plus discrète en 1984 (Ducrotoy et al., 1985). Wilson et al. (2007) soulignent également que bien que les macroalgues soient quasiment absentes de la baie de Somme, d'importants développements localisés peuvent avoir lieu. C'est également ce qu'a permis de montrer le survol de la baie de Somme en 2009 avec des développements d'algues vertes s'étendant localement sur plusieurs hectares. Néanmoins, cette prolifération algale n'est pas comparable au phénomène de « marées vertes » du littoral breton, les algues présentes en baie de Somme étant en majorité fixées et ne s'accumulant donc pas sur l'estran.

5- Conclusion

A partir des deux survols de surveillance effectués en mai et juillet 2009 le long du littoral Artois- Picardie, quelques développements macroalgaux ont été observés en baie de Somme, à proximité de la pointe du Hourdel. Même si ces proliférations couvrent une surface d'un peu plus de 12 ha (équivalent), cela reste négligeable rapporté au 72 km² (soit 7200 ha) de l'estuaire de la baie de Somme. De plus, il apparaît que les algues vertes se développant en baie de Somme sont principalement fixées, empêchant leur accumulation en haut de plage.

3- Etude des peuplements de fucales (Cette partie reprend le rapport réalisé par F. Gevaert de la Station Marine de Wimereux)

1- Contexte et objectifs

Cette étude concerne l'évolution des communautés algales macrobenthiques du littoral Artois-Picardie et les risques encourus vis-à-vis du bon état à atteindre dans le cadre de la DCE. Les communautés du littoral subissent actuellement deux types de pressions : l'une générale suspectée liée aux changements hydroclimatiques, l'autre locale avérée liée à une exploitation "commerciale" des fucales. Breeman (1988, 1990) et Hiscock et al (2004) ont en effet montré que des changements significatifs dans la distribution des espèces algales et des modifications de la composition spécifique pouvaient être attendus en zone intertidale. Les changements dans les températures de l'air et de l'eau liés au changement global sont et seront à l'origine de modifications dans la distribution et l'abondance de ces espèces. En lien direct avec ces variations thermiques, des tempêtes plus fréquentes, comme le prédisent certains modèles sur le réchauffement climatiques, pourraient aussi affecter ces algues benthiques. La turbidité des eaux peut aussi entraîner une restriction des éclaircissements parvenant aux algues à l'immersion alors qu'au contraire, d'autres études ont montré l'effet néfaste des forts éclaircissements sur la physiologie des espèces de fucales, notamment à l'émersion. Enfin, depuis plusieurs années, la persistance et l'importance des vases à *Polydora* pourraient aussi agir directement sur le recrutement de nombreuses espèces de macroalgues puisque cette couche de vase n'est pas favorable à l'installation et l'ancrage des sporophytes ou gamétophytes (Chapman A.S. & Fletcher, 2002).

A ces pressions, s'ajoute au niveau local une exploitation commerciale des fucales qui a d'abord été observée sur le site de la Crèche près de Wimereux et s'est ensuite déplacée sur le site d'Audresselles (Figure 1). Cette exploitation serait le fait d'un exploitant qui utilise des moyens assez lourds (tracteur et remorque), dommageable à la fois aux habitats de l'estran comme aux communautés algales en raison des quantités prélevées mais aussi du nomadisme de l'exploitant sur la zone découverte à basse mer.

Ces pressions pourraient être à l'origine de la régression observée de *Fucus spiralis*, *Fucus vesiculosus* ou *Fucus serratus*, à la fois en densité et en biomasse. Le manque de recul et l'absence de véritables données chiffrées ne permettent pourtant pas à l'heure actuelle de quantifier l'ampleur de ce phénomène, d'où la nécessité d'entreprendre un suivi temporel.

Afin d'apprécier l'impact de l'exploitant sur la ceinture à *Fucus serratus*, deux zones ont été échantillonnées sur le site d'Audresselles : une zone impactée par l'exploitation et une autre zone non accessible aux exploitants et située à proximité de la première. En parallèle, pour prendre en considération l'effet potentiel des changements hydroclimatiques, des échantillonnages ont été effectués sur différents sites du littoral (La Crèche, Ambleteuse, Audresselles, la Sirène), à la fois dans les ceintures à *Fucus serratus* et *F. spiralis* ou *vesiculosus*. Les observations de terrain ont été effectuées sur l'habitat correspondant aux substrats durs (sur la roche en place constituée de platier rocheux et de blocs fixes de grande taille). L'échantillonnage a été réalisé en juin 2009. Afin de comparer les données obtenues à celles pouvant déjà exister, diversité spécifique totale (liste des espèces algales présentes) et indice de recouvrement (taux de recouvrement apparent) des peuplements macroalgaux ont été mesurés par quadrat de $1/9 \text{ m}^2$ ($0,1 \text{ m}^2$), 3 x 3 quadrats aléatoires par station (niveau bathymétrique) lors de basses mers de vives eaux et directement sur le terrain (sur chaque ceinture à Fucales). Bien qu'idéalement l'échantillonnage doive être non destructif, les

quadrats ont donné également lieu pour ces suivis à des prélèvements afin de pouvoir apprécier la biomasse et la densité en place. Ces données pourront être comparées aux données antérieures lorsqu'elles existent ou sinon serviront de « références » (état initial) dans le cadre de travaux de comparaisons ultérieurs.

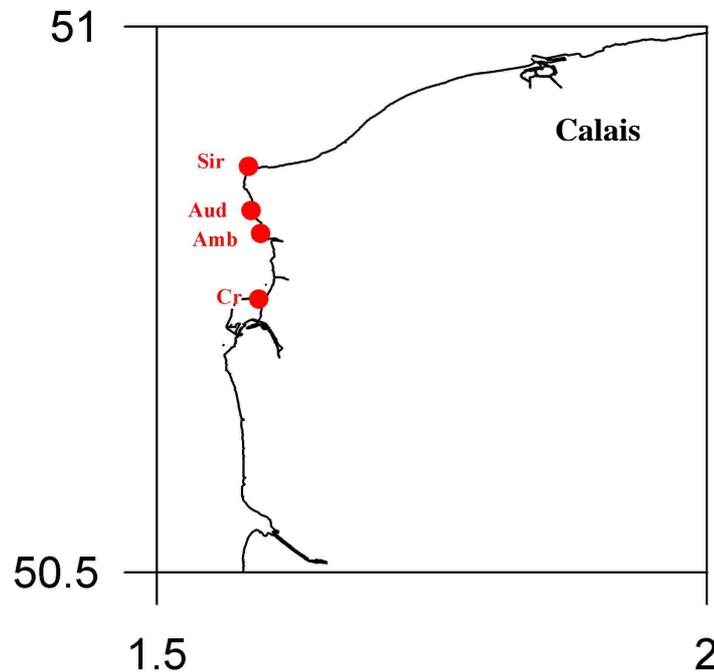


Figure 1 : Sites d'étude des ceintures à Fucale

2- Méthodes

Les protocoles d'échantillonnage appliqués sont ceux présentés dans la fiche technique de recommandation pour l'échantillonnage et l'analyse des macroalgues de substrats durs dans le cadre du contrôle de surveillance DCE, adapté aux particularités du district Artois-Picardie (inventaire exhaustif des espèces en présence car différentes des espèces caractéristiques retenues pour la Bretagne) (Annexe 4).

Sur le site, les paramètres mesurés ont été les suivants :

- Couverture végétale globale des ceintures (pourcentages de recouvrement)
- Surface de couvert végétal de chaque ceinture (en m²)
- Observations dans les quadrats lors de basses mers de vives eaux (3 quadrats aléatoires de 33 cm x 33 cm par point, en trois points de 1,65 m x 1,65 m par ceinture, soit 9 quadrats de 0,9 m²).

Toutes les espèces présentes dans les quadrats échantillonnés sous forme encroûtante (surface minimale de l'ordre de 1 cm²) ou érigée (individus d'une taille supérieure ou égale à 5 mm) sont inventoriées. Le pourcentage de recouvrement estimé sur le terrain correspond, pour une espèce donnée, au rapport entre la surface totale du substrat recouverte après projection verticale de la canopée de tous les individus de cette espèce et la surface totale de chaque quadrat, l'estimation prenant en compte exclusivement les thalles dont le système de fixation se situe dans le quadrat. Lorsque certaines ceintures sont très fournies, notamment avec des individus de grande taille, cette opération nécessite de soulever les thalles les plus

longs à la verticale au-dessus du substrat (à la fois pour estimer la surface recouverte et pour faire apparaître les espèces les plus petites).

Une estimation du pourcentage de la roche nue, couverte de sable ou de lichens ainsi que des organismes animaux sessiles (Balanes, Anémones, Moules, Patelles) est également appréciée pour chaque quadrat. Compte tenu de l'imbrication des espèces et des strates, le cumul des pourcentages de recouvrement de l'ensemble peut donner, a priori, des valeurs supérieures à 100%. A l'issue de l'observation, tous les pieds de fucales sont prélevés à l'intérieur des quadrats (juvéniles compris).

Les observations ont été réalisées par le concours de plusieurs personnes travaillant simultanément sur le site, ce qui a permis de « rentabiliser » les journées propices aux mesures (plusieurs relevés par jour) et l'ensemble du suivi a ainsi pu être réalisé.

A l'issue des missions de terrain, les espèces non identifiées sur le terrain et prélevées sont déterminées au laboratoire. Les fucales prélevées sont scrupuleusement nettoyées, épongées, mesurées (taille et poids frais). Les données brutes sont saisies, analysées, mises en forme et archivées sous forme numérique. Les stations ont été choisies aléatoirement et sont représentatives de la masse d'eau et des ceintures (taux de recouvrement et homogénéité).

La liste d'espèces caractéristiques n'ayant pas été validée pour le secteur Artois/Picardie et les indices non adaptés, il n'a pas été possible de les établir pour procéder à des comparaisons (notamment avec les données antérieures de 2008). Néanmoins, les biomasses, densités et paramètres a et b caractéristiques des relations d'allométrie ($PF = a L^b$) ont pu être comparés entre zones exploitées ou pas, entre années (2006 et 2009), entre sites (La Crèche, Ambleuse, Audresselles, la Sirène) et entre espèces (*F. serratus* et *F. spiralis*). Des tests statistiques non paramétriques (test U de Mann-Whitney) ou paramétriques lorsque le nombre d'observations le permettait (ANOVA et test post-hoc HSD de Tukey) ont été utilisés (Systat 9.0) pour effectuer ces comparaisons.

3- Résultats

Les résultats sont scindés en deux parties :

- une première partie dans laquelle sont présentées les fiches de relevés obtenues à l'issue des campagnes de terrain (espèces en présence et recouvrement), les relations d'allométrie reliant le poids frais à la taille des individus des espèces de fucales récoltées (*F. serratus* et *F. spiralis*) pour chacune des ceintures (9 quadrats par ceinture) de chacun des 4 sites (Figures 2 à 5) et les densités et biomasses en fucales relevées sur chacun des quadrats et par sites (toutes tailles confondues, juvéniles de moins de 5 mm compris) (Figures 6 à 9).

- une seconde partie dans laquelle sont présentés les résultats obtenus des comparaisons de biomasses, densités et paramètres a et b caractéristiques des relations d'allométrie ($PF = a L^b$) entre zones exploitées ou pas, entre années (2006 et 2009), entre sites (La Crèche, Ambleuse, Audresselles, la Sirène) et entre espèces (*F. serratus* et *F. spiralis*).

➤ **PARTIE 1**

Site : La Crèche

Date : 29/06/2009

Ceintures à *Fucus serratus* (- Rhodophyceae)

Espèces caractéristiques	Fser1,1	Fser1,2	Fser1,3	Fser2,1	Fser2,2	Fser2,3	Fser3,1	Fser3,2	Fser3,3
<i>Chaetomorpha aerea</i>				0-5			0-5		0-5
<i>Chondrus crispus</i>				25-50	25-50	25-50	75-100	75-100	50-75
<i>Cladophora rupestris</i>	0-5			0-5	0-5	0-5	0-5	0-5	0-5
<i>Cystoclonium purpureum</i>									0-5
<i>Fucus serratus</i>	25-50	5-25	25-50	5-25	25-50	5-25	0-5	25-50	0-5
<i>Gelidium crinale</i>				5-25	5-25	5-25		0-5	
<i>Gelidium pusillum</i>	5-25	5-25	5-25		5-25				
<i>Lithothamnion lenormandii</i>							5-25	5-25	
<i>Lomentaria articulata</i>									0-5
<i>Porphyra dioica</i>	5-25	0-5	0-5						
<i>Rhodothamniella floridula</i>	5-25			5-25	0-5	0-5			
Espèces opportunistes									
<i>Ulva spp.</i>					5-25	0-5			0-5
<i>Enteromorpha spp.</i>	5-25	25-50	5-25						
<i>Ceramium spp.</i>	0-5			5-25	0-5	0-5	0-5	5-25	5-25
<i>Polysiphonia</i>							0-5		0-5
Faune et substrat									
Balanes	5-25	5-25	5-25		0-5	5-25			0-5
Hydriaires				0-5	0-5	5-25	0-5		
Moules (nbre)				1	2	1		1	1
Patelles (nbre)	1		1						
Anémones (nbre)		1							
Littorines (nbre)			1						
Eponge					0-5				
Sable	5-25	5-25	25-50	50-75	75-100	50-75	75-100	75-100	75-100
Code Quadrat	B3	C2	E5	A4	D1	E4	C3	D1	A2
Références prélèvement	Q70	Q71	Q72	Q73	Q74	Q75	Q76	Q77	Q78
Références photos	13	14	15	25	26	27	38	41	40
Références GPS	50.45.038 001.35.612			50.45.077 001.35.441			50.45.114 001.35.516		
Photos station	9-12			21-24			35-37		
Surface station m ²	240			360			3000		
Recouvrement %	25			40			5		

Site : La Crèche
Date : 29/06/2009

Ceintures à *Fucus spiralis*

Espèces caractéristiques	Fspi1,1	Fspi1,2	Fspi1,3	Fspi2,1	Fspi2,2	Fspi2,3	Fspi3,1	Fspi3,2	Fspi3,3
<i>Blidingia minima</i> <i>Prasiola stipitata</i>	25-50	50-75	25-50	0-5		25-50	25-50		50-75
<i>Chaetomorpha aerea</i>								0-5	
<i>Cladophora spp.</i>								0-5	
<i>Fucus spiralis</i>	25-50	5-25	25-50	0-5	25-50	5-25	25-50	5-25	5-25
<i>Gelidium pusillum</i>							0-5		
<i>Hildenbrandia rubra</i>	5-25	5-25	25-50				0-5		0-5
<i>Porphyra linearis ou umbilicalis</i>	0-5	0-5	0-5				0-5	0-5	5-25
Espèces opportunistes									
<i>Enteromorpha intestinalis</i>							50-75	5-25	5-25
<i>Ulva spp.</i>								0-5	
Faune et substrat									
Balanes	50-75	25-50	75-100	0-5		0-5		0-5	
Patelles (nbre)									1
Littorines (nbre)			1	3	96	4	46	29	1
Moules (nbre)							1	13	
Sable									5-25
Code Quadrat	B4	A5	E2	B5	C2	E3	D1	C5	A3
Références prélèvement	Q79	Q80	Q81	Q82	Q83	Q84	Q85	Q86	Q88
Références photos	3	4	5	6	6	6	11	11	11
Références GPS	50.45.032 001.35.634			50.45.041 001.35.652			50.45.069 001.35.753		
Photos station	1-2			7			8-10		
Surface station m ²	5000			375			2500		
Recouvrement %	50			25			10		

Site : Ambleteuse
Date : 23/06/2009

Ceintures à *Fucus serratus* (- Rhodophyceae)

Espèces caractéristiques	Fser1,1	Fser1,2	Fser1,3	Fser2,1	Fser2,2	Fser2,3	Fser3,1	Fser3,2	Fser3,3
<i>Chondrus crispus</i>			0-5						
<i>Fucus serratus</i>	75-100	25-50	25-50	25-50	5-25		5-25	5-25	5-25
<i>Gelidium crinale</i>									0-5
<i>Porphyra dioica</i>		0-5			0-5	0-5	0-5	0-5	0-5
<i>Rhodothamniella floridula</i>	0-5								
Espèces opportunistes									
<i>Ulva spp.</i>	5-25	25-50	5-25	50-75	50-75	50-75	5-25	50-75	50-75
<i>Ceramium spp.</i>				0-5					0-5
Faune et substrat									
Balanes	25-50	25-50	25-50	5-25	5-25				
Moules	5-25	0-5	25-50	0-5		5-25	5-25	5-25	0-5
Patelles (nbre)		1	1		2				
Anémones (nbre)			1						
Littorines (nbre)			1	2	1				
Sable		5-25		5-25	5-25	25-50	5-25	5-25	25-50
Code Quadrat	C2	B1	A5	E3	C1	D4	A2	D5	E1
Références prélèvement	Q19	Q20	Q21	Q22	Q23	Q24	Q25	Q26	Q27
Références photos	577	578	579	587	588	589	594	595	596
Références GPS	50.48.650 001.35.705			50.48.659 001.35.696			50.48.672 001.35.677		
Photos station	572-576			580-586			590-593		
Surface m ²	4000								
Recouvrement %	30								

Site : Ambleteuse
Date : 23/06/2009

Ceintures à *Fucus spiralis*

Espèces caractéristiques	Fspi1,1	Fspi1,2	Fspi1,3	Fspi2,1	Fspi2,2	Fspi2,3	Fspi3,1	Fspi3,2	Fspi3,3
<i>Blidingia minima</i> <i>Prasiola stipitata</i>			0-5	25-50	25-50	25-50		0-5	
<i>Fucus spiralis</i>	5-25	50-75	0-5	25-50	25-50	5-25	50-75	75-100	75-100
<i>Porphyra linearis ou umbilicalis</i>	0-5			0-5					
Espèces opportunistes									
<i>Enteromorpha intestinalis</i>	5-25	50-75	50-75		0-5	25-50			5-25
Faune et substrat									
Balanes	0-5		0-5	5-25	0-5	0-5		5-25	5-25
Patelles (nbre)	1				1	1			
Littorine (nbre)s				2					
Sable	25-50	50-75	5-25	25-50	25-50	25-50	75-100		25-50
Code Quadrat	C4	D1	E3	D5	D4	E2	B5	A2	C1
Références prélèvement	Q28	Q29	Q30	Q31	Q32	Q33	Q34	Q35	Q36
Références photos	609-610	611	612	617	618	619	626	627	628
Références GPS	50.48.645 001.35.827			50.48.619 001.35.843			50.48.611 001.35.842		
Photos station	603-608			613-616			620-625		
Surface m ²	3800								
Recouvrement %	40								

Site : Audresselles - Impacté
Date : 24/06/2009

Ceintures à *Fucus serratus* (- Rhodophyceae)

Espèces caractéristiques	Fser1,1	Fser1,2	Fser1,3	Fser2,1	Fser2,2	Fser2,3	Fser3,1	Fser3,2	Fser3,3
<i>Chaetomorpha aerea</i>	0-5	0-5	0-5		0-5	0-5		0-5	0-5
<i>Chondrus crispus</i>	5-25	5-25	0-5	5-25	5-25	5-25	5-25	5-25	5-25
<i>Cladophora sericea</i>		5-25	0-5					0-5	
<i>Cladophora rupestris</i>		5-25			0-5		0-5		
<i>Cladostephus spongiosus</i>								0-5	
<i>Cystoclonium purpureum</i>						0-5	0-5		
<i>Fucus serratus</i>	50-75	25-50	5-25	50-75	25-50	25-50	5-25	5-25	50-75
<i>Gelidium pusillum</i>									0-5
<i>Lithothamnion lenormandii</i>	25-50	5-25	5-25	25-50	5-25		0-5		5-25
<i>Lomentaria articulata</i>				0-5					
<i>Mastocarpus stellatus</i>									0-5
<i>Osmundea pinnatifida</i>			0-5						
<i>Palmaria palmata</i>			0-5						
<i>Porphyra dioica</i>			0-5						
<i>Rhodothamniella floridula</i>	0-5	0-5	5-25		5-25	5-25		5-25	0-5
Espèces opportunistes									
<i>Ulva spp.</i>	5-25	25-50	25-50	5-25	25-50	5-25	5-25	5-25	5-25
<i>Ceramium spp.</i>		0-5				0-5		0-5	
Faune et substrat									
Balanes	5-25	0-5	0-5	5-25	0-5	0-5	0-5	0-5	0-5
Hydraises				0-5			0-5		
Moules (nbre - %)	1			1	1	5-25	10	1	1
Patelles (nbre)	1		1	2	1				
Anémones (nbre)				1					
Littorines (nbre)					3		1	3	
Sable	5-25	5-25	25-50	25-50	25-50	75-100	50-75	25-50	50-75
Code Quadrat	B2	C3	D4	B3	B5	E4	A4	C5	E2
Références prélèvement	Q40	Q41	Q42	Q43	Q44	Q45	Q46	Q47	Q48
Références photos	638-639	640	641	646	647	648	653	654	655
Références GPS	50.49.915 001.35.191			50.49.921 001.35.180			50.49.925 001.35.171		
Photos station	635-637			642-645			649-652		
Surface m ²	1750								
Recouvrement %	75								

Site : Audresselles – Non impacté

Date : 24/06/2009

Ceintures à *Fucus serratus* (- Rhodophyceae)

Espèces caractéristiques	Fser1,1	Fser1,2	Fser1,3	Fser2,1	Fser2,2	Fser2,3	Fser3,1	Fser3,2	Fser3,3
<i>Chaetomorpha aerea</i>		5-25					0-5		0-5
<i>Chondrus crispus</i>	50-75	5-25	5-25	0-5	0-5	0-5	0-5		0-5
<i>Cladophora rupestris</i>	0-5		5-25			0-5	0-5	0-5	
<i>Cystoclonium purpureum</i>	0-5	0-5		0-5					
<i>Fucus serratus</i>	25-50	25-50	25-50	25-50	25-50	50-75	25-50	5-25	25-50
<i>Lithothamnion lenormandii</i>	5-25	5-25	0-5				0-5		0-5
<i>Palmaria palmata</i>			5-25				0-5		
<i>Rhodothamniella floridula</i>	0-5	5-25	25-50						
Espèces opportunistes									
<i>Ulva spp.</i>			25-50	0-5			25-50		5-25
<i>Ceramium spp.</i>	0-5		5-25	0-5			0-5	0-5	0-5
<i>Polysiphonia</i>	0-5							0-5	
Faune et substrat									
Balanes	5-25	50-75	0-5	75-100	50-75	25-50	5-25	5-25	5-25
Bryozoaires						0-5			
Hydriaires	0-5	0-5							
Moules (nbre)							1		
Patelles (nbre)		2		1			1	1	3
Anémones (nbre)				2	1	1			1
Littorines (nbre)			1				1		2
Sable	50-75		50-75	5-25	5-25	0-5	25-50	0-5	5-25
Code Quadrat	B1	D4	E1	C1	A3	D5	E1	A5	D2
Références prélèvement	Q49	Q50	Q51	Q52	Q53	Q54	Q55	Q56	Q57
Références photos	670	671	672	677	678	679	684	685	686
Références GPS	50.49.779 001.35.208			50.49.758 001.35.264			50.49.735 001.35.323		
Photos station	667-669			673-676			680-683		
Surface m ²	4000								
Recouvrement %	20								

Site : Audresselles – Non impacté

Date : 24/06/2009

Ceintures à *Fucus spiralis*

Espèces caractéristiques	Fspi1,1	Fspi1,2	Fspi1,3	Fspi2,1	Fspi2,2	Fspi2,3	Fspi3,1	Fspi3,2	Fspi3,3
<i>Fucus spiralis</i>	50-75	25-50	5-25	50-75	5-25	5-25	50-75	75-100	50-75
<i>Porphyra linearis ou umbilicalis</i>	5-25	0-5	5-25		0-5	0-5			
Espèces opportunistes									
<i>Enteromorpha intestinalis</i>	25-50	5-25	25-50		5-25	5-25			
<i>Ulva spp.</i>	5-25	0-5	5-25	5-25		5-25		0-5	
Faune et substrat									
Anémones (nbre et %)	2							5-25	
Balanes	5-25	0-5		0-5			0-5		5-25
Patelles (nbre)	2	2	1						
Littorines (nbre)				1	1	1			
Moules (nbre)	1	1							
Sable	25-50	25-50	50-75		50-75	50-75	50-75	5-25	50-75
Code Quadrat	A3	C2	D5	A3	C4	E2	E2	C4	B3
Références prélèvement	Q58	Q59	Q60	Q61	Q62	Q63	Q64	Q65	Q66
Références photos	691	692	693	704	705	706-707	712	713	714
Références GPS	50.49.726 001.35.366			50.49.717 001.35.378			50.49.711 001.35.393		
Photos station	687-690			700-703			708-711		
Surface m ²	1400								
Recouvrement %	50								

Site : Sirène
Date : 23/06/2009

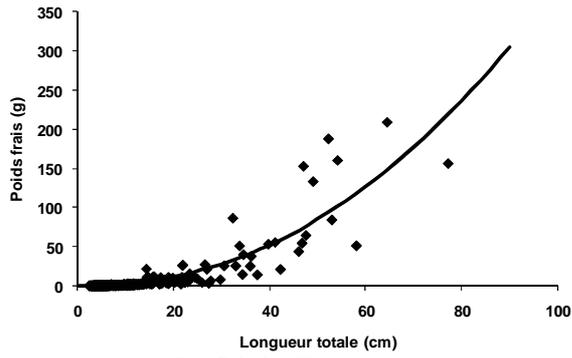
Ceintures à *Fucus serratus* (- Rhodophyceae)

Espèces caractéristiques	Fser1,1	Fser1,2	Fser1,3	Fser2,1	Fser2,2	Fser2,3	Fser3,1	Fser3,2	Fser3,3
<i>Chondrus crispus</i>				5-25	0-5			5-25	25-50
<i>Cladophora sericea</i>	0-5				0-5		5-25		0-5
<i>Cladophora rupestris</i>		0-5	5-25	5-25				0-5	
<i>Cladostephus spongiosus</i>								0-5	5-25
<i>Fucus serratus</i>	75-100	25-50	25-50	5-25	5-25	0-5		25-50	25-50
<i>Gelidium crinale</i>			0-5			0-5		0-5	
<i>Gelidium pusillum</i>	0-5								
<i>Lithothamnion lenormandii</i>	25-50		25-50	0-5	5-25	5-25			5-25
<i>Lomentaria articulata</i>		5-25			0-5				
<i>Mastocarpus stellatus</i>									0-5
<i>Osmundea pinnatifida</i>	5-25	25-50	0-5						
<i>Palmaria palmata</i>							0-5		
<i>Porphyra dioica</i>							0-5		
<i>Rhodothamniella floridula</i>	0-5	5-25	5-25	5-25			5-25	25-50	5-25
Espèces opportunistes									
<i>Ulva spp.</i>	0-5	5-25		5-25	5-25	25-50	25-50	0-5	0-5
<i>Ceramium spp.</i>		0-5			0-5	0-5			0-5
<i>Polysiphonia</i>	0-5	0-5	5-25	25-50	0-5				
Faune et substrat									
Balanes	0-5	0-5		5-25	0-5	0-5			
Patelles (nbre)	6	2				10			
Littorines (nbre)	1					3			
Sable	0-5	0-5	5-25	5-25	25-50	25-50	25-50	25-50	25-50
Code Quadrat	C3	B1	E4	A4	A1	B3	A1	D2	D4
Références prélèvement	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9
Références photos	549	548	550	570	568	569	558	559	560
Références GPS	50.52.343 001.35.040			50.52.335 001.35.064			50.52.338 001.34.995		
Photos station	543-547			561-566			551-557		
Surface station m ²	250						400		
Recouvrement %	30						15		

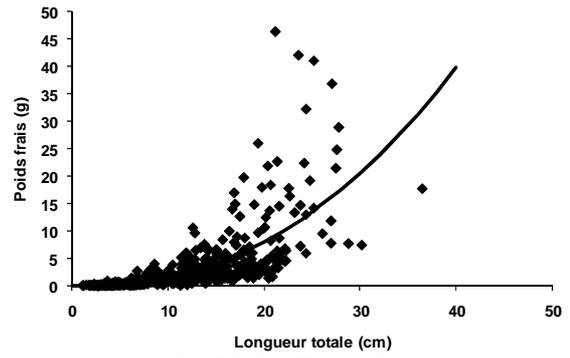
Site : Sirène
Date : 23/06/2009

Ceintures à *Fucus spiralis*

Espèces caractéristiques	Fspi1,1	Fspi1,2	Fspi1,3	Fspi2,1	Fspi2,2	Fspi2,3	Fspi3,1	Fspi3,2	Fspi3,3
<i>Chaetomorpha aerea</i>					0-5	0-5		0-5	
<i>Cladophora spp.</i>	0-5			0-5					
<i>Fucus spiralis</i>	5-25	5-25	50-75	25-50	50-75	25-50	50-75	25-50	50-75
<i>Gelidium pusillum</i>							0-5		0-5
<i>Porphyra linearis ou umbilicalis</i>	0-5			0-5	0-5		0-5	0-5	0-5
<i>Rhodothamniella floridula</i>	0-5	0-5		0-5	0-5			0-5	
Espèces opportunistes									
<i>Enteromorpha compressa</i>							0-5	5-25	0-5
<i>Enteromorpha intestinalis</i>	5-25			0-5		5-25			
<i>Ulva spp.</i>		0-5	0-5		0-5		5-25	0-5	0-5
Faune et substrat									
Anémones (nbre)		1	2						
Balanes	0-5	5-25	25-50	0-5			0-5	5-25	25-50
Littorines (nbre)	1		1						
Sable	25-50			0-5			5-25		
Code Quadrat	E1	C4	C3	A3	B5	C1	D5	E4	B1
Références prélèvement	Q10	Q11	Q12	Q13	Q14	Q15	Q16	Q17	Q18
Références photos	585	587	588	596	597	598	557	558	559
Références GPS	50.52.267 001.35.560			50.52.265 001.35.604			50.52.258 001.35.568		
Photos station	581-584			589-595			552-556		
Surface m ²	2000								
Recouvrement %	50								

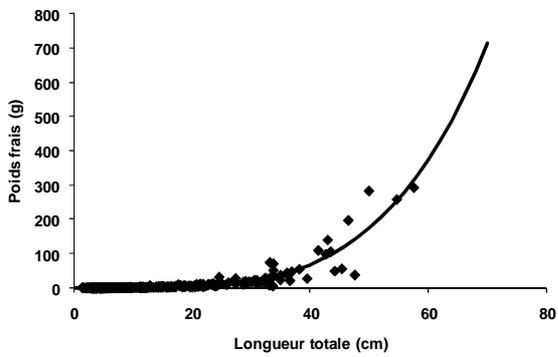


La Crèche *F. serratus*
 $PF = 0,01691 L^{2,17789}$; $r = 0,882$; $N = 408$

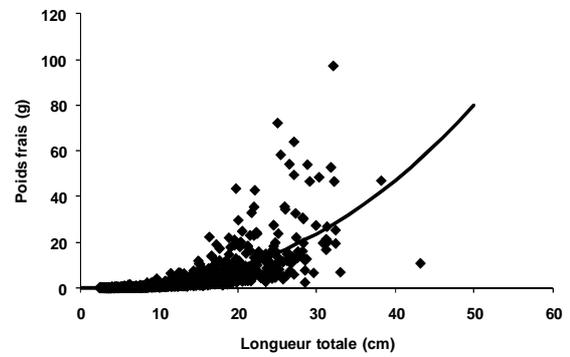


La Crèche *F. spiralis*
 $PF = 0,00790 L^{2,31138}$; $r = 0,703$; $N = 623$

Figure 2 : relations d'allométrie ($PF = a L^b$) de *F. serratus* et *F. spiralis* sur le site de la Crèche

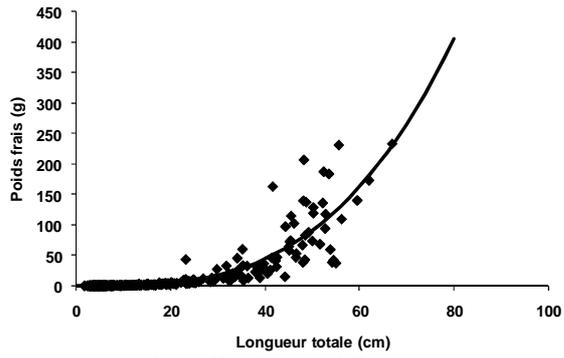


Ambleteuse *F. serratus*
 $PF = 1,19202E-05 L^{4,21487}$; $r = 0,929$; $N = 461$

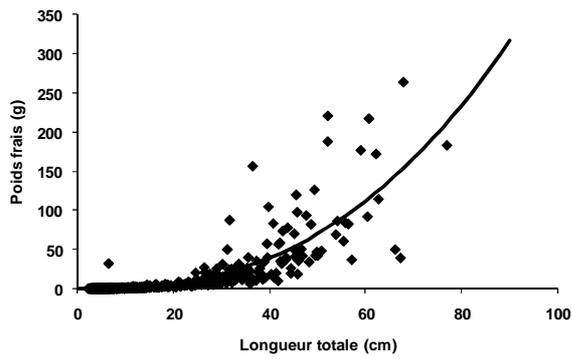


Ambleteuse *F. spiralis*
 $PF = 0,00695 L^{2,39126}$; $r = 0,723$; $N = 1199$

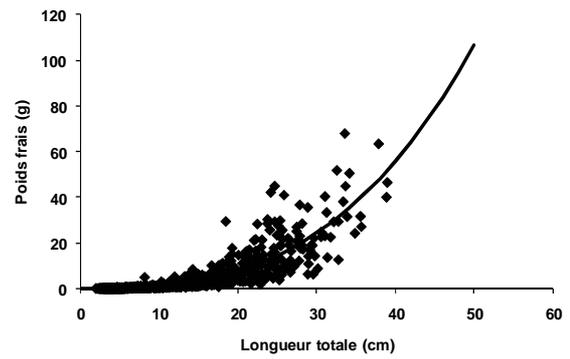
Figure 3 : relations d'allométrie ($PF = a L^b$) de *F. serratus* et *F. spiralis* sur le site d'Ambleteuse



Audresselles impacté *F. serratus*
 $PF = 0,00034 L^{3,19130}$; $r = 0,880$; $N = 341$

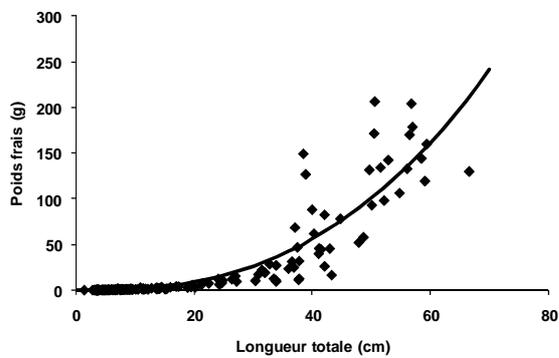


Audresselles non impacté *F. serratus*
 $PF = 0,00277 L^{2,58906}$; $r = 0,829$; $N = 672$

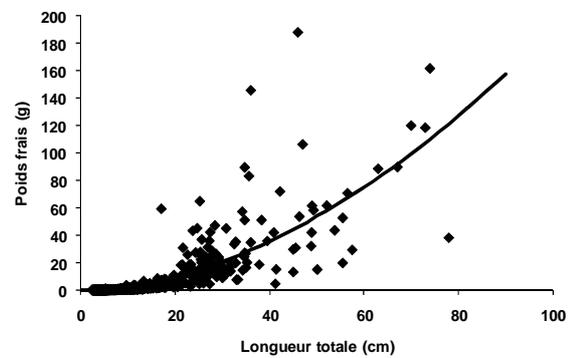


Audresselles *F. spiralis*
 $PF = 0,00125 L^{2,90138}$; $r = 0,813$; $N = 1502$

Figure 4 : relations d'allométrie ($PF = a L^b$) de *F. serratus* et *F. spiralis* sur le site d'Audresselles

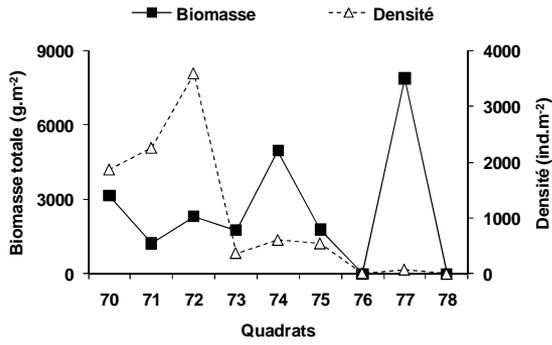


Sirène *F. serratus*
 $PF = 0,00355 L^{2,61913}$; $r = 0,901$; $N = 149$

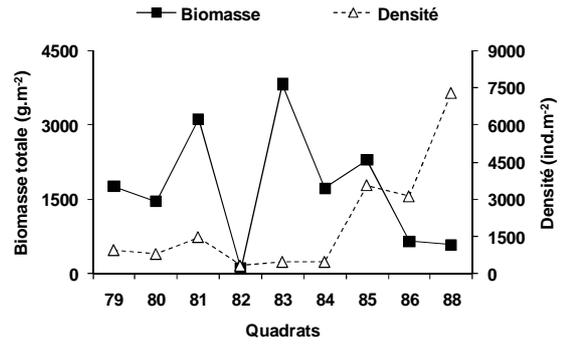


Sirène *F. spiralis*
 $PF = 0,04018 L^{1,83919}$; $r = 0,792$; $N = 875$

Figure 5 : relations d'allométrie ($PF = a L^b$) de *F. serratus* et *F. spiralis* sur le site de la Sirène

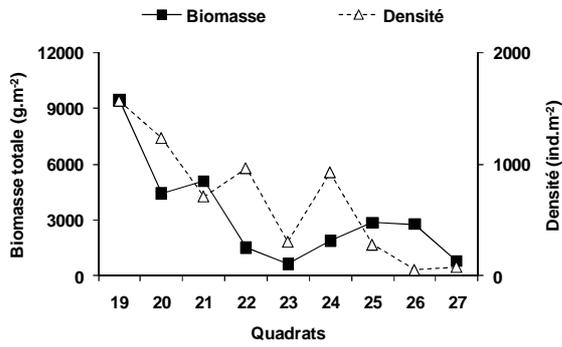


La Crèche *F. serratus*

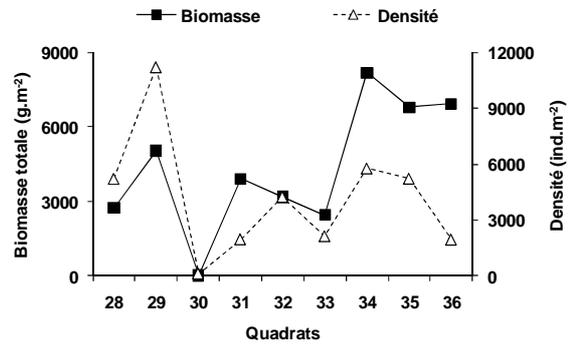


La Crèche *F. spiralis*

Figure 6 : Biomasses et densités relevées pour les quadrats du site de la Crèche

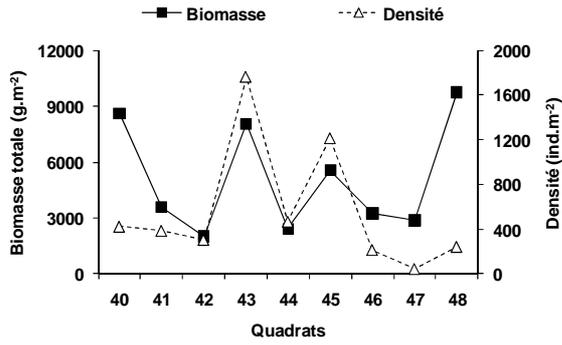


Ambleteuse *F. serratus*

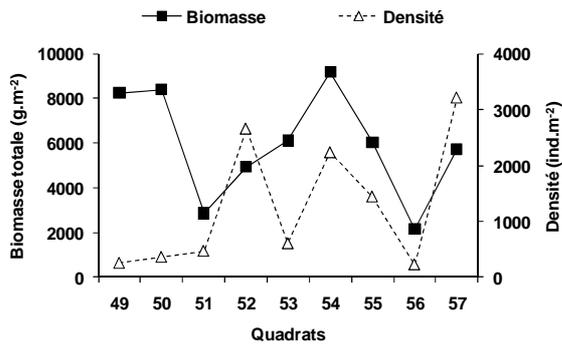


Ambleteuse *F. spiralis*

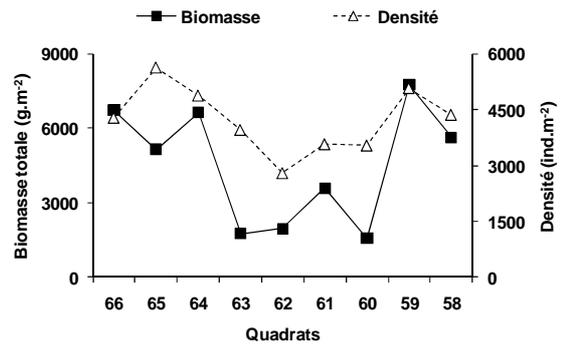
Figure 7 : Biomasses et densités relevées pour les quadrats du site d'Ambleteuse



Audresselles impacté *F. serratus*

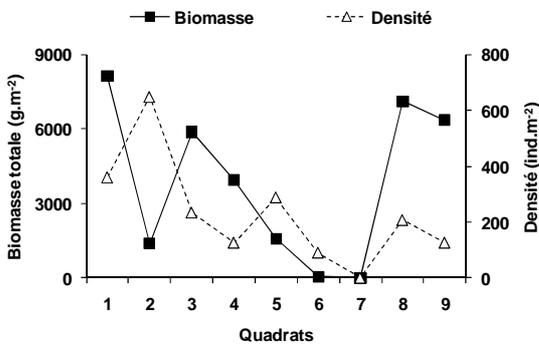


Audresselles non impacté *F. serratus*

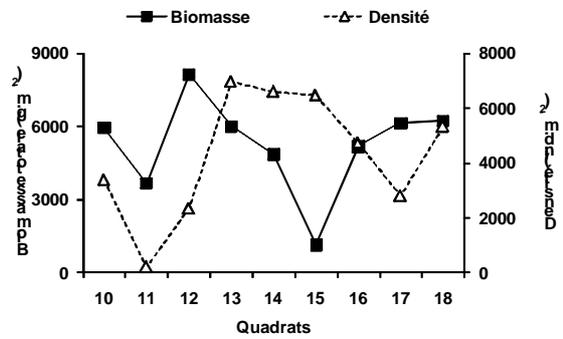


Audresselles *F. spiralis*

Figure 8 : Biomasses et densités relevées pour les quadrats du site d'Audresselles



Sirène *F. serratus*



Sirène *F. spiralis*

Figure 9 : Biomasses et densités relevées pour les quadrats du site de la Sirène

➤ PARTIE 2

• Impact de l'exploitation :

Pour le site d'Audresselles, une comparaison des biomasses, densités (d'une part toutes tailles confondues et d'autre part individus dont la taille est inférieure à 5 cm) et paramètres a et b caractérisant les relations d'allométrie $PF = a L^b$ a été effectuée entre zone exploitée et non exploitée (pour la ceinture à *Fucus serratus* pour laquelle la récolte a été observée). Aucune différence significative ne ressort de l'analyse statistique (Test U de Mann-Whitney) entre zone exploitée et non exploitée sur ce site pour l'année 2009 :

- Biomasse (g.m^{-2}) : $p = 0,508 > 0,05$
- Densité (nombre d'individus de fucales. m^{-2}) : $p = 0,145 > 0,05$
- Densité des individus dont la taille est inférieure strictement à 5 cm (nombre d'individus de fucales. m^{-2}) : $p = 0,452 > 0,05$
- Paramètre a caractéristique des relations d'allométrie ($PF = a L^b$) : $p = 0,054 > 0,05$
- Paramètre b caractéristique des relations d'allométrie ($PF = a L^b$) : $p = 0,068 > 0,05$

Ces résultats indiquent que l'exploitation ne semble pas avoir d'effet significatif sur les quantités d'algues présentes (biomasses et densités) ni sur la croissance des individus (relations d'allométrie) ou le recrutement (densités d'individus dont la taille est inférieure à 5 cm). Néanmoins, il faut souligner que cette exploitation est très récente et que ses effets ne se traduisent sans doute pas encore significativement. Par ailleurs, les exploitants ont privilégié pour leur récolte une zone initialement dense et fournie en comparaison aux zones non exploitées, ne permettant pas dans l'immédiat d'observer d'effet direct de l'exploitation.

• Effet potentiel des changements hydroclimatiques :

Ici encore, les comparaisons n'ont pu être effectuées que sur le site d'Audresselles, les seules données antérieures n'étant relatives qu'à ce site (année 2006).

Une comparaison des biomasses, densités (toutes tailles confondues et individus dont la taille est inférieure à 5 cm) et paramètres a et b caractérisant les relations d'allométrie $PF = a L^b$ a été effectuée d'une part pour la ceinture à *Fucus serratus* et d'autre part pour celle à *Fucus spiralis* entre 2006 et 2009. Des différences significatives ressortent de l'analyse statistique (Test U de Mann-Whitney) entre l'année 2006 et l'année 2009, à la fois pour *Fucus serratus* :

- Biomasse (g.m^{-2}) : **$p = 0,003 < 0,01$** (moy \pm écart-type ; 2006 : 11549 ± 6296 ; 2009 : 5544 ± 2658)
- Densité (nombre d'individus de fucales. m^{-2}) : $p = 0,799 > 0,05$

- Densité des individus dont la taille est inférieure strictement à 5 cm (nombre d'individus de fucales.m⁻²) : $p = 0,626 > 0,05$
- Paramètre a caractéristique des relations d'allométrie ($PF = a L^b$) : $p = 0,170 > 0,05$
- Paramètre b caractéristique des relations d'allométrie ($PF = a L^b$) : $p = 0,199 > 0,05$

mais aussi pour *Fucus spiralis* :

- Biomasse (g.m⁻²) : $p = 0,644 > 0,05$
- Densité (nombre d'individus de fucales.m⁻²) : $p = 0,052 > 0,05$
- Densité des individus dont la taille est inférieure strictement à 5 cm (nombre d'individus de fucales.m⁻²) : **$p = 0,013 < 0,05$** (moy ± écart-type ; 2006 : 1662 ± 377 ; 2009 : 3081 ± 547)
- Paramètre a caractéristique des relations d'allométrie ($PF = a L^b$) : **$p = 0,03 < 0,05$** (moy ± écart-type ; 2006 : 0,00923 ± 0,00568 ; 2009 : 0,00219 ± 0,00410)
- Paramètre b caractéristique des relations d'allométrie ($PF = a L^b$) : **$p = 0,03 < 0,05$** (moy ± écart-type ; 2006 : 2,32348 ± 0,27490 ; 2009 : 3,17933 ± 0,74012)

Ces résultats indiquent une diminution significative de la biomasse de *Fucus serratus* entre 2006 et 2009, une augmentation de la densité de juvéniles de *Fucus spiralis* et une modification des relations Poids/Taille de cette même espèce (en 2006, les individus ont tendance à s'allonger en grandissant : allométrie négative, $b < 3$, alors qu'en 2009, les individus grossissent lors de la croissance, devenant plus épais : allométrie positive, $b > 3$). Le coefficient d'allométrie exprime la forme relative du corps d'un organisme (Gevaert et al., 2010).

- **Différences inter-sites :**

Cette étude a été menée sur différents sites rocheux le long de la côte d'Opale : la Crèche, Ambleteuse, Audresselles, la Sirène (Figure 1). Aucune différence significative ne ressort de l'analyse statistique (ANOVA) pour la ceinture à *Fucus serratus* :

- Biomasse (g.m⁻²) : $p = 0,069 > 0,05$
- Densité (nombre d'individus de fucales.m⁻²) : $p = 0,099 > 0,05$
- Densité des individus dont la taille est inférieure strictement à 5 cm (nombre d'individus de fucales.m⁻²) : $p = 0,133 > 0,05$
- Paramètre a caractéristique des relations d'allométrie ($PF = a L^b$) : $p = 0,215 > 0,05$

- Paramètre b caractéristique des relations d'allométrie ($PF = a L^b$) : $p = 0,081 > 0,05$

ainsi que pour celle à *Fucus spiralis* (ANOVA) :

- Densité (nombre d'individus de fucales.m⁻²) : $p = 0,139 > 0,05$
- Densité des individus dont la taille est inférieure strictement à 5 cm (nombre d'individus de fucales.m⁻²) : $p = 0,211 > 0,05$
- Paramètre a caractéristique des relations d'allométrie ($PF = a L^b$) : $p = 0,543 > 0,05$
- Paramètre b caractéristique des relations d'allométrie ($PF = a L^b$) : $p = 0,142 > 0,05$

En revanche, la biomasse [(g.m⁻²) : $F=4,82$, $p = 0,007 < 0,01$] diffère significativement entre les sites de la Crèche et Audresselles et la Crèche et la Sirène (Test post-hoc HSD de Tukey : $p = 0,039$ et $p = 0,006$ respectivement). La biomasse en *Fucus spiralis* est significativement inférieure à la Crèche (moy ± écart-type ; la Crèche : 1728 ± 1213 ; Ambleteuse : 4353 ± 2604 ; Audresselles : 4524 ± 2374 ; la Sirène : 5247 ± 1959), confirmant la régression plus marquée observée de visu sur ce site.

- **Différences entre espèces :**

Sur l'ensemble des sites, une comparaison des biomasses, densités (toutes tailles confondues et individus dont la taille est inférieure à 5 cm) et paramètres a et b caractérisant les relations d'allométrie $PF = a L^b$ a été menée entre la ceinture à *Fucus serratus* et celle à *Fucus spiralis*. Des différences significatives ressortent de l'analyse statistique (Test U de Mann-Whitney) entre les deux espèces :

- Biomasse (g.m⁻²) : $p = 0,157 > 0,05$
- Densité (nombre d'individus de fucales.m⁻²) : **$p = 0,000 < 0,001$** (moy ± écart-type ; *Fucus serratus* : 741 ± 804 ; *Fucus spiralis* : 3634 ± 2348)
- Densité des individus dont la taille est inférieure strictement à 5 cm (nombre d'individus de fucales.m⁻²) : **$p = 0,000 < 0,001$** (moy ± écart-type ; *Fucus serratus* : 410 ± 588 ; *Fucus spiralis* : 2786 ± 2126)
- Paramètre a caractéristique des relations d'allométrie ($PF = a L^b$) : **$p = 0,013 < 0,05$** (moy ± écart-type ; *Fucus serratus* : $0,01250 \pm 0,05137$; *Fucus spiralis* : $0,02373 \pm 0,06415$)
- Paramètre b caractéristique des relations d'allométrie ($PF = a L^b$) : **$p = 0,020 < 0,05$** (moy ± écart-type ; *Fucus serratus* : $3,35088 \pm 1,32585$; *Fucus spiralis* : $2,79763 \pm 0,99955$)

Ainsi, les ceintures à *Fucus serratus* se caractérisent par des densités plus faibles, y compris pour les juvéniles et des individus plus épais que *Fucus spiralis*. Aucune différence significative n'a pu être mise en évidence en termes de biomasse entre ces ceintures.

4- Conclusion

Même si l'effet de l'exploitation des ceintures à *Fucus serratus* n'a pu être mis en évidence du fait du manque de données et de recul, cette étude montre néanmoins des fluctuations dans les ceintures à Fuciales entre 2006 et 2009 (diminution significative de la biomasse de *Fucus serratus*, augmentation de la densité de juvéniles de *Fucus spiralis* et modification des relations Poids/Taille de cette même espèce), confirmant la tendance à la régression observée depuis quelques années. Il est encore difficile de conclure à l'incidence des facteurs hydroclimatiques et des suivis à long termes restent nécessaires sur l'ensemble des sites.

4- Suivi stationnel des invertébrés benthiques des sites d'appui

1- Objectifs de l'étude

Afin de compléter le contrôle de surveillance des peuplements d'invertébrés benthiques en eaux côtières ayant lieu une fois tous les trois ans, un réseau de stations appelées « sites d'appui » a été mis en place avec une fréquence d'échantillonnage annuelle. Ces prélèvements intermédiaires sur un nombre limité de stations (10 financées par les Agences de l'Eau et 2 appartenant à des séries chronologiques en cours) distribuées le long des côtes de la Manche et de l'Atlantique ont pour but de fournir une information sur la variabilité temporelle des peuplements benthiques et l'échelle géographique de cette variabilité. A cette échelle d'espace, il sera possible de savoir si une divergence observée par rapport à un état initial est de causalité naturelle ou non.

a- Stratégie générale

Parmi les 10 stations de sites d'appui financées par les Agences de l'Eau, seule une, la station SSMF17, relève du district Artois Picardie.

α- Prélèvements et analyses biologiques

Les prélèvements ont été effectués par la Station Marine de Wimereux le 14 mai 2009. Ils ont été réalisés à l'aide d'une benne Van Veen (surface unitaire de 0,1 m² / six prélèvements dont cinq dédiés à l'étude de la faune et un à celle du sédiment). Les protocoles employés pour l'échantillonnage et les analyses respectent le cahier des charges techniques édité par l'IFREMER et en particulier la fiche n°10 des « Recommandations pour un programme de surveillance adapté aux objectifs de la DCE » (Guillaumont & Gauthier, 2005).

Les prélèvements destinés à l'analyse de la faune ont été tamisés sur une maille ronde de 1 mm, puis les refus fixés et conservés dans une solution de formaldéhyde (4%). Les organismes ont ensuite été déterminés et dénombrés spécifiquement. Les noms d'espèces déterminées ont été actualisés selon le référentiel officiel international : European Register Marine Species (ERMS).

β- Prélèvements et analyses sédimentaires

**** Granulométrie***

La fraction fine (<63 μm) des prélèvements de sédiments a été séparée après rinçage à l'eau douce. Les deux fractions ainsi séparées ont ensuite été séchées à l'étuve. La fraction fine a été pesée et la fraction grossière des échantillons de sédiment, tamisée sur une colonne vibrante constituée de 26 tamis (selon la norme AFNOR). Les refus de tamis ont ensuite été pesés.

**** Matière organique***

La teneur en matière organique des sédiments a été déterminée par la méthode de perte au feu (1heure à 550°C) sur la fraction fine (< 63 μm) issue de la granulométrie. La différence de poids exprimé en pourcentage, indique la teneur en matière organique de l'échantillon.

b- Descripteurs biologiques

α - Richesse spécifique

La richesse spécifique (RS) se définit classiquement comme le nombre d'espèces recensées à une échelle d'espace déterminée.

β - Diversité spécifique

La diversité (H), intégrant d'une part la richesse spécifique et d'autre part l'abondance relative des espèces, reflète l'équilibre dynamique de la biocénose et permet d'estimer le degré d'évolution entre les stades pionnier et mature d'un peuplement. L'indice le plus couramment utilisé en écologie est celui de Shannon (1948) ; ce dernier explique la diversité d'une communauté en fonction du nombre d'espèces récoltées et du nombre d'individus de chaque espèce (Frontier et Pichot-Viale, 1991) :

$$H = - \sum_{i=1}^n (p_i \log_2 p_i)$$

n : nombre d'espèces

p_i : fréquence relative de l'espèce i dans le prélèvement

$$R = \frac{H}{H_{\max}}, \text{ avec } H_{\max} = \log_2 n$$

2- Qualification biologique des masses d'eau côtières

L'indice idéal, qui résume en une valeur unique représentative d'une somme importante d'informations écologiques sur les communautés benthiques, doit répondre à deux conditions :

- être indépendant des facteurs externes : il doit être indépendant de la taille de l'échantillonnage, du type d'habitat, du degré d'identification taxonomique ;
- être capable de refléter les différences entre les communautés, en relation avec les facteurs de perturbation, qu'il s'agisse de la richesse spécifique, de l'équitabilité de la distribution des espèces ou du caractère sensible ou tolérant des espèces. C'est ce qui définit son pouvoir discriminant.

De nombreux outils ont été développés afin de répondre aux exigences de la Directive européenne Cadre sur l'Eau pour l'évaluation de la qualité des eaux côtières.

L'indicateur retenu par la France, à l'issue de sa participation au GIG NEA est le M-AMBI.

Cet indice, version améliorée de l'AMBI développé par A. Borja et son équipe et adopté par le pays Basque, repose :

- sur la reconnaissance dans le peuplement de cinq groupes écologiques de polluo-sensibilités différentes, comme proposé par Hily (1984, Tableau 1). Cet indice est basé sur la pondération de chaque groupe écologique par une constante qui représente le niveau de perturbation auquel les espèces sont associées, selon la formule :

$$AMBI = \frac{(0 \times \% GI) + (1,5 \times \% GII) + (3 \times \% GIII) + (4,5 \times \% GIV) + (6 \times \% GV)}{100}$$

Tableau 1 : Groupes écologiques de polluo-sensibilités différentes (d'après Hily, 1984)

Groupe	Type d'espèces	Caractéristiques	Groupes trophiques
I	sensibles à une hypertrophisation	- largement dominantes en conditions normales - disparaissent les premières lors de l'enrichissement du milieu. - dernières à se réinstaller	- suspensivores, carnivores sélectifs, quelques déposivores tubicoles de subsurface
II	Indifférentes à une hypertrophisation	- espèces peu influencées par une augmentation de la quantité de MO	- carnivores et nécrophages peu sélectifs
III	Tolérantes à une hypertrophisation	- naturellement présentes dans les vases, mais, leur prolifération étant stimulée par l'enrichissement du milieu, elles sont le signe d'un déséquilibre du système	- déposivores tubicoles de surface profitant du film superficiel de chargé de MO
IV	Opportunistes de second ordre	- cycle de vie court (souvent <1 an) proliférant dans les sédiments réduits	- déposivores de subsurface
V	Opportunistes de premier ordre	- prolifèrent dans les sédiments réduits sur l'ensemble de leur épaisseur jusqu'à la surface	- déposivores

- sur la richesse spécifique, ou nombre d'espèces présentant au moins un individu pour la station ;

- sur l'indice de diversité de Shannon-Weaver, $H = \sum_{i=1}^S p_i \log_2 p_i$;

Ces paramètres sont calculés pour toutes les stations. Avec le jeu de données résultant, une Analyse Factorielle des Correspondances est réalisée, déterminant trois axes perpendiculaires minimisant le critère des moindres carrés. La projection dans ce nouveau repère des deux points de référence correspondant à l'état le plus dégradé et l'état le meilleur, permet de définir un nouvel axe sur lequel sont projetés l'ensemble des points des stations (Figure 10). Pour chacun d'eux est calculé la distance qui le sépare du point le plus dégradé, en considérant que le segment de droite du point le plus dégradé à celui du meilleur état, à une longueur de 1. Cette distance bornée par 0 et 1 est le M-AMBI.

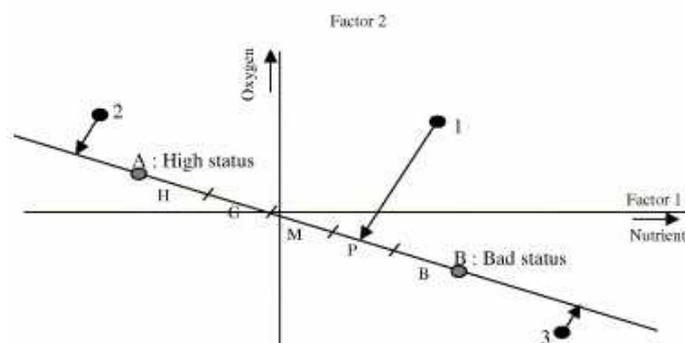


Figure 10 : Définition du statut des stations échantillonnées par projection sur l'axe factoriel défini par les conditions de référence (d'après Bald *et al.*, 2005).

En 2007, la station subtidale SSMF17 était caractérisée par des sables fins à moyens propres. Les conditions de référence retenue par la France pour ce type d'environnement hydrosédimentaire sont les suivantes :

Tableau 2 : Conditions de référence retenues pour le calcul de la valeur du M-AMBI dans les eaux côtières

Environnement hydro-sédimentaire	Etat	Richesse spécifique	Diversité de Shannon-Weaver	AMBI
Sables (fins à moyens) exposés	Très bon	15	3,5	1
	Très mauvais	1	0	6

La grille de lecture du M-AMBI, telle qu'adoptée par la France au sein du GIG NEA, est la suivante :

Classes	[0,0.2]]0.2,0.39]]0.39,0.53]]0.53,0.77]]0.77,1]
Etat écologique	Mauvais	Médiocre	Moyen	Bon	Très bon

Les résultats étant susceptibles de différer légèrement en fonction du jeu de données utilisé du fait de l'intégration d'une analyse factorielle des correspondances dans le calcul de l'indicateur, le calcul du M-AMBI sera effectué par façades : Manche, Atlantique et Méditerranée. La valeur du M-AMBI retenue pour une masse d'eau donnée correspond à celle observée à la station échantillonnée dans cette masse d'eau lorsqu'elle est unique ou à la moyenne des valeurs relatives aux différentes stations lorsqu'il y en a plusieurs.

3- Résultats

Seuls des résultats synthétiques ont été présentés au sein de cette rubrique. Toutes les données brutes figurent en annexe.

a- Granulométrie des sédiments

Le tableau 3 présente la granulométrie des sédiments échantillonnés à la station SSMF17 depuis 2007. Celle-ci est globalement caractérisée par des sables fins, avec un taux d'envasement important certaines années (comme en 2008).

Tableau 3 : Granulométrie des sédiments associés à la station SSMF17. Les cases surlignées en gras isolent les classes granulométriques dominantes

Fraction (%PS)	SSMF17-2007	SSMF17-2008	SSMF17-2009
Graviers	0,37	0,40	0,12
Sables très grossiers	0,14	0,20	0,54
Sables grossiers	0,22	0,64	0,67
Sables moyens	15,15	8,03	8,22
Sables fins	83,69	42,47	64,3
Sables très fins	0,39	5,52	7,3
Vase	0,05	42,69	18,86

b- Caractéristiques biologiques générales de la station échantillonnée

α - Richesse spécifique et diversité de Shannon

Les données macrozoobenthiques brutes sont présentées en annexe. Huit espèces ont été identifiées à partir des 5 réplicats échantillonnés, contre 5 en 2008 et 21 en 2007. La faible valeur de l'indice de Shannon observée en 2008 (0,47) est liée d'une part à la chute du nombre d'espèce et à la domination quasi-exclusive du bivalve *Abra alba* (89,5% de l'effectif). En 2009, l'indice de Shannon augmente à nouveau (1,34), ceci en raison d'un nombre d'espèces plus important et d'une diminution de la domination de *Abra alba* au sein du peuplement (58%). L'annélide polychète *Magelona johnstoni*, espèce affine des sables fins et bien représentée au sein du peuplement en 2007, a disparu du peuplement depuis 2008.

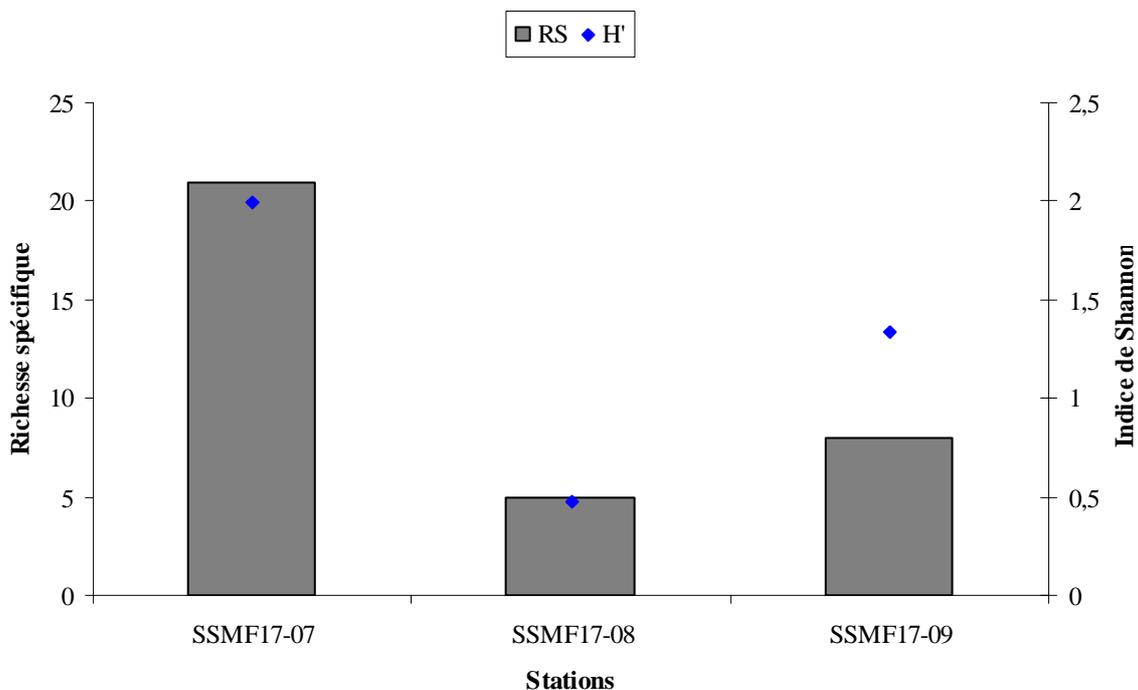


Figure 11 : Richesse spécifique et indice de diversité de Shannon de la station SSMF17

β- Abondances

Les valeurs d'abondance moyenne sont légèrement supérieures en 2009 ($13,4 \pm 10,3 \text{ ind.} \cdot 0,1 \text{ m}^2$) par rapport à 2008, mais restent nettement inférieures à celles de 2007 ($33,8 \pm 20,4 \text{ ind.} \cdot 0,1 \text{ m}^2$) (Tableau 4). Les abondances varient aussi très nettement entre les différents réplicats avec des écart-types très élevés. Ces variations d'abondance témoignent d'un site très instable.

Tableau 4 : Abondances moyennes ($\text{ind.} \cdot 0,1 \text{ m}^2 \pm \text{ET}$)

Années	Ab moy ($\text{ind.} \cdot 0,1 \text{ m}^2$)	ET
2007	33,8	20,4
2008	9,6	10,3
2009	13,4	10,1

γ- Groupes écologiques

La figure 12 montre la répartition des espèces au sein des différents groupes écologiques pour les trois années de suivis. L'année 2007 se démarque des deux autres années, avec plus de 70% d'espèces appartenant aux groupes I et II. Les années 2008 et 2009 sont caractérisées par une diminution sensible de la proportion d'espèces des groupes I et II. En 2008, 90% des espèces appartiennent au groupe III. En 2009, cette proportion diminue au profit des espèces de groupes I, IV et V.

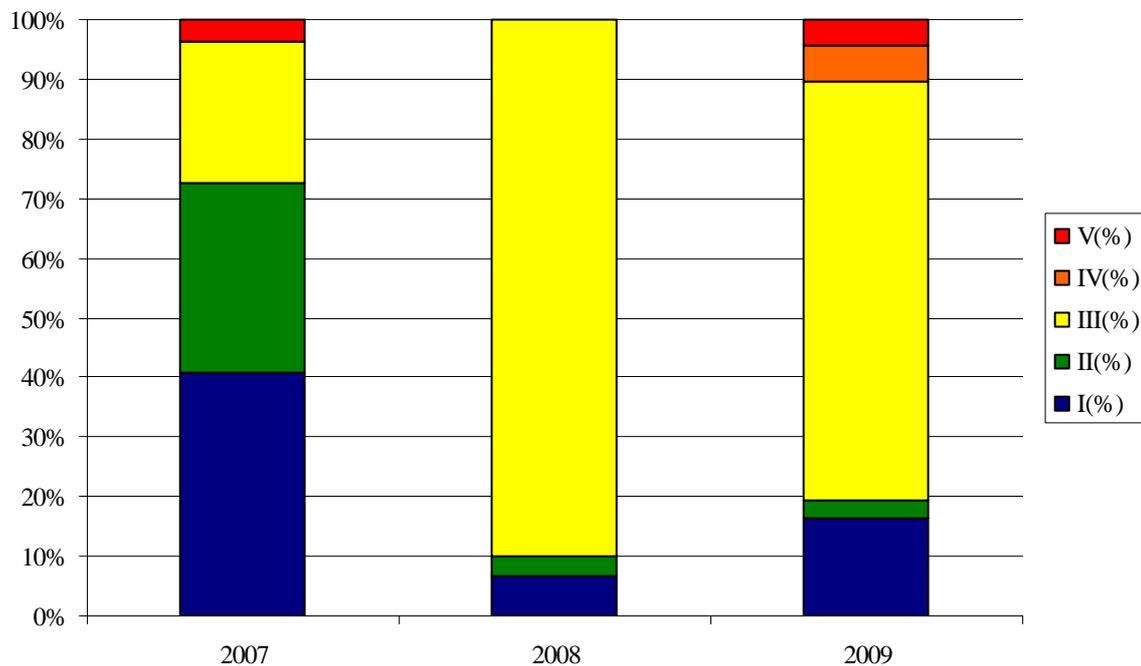


Figure 12 : Répartition des espèces entre les différents groupes écologiques

δ- Classification ascendante hiérarchique des assemblages étudiés

A un niveau de similarité inférieur à 10%, deux groupes distincts apparaissent : un premier groupe correspondant aux échantillons de 2007 et un second regroupant les échantillons de 2008 et 2009. Le cinquième réplicat de l'année 2008 étant azoïque, il se détache immédiatement de tout le reste (Figure 13).

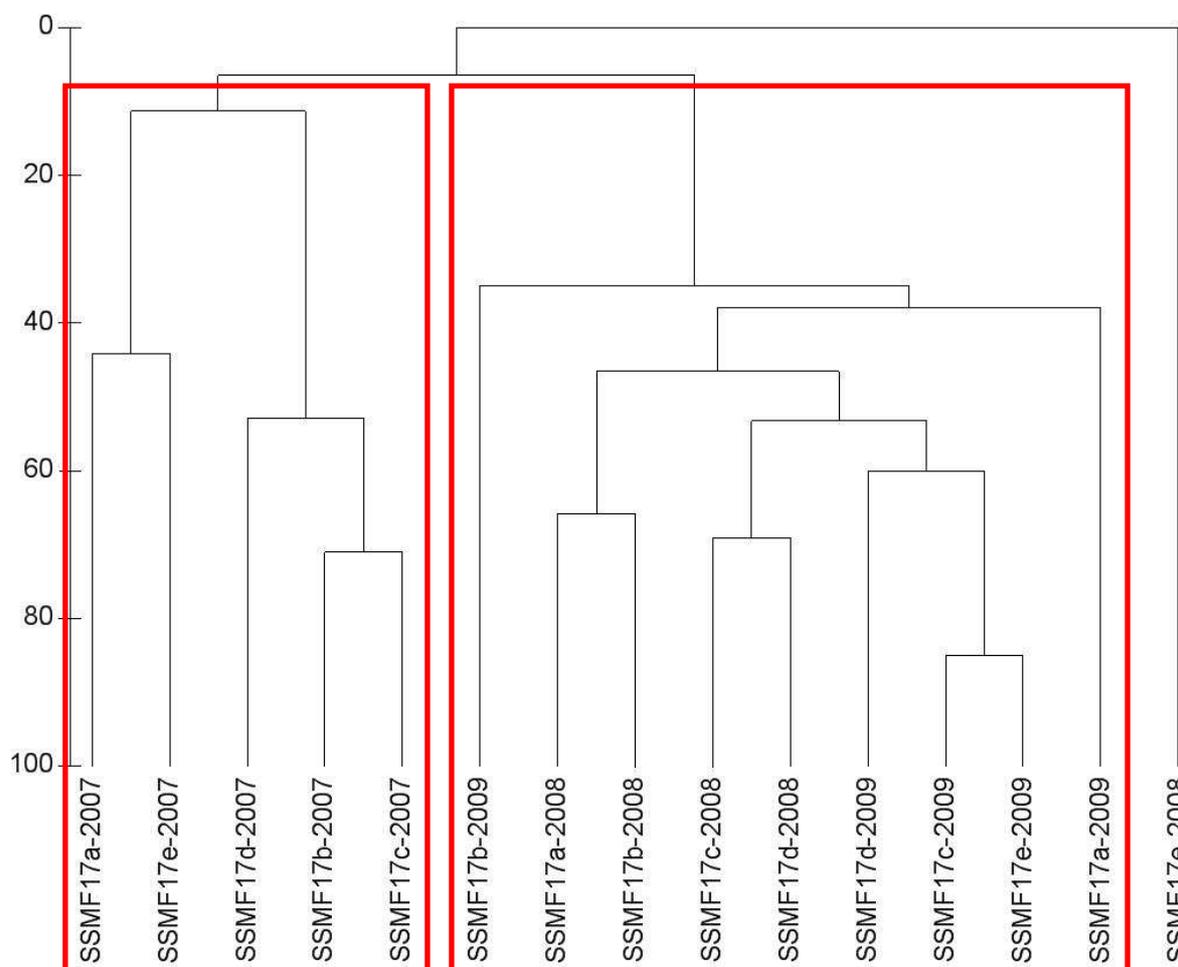


Figure 13 : Dendrogramme des matrices de similarité issues des données macrofauniques de la station SSMF17 en 2007, 2008 et 2009 (échantillons poolés, transformation par la fonction racine carré, indice de similarité de Bray-Curtis)

4- Calcul du M-AMBI et conclusion

Le tableau 5 présente les résultats du M-AMBI pour la station SSMF17.

Tableau 5 : Valeur de l'indice M-AMBI et état biologique observés à la station subtidale SSMF17 en 2007 et 2008. 1 = Très bon état, 2 = Bon état, 3 = Etat moyen, 4 = Etat dégradé, 5 = Très mauvais état

Station	Année	M-AMBI	Etat écologique
SSMF17	2007	1.03	Très bon
	2008	0.40	Moyen
	2009	0.57	Bon

La station SSMF17 passe donc successivement du très bon état écologique, à un état écologique moyen proche d'un état dégradé en 2008, au bon état écologique en 2009.

On observe donc une très nette modification du peuplement associé à la station SSMF17 d'une année sur l'autre. Le secteur considéré est fortement instable et les observations des marins pêcheurs indiquent une remontée des fonds par ensablement. En effet, un envasement important de la zone probablement lié aux activités portuaires, a été constaté avec une remontée moyenne des fonds de l'ordre de 40 cm (Dewarumez, observation personnelle). Dans un contexte d'extension du Port de Calais, le projet « Calais 2015 », le point de suivi actuel serait susceptible de se retrouver dans l'enceinte portuaire. Il est donc proposé de déplacer ce point de suivi vers le large.

Bibliographie

Fucales

Breeman AM. 1988. Relative importance of temperature and other factors determining geographic boundaries of seaweeds: experimental and phenological evidence. *Helgolander Meeresuntersuchungen* 42: 199–241.

Breeman AM. 1990. Expected effects of changing seawater temperatures on the geographic distribution of seaweed species. In *Expected effects of Climate Change on Marine Coastal Ecosystems*. Beukema JJ, Wolf WJ, Brouns JJWM. (eds). Kluwer Academic Publishers: 69–76.

Chapman A.S., Fletcher R.L. 2002. Differential effects of sediments on survival and growth of *Fucus serratus* embryos (Fucales, Phaeophyceae). *Journal of Phycology*. 38(5): 894-903.

Gévaert F, Migné A, Luczak C, Davoult D. 2010. Biometrics in marine benthic ecology. In: *Biometrics: Methods, Applications and Analyses*. Editors: Harvey Schuster and Wilfred Metzger. Nova Science Publishers, Inc. ISBN: 978-1-60876-412-9

Hiscock K., Southward A., Titley I, Hawkins S. 2004. Effects of changing temperature on benthic marine life in Britain and Ireland. *Aquatic Conserv: Mar. Freshw. Ecosyst.* 14: 333–362.

Macrofaune

Ducrotoy J.P., Desprez M. et Elkaim B. 1985. Crise de la production des coques (*Cerastoderma edule*) en baie de Somme. II. Impact de la dynamique biosédimentaire. *Revue des travaux de l'Institut des Pêches Maritimes* 49 : 231-241.

Loquet N., Rybarczyk H. et Elkaim B. 1999. Echanges de sels nutritifs entre la zone côtière et un système estuarien intertidal : la baie de Somme (Manche, France). *Oceanologica Acta* 23 : 47-64.

Rybarczyk H. 1993. Processus d'eutrophisation et ses conséquences sur les peuplements d'un écosystème estuarien macrotidal, un exemple en manche orientale : la baie de Somme. Thèse univ. Paris VI, 198 p.

Wilson J.G., Rybarczyk H. et Elkaim B. 2007. A comparison of energy flow through the Dublin Bay and Baie de Somme intertidal ecosystems and their network analysis. *Hydrobiologia* 588: 231-243.

Annexes

Annexe 1 : Questionnaire adressé aux communes littorales

Annexe 2 : Notice d'information sur les teneurs en H₂S émises par les algues en putréfaction

Annexe 3 : Photos du 6 juillet 2009 en baie de Somme

Annexe 4 : Fiche technique de recommandation pour l'échantillonnage et l'analyse des macroalgues de substrats durs

Annexe 5 : Données brutes invertébrés benthiques du site d'appui (abondances exprimées par 0,1m²)

Annexe 1
Questionnaire adressé aux communes littorales

DEPARTEMENT :
COMMUNE :

**ENQUETE SUR LES
PROLIFERATIONS ET ECHOUAGES**

A renvoyer dès que possible au
CEVA, BP 3, 22610 PLEUBIAN
ou par fax au 02 96 22 84 38

CODE INSEE : «CODE_INSEE»

I- Description des proliférations et échouages				Si ramassage					
Localisations des proliférations et échouages : noms des plages, vasières, petits fonds, lagunes ..., concernés.	Date(s) d'apparition des proliférations et échouages Par localisation	Date(s) de fin des proliférations et échouages Par localisation	Type d'algues : - % algues vertes (si connu, préciser type) - % autres algues (brunes et rouges) - % « herbes marines » (Zostères) - % détritus Par localisation	Date(s) de ramassage Par plage	Quantités ramassées en 2009 (précisez m ³ ou tonnes) Par plage	Moyens techniques mis en œuvre pour le ramassage	Organisme chargé du ramassage. Précisez si : - service municipal - entreprise privée - autres	Coût total estimé du ramassage (chargement + transport ; préciser si HT ou TTC)	Devenir des algues

Annexe 2
Notice d'informations sur les teneurs en H₂S émises par les algues vertes en putréfaction

Eléments d'information sur les teneurs en H₂S émises par les algues vertes en putréfaction.

✓ Mesures spécifiques des gaz émis par les algues en putréfaction :

Suite à l'accident survenu le 8 juillet 2009 à Saint Michel en Grève (mort d'un cheval et perte de connaissance du cavalier), l'INERIS a été mandaté par le Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de la Mer (MEEDM) pour réaliser des mesures ponctuelles des gaz émis lors de la décomposition des algues vertes. Les mesures réalisées le 13 août 2009 ont mis en évidence, la présence de différents gaz, le H₂S étant le plus préoccupant avec des teneurs pour certains des prélèvements (algues et sédiment en putréfaction avancée) qui atteignaient 1000 ppmv¹ en conditions d'accumulation (zones non ventilées). Ces concentrations en H₂S très élevées, au-delà du seuil de toxicité aigüe et pouvant entraîner la mort en quelques minutes² ont conduit l'INERIS à recommander :

- à titre conservatoire, d'interdire l'accès aux zones dans lesquelles les algues sont sujettes à des phénomènes de fermentation avancée,
- d'équiper de système de détection portable le personnel chargé du ramassage des algues sur les plages,
- de réaliser une évaluation des risques sur la filière complète du ramassage au traitement des algues vertes

Une première étude conduite en septembre 2006 par le CEVA pour la DDASS des Côtes d'Armor avait déjà montré que pour certains dépôts particuliers les teneurs ponctuelles en H₂S pouvaient être très élevées (pics jusqu'à 100 ppm même en conditions ventilées ; le capteur utilisé à l'époque ne permettait pas de mesurer les plus fortes valeurs).

Le rapport complet de l'INERIS est disponible sur le site <http://www.developpement-durable.gouv.fr/>.

Le site de l'association Air Breizh <http://www.airbreizh.asso.fr/index.asp> propose plusieurs études sur les teneurs ambiantes en gaz à proximité de certains sites d'échouage ainsi qu'une étude sur les gaz émis lors du compostage d'algues vertes, réalisée sous la coordination du CEVA.

✓ Données ponctuelles « indicatives » recueillies par le CEVA

Le CEVA étant mandaté pour suivre la composition des échouages d'algues (espèces présentes), ses personnels parcourent régulièrement l'ensemble du littoral breton et au-delà (de la Belgique à l'Île de Ré). Suite à la découverte de chiens morts sur un amas d'algue en putréfaction en juillet 2008 à Hillion (Côtes d'Armor), le CEVA s'est équipé de capteurs portatifs H₂S pour protéger ses opérateurs. En attendant que des mesures plus systématiques puissent être conduites dans des programmes dédiés, ces capteurs portatifs ont permis de réaliser de premières observations qui permettent pour l'heure de donner de premières indications :

○ Algues fraîches dans l'eau ou en dépôt sur les plages : teneurs inférieures au seuil de détection de l'appareil (0.1 ppmv)

○ Algues en putréfaction et en dépôt non « perturbé » récemment : les quelques mesures réalisées situaient les niveaux à proximité des algues à 2-3 ppmv maximum (forte variabilité en fonction des conditions atmosphériques notamment ; mesures à consolider). Ces valeurs sont inférieures aux valeurs autorisées en milieu de travail (VLE et VME).



¹ Ppm : partie par million (parfois aussi ppmv : partie par million en volume)

² Cf. document en ligne sur le site du Département de Santé Publique de l'Université de Rennes 1 <http://dsp.univ-rennes1.fr/>

○ Algues en putréfaction présentant une croûte liée au dessèchement des premières algues, on perce cette couche et on mesure la teneur du gaz qui s'échappe : teneurs en H_2S très élevées pouvant saturer le capteur utilisé (soit > 500 ppmv)



○ Algues et sédiment en putréfaction « perturbés » (remués) : teneurs très élevées pouvant saturer le capteur utilisé (soit > 500 ppmv)



○ Autres observations : des amas d'algues en putréfaction, même quand ils ne sont pas composés de façon majoritaire par des algues vertes semblent également pouvoir émettre des teneurs élevées en H_2S (>500 ppmv) quand ils sont « perturbés » et présentent donc un risque significatif. Le sédiment lui-même, quand il a été enrichi en matières organiques (algales en particulier) et qu'il entre en putréfaction (anaérobie) peut émettre des teneurs élevées en H_2S (>500 ppmv). Ces premières observations, encore fragmentaires, devront être complétées dès 2010 mais permettent déjà de recommander fortement de prendre les précautions proposées par l'INERIS et rappelées en tête de ce document.

Annexe 3
Photos du 6 juillet en baie de Somme



Nord de « Le Hourdel », baie de Somme



Vue de détail du premier dépôt (très modeste) : Nord de « Le Hourdel », baie de Somme



Partie Sud Ouest de la baie de Somme : Est « les Mollières »



Vue de détail du deuxième dépôt : partie Sud Ouest de la baie de Somme : Est « les Mollières »



Est de « Le Hourdel »



Vue de détail du troisième dépôt : Est de « Le Hourdel »

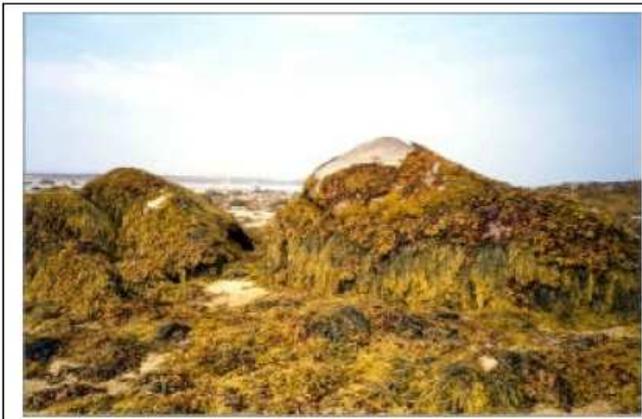
Annexe 4
Fiche technique de recommandation pour l'échantillonnage et l'analyse des
macroalgues de substrats durs

V6 – 14/11

MACROALGUES Intertidales Substrats durs Manche / Atlantique

Objectifs

Sur les côtes de Manche/Atlantique, les macroalgues colonisent l'essentiel des zones intertidales rocheuses, avec des **biomasses** parfois très importantes, en particulier pour les algues brunes (jusqu'à 30 kg/m² pour *Ascophyllum* [1]). Outre leur contribution à la production primaire des eaux côtières, elles constituent un abri ou un support pour de nombreuses espèces, notamment à marée basse, jouant ainsi un rôle important pour le contrôle de la biodiversité. Quelques espèces font l'objet d'une récolte, et ont également une importance **économique**.



Les macroalgues se répartissent essentiellement en fonction de la disponibilité du substrat (habitats EUNIS "Littoral rock and other hard substrata" – Code A1 [2]), des **conditions hydrodynamiques**, du degré d'**immersion** qui les organise en **ceintures** et de la quantité de lumière.

Les macroalgues sont naturellement réactives à la qualité des eaux côtières, notamment aux sels nutritifs ; les macroalgues intertidales y étant particulièrement exposées. La turbidité, résultant de l'apport de particules ou de l'eutrophisation, est également un paramètre qui contrôle les macroalgues. Si des cycles locaux d'alternance faune/flore, ont été couramment décrits dans la littérature, l'ampleur des évolutions constaté récemment, notamment en Bretagne sud, constitue un phénomène encore mal explicité nécessitant qu'une attention particulière soit apportée dans le cadre du suivi DCE. Pour cet élément de qualité biologique, la définition des états écologiques doit prendre en considération les niveaux de couverture et les taxa sensibles aux perturbations [3].

D'un point de vue technique, les macroalgues intertidales présentent d'autres avantages :

- leurs propriétés spectrales en émergence (absorption dans les longueurs d'onde rouges et réflexion dans le proche infra-rouge) permettent de mettre en place pour les espèces dominantes de grande taille, des suivis quantitatifs en utilisant le domaine optique de la télédétection. Ces techniques permettent d'appréhender de vastes espaces en s'affranchissant des problèmes de représentativité rendus particulièrement délicats du fait de la très forte hétérogénéité spatiale.
- leur position intertidale (accessibilité à pied à marée basse), la dominance d'un nombre réduit d'espèces et la possibilité d'identification d'un grand nombre d'espèces *in situ* facilite leur suivi.

Le suivi quantitatif de la couverture des macroalgues des **ceintures de Fucales** (surface d'emprise et densités de couverture) est d'ores et déjà mis en œuvre sur la région Bretagne à l'aide d'images SPOT dans le cadre du programme REBENT, le protocole ayant fait l'objet d'une fiche technique [4]. Les résultats obtenus [5] montrent des évolutions détectables dans un intervalle de temps de quelques années. Dans le cadre du contrôle de surveillance DCE, l'objectif retenu vise à obtenir des données quantitatives principalement sur les ceintures de Fucales [6], en adaptant les procédures techniques en fonction des contraintes liées aux secteurs géographiques concernés. L'évolution des espèces de substitution, et notamment des algues vertes fixées, constitue un élément pertinent à acquérir en complément.

Pour une meilleure détection des évolutions, cette approche doit être complétée par le suivi de la composition floristique au niveau stationnel. Une telle approche est mise en œuvre dans le cadre du REBENT [7]. La proposition s'inspire de ce suivi mais sous une forme simplifiée.

Domaine géographique

Ce suivi concerne tous les districts hydrographiques de la façade **Manche/Atlantique** : elles sont bien représentées dans les districts Seine-Normandie et Loire-Bretagne, plus localement en Artois-Picardie et Adour-Garonne. Pour les Masses d'Eau du pays basque, compte tenu de la faible surface occupée par les estrans, et une plus faible proportion de fucales, une procédure particulière devra être mise en œuvre pour le suivi des macroalgues intertidales.

Principe de la surveillance

On cherchera à recueillir :

- des informations quantitatives robustes de la couverture des macroalgues au sein des **ceintures de Fucales**. Ceci sera effectué, sur la base d'une image de télédétection complétée par des données de terrain : évolution de l'emprise, % de couverture de Fucales, suivi des espèces de substitution (algues vertes, faune...).
- Des informations plus précises sur l'évolution des différents taxons en effectuant des observations ponctuelles ciblées sur un habitat particulier (roche en place du bas du médiolittoral en mode abrité).

	Imagerie satellitale ou aéroportée		Mesures <i>in situ</i>		
	Fréq.	Paramètres mesurés	Fréq.	Paramètres principaux	Paramètres en support
Suivi quantitatif (ceintures de Fucales)	6 ans	Extension des ceintures de Fucales	3 ans	Vérification des limites d'extension des Fucales déduites de l'imagerie + contrôle intermédiaire	Statut des espèces de substitution des Fucales
		% de couverture au sein des ceintures de Fucales	6 ans	• Validation des % de couverture macroalgale • Evaluation des % de couverture des algues vertes/algues brunes	
			6 ans	Vitalité des Fucales	
Suivi de la composition floristique (données ponctuelles sur un habitat ciblé)			3 ans	% de recouvrement apparent des différents taxa	Indice d'abondance ou de couverture de la faune (balanes, patelles, huîtres...)

Suivi quantitatif (ceintures de Fucales)Stratégie généraleStratégie spatiale

Le suivi de la couverture de Fucales est effectué sur l'ensemble des estrans rocheux des Masses d'Eau de surveillance (à noter que, l'emprise des images de type SPOT permet d'envisager un suivi presque exhaustif des Masses d'Eau Côtières observables par cette méthode). Les limites d'extension des Fucales sont contrôlées en plusieurs points.

La validation des estimations des taux de couverture, résultant de l'analyse d'image, est effectuée par des contrôles de terrain répartis statistiquement sur l'ensemble de l'image (au moins 1 **points** tous les 10 ha d'équivalents 100% de couverture). L'évaluation des % de couverture d'algues vertes/algues brunes est effectuée sur ces mêmes points. Les mesures de vitalité des Fucales sont effectuées sur des secteurs présentant 100% de couverture.

Stratégie temporelle

L'imagerie satellitale ou aéroportée est acquise au moins **tous les 6 ans, toujours à la même période** de l'année (idéalement **juin – août**, obligatoirement entre avril et octobre).

Les données de terrain sont acquises suivant la même stratégie temporelle. Un **contrôle de terrain intermédiaire** est toutefois effectué pour les limites d'extension des ceintures de fucales.

Imagerie [8]	
Paramètres	Protocole
<ul style="list-style-type: none"> Extension de la ceinture de Fucales % de couverture des Fucales par pixel 	<p>L'acquisition de l'imagerie doit être réalisée impérativement lors des basses mers. Pour la zone Atlantique et la Manche ouest (jusqu'aux Côtes d'Armor), des images peuvent être acquises à partir du satellite SPOT sous réserve de programmation. Compte-tenu de l'hétérogénéité de répartition des algues, il est recommandé d'utiliser la résolution la plus fine (10m). Plus à l'est, les passages du satellite étant décalés par rapport aux heures de basse mer, il est nécessaire de recourir à d'autres moyens d'acquisition aéroportés (CASI par exemple) [1].</p> <p>Des campagnes de levés radiométriques sont nécessaires pour calibrer les signatures spectrales sur chaque site au début du suivi. L'ensemble des procédures nécessaires à l'acquisition et au traitement des données est décrit dans la fiche technique REBENT n°8 [4].</p>
Validation Terrain	
Position des limites d'extension des Fucales (limites hautes et basses)	Contrôle <i>in situ</i> de la position des limites des Fucales, observées sur les images. Le positionnement doit être effectué avec précision, si possible avec un DGPS. Les coordonnées des points sont indiquées avec le système de géoréférencement d'acquisition (si possible WGS84).
Taux de recouvrement apparent des Fucales et des algues vertes	Les mesures quantitatives des recouvrements sont effectuées à pied lors des basses mers de vives eaux . Les comptages sont effectués <i>in situ</i> dans des quadrats de 10m x 10m (1 quadrat/point). Des photos peuvent être prises pour compléter les données.
Vitalité des Fucales : <ul style="list-style-type: none"> Biomasse Taille des individus Degré d'épiphytisme 	Les mesures sont effectuées sur quelques secteurs à 100% de couverture.
Identification des groupes d'espèces de substitution aux Fucales	Estimation de l'abondance des groupes d'espèces de substitution des Fucales autres qu'algues vertes (balanes, patelles, huîtres...), en des points déterminés à partir d'indications de régression de ceintures et d'analyses d'orthophotographies.

Traitement des données

Paramètres	Traitement des données
<ul style="list-style-type: none"> Extension de la ceinture de Fucales % de couverture des Fucales par pixel % algues vertes/algues brunes 	<p>Les images sont géoréférencées et font l'objet d'un traitement permettant d'exprimer les données en pourcentage de couverture végétale.</p> <p>Dans le cas des couverts algaux, les données de réflectance peuvent être exprimés en pourcentages de couverture du sol [8]. Les pré- et post-traitements des images sont décrits dans la fiche technique REBENT relative à la cartographie des fucales par imagerie SPOT [4].</p> <p>L'extraction de la zone concernant les fucales résulte de la confrontation entre la couverture végétale totale et des informations obtenues par ailleurs [1]:</p> <ul style="list-style-type: none"> Reconnaissance des zones d'herbiers, de schorres et de dépôt d'algues vertes non fixées à partir des orthophotographies littorales (mise à jour <i>a priori</i> tous les 6 ans) et du programme PROLITTORAL [9]. Délimitation de l'habitat potentiel des fucales à l'aide de données physiques (lever de lignes de rivage instantanées par ULM, MNT LIDAR ou photogrammétrique (sur la base de couples de photographies brutes), données de la BDPS du SHOM, délimitation des faciès de substrat durs). Données de vérité terrain concernant l'extension de la ceinture de fucales. Données de vérité terrain concernant le taux de recouvrement d'algues vertes/algues brunes. Traitement des données obtenues par observation <i>in situ</i> et analyse de photographies, et corrélation avec les résultats de l'imagerie. Une base de données photographique de terrain est élaborée. Pour les algues vertes, des corrections saisonnières doivent être appliquées. <p>Les données résultant de ces analyses sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> Des cartes [5]: <ul style="list-style-type: none"> de pourcentage de couverture des fucales, de la dynamique d'évolution de ce pourcentage. Les éventuelles zones de

Paramètres	Traitement des données
	<p>régression sont identifiées et analysée en terme de recolonisation</p> <ul style="list-style-type: none"> • Des tableaux de synthèse <ul style="list-style-type: none"> - Surface de couverture de fucales en équivalent 100% et dynamique d'évolution - % algues vertes/algues brunes et dynamique d'évolution - % du substrat potentiellement colonisable occupé par les fucales, les algues vertes ou autres espèces de substitution.
Vitalité des Fucales : <ul style="list-style-type: none"> • Biomasse • Taille des individus • Degré d'épiphytisme 	Ces mesures doivent faire l'objet de corrections saisonnières, les résultats sont exprimés sous forme de tableaux.

Suivi stationnel de la composition floristique

Stratégie spatiale

Les observations de terrain seront effectuées sur l'habitat correspondant aux substrats durs des **zones abritées du bas du médiolittoral**. La roche en place et les blocs de grande taille (non mobiles) constituent le support à privilégier.

Stratégie temporelle

Les suivis sont effectués **tous les 3 ans**, toujours à la **même période de l'année** pour un même site (idéalement entre avril et juin, obligatoirement **entre mars et juillet**).

Paramètres mesurés

- Liste des espèces algales présentes : seules les espèces identifiables sur le terrain sont reconnues, le cas échéant des regroupement sont systématiquement effectués.
- Recouvrement apparent est estimé.

Protocole

Les suivis sont effectués **à pied lors des basses mers de vives eaux**. Les observations sont effectuées *in situ* dans des **quadrats** de 0,1 m² (3 quadrats par point [7]). La prise de photographies permet de compléter les données et de faire des vérifications en laboratoire.

Traitement des données

Différents regroupements permettant de caractériser l'état seront effectués (regroupement taxonomique, annuelles/pérennes, par strates...) [7].

Etat de référence

Couverture des Fucales :

Des données SPOT historiques (depuis 1986) sont disponibles à marée basse pour certaines zones (**Trégor, Finistère nord, mer d'Iroise, Morbihan**). Certaines scènes ont déjà fait l'objet d'un traitement dans le cadre du REBENT Bretagne [5]. Une recherche sur le catalogue SPOT est en cours pour les autres régions qui peuvent être couvertes par SPOT. Les sites de référence du Très Bon Etat Ecologique pourraient être ceux de **l'archipel de Chausey, de Perros-Guirec (Large), d'Iroise (large)**, et, selon les résultats de l'enquête, ceux des **Caps du Carteret et de la Hague**. D'autres sites pourront être identifiés.

Suivi de la composition floristique au niveau stationnel :

Les sites de référence devront être identifiés en tenant compte des données de terrain disponibles [10] et des données historiques [11].

Plusieurs sites répartis dans les différentes Masses d'Eau de l'ensemble du littoral sont envisagés, dont **des sites de la Mer d'Iroise et de l'archipel des Sept îles** (Trégor, Côtes d'Armor).

Références bibliographiques

- [1] IFREMER, 2001. Réseau Benthique (REBENT). Développement d'un pilote breton. Elaboration de l'Avant Projet Sommaire (APS). Direction de l'Environnement et de l'Aménagement Littoral, 111 p.
- [2] European Nature Information System (EUNIS), version 2004 : <http://eunis.eea.eu.int/habitats.jsp>
- [3] 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.
- [4] Fiche technique REBENT n°8 – Evaluation du taux de couverture en fucales en zone intertidale à partir d'imagerie SPOT. T. PERROT, S. BALLU et P. DION, décembre 2003. (<http://www.ifremer.fr/rebent/>)
- [5] <http://www.ifremer.fr/rebent/> (cartes de suivi des couvertures de fucales)
- [6] Compte-rendu des réunions des experts benthologues au niveau national, en vue de la définition de la surveillance écologique dans le cadre de l'application de la Directive Cadre Eau pour les eaux côtières. 7-8 février 2005, Paris.
- [7] Fiche technique REBENT n°11 – Echantillonnage des macroalgues en Intertidal substrats durs. E. AR GALL, S. CONNAN, décembre 2004. (<http://www.ifremer.fr/rebent/>).
- [8] B. Guillaumont, L. Callens & P. Dion, 1993. Spatial distribution and quantification of Fucus species and *Ascophyllum nodosum* beds in intertidal zones using spot imagery. *Hydrobiologia* 260/261 : 297-305.
- [9] PROGRAMME PROLITTORAL : Programme Régional & Interdépartemental de lutte contre les marées vertes en Bretagne. Année 2003. *Centre d'Etude et de Valorisation des Algues, Avril 2004*. 54pp.
- [10] S. Connan, 2004. Etude de la diversité spécifique des macroalgues de la Pointe de Bretagne et analyse des composés phénoliques des Phéophycées dominantes. Thèse de Doctorat, Université de Bretagne Occidentale, Brest. 299 pp.
- [11] J. Feldmann, 1954. Inventaire de la flore marine de Roscoff. Algues, Champignons, Lichens et Spermaphytes. Travaux de la Station Biologique de Roscoff, Suppl. 6. 152 pp.

Annexe 5
Données brutes invertébrés benthiques du site d'appui (abondances exprimées par 0,1m²)

Espèce (ERMS)	SSMF17-1	SSMF17-2	SSMF17-3	SSMF17-4	SSMF17-5	Moyenne
<i>Abra alba</i>	1	2	9	9	18	7,8
<i>Crangon crangon</i>	0	0	5	2	4	2,2
<i>Arenicola marina</i>	0	0	3	0	5	1,6
<i>Polydora sp.</i>	2	0	0	1	0	0,6
<i>Diastylis bradyi</i>	0	0	1	1	0	0,4
<i>Oligochaeta</i>	0	0	0	2	0	0,4
<i>Capitella capitata</i>	0	1	0	0	0	0,2
<i>Cirratulus cirratus</i>	0	1	0	0	0	0,2