

Références

Mars
2015

*Apports du programme Liteau
à la gestion durable de la mer
et du littoral : projets
de recherche 2004-2012*



**Collection « Références » de la Direction de la Recherche et de l'Innovation (DRI)
du Commissariat Général au Développement Durable (CGDD)**

Titre du document : Apports du programme LITEAU à la gestion durable de la mer et du littoral :
projets de recherche 2004-2012

Directeur de la publication : Laurent Tapadinhas

Rédactrice en chef : Sylvie Dreyfus

Rédaction et conception éditoriale : Quentin Gautier et Laurent Bélanger (Service de la recherche), Muriel Sicard

Maquette-réalisation : Quentin Gautier, Frédéric Ruyschaert et Stéphanie Gérémy

Date de publication : Mars 2015

Photo de couverture : Fort de Bertheaume (Finistère). © Laurent Mignaux / MEDDE-MLETR

Ce document engage ses auteurs et non les institutions auxquelles ils appartiennent. L'objet de cette publication est de stimuler le débat et de susciter observations, commentaires et critiques.

Apports du programme Liteau à la gestion durable de la mer et du littoral : projets de recherche 2004-2012

Remerciements

Nous remercions chaleureusement Nacima Baron-Yelles et Yves Hénocque, respectivement présidente et vice-président du Conseil scientifique du programme Liteau, ainsi que l'ensemble des membres du Conseil scientifique et du Comité d'orientation, pour les remarques avisées qu'ils ont formulées tout au long de la rédaction.

Notre reconnaissance va également à tous les coordinateurs et partenaires des projets Liteau présentés, pour les échanges fructueux qui ont permis de mieux identifier les avancées apportées par ces projets et de prendre pleinement connaissance des suites qui leur avaient été données.

Que tous les relecteurs, au sein de la Direction de la recherche et de l'innovation du Commissariat général au développement durable, comme de la Direction de l'eau et de la biodiversité de la Direction générale de l'aménagement, du logement et de la nature, soient enfin remerciés pour leur contribution à la qualité de cette publication.

Préface

Permettre le développement, sur les espaces littoraux et marins, d'un large éventail d'activités, tout en veillant à leur coexistence harmonieuse, préserver ou restaurer la diversité et les fonctionnalités de milieux et d'écosystèmes aussi riches que variés, garantir la sécurité des personnes et des biens sur des territoires fortement soumis au changement global et à l'attractivité néanmoins croissante : tels sont les défis majeurs que le ministère en charge du développement durable cherche à relever, au travers des politiques publiques qu'il élabore et qu'il conduit dans ce domaine.

Les champs d'action de ces politiques publiques sont multiples, depuis la mise en œuvre des directives environnementales, jusqu'à la prévention des risques liés à l'érosion des côtes ou aux submersions marines, en passant par la création et la gestion d'aires marines protégées et la gestion des ressources vivantes, sans oublier les actions en matière d'infrastructures portuaires et de transport maritime... Quant aux enjeux environnementaux et socio-économiques concernés, ils sont nombreux et complexes, et ils soulèvent d'importantes questions scientifiques.

La nécessité d'une réflexion approfondie a conduit le ministère à lancer dès 1998 un programme de recherche intitulé Liteau, qui croise les apports des sciences humaines et sociales et des sciences de la nature en orientant les travaux des équipes de recherche vers l'éclairage des politiques publiques.

Piloté par la Direction de la recherche et de l'innovation du Commissariat général au développement durable, ce programme de recherche a pour ambition de produire des connaissances, des démarches et des outils utiles à la conception et à la mise en œuvre d'une gestion durable et intégrée des littoraux et des espaces marins. Ses appels à projets successifs ont permis de sélectionner et de lancer plusieurs dizaines de projets de recherche interdisciplinaires, associant chercheurs et gestionnaires, administrations et établissements publics liés au ministère. Les membres de son comité d'orientation et de son conseil scientifique ont veillé à la rigueur et à la qualité de la sélection et du suivi des projets de recherche et il convient ici de leur rendre hommage.

Ce numéro de la collection « RéférenceS » du CGDD porte sur les projets de recherche conduits entre 2004 et 2012, et présente de manière accessible leurs résultats les plus significatifs. Grâce à l'interrogation des chercheurs et des gestionnaires sur les suites opérationnelles et scientifiques données à leurs travaux, clos dans la période 2007-2012, ce document tire en outre des enseignements sur la pérennité des démarches et des partenariats engagés au-delà de la fin des projets. L'un des objectifs du programme étant de créer, en lien avec l'ensemble des acteurs concernés, une communauté de recherche sur la gestion intégrée des milieux littoraux, le lecteur peut ainsi mesurer le chemin parcouru.

À l'image de l'ampleur des questionnements auxquels tente de répondre la recherche sur la mer et le littoral, et sans prétendre pour autant à l'exhaustivité, ce document passe en revue des projets fort divers dans leurs objectifs, comme dans leurs résultats et leurs trajectoires de progrès. Il réussit en outre à donner un aperçu de la richesse des thématiques et des disciplines mobilisées par le programme Liteau au service de l'action publique pour le développement durable de ces espaces si précieux pour notre pays.

Paul Delduc
Commissaire général au développement durable

SOMMAIRE

Introduction générale.....	9
Partie 1 – L'évaluation de l'état des écosystèmes littoraux et leur restauration.....	11
Introduction.....	11
1.1. Évaluation de l'état écologique des milieux littoraux semi-fermés : le projet QuaLiF (2005-2008).....	13
1.2. Développement d'un indicateur poisson pour l'évaluation de l'état des eaux de transition (2006-2008)	18
1.3. Vers une approche multicritères du bon état écologique des grands estuaires : enseignements du projet BEEST (2008-2011).....	21
1.4. Méthodes de suivi et de restauration de la végétation des falaises littorales des côtes Manche- Atlantique (2006-2010).....	26
Conclusions.....	30
Partie 2 – Risques côtiers : caractérisation et solutions de gestion.....	33
Introduction.....	33
2.1. Deux projets en appui à la gestion « douce » du trait de côte et des risques littoraux.....	35
2.1.1. Aide à la gestion des dunes littorales atlantiques par l'évaluation cartographiée de leur état de conservation : le projet Multidune (2007-2012).....	35
2.1.2. Les rechargements sédimentaires d'avant-côte, une nouvelle méthode de lutte contre l'érosion côtière (2006-2009).....	38
2.2. Trois recherches sur des risques sanitaires et écologiques émergents.....	43
2.2.1. Étude de la contamination des estuaires de la Seine, de la Gironde et de l'Adour par les substances pharmaceutiques (2004-2007).....	43
2.2.2. Développement et impacts des dinoflagellés toxiques du genre <i>Ostreopsis</i> sur le littoral de la Méditerranée nord-occidentale : le projet MediOs 2 (2007-2010).....	48
2.2.3. Bilan, conséquences et scénarios de gestion de la prolifération de l'huître creuse du Pacifique sur les côtes Manche-Atlantique françaises : le projet PROGIG (2005-2008).....	52
Conclusions.....	56
Partie 3 – Vers la mise en œuvre de nouveaux modes de gestion de la mer et du littoral.....	59
Introduction.....	59
3.1. Quelques outils en appui à la gestion intégrée de la mer et du littoral.....	61
3.1.1. Tourisme et environnement dans les espaces littoraux et insulaires protégés : les observatoires de la fréquentation littorale Bountiles (2006-2009).....	61
3.1.2. La modélisation numérique, un outil en appui à la gestion intégrée terre-mer des zones côtières ? Deux exemples issus de projets Liteau.....	66

3.1.3. Construction d'indicateurs de performance des aires marines protégées pour la gestion des écosystèmes côtiers, des ressources et de leurs usages : le projet PAMPA (2008-2011).....	75
3.2. Gestion intégrée des territoires et des ressources : deux exemples ultramarins.....	81
3.2.1. Mise en œuvre d'une démarche de gestion intégrée des zones côtières dans la baie du Robert (Martinique).....	81
3.2.2. Organiser la cogestion des récifs et lagons à forte valeur patrimoniale en Nouvelle-Calédonie : le projet COGERON (2007-2011).....	92
Conclusions.....	98

Conclusion générale..... 103

Quelques références bibliographiques..... 107

Annexe 1 : Glossaire.....	109
Annexe 2 : Acronymes.....	113
Annexe 3 : Membres du conseil scientifique et du comité d'orientation du programme Liteau.....	115
Annexe 4 : Appels à propositions de recherche et projets du programme Liteau.....	117

Introduction générale

Le programme Liteau

Le Ministère en charge du développement durable pilote depuis plus de 25 ans des programmes de recherche incitatifs en appui à l'élaboration et à la mise en œuvre des politiques publiques. Il s'est saisi de la problématique littorale en 1998, en lançant le programme Liteau. Ce programme s'inscrit depuis lors durablement dans le dispositif national de recherche sur les milieux littoraux et, plus récemment, marins. Son positionnement spécifique en fait un outil de coordination et de lien entre les programmes de recherche fondamentale et des actions expérimentales de gestion des espaces concernés. Liteau se donne ainsi pour objectif de développer des connaissances, des méthodes et des pratiques scientifiques utiles à la définition et à la mise en œuvre d'actions collectives et de politiques publiques sur les milieux marins et côtiers, dans une optique de gestion durable et intégrée.

Depuis 1998, 8 appels à propositions de recherche ont été lancés, rythmant quatre phases du programme, le dernier appel ayant été rendu public fin 2011¹. En quinze ans, près de 80 projets de recherche ont été soutenus, correspondant à une participation financière de 8,3 millions d'euros de la part du Ministère. En cette fin 2014, six projets de recherche sont encore en cours. Les problématiques traitées par les projets sont très diversifiées, abordant par exemple l'évaluation de l'état des écosystèmes, la gestion des risques littoraux, ou encore la mise en œuvre de démarches de gestion intégrée. Les projets sélectionnés répondent à une exigence de qualité scientifique et sont en général construits autour des questionnements d'acteurs et de gestionnaires. Ils cherchent à y répondre de manière innovante, en mobilisant des champs disciplinaires variés. Les projets ont également pour objectif de favoriser l'appropriation, par les acteurs non-scientifiques, des résultats, des méthodes et des outils développés par la recherche.

Outre le financement de projets de recherche, le programme Liteau permet d'animer un réseau de partenaires scientifiques et non scientifiques, qu'ils soient impliqués dans les projets sélectionnés ou simplement intéressés par les problématiques abordées. Des rencontres régulières favorisent le rapprochement des communautés de chercheurs et de gestionnaires, le transfert des résultats de la recherche et l'émergence de nouvelles questions, à l'interface entre science et gestion.

Objectifs et conception de la publication

Vingt-trois projets ont été financés dans le cadre des appels à propositions de recherche publiés en 2003, 2005 et 2007. Les projets sélectionnés, engagés à partir de 2004, se sont terminés, pour les plus anciens, en 2007 et, pour les plus récents, en 2012. Cette publication vise à résumer de manière détaillée et accessible leurs principaux apports scientifiques et leurs conséquences opérationnelles. Avec quelques années de recul, il est en effet possible de documenter les suites données aux perspectives souvent dressées en fin de projet. Ces développements concernent, par exemple, le montage de nouveaux projets de recherche, la poursuite d'une collaboration ou d'une démarche partenariale avec les gestionnaires, la pérennisation et le transfert d'un outil ou la publication d'un guide méthodologique. Au travers des différents exemples présentés, ce numéro des Références du CGDD tente donc de donner une forme visible et concrète aux différentes formes de soutien de la recherche à l'action publique sur le champ de la mer et du littoral.

¹ À ces huit appels s'ajoutent trois appels à projets lancés en 2000, 2002 et 2004, à la suite de la marée noire provoquée par le naufrage de l'Erika, et qui ne font pas partie stricto sensu du programme Liteau.

Sur les vingt-trois projets de recherche financés entre 2003 et 2007, dix-huit sont plus spécifiquement détaillés ici, les résultats de cinq projets étant trop datés sur le plan scientifique ou ayant eu trop peu de suites concrètes pour être abordés ici. Ce choix éditorial a été effectué après consultation du Conseil scientifique et du Comité d'orientation du programme. Le travail de synthèse concernant les projets présentés s'est principalement appuyé sur les rapports de fin de projet écrits par les équipes. Il a été complété par des entretiens avec les coordinateurs des projets, des partenaires scientifiques et des partenaires gestionnaires, visant à approfondir les suites données aux projets. Des éléments issus d'une publication antérieure du programme Liteau ont également été réutilisés (Actes du colloque d'Oléron, Lafon X. & Citeau L. 2011). Toutes les synthèses ont été validées par les coordinateurs des projets de recherche.

Les résultats des projets financés dans le cadre des appels lancés en 2009 et en 2011, qui font encore l'objet d'actions de valorisation complémentaires, ne sont mentionnés qu'en tant que de besoin pour étayer les synthèses des projets présentés. L'ensemble des projets de recherche soutenus par les appels à projets successifs sont rappelés en annexe, et les rapports relatifs aux projets finalisés sont tous accessibles sur le site internet du programme (www1.liteau.net), ainsi que via la base de données TEMIS du Ministère en charge du développement durable.

Structure de la publication

Les projets de recherche sont présentés de façon thématique, en trois parties correspondant aux axes majeurs des appels à propositions de recherche successifs lancés dans le cadre du programme Liteau :

- La partie 1 réunit quatre projets qui portent sur **l'évaluation et le suivi de l'état des écosystèmes aquatiques littoraux**, dans le contexte notamment de la mise en œuvre de la directive-cadre sur l'eau pour les eaux littorales. On y trouvera notamment des travaux menés pour développer des indicateurs d'état et pour cartographier les habitats et les écosystèmes littoraux, ainsi qu'une réflexion sur la notion d'état de référence et de « bon potentiel » des milieux estuariens. Au travers d'un exemple sur la végétation des falaises littorales Manche-Atlantique, cette partie aborde aussi les **actions de restauration d'écosystèmes côtiers continentaux**.
- La partie 2 (cinq projets) traite de **différentes formes de risques littoraux**, sous l'angle de la caractérisation des aléas et des solutions de gestion. Après une présentation des outils en appui à la **gestion de l'érosion côtière et du risque de submersion marine**, cette partie se poursuit par les **risques sanitaires et environnementaux engendrés par la contamination chimique des milieux aquatiques et la prolifération d'espèces invasives***, avec leurs conséquences socio-économiques.
- La partie 3 regroupe neuf projets financés dans la perspective de **développer de nouvelles formes de gestion de la mer et du littoral**, un troisième axe, qui revêt un caractère central pour le programme Liteau. Cette partie présente des outils novateurs et des démarches originales en appui à la **mise en œuvre d'une gestion intégrée** des espaces, sous la forme notamment d'**aires marines protégées**.

La présentation de chaque projet observe un plan classique : contexte et objectifs, éléments méthodologiques et résultats principaux. À la fin de chaque synthèse, un encart précise les suites scientifiques et opérationnelles des projets, ainsi que, le cas échéant, les nouvelles perspectives envisagées.

Partie 1 – L'évaluation de l'état des écosystèmes littoraux et leur restauration

Introduction

Du fait de la multiplicité des usages dont ils font l'objet, les écosystèmes côtiers subissent des modifications et des altérations qui peuvent impacter durablement leur biodiversité, leur fonctionnement, et en conséquence les ressources et les services qu'ils procurent à la société. L'évaluation de l'état des milieux constitue un préalable indispensable à la mise en place d'actions permettant le maintien ou le rétablissement de leur bon état écologique, au travers de la gestion des pressions anthropiques ou de la mise en œuvre d'actions de restauration.

Depuis octobre 2000, la directive-cadre européenne sur l'eau (DCE) établit un cadre réglementaire pour la gestion et la préservation des milieux aquatiques. Elle impose aux États membres une évaluation et un suivi de l'état des masses d'eau* avec des objectifs de résultats : l'atteinte du bon état écologique en 2015 et la suppression des rejets des substances prioritaires dangereuses en 2021.

La directive s'applique aussi bien aux eaux continentales superficielles et souterraines qu'aux eaux côtières et aux milieux particuliers que sont les estuaires ou les lagunes. Les masses d'eau de surface sont catégorisées en quatre types : les cours d'eau, les plans d'eau, les eaux côtières et les masses d'eau de transition*. La qualification de leur état écologique doit être établie en référence à des valeurs d'indicateurs* calculées pour différents compartiments biologiques (phytoplancton, faune benthique, algues macroscopiques et angiospermes, invertébrés pour les eaux côtières et poissons pour les eaux de transition), ainsi que sur des paramètres physico-chimiques (turbidité, température, oxygène, nutriments, etc.) et hydromorphologiques (bathymétrie, substrats, marées, etc.). Ces objectifs réglementaires ont induit d'importants besoins de recherche en vue de développer des indicateurs pertinents pour les différents milieux et compartiments biologiques.

De nombreux indicateurs ont été validés pour la plupart des milieux aquatiques continentaux, mais l'extrapolation aux eaux littorales de leurs champs de validité est délicate. Les littoraux sont en effet des milieux dynamiques, en constante évolution et renfermant une grande diversité d'écosystèmes et d'espèces pour lesquels il existe peu d'indices biologiques validés. Cela est particulièrement vrai pour les milieux côtiers semi-fermés de

type lagune, estuaire et baie qui sont souvent caractérisés par une vaste zone intertidale* (parfois colonisée par des macrophytes*), une forte turbidité et des fonds à sédiments fortement envasés. Pour les milieux littoraux, il est donc essentiel de conduire une réflexion sur la pertinence et les limites des indicateurs validés sur les milieux aquatiques continentaux et de développer des connaissances, des méthodes et des indicateurs spécifiques.

Par ailleurs, les indicateurs de la qualité des milieux aquatiques ne révèlent l'état du milieu qu'à un moment donné, c'est-à-dire une valeur absolue, sans niveau de référence auquel se rapporter. Pour pouvoir qualifier l'état de santé du milieu aquatique, il est nécessaire de recourir à un état de référence et donc de le caractériser. Les masses d'eaux dont le fonctionnement physique est fortement altéré par les activités humaines, comme les estuaires, sont classées en « masses d'eau fortement modifiées » et doivent atteindre un « bon potentiel écologique », qui correspond au bon état de la masse d'eau naturelle de laquelle elles se rapprochent le plus. Des outils spécifiques doivent donc être développés pour définir un état de référence pour les masses d'eau côtières, qui prennent en compte leur caractère dynamique et la grande variabilité de leurs milieux.

Aussi les questionnements scientifiques en lien avec l'évaluation de la qualité des eaux littorales et la mise en œuvre de la directive-cadre sur l'eau (DCE) constituent-ils un axe important et récurrent des appels à propositions de recherche Liteau depuis la création du programme. **Au cours des appels à propositions de recherche 2003, 2005 et 2007, trois projets ont plus particulièrement cherché à répondre à l'enjeu de l'adaptation des indicateurs et des concepts DCE aux masses d'eau de transition :**

- le projet Qualif, qui a testé l'applicabilité de plusieurs indicateurs DCE sur les masses d'eaux des milieux semi-fermés ;
- le projet « Girardin » qui a permis de développer un indicateur « poisson » pour les masses d'eau de transition ;
- le projet BEEST, qui visait à réaliser un inventaire des indicateurs de qualité existants pour les milieux estuariens et à faire évoluer la réflexion sur la notion de « bon potentiel écologique » pour les masses d'eau

fortement modifiées en y intégrant une dimension sociale et écosystémique.

Une fois évalué l'état d'un milieu, on peut envisager de rétablir ses fonctionnalités par l'intermédiaire d'actions de restauration ou de réhabilitation mobilisant les techniques de l'ingénierie écologique. **La restauration des milieux côtiers altérés est une thématique soutenue par le programme Liteau depuis ses débuts.** Au cours des appels à projets 2003, 2005 et 2007, elle n'a toutefois reçu que peu d'échos au sein de la communauté scientifique (assez peu mobilisée à l'époque sur ces sujets). **Un seul projet de recherche, financé en 2005, sera présenté ici :**

- Méthodes de suivi et de restauration de la végétation des falaises littorales des côtes Manche-Atlantique (projet « Bioret »).

1.1. Évaluation de l'état écologique des milieux littoraux semi-fermés : le projet QualiF (2005-2008)

Coordination : Xavier de Montaudouin, université de Bordeaux 1 (EPOC), Station Marine d'Arcachon.

Partenaires scientifiques : Ifremer, université de Lille (LOG), université de La Rochelle (LIENSs), cellule de transfert GEO-Transfert.

Partenaires gestionnaires : Agence de l'Eau Adour-Garonne, Syndicat Intercommunal du Bassin d'Arcachon (SIBA), Réserve naturelle du banc d'Arguin.

Le projet QualiF a été proposé en réaction à des doutes sur l'applicabilité et la significativité des indicateurs préconisés par la directive-cadre sur l'eau (DCE) pour évaluer la qualité écologique des masses d'eaux côtières et de transition. **L'objectif du projet était d'évaluer la pertinence des indicateurs biologiques existants permettant de mesurer l'état écologique des systèmes littoraux semi-fermés tels que les estuaires et les lagunes et, le cas échéant, de proposer des améliorations, voire de nouveaux indicateurs.** L'étude a été menée sur les trois compartiments biologiques retenus comme éléments de qualité par la DCE : phytoplancton, invertébrés benthiques et flore aquatique, avec pour terrain d'étude le bassin d'Arcachon et l'estuaire de la Gironde, étendus à la baie de Marennes-Oléron et à l'estuaire de la Seine pour le compartiment « invertébrés benthiques ».

Le compartiment « phytoplancton »

Le phytoplancton contribue à la majeure partie de la production primaire marine. Son développement est conditionné entre autres par la disponibilité en éléments nutritifs et par les paramètres environnementaux. La nature et l'abondance du phytoplancton sont donc fortement dépendantes des caractéristiques du milieu, et il est de ce fait considéré un bon indicateur de la qualité des masses d'eau. L'objectif de ce premier volet est de **confronter différents indices existants, calculés à partir d'une même base de données, afin d'émettre un avis critique sur leur transposition aux milieux semi-abrités à plus ou moins forte turbidité** (bassin d'Arcachon et estuaire de la Gironde).

La base de données était constituée d'une part de données acquises dans le cadre d'autres projets ou réseaux de mesure (dont le réseau REPHY...) et d'autre part d'un programme d'échantillonnage spécifiquement établi pour ce projet (échantillons prélevés en sub-surface entre 2006 et 2007). Pour

chaque année, les données ont permis de calculer les valeurs de 14 indices issus de la littérature et d'affecter un niveau de qualité annuel (très bon, bon, moyen, médiocre, mauvais) pendant 8 à 19 ans selon les indices pour le bassin d'Arcachon et entre 2 et 10 ans sur l'estuaire de la Gironde. Une méthodologie spécifique a été développée pour l'estuaire de la Gironde où la forte turbidité rend le suivi et l'évaluation plus difficile.

Les quatorze indices phytoplanctoniques testés sont détaillés dans le Tableau 1. On distingue des indices basés sur la biomasse phytoplanctonique totale (mesurée au travers de la concentration en chlorophylle a), le nombre d'événements annuels d'efflorescences* phytoplanctoniques, estimé à partir de différents seuils, ainsi que la fréquence des efflorescences (la proportion d'échantillons pour lequel un taxon dépasse le seuil fixé pour un événement d'efflorescence). L'indice « multiparamétrique » TRIX intègre simultanément le taux de saturation en O₂, la chlorophylle a, l'azote inorganique dissous et le phosphate. Les indices « groupes fonctionnels » rendent compte des différences de composition des populations phytoplanctoniques.

Catégorie	Métrique*	
Biomasse	Moyenne [chl a] µg.L ⁻¹	A
	P ₉₀ [chl a] µg.L ⁻¹	B
Nombre d'événements d'efflorescence annuel	Abondance par taxon > 10 ⁵ cell.L ⁻¹	C
	Abondance par taxon > 2,5.10 ⁵ cell.L ⁻¹	D
	[chl a] > P _{97,5} [chl a] (µg.L ⁻¹)	E
	Abondance totale > P _{97,5} abondance (cell.L ⁻¹)	F
	[chl a] > 8 ou 16 µg.L ⁻¹ selon masse eau	G
Fréquence des efflorescences (%)	Abondance par taxon > 10 ⁵ cell.L ⁻¹	H
	Abondance par taxon > 2,5.10 ⁵ cell.L ⁻¹	J
	[chl a] > P _{97,5} [chl a] (µg.L ⁻¹)	K
	Abondance totale > P _{97,5} abondance totale (cell.L ⁻¹)	L
Multiparamétrique	TRIX (unité TRIX)	N
Groupes fonctionnels	P ₉₀ Log ₁₀ (1+ (nd/d))	O
	P ₉₀ Log ₁₀ (1+ (dino/d))	P

Tableau 1 : Indices phytoplanctoniques testés ([chl a] = concentration en chlorophylle a; nd = non diatomées; d = diatomées; dino = dinoflagellés; P₉₀ ou P_{97,5} = percentile* 90 ou 97,5). Le P₉₀ (resp. P_{97,5}) représente la valeur dépassée par 10 % (resp. 2,5 %) des données mesurées. cell = cellule.

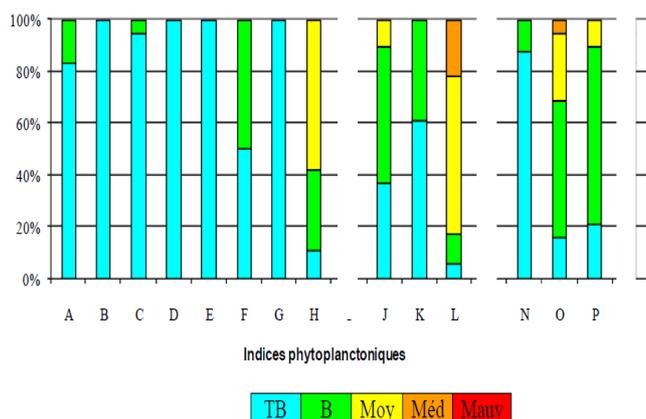


Figure 1 : Classes de qualité obtenues pour chaque indice phytoplanctonique testé au niveau du bassin d’Arcachon amont, année par année, sur des durées de 8 à 19 ans.

La figure 1 montre les résultats contrastés obtenus pour les différents indices au niveau du Bassin d’Arcachon amont : selon l’indicateur utilisé, de 18 à 100% des échantillons répondent au critère de bonne ou très bonne qualité écologique. Une disparité similaire est observée pour l’estuaire de la Gironde (données non présentées).

Sur la base de ces résultats, **les auteurs recommandent l’utilisation de certains indices, jugés plus représentatifs de la qualité du milieu** : le percentile 90 (P_{90}) de la concentration en chlorophylle *a* plutôt que sa moyenne, et les fréquences des événements d’efflorescence plutôt que leur nombre. Les indices multiparamétriques et ceux basés sur les groupes fonctionnels sont également jugés nécessaires à l’évaluation de la qualité du milieu mais leur calcul nécessite une plus grande diversité de données. Les indices basés sur la biomasse phytoplanctonique présentent l’avantage de livrer des résultats moins dégradés lorsque la fréquence d’échantillonnage diminue que les indices basés sur le nombre ou la fréquence des efflorescences.

Enfin, les résultats montrent la **nécessité d’utiliser des grilles de classification ainsi que des seuils adaptés à la zone géographique considérée**, notamment pour définir la notion d’« efflorescence ». L’idéal est de calculer un seuil à partir d’un jeu de données étendu pour la zone considérée, que ce soit en termes de biomasse ou d’abondance, par exemple par la méthode du $P_{97,5}$ (Carstensen et al. 2004).

Le compartiment « faune invertébrée benthique »

Les peuplements des macro-invertébrés marins benthiques sont situés à l’interface entre la colonne d’eau et les sédiments. Ils présentent une faible mobilité et une relative longévité (quelques mois à plusieurs années) qui en font de bons intégrateurs des conditions environnementales pour une masse d’eau donnée. Ils sont donc susceptibles d’être de bons indicateurs de l’état de l’écosystème. **L’objectif de ce volet de l’étude est double : tester les indices à partir de bases de données biologiques disponibles et mesurer la sensibilité des indices à une modification des habitats dans des écosystèmes semi-abrités naturellement envasés.**

Un important travail d’acquisition et de traitement de données biologiques a été réalisé. Le traitement des données a nécessité au préalable la réalisation et l’homogénéisation de trois bases de données (une pour le bassin d’Arcachon, une pour l’estuaire de la Gironde et une pour la baie de Marennes-Oléron). Les valeurs de cinq indices définis ci-dessous ont été calculées pour chaque station de chaque site et interprétées en termes de qualité écologique DCE selon les seuils en vigueur.

Indices testés pour le compartiment invertébrés benthiques :

BOPA (Benthic Opportunistic Polychaetes/Amphipods ratio) : cet indice compare la fréquence des polychètes* opportunistes à celle des amphipodes*, espèces considérées comme sensibles à différents types de pollution. Cet indice a été calibré sur les 5 classes de qualité écologique définies pour l’AMBI (Dauvin & Ruellet, 2007).

AMBI (AZTI Marine Biotic Index) : son calcul est fondé sur la distribution des espèces selon 5 catégories écologiques (sensibles, indifférentes, tolérantes, opportunistes et opportunistes) (Borja et al. 2000, 2003).

BENTIX : cet indice peut-être considéré comme une variante simplifiée d’AMBI, ne retenant que deux catégories d’espèces, sensibles et tolérantes (Simboura & Zenetos, 2002).

Indice de SHANNON : cet indice est une mesure de la diversité alpha* prenant en compte le nombre d’espèces et la dominance numérique de celles-ci au sein de l’assemblage (Simboura & Zenetos, 2002 ; Labruno et al., 2005).

BQI (Benthic Quality Index) : cette méthode repose sur le calcul de la valeur de tolérance de chaque espèce à partir d’un indice de diversité (ES50) qui représente le nombre d’espèces le plus probable dans un échantillon de 50 individus (Rosenberg et al., 2004).

→ Résultats

MARENNES-OLERON Bay

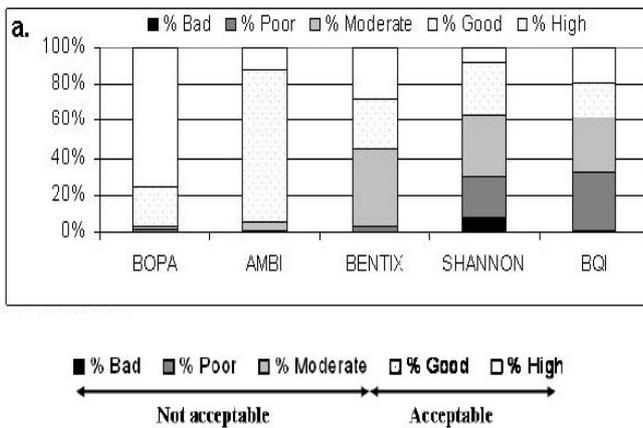


Figure 2 : Résultats obtenus pour les sites de la baie de Marennes-Oléron selon les cinq indices biotiques utilisés, pour une même base de données.

La figure 2 montre que sur la baie de Marennes-Oléron où 262 stations ont été échantillonnées, **les indices biotiques testés sont en désaccord entre eux**. Pour l'estuaire de la Gironde, certains indices sont impossibles à calculer car le nombre d'espèces et/ou d'individus par espèce est trop faible (BQI). La figure 3 montre dans un estuaire à très forte turbidité (Gironde) l'évolution mensuelle de l'indice AMBI dont la forte variabilité saisonnière, notamment en domaine intertidal, ne permet pas d'évaluer la qualité du milieu de façon fiable.

Afin d'établir le degré de fiabilité des indices, une étude a été menée au cours de l'hiver 2004-2005 à l'occasion de la destruction de 30 ha d'herbier à *Zostera noltei* qui avaient été recouvert par des sédiments sablo-vaseux lors du creusement de la souille* de Dispute pour l'enfouissement de 100 000 m³ de résidus coquilliers issus de l'activité conchylicole. L'hypothèse était que les indices calculés à partir de la structure des communautés benthiques avant et après le recouvrement à l'intérieur et à proximité de la zone impactée subiraient des modifications. Un indice ne variant pas serait considéré comme peu sensible à une perturbation.

Il est apparu que les résultats n'étaient satisfaisants pour aucun des indices. Le développement d'un indice multi-métrique a donc été envisagé. Quinze métriques*, rassemblées en trois types de descripteurs (descripteurs de la communauté, composition trophique et indicateurs de pollution), ont été sélectionnées (parmi 45 initialement) afin de décrire l'intégrité du peuplement. Les valeurs seuils ont été déterminées sur la

base de 38 stations d'herbier à *Zostera noltei* jugées non perturbées.

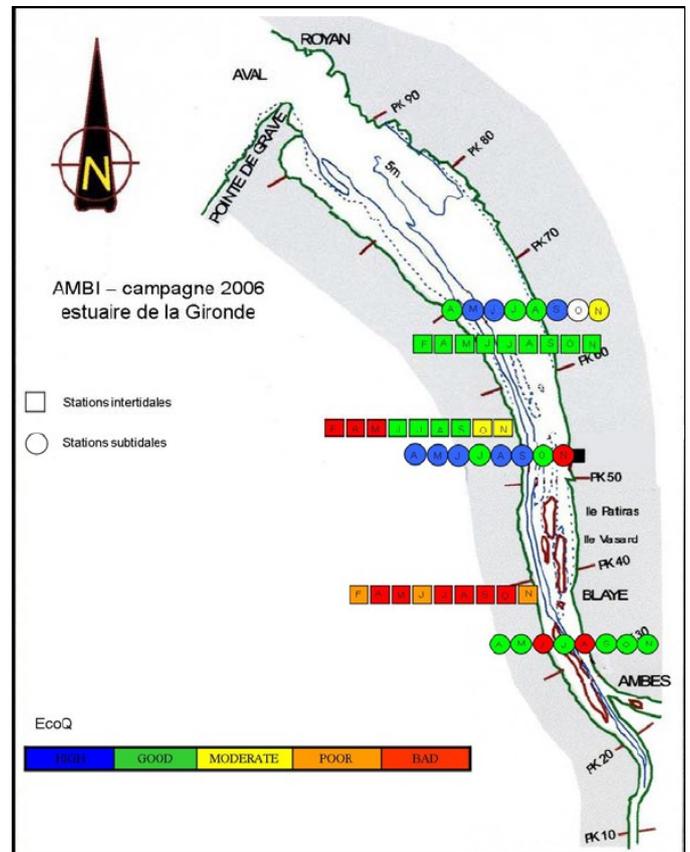


Figure 3 : Evolution mensuelle du classement par l'indice AMBI de la qualité écologique des stations de l'estuaire de la Gironde en 2006.

La moyenne des scores obtenus pour chacun des trois descripteurs et son écart type associé donnent un Ecological Quality Ratio (EQR) qui constitue une mesure du degré d'éloignement par rapport aux conditions de référence à laquelle est associé un intervalle de confiance. L'indice MISS (Macrobenthic Index of Sheltered Systems) constitue sa traduction en classes d'état écologique. Comparé aux autres indices biotiques multi et uni-variés, **l'indice MISS montre une bonne adéquation entre statut écologique et présence/absence de perturbation (Lavesque et al. 2009).**

Le compartiment « flore aquatique »

Les herbiers de phanérogames* représentent de bons indicateurs de la qualité des milieux du fait de leur grande sensibilité aux perturbations anthropiques. Trois métriques de suivi des herbiers sont imposées par la directive-cadre sur l'eau : la composition taxonomique, l'abondance en densité de pieds et l'abondance en terme d'extension spatiale. Les estimations de surface sont

actuellement réalisées par analyse des orthophotoplans, méthode fiable et précise mais chronophage. **L'objectif de ce volet est de tester l'intérêt et les limites de la télédétection spatiale pour établir une cartographie évolutive des herbiers à *Zostera noltii*.**

Dans un premier temps, des outils simples ont été mis au point afin de quantifier rapidement la biomasse de feuilles et les pourcentages de couverture des zostères à partir de photos numériques prises sur le terrain (Binias et al. 2013). Ces données peuvent être utilisées pour calibrer les observations satellitaires. Puis, une méthode d'analyse des longueurs d'onde à partir d'images SPOT a permis d'identifier avec une bonne précision la couverture végétale et sa biomasse (méthode NDVI pour Normalised Difference Vegetation Index). Cette méthode a été testée sur six images satellitaires SPOT prises entre octobre 2006 et décembre 2007 (Froidefond et al. 2012).

Les figures 4 et 5 montrent la diminution brutale de l'extension de l'herbier entre l'automne 2006 et l'hiver 2007. Deux survols ULM ont permis de valider ces résultats. **Cette méthode d'estimation rapide de la biomasse est donc bien adaptée pour quantifier l'évolution saisonnière de l'herbier.**

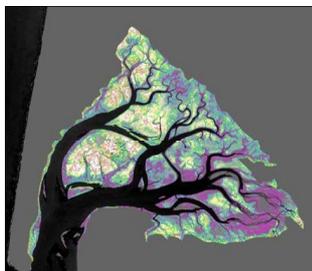


Figure 4 : NDVI du 8 octobre 2006.

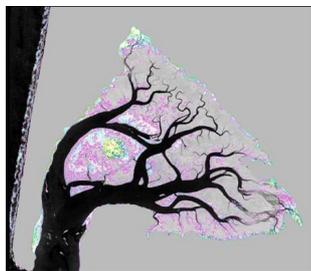


Figure 5 : NDVI du 17 février 2007.

Légende :

Cyan (NDVI : 0,1) : biomasse 8 Poids Sec (PS) g/m²

Vert (NDVI : 0,2) : biomasse 30 PS g/m²

Jaune (NDVI : 0,3) : biomasse 63 PS g/m²

Rouge (NDVI : 0,4) : biomasse 109 PS g/m²

L'approche NDVI a été ensuite comparée avec une méthode plus fine, dite de « classification supervisée ». Cette méthode consiste à cartographier les faciès bio-sédimentaires à partir de mesures de terrain des signatures spectrales de 18 « classes » de couverts, en fonction du type de substrat (sables secs et humides, vases...) et du taux de recouvrement des herbiers. Cette méthode a été testée sur sept scènes satellites SPOT prises entre 2003 et 2006 sur le bassin d'Arcachon. Ces

observations mettent en évidence les variations inter et intra-annuelles du taux de recouvrement des herbiers mais aussi de sa structure.

Les trois méthodes testées répondent à des objectifs différents. **La photographie numérique de terrain est adaptée pour les mesures de petite surface** (inférieure à 1ha). Elle peut-être utilisée pour calibrer une photographie aérienne ou une image satellite, ou pour étudier un processus biologique. **La méthode NDVI est rapide et bien adaptée pour suivre l'évolution annuelle de la biomasse.** Couplée avec des relevés de terrain, elle permet de suivre la croissance des herbiers. **La troisième méthode, plus lourde en traitements informatiques et en relevés de terrains, permet d'obtenir une carte complète et évolutive des faciès bio-sédimentaires.**

Les méthodes développées permettent de caractériser la régression généralisée des herbiers à zostères du bassin d'Arcachon, observée depuis 2005 environ.

Conclusion

Ce projet a permis de répondre à certaines interrogations concernant l'application des indices DCE communément utilisés aux systèmes envasés. Les résultats ont apporté des avancées importantes sur la significativité des indices portant sur différents compartiments biologiques, et ont conduit à proposer un nouvel indice multi-paramétrique prometteur pour les zones littorales semi-fermées.

Ces résultats ainsi que les outils développés pour le suivi satellitaire des herbiers de phanérogames sont autant d'outils en appui à la mise en œuvre de la directive-cadre sur l'eau (DCE) sur les eaux littorales.

Suites

Les travaux réalisés dans le cadre de ce projet servent de base à la réflexion actuelle sur les indicateurs DCE invertébrés benthiques en eau de transition.

La réserve naturelle du Banc d'Arguin utilise les outils développés par le projet Qualif (indice MISS, outils de suivi des habitats bio-sédimentaires) dans le cadre du suivi et de l'évaluation de son plan de gestion.

Le partenariat entre les scientifiques du projet Qualif, en particulier la Station Marine d'Arcachon, et le Syndicat

Intercommunal du Bassin d'Arcachon (SIBA) perdue. Un suivi de l'évolution des peuplements benthiques autour de la souille* de Dispute est ainsi mené en partenariat, en utilisant notamment l'indice MISS développé au cours de ce projet. Ce suivi, en cours depuis 7 ans, vise à déterminer l'impact physique du recouvrement par les sédiments sur les peuplements benthiques. Les échanges réguliers entre le SIBA et la Station Marine permettent d'envisager des opérations de plus grande envergure pour rétablir le fonctionnement hydraulique du bassin.

Enfin, l'applicabilité de l'indice MISS à d'autres masses d'eau de transition sera testée dans le cadre d'un projet de thèse portant sur l'évaluation de l'état écologique des lagunes au Maroc.

Par ailleurs, depuis 2011, la cartographie des herbiers par télédétection a fait l'objet d'un programme de recherche financé par le CNES (projet TOSCA SYNIHAL), dont les résultats ont maintenant une déclinaison opérationnelle pour le suivi des herbiers à *Zostera noltei*. En s'appuyant sur l'analyse d'image qui permet une cartographie fine des zones de recouvrement supérieur à 25% et sur l'acquisition de données GPS pour affiner la cartographie des zones de faible recouvrement, on parvient maintenant à des résultats très fiables (Dehouck et al, 2013).

Pour en savoir plus :

[rapport scientifique](#) sur www1.liteau.net

1.2. Développement d'un indicateur poisson pour l'évaluation de l'état des eaux de transition (2006-2008)

Coordination : Michel Girardin, Irstea Bordeaux

Partenaires scientifiques : Ifremer, Cererca, AZTI, université de la Rochelle, MNHN Concarneau, Aquascop, Cellule de Suivi du Littoral Haut-Normand, université du Littoral Côte d'Opale, université de Montpellier, la Tour du Valat.

Partenaires gestionnaires : les six Agences de l'Eau.



Figure 6 : Estuaire de la Seudre (© Laurent Mignaux/METL-MEDDE)

Le projet visait à **développer un indicateur multi-métriques basé sur la composante ichthyologique pour évaluer l'état écologique des masses d'eau de transition, estuariennes et lagunaires conformément à la directive-cadre sur l'eau.**

En l'absence de connaissances détaillées sur le compartiment ichthyologique pour la plupart des masses d'eau de transition (MET) françaises, une collaboration avec les Agences de l'Eau a été mise en place en amont du projet afin de réaliser des inventaires du compartiment poisson dans les MET des cinq façades côtières : Adour-Garonne, Loire-Bretagne, Seine-Normandie, Artois-Picardie et Rhône-Méditerranée-Corse. Au total, 46 MET ont été échantillonnées entre 2005 et 2007. Pour chacune d'entre elles, la liste des espèces de poisson, leurs distributions de taille et de poids ainsi que leurs abondances relatives ont été archivées et mises à disposition au travers de la base de données POMET, construite dans le cadre du projet. Les données de pêche (position, durée, etc.) ainsi que les principaux paramètres physico-chimiques (température, salinité, etc.) ont également été renseignés. Cette base de données permet d'archiver les données issues des contrôles de surveillance DCE et de renseigner périodiquement les métriques de l'indicateur poisson du Système d'Évaluation de l'État des Eaux (S3E) de l'ONEMA. Un système d'information complet et

fonctionnel a été créé, de la fiche de saisie des données des campagnes de pêche expérimentale à la base de données POMET.

Méthodologie

L'indicateur « poisson » a été élaboré à partir de données récoltées lors des inventaires des communautés ichthyologiques. Afin de relier ces données aux facteurs de la qualité du milieu (caractéristiques physiques du système et degré d'anthropisation du milieu), une méthodologie générale a été élaborée reposant sur l'analyse de triplets statistiques : inventaire ichthyologique x caractéristiques physiques x pressions anthropiques (Figure 7).

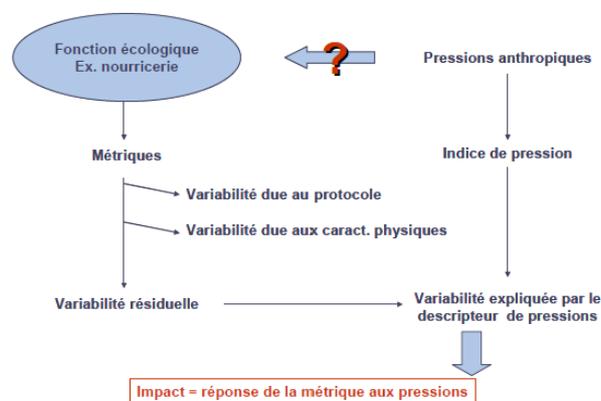


Figure 7 : démarche générale d'analyse des triplets statistiques.

Les masses d'eau de transition ont été regroupées par estuaire ou par lagune. Les pressions anthropiques s'exerçant sur les masses d'eau ont été séparées en trois grandes catégories : les pressions de pollution (métaux lourds, polluants organiques, nitrates et phosphates), les pressions directes sur le vivant et l'habitat (pêche, conchyliculture, plaisance, etc.) et la pression d'occupation du sol (aménagements urbains, industriels, agricoles, etc.). Seules les pressions dont l'impact sur le milieu aquatique est estimé négatif ont été conservées pour l'analyse. Les pressions d'occupation du sol se voient attribuer une classe fonction de leur taux d'occupation, à laquelle correspond une « note » de pollution (de 1 – peu pollué, à 5 – très pollué). Les données quantitatives (pollution, pêche, etc.) sont standardisées (ramenées à la surface de chaque estuaire) et analysées par le biais d'analyses en composante principale (ACP) afin d'évaluer l'impact des pressions correspondantes sur le milieu et de leur attribuer une « note de pollution ». Les trois grandes catégories de pression ont été regroupées pour

dégager un indice de pression anthropique globale compris entre 1 et 5.

Afin d’appréhender la diversité fonctionnelle des peuplements ichthyologiques, les espèces ont été regroupées en guildes* écotrophiques (groupes fonctionnels, par exemple). Des métriques ichthyologiques ont été identifiées (nombre de juvéniles d’origine marine, nombre d’espèces benthiques, etc.) et des données physiques (profondeur, salinité) ont permis de compléter la caractérisation des masses d’eau.

L’indicateur poisson a été construit en quatre étapes :

- présélection des métriques biologiques ;
- tests sur la capacité des métriques retenues à discriminer la qualité des masses d’eau de transition ;
- détermination des normes de références et des scores de qualité par métrique à partir de modèles linéaires généralisés ;
- assemblage des métriques et construction de l’indicateur.

Résultats

→ Pressions anthropiques

Pour les estuaires, seules les données issues des pressions de pollution ont donné des résultats concluants. **Les paramètres chimiques retenus sont les métaux lourds (Cd, Zn, Cu, Hg et Pb) ainsi que les concentrations en contaminants organiques (PCB et HAP), ce qui permet de définir deux indicateurs de pollution quantitatifs.** Il est apparu que l’estuaire de l’Adour, de la Seudre, de Bidassoa et de la Gironde sont les plus pollués en métaux lourds tandis que l’estuaire de la Seine est le plus pollué en contaminants organiques. **Au niveau des lagunes, seul l’indicateur d’occupation des sols a été retenu.** Les lagunes de Thau et de Grand Bagnas sont les plus impactées, respectivement par la proximité de zones urbanisées (Sète) et par de grandes superficies agricoles.

→ Sélection des métriques ichthyologiques

Un atelier d’expertise a été organisé afin de débattre des différentes métriques à retenir. **Vingt-deux métriques ont été pré-sélectionnées et 13 métriques ont finalement été retenues en fonction de leur sensibilité aux pressions anthropiques :**

Pour les estuaires :

- la richesse taxonomique
- la densité totale
- la densité des espèces migratrices amphihalines*

- le nombre et la densité d’espèces marines juvéniles
- le nombre et la densité d’espèces benthiques*

Pour les lagunes

- la densité des espèces migratrices amphihalines
- le nombre d’espèces marines juvéniles
- le nombre et la densité d’espèces résidentes
- la densité d’espèces benthiques
- la densité d’espèces zooplanctonophages

→ Détermination des seuils de référence

L’indicateur final est constitué de l’assemblage des 7 métriques retenues. Les scores obtenus pour chaque saison et classe de salinité ont été compilés pour avoir une note par système pour la métrique considérée, comprise entre 0 (mauvais état) et 1 (bon état). L’indicateur final est obtenu par la moyenne sans pondération des notes pour chaque métrique. Il permet de classer les systèmes en leur attribuant une note de qualité. Les figures 8 et 9 présentent les résultats obtenus pour les différents estuaires ou lagunes testés.

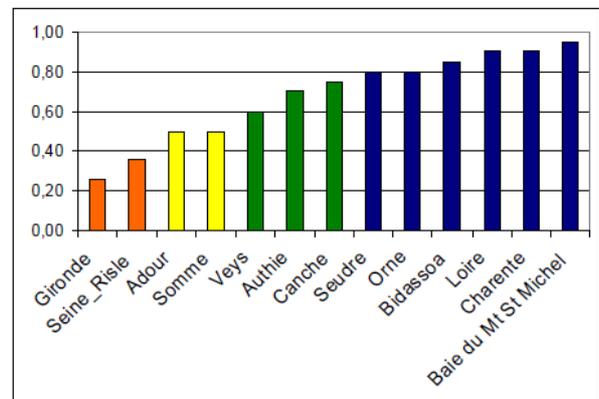


Figure 8 : Classification des estuaires selon la valeur de l’indicateur poisson.

État	mauvais	médiocre	moyen	bon	Très bon
Note finale	[0-0,20]	[0,20-0,40]	[0,40-0,60]	[0,60-0,80]	[0,80-1]
Couleur associée					

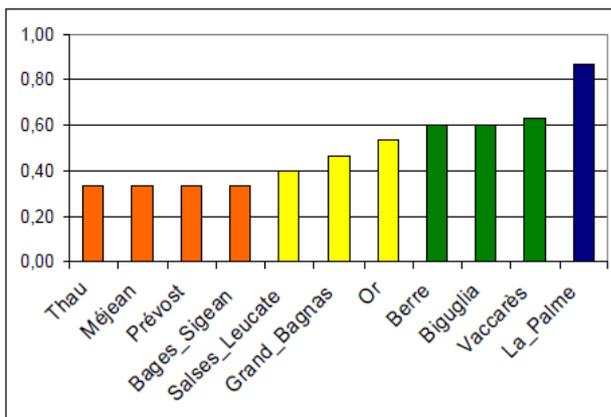


Figure 9 : Classification des lagunes selon leur note finale.

Conclusion

La construction de l'indicateur poisson s'appuie sur la quantification des pressions liées aux activités humaines affectant les masses d'eau. Cette construction présente une originalité comparée à d'autres études internationales. Les modèles de type pression-impact ont permis de déterminer de façon objective les descripteurs biologiques à retenir pour l'élaboration de l'indicateur final. **L'indicateur final est désigné par le signe ELFI (Estuarine and Lagoon Fish Index) et satisfait aux exigences de la directive-cadre sur l'eau.**

Suites

Le développement de l'indicateur poisson a été poursuivi dans le cadre du projet Liteau BEEST puis par des travaux financés par l'ONEMA. Il a ainsi pu être affiné par l'ajout de métriques supplémentaires et a été inter-calibré à l'échelle européenne. **L'indicateur, désormais opérationnel, a été défini comme l'indicateur de référence pour le compartiment « poissons » dans l'arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique au sens de la DCE.** Il est utilisé depuis 2012 dans le cadre du système national d'évaluation de l'état des eaux (S3E).

Par ailleurs, la base de données POMET est utilisée pour archiver les données issues de la surveillance ainsi que pour le calcul des métriques de l'indicateur ELFI. Cette base de données est actuellement en cours de transfert vers la base de données Quadrige 2 de l'Ifremer, où sont archivées toutes les autres données de surveillance pour les eaux littorales.

Pour en savoir plus :

[rapport scientifique](http://www1.liteau.net) sur www1.liteau.net

1.3. Vers une approche multicritères du bon état écologique des grands estuaires : enseignements du projet BEEST (2008-2011)

Coordination : Christian Lévêque (IRD, GIP Seine-Aval) et Stéphanie Moussard (GIP Seine-Aval)

Partenaires scientifiques : Irstea Bordeaux et Montpellier, universités de Bordeaux 1, Rouen, Lille 1, Nantes et Tour, Ifremer

Partenaires gestionnaires : GIP Seine-Aval, GIP Loire-Estuaire, ONEMA, Direction de l'eau et de la biodiversité (MEDDE), Agences de l'eau Adour-Garonne, Seine-Normandie, Loire-Bretagne

Le projet avait pour objectif d'aider à la mise en œuvre de la directive-cadre sur l'eau (DCE) dans les zones estuariennes en termes d'indicateurs de qualité et d'appréhension du bon état écologique des masses d'eau. Le projet était structuré autour de trois volets de recherche :

- volet 1 : contribuer à l'élaboration d'indicateurs DCE opérationnels pour les grands estuaires aménagés, notamment en réalisant une synthèse des travaux en cours à l'échelle européenne et en poursuivant les travaux sur la construction de certains indicateurs au niveau français.
- volet 2 : rechercher une vision partagée (au-delà de la communauté scientifique et technique) et opérationnelle de la notion de bon état ou de bon potentiel. Ce volet s'est appuyé sur une démarche interdisciplinaire mobilisant des sociologues, des écologues et des géographes.
- volet 3 : construire des outils destinés à aider d'une part les scientifiques à appréhender et à construire une approche interdisciplinaire du fonctionnement écologique des estuaires, et d'autre part les gestionnaires locaux à mieux appréhender la qualité écologique des milieux (état des lieux, restauration, préservation) grâce à une connaissance spatialisée des habitats écologiques et de leurs fonctions.

Les indicateurs DCE du bon potentiel écologique dans les estuaires.

Le projet BEEST a produit un **état critique des connaissances et des réflexions sur les indicateurs en cours d'élaboration à l'échelle européenne** pour les différents compartiments DCE. À l'échelle européenne, la synthèse des travaux montre qu'il **existe un seul indicateur véritablement opérationnel** en mesure de fournir un diagnostic de qualité des masses d'eaux

estuariennes : l'**indicateur poisson ELFI** (Estuarine & Lagoon Fish Index), développé dans le cadre d'un projet Liteau financé en 2005 (voir p. 18).

- **Phytoplancton**

Le développement d'indicateurs phytoplanctoniques pour les estuaires est difficile en raison de la turbidité des eaux, qui engendre une faible productivité primaire phytoplanctonique. Néanmoins, au vu de travaux menés en Belgique et en Allemagne, le projet BEEST **préconise de travailler sur la construction d'un indicateur phytoplancton** pour a minima les zones amont (d'eau douce) et aval (salines) des estuaires.

- **Flore aquatique**

En France, les travaux menés sur ce compartiment pour les eaux de transition sont peu nombreux alors que tous les autres États membres ont développé un indicateur macroalgues et/ou angiospermes*. Le **développement d'un indicateur basé sur la flore aquatique semble donc possible, voire nécessaire**, et ce, même pour les estuaires très turbides. Les principales difficultés résident dans le manque de données et de connaissances de la flore aquatique estuarienne, et sa forte variabilité spatio-temporelle.

- **Faune invertébré benthique**

Le projet BEEST présente comme prometteur l'indicateur **MISS-TW**, adaptation aux zones polyhalines* et mésosalines* des estuaires de l'indicateur MISS développé pour le bassin d'Arcachon dans le cadre du projet QuaLif (voir p. 13). D'autres démarches sont en cours à l'échelle européenne. Le projet propose quelques pistes de travail pour aider au développement d'un indicateur DCE estuarien basé sur ce compartiment.

Les indicateurs hydro-morpho-sédimentaires

Les éléments de qualité hydromorphologiques sont l'une des composantes du bon état écologique au sens de la directive-cadre, en tant qu'éléments de support à la biologie. Afin de proposer des **indicateurs hydro-morphosédimentaires (HMS)** pour les estuaires, le projet a mené une réflexion originale sur les liens fondamentaux entre le fonctionnement hydro-morpho-sédimentaire des estuaires et le développement des communautés biologiques (ichtyofaune, zoobenthos, végétation et zooplancton*). Dans des systèmes aussi dynamiques que les estuaires, le groupe de travail a préféré réfléchir en termes de tendance d'évolution plutôt qu'en termes de seuils. Il a cherché à anticiper le sens dans lequel réagira la biologie aux tendances d'évolution des paramètres HMS (favorable ou défavorable). Les

paramètres HMS ayant une influence significative sur les communautés biologiques ont été synthétisés en **6 indicateurs sensibles** (Tableau 2) qui permettent de caractériser les habitats au travers de leur structure (bathymétrie, substrats, salinité, etc.) et des facteurs qui conditionnent leur accessibilité ou leur maintien (courant, continuité, etc.). Le travail à conduire en vue d'une opérationnalisation de tels indicateurs reste important.

Deux nouveaux indicateurs basés sur le fonctionnement des écosystèmes estuariens

Le projet BEEST a également proposé le développement de **deux nouveaux indicateurs de qualité biologique** reposant sur des compartiments biologiques non considérés par la directive-cadre sur l'eau : le **zooplancton*** et le **microphytobenthos*** (diatomées et cyanobactéries constituées

en biofilms benthiques) qui occupent une place cruciale dans la chaîne alimentaire (voir plus bas).

La pertinence du développement d'un **indicateur zooplancton** est assise sur les résultats d'une enquête menée auprès d'une vingtaine de spécialistes internationaux de ce compartiment. Le zooplancton, maillon essentiel de la chaîne trophique estuarienne pélagique, présente ainsi l'avantage de réagir rapidement aux variations du milieu, de constituer des communautés semblables dans les différents estuaires, et d'être d'un échantillonnage relativement aisé.

Le **microphytobenthos** constitue une part importante de la production primaire estuarienne et constitue à ce titre un palliatif à la difficulté de développement d'un indicateur phytoplanctonique. Le projet étudie la possibilité d'un

Indicateur	Paramètre/métrique	Méthode préconisée	Périodicité du relevé	Principales tendances d'évolution « favorables » par rapport à la biologie
Étendue des zones halines	Distribution des surfaces par classes de salinité	Modélisation avec actualisation de bathymétrie et des conditions de débit fluvial	pluriannuelle (à préciser)	Variété des zones halines, importance des zones mésohalines
Surface des zones intertidales et continuité longitudinale	Bathymétrie sub et intertidale	sondages /SIG	à préciser	Conservation (a minima) ou augmentation des surfaces découvrantes. Grande attention portée sur les zones de refuge en eau permanente
Connectivité, gradients de vitesse sur l'axe de l'estuaire	Distribution des courants maximum par classe le long de l'axe estuarien	Modélisation avec actualisation bathymétrique	à préciser	Diversité des courants aussi bien latéralement que longitudinalement
Turbidité (et état d'oxygénation)	Étendue de la zone turbide	Modélisation et mesures	Continue	Maintenir le positionnement du bouchon vaseux
Faciès sédimentaires	Surface relative par type de sédiment	Cartographie sédimentaire	Pluriannuelle	Diversité des substrats pour permettre une diversité des habitats
Durée des étiages/crués	Débit fluvial, nombre de jours par classe de débit	mesures	continue	Crue : nécessaire pour un renouvellement du système favorable à la biologie Étiage : assurer un débit minimum compatible avec les besoins biologiques (migration...)

Tableau 2 : Indicateurs hydro-morpho-sédimentaires proposés par le groupe de travail HMS de BEEST pour le suivi opérationnel de l'état écologique des grands estuaires français.

indicateur basé sur ce compartiment en s'intéressant à la **colonisation de surface** sur la base de l'analyse d'images multispectrales SPOT (méthode analogue à celle développée dans le projet QuaLif, voir p. 16).

Les deux indicateurs sont des éléments très prometteurs pour comprendre le fonctionnement des écosystèmes estuariens.

Proposition d'une stratégie de surveillance pour les paramètres physico-chimiques

Par ailleurs, l'évolution des caractéristiques physico-chimiques des eaux (température, teneur en oxygène, chlorophylle a et phéopigments*, sels nutritifs, etc.) a été étudiée afin de proposer une stratégie en matière de surveillance. À défaut d'une surveillance à temps complet, idéale mais coûteuse, une stratégie intermédiaire a été proposée qui consiste à cibler la période estivale, critique du point de vue de la qualité physico-chimique. Le projet formule ainsi des **recommandations sur la fréquence d'échantillonnage ou de mesure des différents paramètres physico-chimiques**.

Du « bon potentiel » au « bon fonctionnement » écologique des estuaires : dépasser les concepts de la directive-cadre

Au sens de la DCE, l'état écologique d'une masse d'eau est défini comme « l'expression de la qualité de la structure et du fonctionnement des écosystèmes aquatiques ». Le bon état ou le bon potentiel sont définis en référence à un état peu ou pas perturbé par les activités anthropiques. Ces définitions posent, dans le cas des masses d'eau estuariennes, différents problèmes auxquels le projet BEEST a cherché à apporter des réponses.

Le bon potentiel, de quoi s'agit-il, pour qui ?

En premier lieu, les estuaires sont par nature des milieux dynamiques, qui évoluent au rythme des marées et des débits du fleuve, ce qui entraîne une forte variabilité des caractéristiques morphologiques, hydrosédimentaires, physico-chimiques et biologiques de ces zones de transition. Le bon potentiel écologique d'un estuaire repose essentiellement sur la notion de diversité (des habitats, des conditions hydrologiques et physico-chimiques), et le choix d'une référence unique et statique n'est pas scientifiquement pertinent, car elle irait à l'encontre des processus naturels agissant dans les estuaires.

Par ailleurs, les systèmes estuariens sont le résultat d'une coévolution naturelle et anthropique des milieux et des usages, construite sur un temps relativement long. Le bon potentiel ne peut donc s'évaluer indépendamment des usages, c'est-à-dire des biens et services attendus du milieu. Le projet a ainsi mené

une étude de l'appréhension et de la signification du concept de « bon état » par différents groupes sociaux (scientifiques et experts, associations environnementales, industriels, usagers), dont il ressort que **la perception sociale de la notion de bon état est basée bien plus sur des indicateurs sensibles** tels que la visibilité d'éléments naturels et l'appréciation qu'on en a (oiseaux, déchets flottants, paysages, etc.) ou la possibilité d'usages des milieux (récréation, pêche...), **que sur des indicateurs techniques tels que les éléments de qualité de la directive-cadre**.

Ces constats ont conduit les participants au projet à proposer une **définition anthropocentrique du bon potentiel, s'appuyant sur la notion de biens et services en intégrant une dimension sociale**. Le bon potentiel correspondrait ainsi à un compromis entre un état peu perturbé et les usages actuels et futurs du système que la société souhaite maintenir ou développer. En conséquence, le bon potentiel n'a pas de caractère immuable et peut évoluer en fonction de l'usage des estuaires et des besoins des différents acteurs (économiques, ludiques ou de préservation). Sa définition doit résulter d'une construction prospective qui prend en compte les attentes et revendications de la société, et ce que les incertitudes sur l'évolution des systèmes permettent de fixer raisonnablement comme objectif de gestion. Cette démarche pourrait contribuer à dépasser le clivage constaté entre les attentes des citoyens et la démarche essentiellement technique menée par les gestionnaires.

Vers un changement de paradigme ?

Les éléments de qualité biologique retenus pour l'évaluation de l'état écologique des masses d'eau se réfèrent uniquement à la structure des communautés (densité, diversité...). Or les éléments relatifs au fonctionnement ou au rôle fonctionnel des écosystèmes (production primaire, secondaire et halieutique, stockage de CO₂, épuration, etc.) sont également essentiels pour juger de l'état et de l'évolution d'un écosystème et évaluer les services qu'il procure à la société. Le projet BEEST a donc engagé une réflexion autour d'un **nouveau modèle d'évaluation de l'état des milieux estuariens, basé sur des indicateurs de fonctionnement**. Ceci suppose d'établir un lien entre la structure des écosystèmes et les processus et fonctions écologiques associés.

Dans cette perspective, le projet BEEST a retenu deux axes jugés pertinents au plan théorique et opérationnel :

- **la construction d'indicateurs reposant sur l'identification de traits fonctionnels associés à un**

compartiment biologique

Les nouveaux indicateurs relatifs au zooplancton et au microphytobenthos, décrits plus haut, s'inscrivent dans cet objectif. En effet, le zooplancton joue un rôle important dans le réseau trophique en tant que production secondaire, et constitue un lien entre production primaire et prédateurs supérieurs. Il intègre ainsi la variabilité naturelle et anthropique à différentes échelles. Le microphytobenthos quant à lui constitue jusqu'à 50% de la production primaire dans les zones estuariennes, et constitue ainsi un indicateur essentiel de la fonction de production primaire, non considéré dans la directive-cadre sur l'eau. Il semble jouer également un rôle fonctionnel vis-à-vis de la faune aviaire limicole, dont la compréhension doit être approfondie.

- le développement d'un outil basé sur le rôle fonctionnel des habitats estuariens : le système d'information géographique « Habitats fonctionnels »

Le SIG « Habitats fonctionnels »

Sur la base de paramètres hydro-morpho-sédimentaires et de caractéristiques physico-chimiques, il est apparu nécessaire de **poursuivre le développement d'indicateurs d'habitats** afin d'avoir une vision plus globale des milieux et de leur fonctionnement. L'accent a donc été mis sur le développement d'un système d'information géographique capable de cartographier les fonctions écologiques associées aux estuaires. Cet outil innovant appelé **SIG « Habitats fonctionnels »** repose sur l'existence, la disponibilité et l'accessibilité de différents types d'habitats clés nécessaires pour plusieurs espèces à une étape de leur cycle de vie.

La figure 10 présente la démarche aboutissant à une carte des habitats potentiels des espèces sélectionnées. Pour l'estuaire de la Seine, un tableau de préférences écologiques, pour chaque espèce, chaque stade écologique (adulte ou juvénile) et chaque fonction considérée (nourricerie, reproduction, etc.) est renseigné à partir de « fiches espèces », fondées sur la littérature scientifique. Dans ces tableaux, les seuils de tolérance physiologique et les gammes de préférences pour chacun des principaux paramètres de l'habitat (salinité, sédiments, bathymétrie pour les habitats aquatiques, occupation des sols pour les habitats terrestres ou intertidaux, etc.) sont indiqués. Des cartes de chacun de ces paramètres structurants ont été construites. Puis, à partir du croisement exigence écologique x facteur structurant, des cartes de potentialité d'habitat par espèces et/ou par fonction sont

générées. Ce processus est ensuite validé de façon itérative par des données d'observation et par l'avis d'experts.

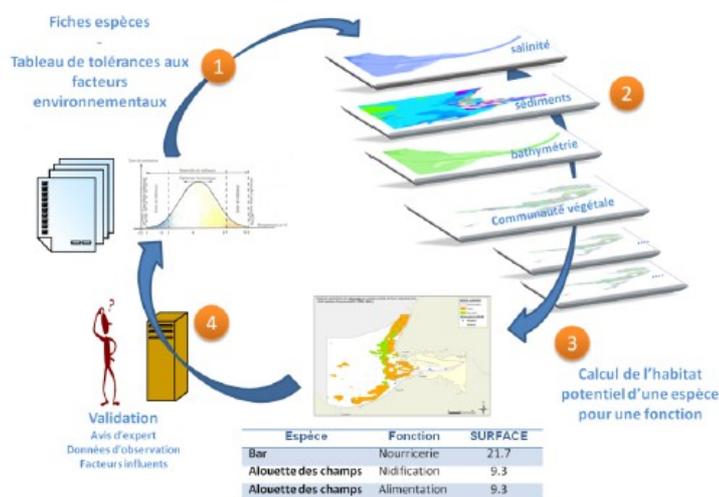


Figure 10 : Démarche de cartographie des habitats potentiels.

Les outils du SIG « Habitats fonctionnels » développés sur les trois estuaires ont permis de structurer les connaissances sur l'écologie des principales espèces et sur les facteurs environnementaux qui les influencent. En Seine et en Loire, l'outil a permis également de calculer et cartographier les évolutions au cours du temps des surfaces d'habitats fonctionnels telles que les zones de nourricerie estuarienne. C'est donc un **outil d'aide à la décision pertinent pour contribuer à évaluer les effets environnementaux que peuvent engendrer des modifications d'habitats estuariens** (clapages*, aménagements, restauration écologique, etc.).

Conclusion

Le projet BEEST a réuni des scientifiques, des institutionnels et des gestionnaires de différents territoires et de différentes disciplines autour de la question partagée de la définition et de l'évaluation du bon état des grands estuaires français.

Les comparaisons entre estuaires ont permis de formuler des recommandations sur des indicateurs applicables aux compartiments DCE (flore aquatique, phytoplancton, hydro-morpho-sédimentaires) et de proposer des pistes vers des indicateurs sur de nouveaux compartiments (zooplancton, microphytobenthos). Le projet a par ailleurs permis de progresser dans la définition des caractéristiques des habitats

nécessaires pour le maintien ou le développement de différentes fonctions écologiques, qui ont mené au développement du SIG - Habitats Fonctionnels.

La collaboration entre sciences humaines et sciences de la nature, et entre gestionnaires, institutionnels et scientifiques, a permis d'esquisser un langage commun pour aborder la question du bon état écologique des estuaires sous l'angle des fonctionnalités sans oublier les préoccupations des usagers.

Les outils et les concepts développés contribuent à une réflexion générale sur l'évolution possible de la directive-cadre sur l'eau, et apportent des éléments utiles pour d'autres réglementations environnementales telles que la directive « Habitat, Faune, Flore », la mise en œuvre de mesures compensatoires, etc.

Suites

En 2012, le projet BEEST a mené à la structuration d'un réseau inter-estuaire animé par Valérie Foussard (université de Rouen) avec un soutien financier de l'ONEMA. Sa mission consiste à poursuivre le lien, initié dans le projet BEEST, entre les institutionnels et les chercheurs, à faire émerger les enjeux et problématiques actuels de la gestion des grands estuaires et à aider au montage et à l'animation de projets de recherche et opérationnels. La réflexion sur le développement d'indicateurs se poursuit dans ce cadre, dans la continuité des pistes évoquées dans le projet BEEST.

Les pistes de réflexion avancées par le projet BEEST concernant le développement d'une méthode de télédétection du microphytobenthos, basée sur l'analyse d'images multispectrales SPOT se poursuivent dans le cadre d'un travail de thèse à l'université de Nantes.

À la suite du projet BEEST, le GIP Seine Aval, en partenariat avec AgroParisTech et la société ASCA, mène un projet de recherche-action financé par la Fondation de France, intitulé « **Vers des priorités en matière de préservation et de restauration des fonctions écologiques de l'estuaire de Seine** ». Le projet vise à définir une ligne directrice pour la restauration écologique de l'estuaire de la Seine et utilise les réflexions sur le bon potentiel écologique de l'estuaire conduites dans le cadre de l'axe 3 de BEEST. Il mobilise également l'outil SIG « Habitats Fonctionnels », dont il poursuit le développement.

Ce même outil SIG « Habitats Fonctionnels » est utilisé dans le

cadre du projet TRAJEST financé par le MEDDE suite à l'appel à projets Liteau 2012, qui porte sur les trajectoires d'évolution écologique, hydro-sédimentaire et socio-économique de l'estuaire de la Gironde et les stratégies d'adaptation envisageables dans un contexte de changement global.

Pour en savoir plus :

[rapport scientifique](#) ; [synthèse](#) sur www1.liteau.net

1.4. Méthodes de suivi et de restauration de la végétation des falaises littorales des côtes Manche-Atlantique (2006-2010)

Coordination : Frédéric Bioret, Institut de géoarchitecture, université de Bretagne occidentale

Partenaires gestionnaires : Conservatoire du littoral, communes et propriétaires privés.

Les espaces naturels du littoral Manche-Atlantique comportent des habitats d'intérêt communautaire soumis à de fortes fréquentations touristiques qui engendrent une dégradation de leurs écosystèmes. Face à la diversité des situations rencontrées sur les côtes à falaises en termes de substrats géologiques et pédologiques, de type d'habitats naturels et semi-naturels, de pression humaine et de degré d'exposition aux contraintes littorales, les gestionnaires sont demandeurs d'une **méthodologie permettant d'identifier les techniques de restauration les plus appropriées**.

Dans ce cadre, le projet s'organise autour de trois objectifs principaux :

- mettre au point une méthodologie de diagnostic de l'état de l'écosystème des falaises littorales dégradées aboutissant à l'identification de propositions de principes et de modes opératoires adaptés aux caractéristiques écologiques et au contexte socio-économique de chaque site ;
- expérimenter de nouvelles méthodes de restauration du couvert végétal ;
- identifier les méthodologies de suivi à moyen et long terme de la dynamique des milieux.

État des lieux

Un recensement des opérations de restauration des végétations des hauts de falaises a été réalisé sur l'ensemble du littoral Manche-Atlantique français, associé à une enquête auprès des structures gestionnaires concernées (collectivités, administrations, associations, etc.). Les données récoltées ont permis de dresser un panorama des opérations de restauration des végétations des hauts de falaises littorales atlantiques françaises. Les gestionnaires ont le choix entre deux méthodes de restauration. La méthode passive consiste à protéger le milieu des dégradations extérieures et à favoriser sa restauration (pose de monofils ou de ganivelles* par exemple). La deuxième méthode est dite active et consiste à réaliser des actions plus lourdes qui permettent une restauration plus

rapide (pose de filets biodégradables, terrassement, etc.). L'état des lieux a permis de montrer que **les restaurations passives (mise en défens*, clôtures hautes) sont les plus employées** par les gestionnaires tandis que les restaurations actives sont utilisées en complément. Il a également mis en évidence un **manque de suivi et d'évaluation écologique des opérations de restauration**.

Suivi et expérimentations sur des sites ateliers

Des suivis botaniques ont été mis en place sur un nombre restreint de sites ayant fait l'objet d'opérations de restauration : le Cap Fréhel, les Pointes du Raz et du Van et Belle Île. Des données acquises sur une durée allant jusqu'à 15 ans ont pu être regroupées et analysées. Un modèle dynamique de restauration fondé sur la composition floristique et le temps écoulé depuis la fin de la perturbation a été élaboré. Les différences de trajectoires de recolonisation mises en évidence semblent être liées à des variations locales (intensité de la dégradation initiale, caractéristiques du milieu). L'analyse a également montré que **les différences initiales entre une restauration passive et active tendent à s'atténuer voire à disparaître après quelques années**.

Afin de compléter la connaissance des trajectoires de restauration et d'identifier les paramètres biotiques et abiotiques qui les influencent et sur lesquels il est possible d'agir, des dispositifs expérimentaux couplés à des relevés floristiques ont été mis en place au sein des sites ateliers de la Pointe du Raz, de la Pointe du Menhir et du Cap Fréhel.

Pour comprendre les changements du couvert végétal intervenant au cours d'un processus de restauration et la capacité d'auto-régénération des sites, une étude de la « banque de graine » (stock de semences viables dans le sol) a été conduite sur le site du Cap Fréhel. Deux landes de référence (non perturbées) ont été choisies et comparées à une zone perturbée au sein de laquelle trois stades dynamiques sont étudiés (pelouse pionnière, stade prairial et lande en restauration). Il apparaît que la composition de la banque de graines des sites les plus perturbés est très dissemblable à la végétation des landes de référence. Cela implique donc que **dans le cas d'une perturbation ancienne et soutenue, la banque de graines n'est pas un réservoir pouvant servir seule à la régénération de la lande**.

Dans le but d'analyser la répartition et l'influence des contraintes littorales, le dépôt de sel et l'intensité du vent ont été suivis sur la Pointe de Pen-Hir, la Pointe du Raz et la Pointe

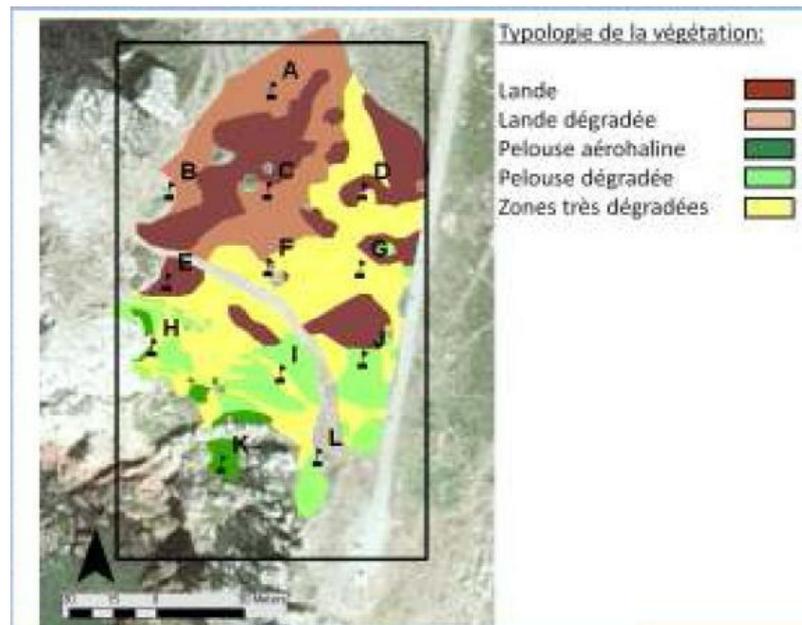


Figure 11 : Exemple de cartographie de la végétation sur la pointe de Pen Hir.

du Van. Les données ont ensuite été localisées grâce au logiciel Arcview et mises en relation avec une cartographie de la végétation (Figure 11).

Cette comparaison permet de mettre en évidence **une relation entre le type de végétation et les contraintes liées au vent ou au dépôt de sel, particulièrement importante dans la définition des écosystèmes de référence adaptés à un environnement donné.** Cela permet en particulier, lorsque la végétation est totalement détruite, de définir le type de végétation le mieux adapté aux conditions locales.

Enfin, différentes techniques de restauration (active/passive) ont été testées, seules ou en combinaison dans deux contextes d'exposition (condition exposée ou abritée), sur les sites de Pen-Hir (Presqu'île de Crozon) et de Port-Coton (Belle Île). Cette étude a permis d'obtenir une vue d'ensemble de l'efficacité des techniques testées (Tableau 3).

Le choix des méthodes doit donc tenir compte de l'état de dégradation du couvert végétal, du contexte écologique et du niveau de contraintes environnementales mais aussi des objectifs temporels (restauration rapide ou à moyen terme). La comparaison globale a permis de donner des premières indications pouvant orienter les choix de gestion.

Méthodes de suivi et d'évaluation écologique

Lors de l'inventaire mené sur le littoral Manche-Atlantique, il s'est avéré que la majorité des opérations de restauration écologique ne font pas l'objet de suivis écologiques. L'objectif principal des techniques de suivi va généralement être d'évaluer l'évolution du couvert végétal, considéré comme un indicateur de l'état de l'écosystème. Afin d'être généralisables, les méthodes utilisées doivent pouvoir être reproduites à intervalles plus ou moins réguliers avec un coût raisonnable. Les résultats doivent être facilement interprétables et compréhensibles, à la fois par les gestionnaires mais aussi par les élus, voire le grand public.

Dans un premier temps, une analyse comparative des méthodes de suivi les plus couramment utilisées, à savoir la méthode « des lignes permanentes » et celle « des relevés phytosociologiques » (étude des communautés végétales) a été mise en œuvre sur les Pointes du Raz et du Van.

Les deux méthodes apparaissent similaires en terme de sensibilité et permettent de réaliser un diagnostic du milieu au regard notamment des exigences de la directive européenne « Habitats, Faune, Flore ». Ces méthodes donnent une information fiable mais ponctuelle et ne permettent donc pas une évaluation globale de l'état ou de la dynamique de restauration d'un site.

En réponse à ces contraintes, **le projet a cherché à développer une méthode de cartographie simplifiée, puis une méthode d'analyse paysagère de la dégradation.**

Type	Techniques	Avantages	Inconvénients	Bilan
Passive	Mise en défends	Cout limité Favorable à l'installation d'une végétation locale et adaptée	Temps de restauration parfois long. Efficacité limitée si la dégradation est très forte et non maîtrisée Mise en place difficile sur substrat rocheux Acceptation parfois difficile si elle contredit les usages locaux	Méthode à privilégier dans la plupart des cas. La mise en oeuvre doit tenir compte des circuits de circulation « spontanés » existant sur le site via la réalisation d'un diagnostic de fréquentation. Doit être mis en place avant que la dégradation ne soit trop forte.
	- par systèmes bas (monoîl)	Intégration paysagère, Canalisation efficace	peut facilement être traversé, marquage symbolique	Méthode de canalisation efficace, globalement bien respectée.
	- par systèmes hauts (ganivelle)	Canalisation efficace des visiteurs	intégration paysagère	Peut être utile pour marquer fortement les aménagements.
Active	Pose de filet biodégradable	facilite germination limite l'érosion disparaît en quelques années	Cout important Impact visuel initial plus ou moins fort Efficacité moindre en conditions très exposées Enrichissement du sol ?	Méthode potentiellement efficace, en situation de retrait par rapport à la falaise, ou en pente où elle permet de limiter l'érosion. Favorise la l'implantation des espèces locales, par piégeage de graines. Protège les plantules du broutage (lapins).
	Transfert de mottes	Impact visuel immédiat	Destruction du site donneur Risque de transfert d'une végétation inadaptée Problème de survie en cas de sécheresse l'année du transfert	A limiter à de petites surfaces, pour marquer notamment la fermeture de chemins, ou revégétaliser rapidement des secteurs très dégradés ou soumis à l'érosion.
	Transfert de sol	Efficacité à court terme	Destruction du site donneur	Peut s'envisager lorsqu'un aménagement prévoit la destruction d'une surface donneuse
	Transfert de biomasse ou de litière	Efficace à moyen terme Non destructrice	doit être combiné avec la pose de filet pour éviter la dispersion par le vent mise en place lourde et coûteuse (récolte, transfert,...)	Permet d'apporter une source locale de graines et d'orienter la restauration vers le système de référence.
	Décompactation	Accélère la recolonisation	Risque de favoriser l'installation d'espèces indésirables (rudérales ou invasives) Efficacité parfois limitée sans respects de la mise en défends	En combinaison avec la pose de filet, permet une accélération des processus initiaux de recolonisation en cas de sol très fortement compacté.
	Semi (non testé)	Végétalisation rapide Effet couvre sol	Source des graines (origine géographique, cultivar) artificialisation du milieu	a éviter en dehors d'aménagements paysagers et privilégier les graines de provenance locales

Tableau 3 : Comparaison globale des méthodes de restauration de la végétation des falaises Manche-Atlantique.

L'outil cartographique mis au point, basé sur des photographies aériennes, permet à la fois de décrire la zone considérée et ses aménagements et d'analyser l'état du couvert végétal et des sols. Ces informations sont réunies au sein d'un SIG. La cartographie a d'abord été testée sur la côte sauvage de Quiberon puis reproduite avec succès sur 9 autres sites : Cap d'Erquy, Cap Fréhel, Pointe du Van, Pointe du Raz, Pointe de Pen-Hir, Port Coton et sur les sites de Pen-Men et du trou de l'Enfer.

La réalisation d'un diagnostic paysager vise à permettre une évaluation globale de la dégradation ou de la conservation des habitats naturels et semi-naturels à l'échelle d'un site. La côte sauvage de l'île de Groix a permis de tester la méthodologie. Trois séries de relevés des formes spatiales et du recouvrement des associations végétales en 1989, 2000 et 2008, ont été comparées. La zone d'étude a été subdivisée en 13 tronçons homogènes d'un point de vue géomorphologique où l'ensemble des associations végétales (syntaxons) a été relevé. Pour chaque syntaxon, différents paramètres sont renseignés.

À l'échelle de chaque tronçon, un indice paysager de dégradation est défini, qui correspond à la somme des expressions spatiales de dégradation de l'ensemble des syntaxons. Cet indice paysager peut être calculé pour l'ensemble du couvert végétal, ou calculé séparément pour les végétations non dégradées et dégradées. Il permet d'avoir une vision globale de l'état de la végétation sur un site. Cette méthode apparaît complémentaire des méthodes d'analyse fine de la végétation.

L'indice développé dans le cadre de ce projet représente un indicateur fiable de la dégradation paysagère, reproductible dans l'espace et le temps, transposable et adaptable pour le suivi de la restauration écologique.

Analyse socio-économique

Une analyse socio-économique a été réalisée sur la presqu'île de Quiberon, la Pointe du Raz et le Cap Fréhel afin d'évaluer le consentement des usagers à contribuer à la protection et à l'entretien des sites.

La méthode d'évaluation contingente, qui s'appuie sur les préférences des usagers exprimés au cours d'entretiens semi-directifs, a été utilisée. Les entretiens révèlent qu'une très grande majorité des personnes interrogées (91%) approuvent les interventions de restauration comme mode de gestion du milieu naturel. L'étude a par ailleurs permis d'estimer un consentement à payer moyen par visiteur de 1€ pour la presqu'île sauvage de Quiberon, 2,89 € pour le Cap Fréhel et 6,87 € pour la Pointe du Raz. Ces informations sont susceptibles de présenter un intérêt en vue de solliciter les usagers pour contribuer à l'effort de conservation et de restauration du littoral. Les faibles valeurs des consentements à payer moyens sont à mettre en relation avec la faible part des dépenses moyennes réalisées sur les sites et au sentiment que l'espace naturel est un bien public à la seule charge de l'État.

Suites

À la demande de certaines collectivités, le suivi à long terme de la dégradation paysagère se poursuit sur certains sites, notamment sur l'île de Groix. Sur l'île d'Ouessant, une ancienne décharge a été réhabilitée en suivant la méthodologie développée dans le cadre de ce projet.

Par ailleurs, **un guide méthodologique à destination des gestionnaires reprenant et étoffant les résultats du projet avec des fiches techniques et des présentations des milieux est en cours de finalisation et sera disponible prochainement.**

À la suite du projet, l'institut de Géoarchitecture a participé en 2008 à la création du **Réseau d'Echanges et de Valorisation en Ecologie de la Restauration (REVER)** qui a pour but d'organiser et de favoriser les relations entre gestionnaires, praticiens, étudiants et scientifiques œuvrant dans les domaines de l'écologie de la restauration et/ou de la restauration écologique. Le réseau REVER organise chaque année un colloque national ouvert à tous les acteurs de la restauration écologique (scientifiques, gestionnaires, collectivités territoriales...).

Pour en savoir plus :

[rapport scientifique](#) sur www1.liteau.net

REVER : <http://www.reseau-rever.org/>

Conclusions

La mise en œuvre des directives environnementales que sont la directive « Habitat, Faune, Flore », la directive-cadre sur l'eau, et plus récemment la directive-cadre « Stratégie pour le milieu marin » a engendré un besoin important d'outils et d'indicateurs pour l'évaluation et le suivi de l'état des milieux littoraux aquatiques et continentaux, enjeu qui constitue un axe majeur du programme Liteau depuis sa création.

Les recherches menées dans le cadre du programme Liteau entre 2003 et 2012 ont contribué à la conception et au développement scientifique d'un ensemble d'indicateurs et d'outils de suivi pouvant être utilisés au titre de la directive-cadre sur l'eau et prenant en compte la spécificité et la diversité des milieux marins, côtiers et de transition.

Ainsi, le seul indicateur actuellement utilisé réglementairement à l'échelle nationale pour évaluer l'état des masses d'eaux de transition a été développé en grande partie dans le cadre d'un projet financé par le programme Liteau en 2005. Il s'agit de l'indicateur ELFI (Estuarine and Lagoon Fish Index), basé sur le compartiment ichthyologique. Le projet a permis de proposer un indicateur fonctionnel avec une méthodologie rigoureuse et une base de données associée, qui a depuis été pris en compte dans un texte réglementaire.

Le projet Qualif a quant à lui testé l'applicabilité aux milieux littoraux semi-fermés (estuaires, lagunes) de plusieurs indicateurs existants basés sur le phytoplancton et le compartiment benthique. Ce travail a notamment permis de proposer un nouvel indicateur multi-métrique basé sur la faune invertébrée benthique, MISS (Macrobenthic Index of Sheltered Systems), utilisé de manière expérimentale au niveau du bassin d'Arcachon. En outre, Qualif a développé un outil pour le suivi des herbiers en zone intertidale par télédétection spatiale. Ces deux outils sont utilisés dans le cadre de la gestion du bassin d'Arcachon, et sont susceptibles d'être étendus à d'autres zones littorales.

Le projet BEEST a permis de faire un bilan plus large des connaissances, méthodes et outils disponibles pour la mise en œuvre de la directive-cadre sur l'eau dans les eaux de transition. Constatant le peu d'outils disponibles, BEEST a proposé des pistes de réflexion pour le développement de différents indicateurs biologiques et hydro-morpho-sédimentaires, et une stratégie de surveillance physico-chimique des milieux estuariens. Le projet BEEST a par ailleurs

conduit une réflexion d'ampleur sur la notion de « bon état » et de « bon potentiel » des eaux estuariennes, susceptible de contribuer à une évolution des concepts de la DCE. Enfin, le SIG « Habitats Fonctionnels » développé dans le cadre du projet peut constituer un outil d'aide à la décision pertinent dans le cadre d'actions conduisant à une modification des habitats estuariens (restauration écologique, mesures compensatoires, clapage, etc.).

Bien que systématiquement prise en compte dans les appels du programme, la thématique de la restauration et de la réhabilitation des écosystèmes littoraux a été moins abordée par les projets Liteau. Le projet « Bioret » sur la restauration de la végétation des falaises littorales, financé en 2005, est le principal projet ayant traité cette thématique. Outre un bilan et une analyse critique des différentes techniques de restauration existantes, directement mobilisables par les gestionnaires, le projet propose une méthode d'évaluation et de suivi de l'état de la végétation littorale basée sur un indice de dégradation paysagère et un outil cartographique utilisant des photographies aériennes. Ces outils répondent aux besoins d'évaluation préalable et de suivi de l'efficacité des actions de restauration.

Au-delà de ces outils ou recommandations issus des différents projets, il est utile de mentionner que les projets Liteau contribuent à structurer des réseaux pérennes à l'interface science-gestion. C'est en particulier le cas du réseau inter-estuaire créé dans le cadre du projet BEEST, qui conserve une dynamique forte soutenue par l'ONEMA, et qui poursuit la réflexion sur les pistes ouvertes par le projet.

Pour approfondir cette thématique, le lecteur pourra également consulter d'autres projets qui n'ont pas été abordés dans cette publication :

- **Modélisation intégrée des transferts de nutriments depuis les bassins versants de la Seine, la Somme et l'Escaut jusqu'en Manche-Mer du Nord** (2004-2007, coord. Alain Lefebvre, Ifremer)

> Ce projet est présenté dans la partie III au titre des « outils » de la gestion intégrée de la mer et du littoral (voir p. 72). Basé sur un modèle numérique d'export de nutriments depuis les bassins versants vers la Manche et la Mer du Nord, couplé à un modèle d'efflorescence phytoplanctonique dans les eaux côtières, le projet a également obtenu des résultats utiles à la mise en œuvre de la DCE. En particulier, les

modélisations ont permis de reconstituer un état historique de référence de la zone côtière pour les problématiques d'eutrophisation, et le projet a proposé un indice de risque d'eutrophisation en zone côtière.

- **Évaluation de l'état écologique des milieux côtiers et des effets anthropiques associés : mise en place d'une méthode basée sur les relations bernaches-zostères dans le golfe du Morbihan** (2004-2007, coord. Hervé Fritz, CNRS – CEBC)

> Dans le contexte de la mise en œuvre de la directive-cadre sur l'eau, l'objectif principal de ce projet était de tester la possibilité d'utiliser le comportement et la distribution spatiale des bernaches (*Branta bernicla bernicla*) comme indicateur simple et peu onéreux de l'état des herbiers de zostères (*Zostera noltii* et *Zostera marina*). Les résultats suggèrent que les populations de bernaches peuvent constituer un indicateur de l'évolution de la surface et de la biomasse de feuilles vertes d'un herbier de zostères, avec certaines limites.

Retrouvez le [rapport scientifique](http://www1.liteau.net) sur www1.liteau.net

- **FHUVEL** (2009-2014, coord. Thierry Tatoni, IMBE et Lidwine Le Mire-Pêcheux, Parc des Calanques) : **Caractérisation de la fréquentation littorale et détermination d'indicateurs de vulnérabilité écologique pour définir des modes de gestion durable du parc national des Calanques**

> Le projet FHUVEL a pour objectif d'apporter des outils pour la gestion du Parc national des Calanques, un patrimoine naturel littoral soumis à de fortes pressions anthropiques. Il définit des indicateurs biologiques et socio-économiques caractérisant la vulnérabilité de différents habitats emblématiques ainsi que la localisation, l'intensité et les représentations associées à plusieurs activités touristiques. Les résultats permettent de proposer pour chaque site étudié un modèle de développement durable, comprenant des actions et mesures permettant d'adapter les politiques de gestion, de réguler la fréquentation et de hiérarchiser les priorités de conservation ou de restauration.

[Plus d'informations](http://www1.liteau.net) sur www1.liteau.net

- **TRAJEST** (2012, coord. Jérémy Lobry, Irstea) : **Trajectoires fonctionnelles d'un grand écosystème estuarien, la Gironde**

> En cours de réalisation, le projet vise à décrire les trajectoires passées et les évolutions futures possibles de l'estuaire de la Gironde au plan écologique, hydro-morpho-sédimentaire et socio-économique. Il poursuit notamment le développement du SIG « Habitats fonctionnels » et la réflexion engagée par le projet BEEST sur la prise en compte du caractère évolutif des

systemes estuariens.

[Plus d'informations](http://www1.liteau.net) sur www1.liteau.net

Partie 2 – Risques côtiers : caractérisation et solutions de gestion

Introduction

À la rencontre entre la terre et la mer, le littoral est un espace en constante évolution, sculpté par les éléments naturels, le vent, la houle, les courants et les dynamiques géographiques continentales autant que par les actions des hommes. L'érosion littorale, l'influence éolienne et la dynamique hydrosédimentaire engendrent une mobilité naturelle du trait de côte à différentes échelles de temps. Recul du trait de côte, tempêtes, submersions marines ou mobilité dunaire sont autant d'aléas* naturels auxquels sont soumises les zones côtières*.

La littoralisation des activités humaines, qui s'accélère depuis les années 1950, engendre un accroissement de la population, des usages, des activités et des biens exposés à ces aléas littoraux. L'« aléa* » peut engendrer de fait un « risque » (défini comme l'ensemble des pertes possibles de personnes et de biens pouvant être provoqué par les aléas dans une région littorale pour une période de référence). La gravité de ces risques dépend donc des personnes et des biens pouvant être affectés, de leur degré de vulnérabilité* et de leur exposition à l'aléa (Projet ANCORIM, 2011). L'augmentation de la vulnérabilité des territoires littoraux, en raison notamment de la dégradation des milieux naturels à l'interface terre-mer, de la perturbation de la dynamique hydrosédimentaire par les activités humaines et les aménagements côtiers, des impacts du changement climatique, a conduit à faire de la prise en compte des phénomènes naturels et des risques littoraux associés un enjeu de gestion particulièrement fort.

La nécessité de protéger les territoires littoraux s'est traduite depuis le 19e siècle par une volonté de fixer le trait de côte au travers d'aménagements lourds : ouvrages de « défense » ou de « lutte contre la mer ». L'impact de ces infrastructures sur l'environnement, le paysage et la dynamique hydrosédimentaire, leur inefficacité, leur coût important ont conduit à l'émergence de techniques de génie écologique (techniques dites « douces » ou « souples »), plus respectueuses de la dynamique naturelle et plus réversibles : rééquilibrage sédimentaire, gestion des milieux dunaires, restauration de la végétation, limitation de la fréquentation touristique, actions de prévention pour la conservation des milieux, etc.

Là où le recul est inéluctable, et face à l'importance des aléas,

inévitables accentués par les impacts du changement climatique, il s'agit de planifier dès maintenant et de préparer les acteurs à la mise en œuvre de la relocalisation à long terme des activités et des biens exposés aux risques littoraux, dans une perspective de recomposition de la frange littorale, et ce même si des mesures transitoires sont mises en œuvre. Il s'agit donc notamment d'anticiper les aménagements des territoires littoraux, de les adapter au mieux aux phénomènes naturels et de préserver ou restaurer le fonctionnement des écosystèmes littoraux, dans l'objectif de reconstituer des zones d'atténuation, comme le préconise la stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte.

Quelles que soient les solutions de gestion des espaces naturels littoraux et leurs aménagements, les besoins des gestionnaires en termes d'appui scientifique et technique sont forts (Basilico et al., 2011). Les questions posées à la recherche portent particulièrement sur l'amélioration de la connaissance des aléas et des phénomènes à leur origine (évolution du niveau de la mer, suivi de la mobilité du trait de côte, impact des aménagements sur la dynamique hydrosédimentaire, etc.), la proposition d'outils d'analyse et de prévision des risques (modélisation régionalisée, analyse des facteurs de vulnérabilité des sites...), la proposition de solutions de gestion nouvelles et d'outils d'aide à la décision (restauration de milieux naturels dégradés, conception, dimensionnement et tests d'ouvrages ou promotion de techniques de génie écologique...), l'évaluation des pratiques et méthodes pour une meilleure prise en compte des problématiques environnementales dans les aménagements littoraux, les démarches de planification et les documents d'urbanisme.

La problématique des risques littoraux a été abordée en tant que telle dans les appels à propositions de recherche Liteau seulement à partir de 2007. Sur la période considérée, **Liteau s'est particulièrement intéressé à certaines techniques de génie écologique liées à la gestion littorale (« gestion douce »)**, au travers de questionnements sur les méthodes de suivi et de restauration des milieux littoraux altérés ou l'analyse des systèmes dynamiques hydrosédimentaires. Deux projets sont présentés dans ce chapitre :

- **Le projet Multidune visait à développer un outil de diagnostic de l'état du cordon dunaire littoral**, qui constitue lorsqu'il est en bon état un rempart par rapport

au risque de submersion marine et une réserve de sable permettant d'alimenter les plages lorsqu'elles sont érodées. Les dunes offrent en outre des paysages de haute valeur patrimoniale et abritent une biodiversité spécifique. Le maintien de ce potentiel suppose des actions de restauration ponctuelles, qui doivent reposer sur un diagnostic préalable de l'état du milieu. Multidune a ainsi développé des indicateurs opérationnels de l'état de conservation des massifs dunaires de l'île de Noirmoutier du point de vue de la protection contre le risque de submersion marine et du point de vue du maintien de la biodiversité.

- **Le projet « Certain » s'est lui intéressé à une technique de protection littorale et de gestion intégrée du trait de côte face à l'érosion des plages : les rechargements sédimentaires d'avant-côte.** Il analyse différentes stratégies de rechargement du point de vue de leur efficacité physique et de leur coût et tente d'en évaluer l'impact sur les environnements benthiques.

Aux impacts des aléas physiques naturels s'ajoutent les activités humaines en milieu côtier, les pollutions maritimes et telluriques*, l'introduction d'espèces invasives* par l'intermédiaire notamment du transport maritime et des activités aquacoles, qui engendrent de nombreuses perturbations des écosystèmes marins. Les proliférations d'espèces invasives, les efflorescences* de phytoplancton toxique ou les pollutions émergentes constituent des risques pour de nombreuses activités économiques, mais également dans certains cas pour la santé humaine.

Pour les risques sanitaires et environnementaux émergents, le principal enjeu pour la recherche porte sur le développement des connaissances : caractérisation de l'aléa et compréhension de ses origines, analyse de l'exposition au risque des socio-écosystèmes littoraux, compréhension des conséquences écologiques, économiques et sociales.

Le programme Liteau a cherché à sélectionner des projets innovants, capables d'apporter les connaissances indispensables à l'action publique :

- **Le projet « Étude de la contamination des estuaires de la Seine, de la Gironde et de l'Adour par les substances pharmaceutiques »**, soutenu par LITEAU en 2003, constitue ainsi un exemple de recherche sur un enjeu émergent, alors peu ou pas appréhendé par

l'action publique.

- **Le projet MediOs 2 visait à acquérir des connaissances sur les phénomènes de prolifération des microalgues tropicales du genre *Ostreopsis*** ainsi que leurs conséquences socio-économiques, afin de constituer un support d'aide à la décision. Ces microalgues qui se développent en Méditerranée depuis une vingtaine d'années produisent en effet des toxines toxiques par inhalation, ingestion ou simple contact cutané.
- **Le projet PROGIG a effectué le premier diagnostic précis de la prolifération de l'huître creuse du Pacifique *Crassostrea gigas* sur le littoral atlantique**, ainsi que de ses conséquences sur la biodiversité et les activités littorales.

2.1. Deux projets en appui à la gestion « douce » du trait de côte et des risques littoraux

2.1.1. Aide à la gestion des dunes littorales atlantiques par l'évaluation cartographiée de leur état de conservation : le projet Multidune (2007-2012)

Coordination : Françoise Debaine, GEOLITOMER (Univ. Nantes)
Partenaires scientifiques : université de Rennes 1 (UMR ECOBIO)
Partenaire gestionnaire : Office National des forêts (ONF).

Les dunes littorales constituent une barrière naturelle de protection contre la submersion marine, assurent l'alimentation en sable des plages et constituent un habitat naturel pour de nombreuses espèces animales et végétales. Les actions de préservation et de restauration des cordons dunaires, nécessaires à la prévention des risques littoraux et à la conservation de la biodiversité, doivent s'appuyer sur une évaluation préalable de leur état.

Le projet Multidune visait à proposer une méthode de diagnostic opérationnelle et fiable de l'état des dunes littorales, au regard des divers services attendus de ces milieux : protection contre les risques littoraux et maintien d'une biodiversité patrimoniale.



Figure 12 : Le massif dunaire de Noirmoutier (85) d'après le référentiel BRGM.

Méthodes

Le projet a réalisé, au total, 316 relevés de végétation sur quatre sites (voir Figure 12) mais n'a retenu qu'une seule zone test pour mener son étude complète : le massif dunaire de l'île de Noirmoutier. Afin d'obtenir un système opérationnel de description et d'analyse multi-scalaire, le cordon dunaire a été décomposé en unités d'observations correspondant à l'échelle de gestion de l'ONF (50 m de large sur 500 m de profondeur à partir du trait de côte, Figure 13).

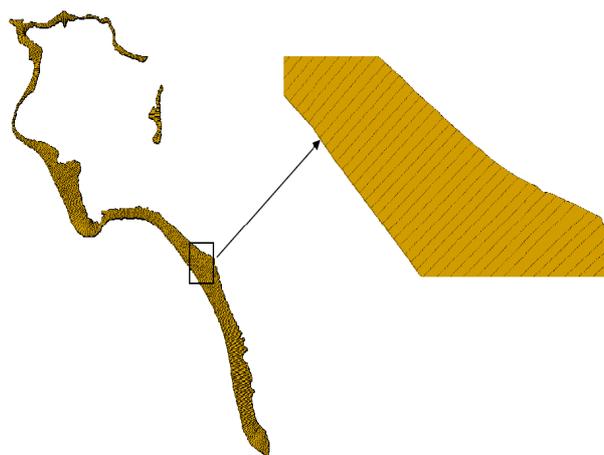


Figure 13 : Unités d'observation (50*500m maximum). Intégration et cartographie de l'information.

Le projet a choisi de mener une étude en fonction des services attendus des cordons dunaires : le service « protection » et le service « biodiversité ». Les informations recueillies ont été synthétisées en indicateurs d'état localisés, définis sur la base d'une hiérarchisation des enjeux établie en partenariat avec les gestionnaires.

Service Protection

Le service « protection » est constitué par trois composantes :

- protection contre le risque de submersion (rôle de « digue » de la dune)
- Modération de l'érosion marine
- Protection des biens et des personnes contre le risque d'ensablement

Les pratiques de gestion doivent favoriser ainsi l'expression de cette fonction naturelle de protection vis-à-vis des arrière pays de basse altitude en permettant aux dunes d'amortir souplement l'énergie marine et d'apporter un soutien au budget sédimentaire (réalimentation de la plage après les tempêtes, ce qui contribue aussi à dissiper l'énergie des vagues et diminuer leur pouvoir d'érosion).

L'évaluation du service « protection » est fondée sur l'analyse de **dix variables issues de données Lidar, de photographies aériennes et d'observations satellitaires** : altitude moyenne, volume de sable, cuvettes de déflation actives, rides et pics, évolution du trait de côte depuis 50 ans, présence de défenses côtières, taux de recouvrement végétal, largeur de la dune blanche*. **Deux variables de vulnérabilité** y sont associées : la distance urbanisation – trait de côte et la surface urbanisée.

L'indicateur est construit par synthèse de ces variables au niveau des unités d'observation. Cette approche détaillée de l'état de chaque segment dunaire permet au gestionnaire de cibler facilement les zones de déficience du service. Un zoom à une échelle fine, celles des variables ayant servi à la construction du diagnostic, permet de pointer les paramètres responsables de la dégradation du service « protection ».

Exemple des caoudeyres :

La dimension, la densité et le degré de fonctionnalité des caoudeyres (ou cuvettes de déflation active) sont des géo-indicateurs du degré d'éolisation du massif ainsi que du degré de fragilité au regard de l'érosion marine. C'est aussi un indicateur de la perméabilité du massif au regard de la submersion.

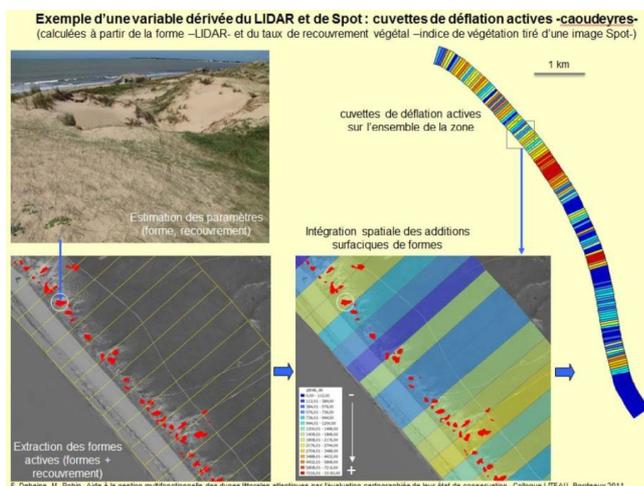


Figure 14 : Intégration de la variable « surfaces de caoudeyres » (ou cuvettes de déflation actives) au sein des unités d'observation.

Cet exemple (Fig. 14) a permis de cerner au plus près la volumétrie des caoudeyres, d'estimer leur densité et d'évaluer leur degré d'activité (taux de recouvrement végétal). Le gestionnaire peut ainsi agir à deux niveaux : à l'échelle globale en ayant une vision de la densité des caoudeyres pour attirer l'attention sur les secteurs fragiles, et à une échelle plus fine

pour cibler les caoudeyres à traiter selon leur volume et leur degré d'activité.

Service Biodiversité

Actuellement protégées dans le cadre de la directive européenne « Habitats », les dunes littorales ont fait l'objet de nombreux inventaires (relevés phytosociologiques, ZNIEFF), qui révèlent leur intérêt majeur sur le plan écologique en termes de biodiversité tant au niveau des habitats que de celui des espèces. Sur les quelques 400 taxons vasculaires exclusivement littoraux en France (environ 10% de la flore française totale) on peut considérer que quelques 150 espèces sont préférentiellement dunaires et 60 le sont exclusivement. Sur ce nombre, plus d'une vingtaine sont rares, menacées ou en forte régression.

La préservation de ces habitats est une nécessité au regard des objectifs des politiques de conservation de la biodiversité. Cependant, il n'existe pas actuellement d'outil opérationnel de diagnostic et de mesure des enjeux permettant des évaluations objectives, quantifiables et comparables à l'échelle des habitats sur les milieux dunaires.

L'évaluation du service « biodiversité » a donc été menée à travers l'**estimation du niveau d'artificialisation des dunes** et la **caractérisation des habitats**, évalués sur la base d'**orthophotographies aériennes, de télédétection hyperspectrale et de relevés de terrain**. Pour fonder un état du milieu pertinent, le service biodiversité a été séparé en deux composantes : **biodiversité et naturalité (ou degré d'artificialisation)**.

Biodiversité

L'évaluation de la biodiversité a été menée à travers une caractérisation de la végétation, révélateur très précis des conditions du milieu en particulier dans les milieux à fortes contraintes comme les dunes littorales. Il est possible d'analyser par télédétection la composante spatiale de la végétation (surface, structure) et sa dynamique à différents niveaux : habitat, faciès et espèce.

S'agissant de l'**habitat**, la typologie retenue est celle du manuel d'interprétation des habitats de l'Union européenne EUR 27 (2007). Après délimitation des différentes unités topographiques, la superficie de chacun des habitats au sein de ces unités a été évaluée.

Le « **faciès** » correspond à un second niveau de segmentation.

Il s'agit de caractériser la végétation selon deux critères : le recouvrement et la composition floristique. Le recouvrement végétal est un indicateur de la stabilité du substrat permettant de mettre en évidence les zones d'érosion dunaire. La composition floristique permet de caractériser le stade d'évolution de l'habitat et ainsi de connaître la dynamique régressive ou progressive de la dune. Sur ce plan, ce sont les écarts à la référence qu'il est intéressant de mettre en évidence.

Pour la variable « espèce », trois types d'espèces ont été étudiés : les espèces rares ou protégées, les espèces invasives* et le cas particulier du pin maritime, espèce pionnière indigène dans le sud du littoral atlantique dont la propagation est à surveiller.

Naturalité

La naturalité est un paramètre complémentaire de la biodiversité pour juger de la qualité écologique d'un milieu. En effet, elle permet d'appréhender les enjeux de conservation et de mettre en évidence l'origine des perturbations pour anticiper leurs effets. Elle peut être estimée en fonction de l'influence des activités humaines sur l'évolution du milieu naturel.

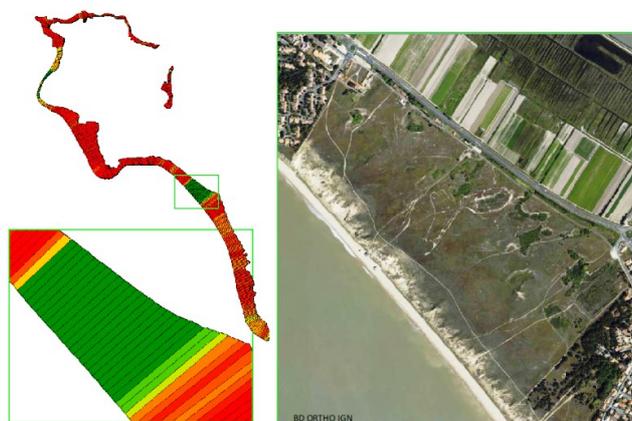


Figure 15 : Gradient de naturalité sur le massif dunaire de Noirmoutier. La dune de Tesson montre un secteur à forte naturalité, ce que confirme l'orthophotographie aérienne en montrant une zone peu urbanisée.

Les activités humaines sont responsables de l'artificialisation du milieu dunaire. Elles ont été classées en trois catégories : artificialisation du substrat (bâtiments, réseau routier, espaces verts non agricoles, etc.), artificialisation du cortège floristique (surfaces agricoles, forêts, espaces verts urbains) et artificialisation induite par la fréquentation (chemins, circuits de moto-cross). Un critère de fragmentation, correspondant à la distance minimale des bâtiments au trait de côte au sein des unités d'observation, a été ajouté dans le diagnostic. Ce critère

permet de connaître les éléments qui ont été isolés par l'artificialisation du milieu dunaire.

L'addition des différents critères d'artificialisation met en évidence un gradient de naturalité (Fig. 15).

Conclusion

Le projet Multidune propose un **outil de diagnostic synthétique de l'état des dunes littorales, spatialisé et multi-services, adapté aux enjeux de chaque site d'étude potentiel**. L'intervention du gestionnaire est facilitée par cette vision synoptique des services et de leur déficience éventuelle qui, mise en relation avec les enjeux sociétaux, permet d'optimiser les interventions.

La large disponibilité des données aériennes et satellitaires nécessaires sur le littoral métropolitain permet d'envisager l'application de l'outil à d'autres sites d'étude.

Suites

La méthode de la partie évaluation du service Protection a été affinée sur plusieurs niveaux notamment par l'ajout de deux variables tenant compte de la typologie et de la piézométrie au niveau du contact plage/dune. Ce système adapté de l'outil Multidune est déployé par l'observatoire du littoral de la communauté de communes Océan-Marais de Monts, en vue de contribuer à la programmation technique et budgétaire des projets de préservation et de restauration du cordon dunaire.

Le test de l'outil sur d'autres zones d'étude est envisagé dans le cadre du SOERE (Système d'Observation et d'Expérimentation au long terme pour la Recherche en Environnement) « Trait de côte, aménagements littoraux », soutenu par l'Alliance nationale de recherche pour l'environnement (ALLEnvi).

Enfin, l'automatisation de l'outil de diagnostic à partir des données existantes, préalable indispensable à son extension à d'autres façades maritimes, est en cours d'étude dans le cadre du projet DIDUNE, financé en 2012 par la Fondation de France en partenariat avec l'ONF.

Pour en savoir plus :

[Rapport scientifique sur www1.liteau.net](http://www1.liteau.net)

2.1.2. Les rechargements sédimentaires d'avant-côte, une nouvelle méthode de lutte contre l'érosion côtière (2006-2009)

Coordination : Raphaël Certain, université de Perpignan Via Domitia (CEFREM).

Partenaires scientifiques : Institut de mécanique des fluides de Toulouse (IMFT), Laboratoire des écoulements géophysiques & industriels (LEGI), Observatoire océanographique de Banyuls, CREOCEAN, SOGREAH Ingénierie.

Partenaires gestionnaires : Communauté d'agglomération du bassin de Thau, DREAL Languedoc-Roussillon, SIVOM Leucate/Barcarès, Conseil général de l'Hérault.

En 2002, les orientations stratégiques pour la gestion de l'érosion, élaborées à la demande de la Mission Interministérielle d'Aménagement du Littoral, ont défini les secteurs sur lesquels l'artificialisation du trait de côte n'était pas envisageable. Sur ces secteurs, les rechargements de plages apparaissent comme une des solutions pour lutter contre l'érosion marine. La méthode de restauration la plus courante consiste à recharger en sable la plage émergée. Cette méthode est limitée par le respect de la granulométrie fine des plages. Une méthode alternative consiste à recharger directement les petits fonds à proximité des plages, d'une granulométrie plus grossière, plus compatible avec les gisements de sédiments existants. C'est l'option retenue par la présente recherche.

Le projet visait à **réaliser une étude intégrée préalable à l'utilisation des rechargements sédimentaires d'avant-côte pour lutter contre l'érosion marine sur le littoral méditerranéen.**

Méthode

Les résultats d'un projet antérieur, déjà financé par le programme Liteau, suggéraient que **les rechargements réalisés sur la barre externe* ou en création d'une barre surnuméraire*** (voir Fig. 20) **étaient plus efficaces et financièrement plus avantageux que les rechargements de plage.** Cette méthode dite « douce » présente plusieurs avantages : un coût limité par la réduction du transport du matériel de rechargement, une utilisation de matériel granulométrique favorable, pas d'impact paysager et un respect de l'environnement. Elle représente une alternative intéressante pour les gestionnaires à la recherche de modes de gestion de l'érosion plus respectueux de l'environnement.

La méthode d'action étant connue, le projet **a consisté à**

développer différents scénarios de rechargement dans des environnements réels, et à **tester ces scénarios par l'intermédiaire de modèles numériques et de modélisations en canal à sédiment.** Un certain nombre de scénarios ont donc été testés sous différentes conditions hydrodynamiques. Afin d'évaluer l'impact sur l'écosystème côtier benthique de tels rechargements, deux sites pilotes subissant une érosion chronique ont été étudiés : la plage de la Corniche à Sète (Hérault) et celle de Leucate (Aude). Ces sites ont permis non seulement de confronter les résultats numériques à la réalité mais aussi d'étudier l'impact des rechargements sur la faune marine des sites.

Le projet est constitué de trois volets :

- une étude de terrain sur les impacts écologiques sur le benthos des opérations de rechargement ;
- des tests de scénarios de rechargement s'appuyant sur des modélisations numérique et physique de la dynamique et de la morphologie des plages et de l'avant-côte ;
- une analyse de la faisabilité économique des scénarios retenus.

Résultats

→ Impact sur le benthos

Un travail de terrain a permis de collecter des données sur la dynamique sédimentaire des sites de Sète et de Leucate et sur l'état de leurs communautés benthiques. Une synthèse bibliographique sur les impacts des opérations de dragages et du rechargement d'avant-côte a été réalisée. Elle met en évidence **un impact immédiat et important des rechargements sur les peuplements benthiques des petits fonds sableux. Cependant, au regard de la faible diversité naturelle de ces sites et de leur recolonisation rapide, l'impact à long terme est relativement réduit.** Le problème se pose davantage pour les espèces commerciales comme les donax (*Donax trunculus*), exploitées par les pêcheurs à pied. **L'étude a permis de proposer une méthodologie adaptée d'évaluation des impacts des rechargements sous-marins sur les populations benthiques.**

→ Modélisation numérique

Des modèles morphodynamiques* ont été utilisés afin d'estimer l'efficacité et la durabilité d'un rechargement d'avant-côte sableuse. Ces modèles nécessitent des données telles que le profil de plage et les caractéristiques de houle au large. À partir des profils de plage, plusieurs types de rechargement sont envisagés : le rechargement des barres

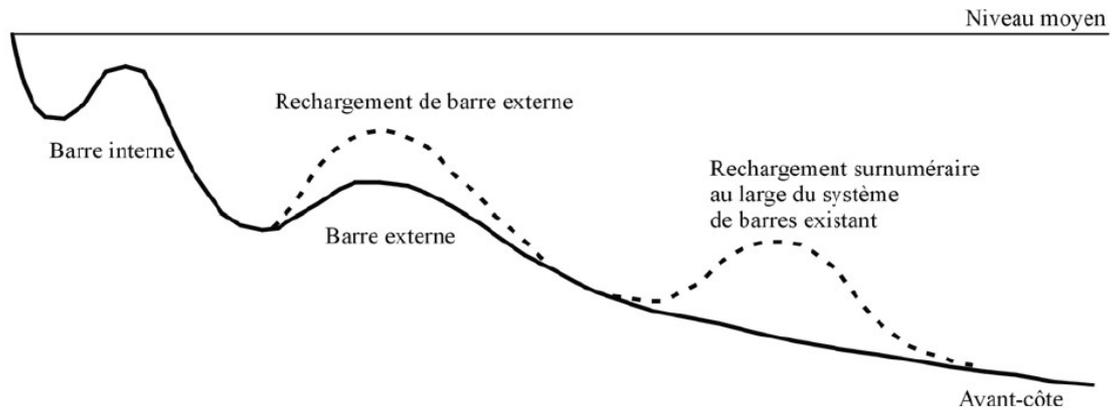


Figure 16 : Modalités de rechargements d'avant-côte envisagées, représentées en pointillés sur le profil d'origine naturel représenté en trait plein.

sédimentaires existantes et/ou la création d'une barre littorale supplémentaire au large des barres existantes (Figure 16). La majorité de l'érosion de la côte survient lors des tempêtes, c'est pourquoi l'étude numérique se fait à l'échelle typique d'une tempête qui est de l'ordre d'une journée.

Trois modèles numériques capables de simuler l'évolution à court terme d'un profil de plage, dans des conditions hydrodynamiques de moyenne et forte houle ont été utilisés : le modèle MODHYS (2DV) développé par l'IMFT, ainsi que les deux modèles hydrodynamiques du système Télémac employé par le LEGI (Multi-1DH et 2DH). Ces modèles ont été mobilisés ici pour **analyser les bénéfices vis-à-vis de l'érosion du littoral résultant d'une modification des profils de plage par rechargement**. Les trois modèles ont été appliqués aux sites de Sète et de Leucate, avec des résultats globalement convergents.

La figure 17 montre les résultats d'une simulation de l'évolution sur 24h du profil sédimentaire à Sète, pour une tempête exceptionnelle. En cas de création d'une barre artificielle au large de la barre externe, les barres interne et externe apparaissent érodées mais leurs positions restent stables. Le sable déplacé vers le large est arrêté par la nouvelle barre. En cas de rechargement de la barre externe, la barre interne comme la barre externe sont également érodées. L'ampleur de ces érosions reste cependant modérée puisque les barres ne subissent pas de modifications importantes de leur forme ou de leur position. Dans les deux cas, le profil de la plage n'est pas affecté. **La création d'une barre surnuméraire ou le rechargement de la barre externe apparaissent donc comme deux options efficaces pour lutter contre l'érosion des plages.**

Il ressort de l'étude que les **rechargements de barres externes sont les plus efficaces pour des conditions de tempête classique**. Le fait de créer une troisième barre surnuméraire au large n'a un effet important que lors des phases de tempêtes exceptionnelles.

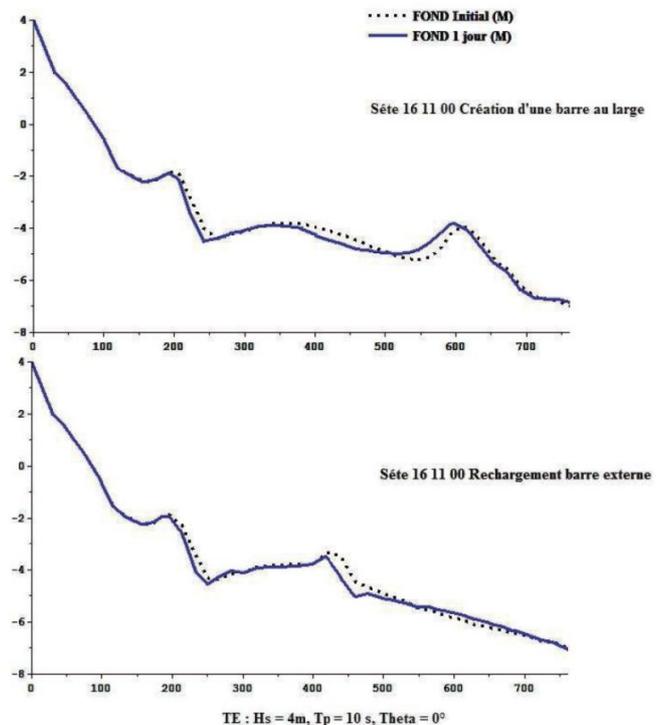


Figure 17 : Influence d'une tempête exceptionnelle sur la bathymétrie du 16/11/2000 à Sète avec un rechargement sur la barre externe et création d'une barre au large (modèle Multi-1DH, simulation de 24h).

Afin d'assurer la pérennité de l'outil et rendre son utilisation possible par les gestionnaires, le modèle MODHYS a été « industrialisé » et des manuels d'utilisation ont été rédigés.

→ Le modèle physique

Ce travail a été mené en collaboration avec le programme Interreg IIIIC Beachmed-e porté par le Conseil Général de l'Hérault, qui visait à connaître la dynamique des plages sableuses en environnement microtidal de type méditerranéen.

À partir d'un profil d'équilibre et en respectant les conditions de similitude avec le milieu naturel, plusieurs rechargements en sédiments d'avant-côte ont été simulés dans le canal à fond sédimentaire du LEGI. Deux séries d'expériences ont été réalisées.

→ **Expérience 1** : La première expérience visait à tester un rechargement sur le revers de la barre interne afin de reconstituer une berme* érodée.

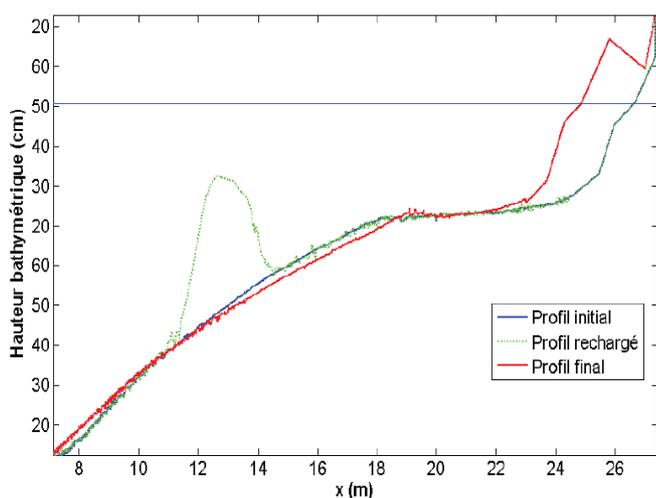


Figure 18 : Profils d'équilibre avant et après rechargement

La figure 18 montre qu'un climat de houle moyenne fait tendre la bathymétrie vers un profil d'équilibre. **La quasi-totalité du sédiment rechargé au large de la zone de déferlement est venue se coller à la berme* en pied de plage et a ainsi compensé son érosion. Les résultats sont donc encourageants.**

→ **Expérience 2** : La deuxième expérience a consisté à étudier l'efficacité de la position du rechargement au travers de trois cas : dans la fosse de la barre externe, sur la barre externe et au niveau de la zone interne, en discrétisant les phases de

montant* et de tombant* de la tempête.

Les rechargements dans la fosse et sur la barre externe enrichissent cette barre et augmentent le déferlement des plus grosses vagues à son passage, permettant une reconstruction plus efficace de la berme lors d'une houle modérée (et une érosion moins importante avec une houle forte). Lors d'un rechargement au niveau de la zone interne, il n'y a pas de modification de la morphologie de la barre externe mais une très nette accretion de sédiment sur le haut de plage est observée.

En outre, le rechargement de la barre externe a un effet positif sur l'évolution du trait de côte, qui ne recule pas lors d'une phase de tempête grâce à l'effet « brise-lame » de la barre externe. C'est pendant la phase de tombant de tempête que la plage récupère ce qu'elle a perdu lors du montant de tempête avec un bilan qui peut être positif.

Ces résultats illustrent la **bonne efficacité des rechargements d'avant-côte d'un point de vue expérimental** et montrent la nécessité de bien prendre en compte la phase de tombant de tempête.

→ Comparaison des modèles

Les modèles numériques simulent bien l'érosion, tout en la sur-estimant dans certains cas. À l'inverse, le modèle physique reproduit bien les phases d'accrétion et d'engraissement de la plage, mais il est plutôt adapté à des situations de tempête « classique ». L'approche croisée permet de diagnostiquer le principal point de divergence des réponses des deux approches de simulation : pour les modèles numériques la tempête est mal discrétisée et le temps de tombant minoré, alors que la phase de tombant de tempête est clairement identifiée dans le modèle en canal comme le seul moment du retour du sable vers la côte.

Dans les deux cas, il est nécessaire d'utiliser des modèles qui simulent l'évolution des systèmes sur des temps longs.

Estimation des coûts

Il s'agissait d'établir la faisabilité technique et les coûts associés aux opérations de rechargements. Le site de Leucate a été pris comme exemple afin d'obtenir des éléments chiffrés. Un rechargement de la barre externe et la création d'une barre surnuméraire ont été testés.

Les volumes à apporter par mètre de littoral sont de 145 m³ pour un rechargement de la barre externe, 290 m³ pour une

barre surnuméraire et de 435 m³ si on additionne les deux solutions. L'estimation des coûts a été réalisée selon trois hypothèses relatives au linéaire de littoral concerné par le rechargement (Tableau 4).

Solution	Volume (m ³) à apporter		
	Hypothèse 1	Hypothèse 2	Hypothèse 3
Barre externe	145 000	290 000	435 000
Barre surnuméraire	290 000	580 000	870 000
Barre externe + barre surnuméraire	435 000	870 000	1 305 000

Tableau 4 : Volumes de sable à apporter sous différentes hypothèses de longueur de linéaire à recharger. Hypothèse 1 = linéaire de littoral de 1000 m ; hypothèse 2 = 2000 m ; hypothèse 3 = 3000 m.

Le rechargement est effectué par moyens maritimes à l'aide d'une drague aspiratrice en marche (Figure 19). Cette drague hydraulique aspire le sédiment grâce à une pompe centrifuge. Plusieurs techniques sont disponibles pour la mise en place des matériaux : le clapage, le rejet à l'aide d'un canon ou bien le refoulement à l'aide d'une canalisation. La procédure retenue dépend de la profondeur à laquelle il faut déposer les matériaux.

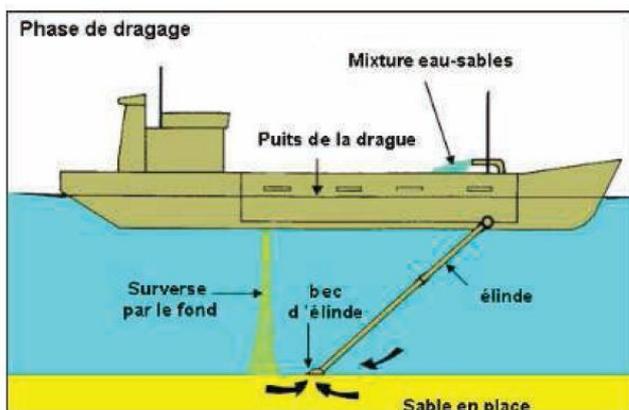


Figure 19 : drague aspiratrice en marche.

D'après les résultats du projet, le rechargement de la barre externe est plus efficace que la création d'une barre surnuméraire au large. Cette technique de rechargement ciblée nécessite cependant l'usage d'une canalisation pour le refoulement du sable, technique plus lourde que pour la création d'une barre (qui peut se faire par simple clapage). Pour un linéaire de littoral de 3 km, le coût du rechargement est ainsi estimé à 7,3 €/HT/m³ dans le premier cas, 3,4 €/HT/m³ dans le second. Du fait de l'importance des frais fixes engagés, il est plus rentable de réaliser des rechargements importants en volume.

Conclusion

Les modèles numériques sont des outils indispensables d'aide à la décision, qu'il est nécessaire d'améliorer pour les rendre aussi fiables que possible. **Les résultats du projet ont permis de répondre aux questionnements des gestionnaires concernant les avantages respectifs et les coûts de différentes techniques de rechargement.**

Suites

Les résultats du projet ont été valorisés au sein du réseau GLADYS (Groupe LANGUEDOC-ROUSSILLON d'étude de l'hydrodynamique et de la DYNAMIQUE Sédimentaire littorale) qui regroupe des laboratoires de recherche ainsi que des organismes publics gestionnaires du littoral impliqués dans la recherche sur l'hydrodynamique côtière et littorale, la gestion des risques littoraux, les techniques d'aménagement littoral. Les membres de cette structure sont partenaires du Système d'Observation Littoral-Trait de Côte (SO-LTC), outil de mutualisation et de mise à disposition de données sur l'hydrodynamique et la morphodynamique littorale destiné aux scientifiques et gestionnaires de la façade méditerranéenne.

En 2008, les résultats portant sur la modélisation des rechargements sédimentaires d'avant-côte ont été utilisés par le projet Beachmed financé par le programme communautaire INTERREG IIIB-MEDOCC. Le projet visait à définir les problèmes techniques, environnementaux et économiques liés à l'extraction de sables provenant des fonds marins pour la reconstruction et l'entretien des littoraux en érosion.

Au plan opérationnel, les résultats du projet et les contacts initiés avec la DREAL Languedoc-Roussillon et le Conseil Général de l'Hérault dans le cadre du projet Liteau sont mobilisés pour le projet d'aménagement du Lido de Sète à Marseillan. Ce site fait l'objet d'un projet de recul stratégique de la route littorale associé à différents aménagements visant à limiter l'érosion côtière. En particulier, une troisième barre d'avant-côte (acclimateur de houle) a été créée en 2013. Un rechargement massif en sable des petits fonds est prévu sur 2 km en 2014. L'université de Perpignan a été associée aux études de faisabilité des actions, le suivi des dispositifs expérimentaux et de leur impact sur l'érosion côtière étant transféré au bureau d'étude Artelia.

Pour en savoir plus :

[Rapport scientifique sur www1.liteau.net](http://www1.liteau.net)

2.2. Trois recherches sur des risques sanitaires et écologiques émergents

2.2.1. Étude de la contamination des estuaires de la Seine, de la Gironde et de l'Adour par les substances pharmaceutiques (2004-2007)

Coordination : Hélène Budzinski, Laboratoire de physico- et toxico-chimie de l'environnement (LPTC), université de Bordeaux I.

Partenaire scientifique : Laboratoire d'Écotoxicologie-Milieux Aquatiques (LEMA, université du Havre).

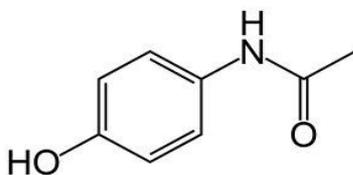


Figure 20 : représentation plane du paracétamol, médicament le plus prescrit en France.

Les substances pharmaceutiques sont retrouvées dans l'ensemble des compartiments aquatiques de l'environnement, que ce soit dans les rejets de station d'épuration, dans les eaux de surface, ou encore, pour certains composés, dans les eaux de boisson. Or, ces composés peuvent présenter un risque environnemental non négligeable si l'on considère d'une part les quantités potentiellement apportées au milieu aquatique et d'autre part le fait qu'ils ont été fabriqués pour être biologiquement actifs. Cette présence de plus en plus fréquente a amené les chercheurs à s'intéresser d'une part aux effets que ces composés pourraient avoir sur des espèces non cibles, ainsi qu'aux risques encourus pour une exposition chronique, que ce soit pour les organismes du milieu aquatique ou pour les hommes.

Le projet visait à étudier **le devenir de différentes catégories de substances pharmaceutiques** : hypolipéminants (gemfibroxil), hormones synthétiques (œstradiol), antidépresseurs (fluoxétine, carbamazépine), analgésiques et anti-inflammatoires (paracétamol, ibuprofène, naproxène, diclofénac) **dans des environnements estuariens et côtiers ainsi qu'à évaluer les effets toxicologiques de ces composés sur des espèces non cibles.**

Il comprenait deux phases :

- Phase 1 : chimie environnementale
 - développement d'outils méthodologiques analytiques pour différents types de méthodes d'échantillonnage intégratrices et de supports.
 - application de ces méthodes pour réaliser un inventaire de la contamination des estuaires de la Seine, de l'Adour et de la Gironde, de la baie de Seine et du bassin d'Arcachon. Le devenir de ces composés dans l'environnement marin côtier a aussi été étudié.
- Phase 2 : toxico-chimie
 - mise en œuvre d'études d'impact sur des organismes en microcosme pour élucider les mécanismes de toxicité liés à ces composés (étude écotoxicologique). Dans l'optique de développer des outils de surveillance de la qualité de l'eau, l'espèce *Eurytemora affinis* (copépode calanoïde, espèce prédominante du micro-zooplancton, voir photo Fig. 21) a été choisie comme espèce modèle dans cette étude.



Figure 21 : *Eurytemora affinis* (Source : http://arthropodgenomes.org/wiki/Eurytemora_affinis)

• Phase 1 : chimie environnementale Méthodologie

La première phase des travaux a permis de développer plusieurs méthodologies analytiques pour l'étude de la contamination de différents compartiments (phase dissoute, particulaire, sédiments et organismes) par les substances pharmaceutiques. Deux nouvelles méthodes ont notamment été testées au regard des exigences de rapidité, de nombre et de fiabilité des analyses de type « screening » environnemental : la SPME (Solid Phase Micro-Extraction) et le système d'échantillonnage passif intégrateur POCIS (Polar Organic Compound Integrative Sampler). Leurs principes et les résultats obtenus sont détaillés dans le Tableau 5.

Les deux méthodes ont été testées en laboratoire sur des échantillons d'eau prélevés dans les estuaires de la Seine, de la Gironde et de l'Adour. Les tests en laboratoire ont consisté en

Outil testé	Principe	Résultat
SPME (Solid Phase Micro-Extraction - Méthode de micro-extraction sur phase solide)	Technique miniaturisée d'extraction gaz-solide ou liquide-solide, couplée à une analyse des molécules extraites par chromatographie en phase gazeuse couplée à un spectromètre de masse (GC/MS). Cette méthode ne nécessite qu'un très faible volume d'échantillon.	La SPME est une méthode rapide de quantification des composés neutres mais les limites de détection obtenues (de l'ordre du µg/L) ne permettent pas de l'utiliser en tant qu'outil de balayage des eaux naturelles. Des développements supplémentaires sont nécessaires pour tenter d'abaisser les seuils de détection. De plus, la SPME est adaptée à l'analyse de prélèvements ponctuels, méthode coûteuse et difficile à mettre en œuvre car elle nécessite une multiplication des prélèvements dans le temps afin de rendre compte de la variabilité du milieu.
POCIS (Polar Organic Compound Integrative Sampler)	Ce dispositif membranaire permet de concentrer les contaminants organiques des milieux aquatiques. Les contaminants passent du milieu échantillonné vers la phase réceptrice par diffusion passive. L'outil est dit intégratif car il permet d'accumuler une contamination sur une période de temps définie et peut ainsi permettre de déceler une pollution ponctuelle.	Le caractère intégratif de l'outil POCIS permet de s'affranchir de la variabilité spatio-temporelle de la contamination en concentrant les composés sur une période de temps donnée. Cela permet d'une part de mettre en évidence des composés présents à de faibles concentrations, qui ne seraient pas détectés par l'échantillonnage ponctuel, et d'autre part de tenter d'approcher de façon plus significative une concentration environnementale d'exposition. Si l'intérêt quantitatif des POCIS reste encore à démontrer sur des périodes supérieures à deux semaines (l'accumulation n'est pas apparue proportionnelle à la durée d'exposition), leur intérêt qualitatif a été démontré. Les POCIS constituent donc des outils de « screening » non dirigés.

Tableau 5 : Comparaison des méthodes analytiques développées dans le cadre du projet

l'étude de l'influence de plusieurs paramètres physico-chimiques (concentration d'exposition, pH, température, salinité et durée d'exposition) sur la qualité d'analyse. Les différents outils ont ensuite été appliqués au suivi dans le milieu naturel de la contamination des milieux aquatiques estuariens et marins.

Screening environnementaux : une contamination réelle mais faible et fluctuante

Les méthodes de détection environnementale ont ensuite été appliquées à trois estuaires différents (Adour, Gironde et Seine) ainsi qu'à deux environnements côtiers plus spécifiques (Bassin d'Arcachon, Calanques marseillaises). Les protocoles développés ont permis d'apporter une première estimation du niveau global de la contamination.

Le Tableau 6 présente les gammes de concentrations en phase dissoute des quatre estuaires étudiés. Il apparaît que la Gironde est l'estuaire le moins impacté, le débit du fleuve limitant sans doute l'impact des stations d'épurations qui peuvent s'y

déverser. L'Adour est un petit estuaire où se situent des villes dont la population fluctue de manière importante en fonction des saisons (stations balnéaires). Les concentrations mesurées ont été globalement peu élevées. **L'estuaire de la Seine est de loin le plus impacté avec des concentrations de plusieurs centaines de ng/L selon les molécules.**

Les niveaux de concentration varient selon les composés, leur mode de consommation et leur dégradabilité, que ce soit au niveau des stations d'épuration (STEP) ou dans le milieu naturel. Par exemple, les anti-inflammatoires et les antipyrétiques sont des composés fortement utilisés, sans prescription médicale et avec des prises journalières comprises entre 100 et 6000 mg. Par opposition, les anti-dépresseurs et les hypolipémiants sont des molécules moins consommées quantitativement car d'usage moins répandu, avec des prescriptions et des prises journalières moins importantes (10 à 1000 mg). Ces exemples montrent la nécessité de **coupler les méthodologies des sciences dures à des enquêtes concernant les usages sociétaux** afin de faire une analyse

	GIRONDE	LOIRE	ADOUR	SEINE
Aspirine	ld - 4	ld - 27	8 - 28	ld - 196
Caféine	ld - 31	ld - 73	ld - 16	40 - 860
Diclofénac	ld - 4	ld - 6	8 - 23	8 - 380
Gemfibrozil	ld - 4	ld - 5	1 - 9	3 - 126
Ibuprofène	ld - 3	ld - 9	14 - 37	5 - 610
Kétoprofène	ld - 24	ld - 9	ld - 3	3 - 78
Naproxène	ld - 7	ld - 8	1 - 6	3 - 185
Carbamazépine	ld - 13	ld - 228	ld - 8	3 - 164

Tableau 6 : Concentrations minimales et maximales des substances pharmaceutiques (en ng/L) mesurées dans les différents estuaires en phase dissoute ; ld : concentration inférieure à la limite de détection.

pertinente des résultats.

Des études plus focalisées ont permis de documenter le comportement des substances pharmaceutiques de leur point d'introduction à leur dissémination dans le milieu (cas de la Calanque de Cortiou). Les rejets de la STEP de Marseille se font par l'intermédiaire d'un émissaire ouvert sur la mer Méditerranée dans la Calanque de Cortiou. Différentes campagnes de prélèvements d'eau de surface autour de la zone de rejet ont été réalisées en 2004 et 2005 en collaboration avec l'Ifremer.

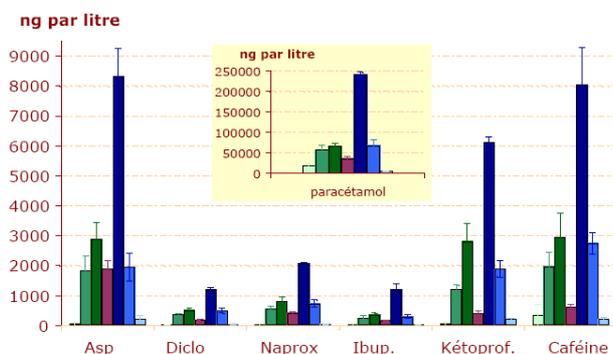


Figure 22 : concentrations en anti-inflammatoires dans la Calanque de Cortiou en sept points de prélèvement.

La figure 22 montre des concentrations très élevées pour les anti-inflammatoires non stéroïdiens (aspirine, diclofénac, naproxène, ibuprofène et kétoprofène), la caféine et le paracétamol. La contamination de la Calanque de Cortiou ne semble pas dépendre de la dégradation des composés dans la station d'épuration. En effet, les composés les plus dégradables dans les STEP (aspirine, ibuprofène, caféine) sont aussi présents que les composés plus persistants (diclofénac, kétoprofène, etc). Par

exemple, le paracétamol, un composé très sensible aux traitements des STEP (abattement généralement supérieur à 95 % en présence d'un traitement secondaire biologique tel que les boues activées) est l'effluent dominant de la STEP de Marseille (concentrations allant jusqu'à 250 µg/L).

Les travaux montrent donc une contamination réelle bien que souvent assez faible des milieux littoraux par les substances pharmaceutiques.

Par ailleurs, l'accumulation des substances pharmaceutiques a été mesurée sur une espèce sentinelle, la moule *Mytilus edulis*, en prenant la carbamazépine comme modèle. Les résultats ont montré une différence entre les moules exposées en permanence (immergées) et celles subissant l'alternance tidale. Les moules immergées accumulent quasiment deux fois plus de carbamazépine que celles subissant l'alternance, pour un niveau d'exposition équivalent (30-40 µg/L). Ces résultats montrent bien qu'il existe un transfert de molécules médicamenteuses vers les organismes aquatiques. Le niveau de risque de toxicité pour ces organismes a été étudié dans la phase 2 du projet.

• Phase 2 : Toxicologie-chimie

La deuxième phase des travaux a concerné l'étude du transfert des composés et leur toxicité en microcosme sur *Eurytemora affinis* (espèce prédominante du micro-zooplancton dans les estuaires atlantiques). Afin de développer des outils de surveillance de la qualité de l'eau, cette espèce est idéale de par son abondance, ses cycles biologiques courts et son rôle clé à la base du réseau trophique. Les copépodes ont été prélevés au niveau de Tancarville dans l'estuaire de la Seine.

Le cycle de développement de ce copépode comprend trois phases successives présentant des métamorphoses : la phase

nauplius (6 stades et 5 mues), la phase copépodite (5 stades et 5 mues) avant d'atteindre la maturité sexuelle et le stade adulte (arrêt des mues) caractérisé par un dimorphisme sexuel (Figure 23). D'une manière générale, la durée totale du cycle est dépendante de la température de l'eau. Dans des conditions optimales, celle-ci varie entre 18 et 20 jours.

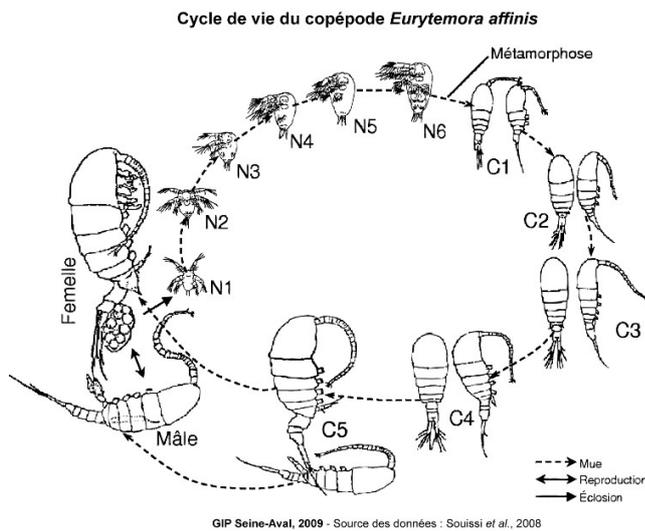


Figure 23 : stades de développement d'*Eurytemora affinis*. (N : stade nauplius, C : stade copépodite)

Résultats

→ La première partie de l'étude toxico-chimique s'est intéressée aux transferts de médicaments présents en estuaire de Seine (carbamazépine et éthynyloestradiol) depuis la phase dissoute vers le copépode *Eurytemora affinis*. Il est apparu que le copépode n'accumulait pas la carbamazépine mais qu'il était par contre capable d'accumuler l'éthynyloestradiol. De plus, une induction de la synthèse d'un précurseur hormonal, la

pregnenolone, a été observée en parallèle, laissant supposer des perturbations endocriniennes. Suite à une période de décontamination d'une semaine, l'espèce est capable d'éliminer l'éthynyloestradiol préalablement accumulé in situ notamment. **Il y a donc une certaine résilience de l'écosystème marin face à la bio-accumulation.**

→ Dans un deuxième temps, les effets des contaminants sur le copépode ont été étudiés à différents niveaux d'organisation biologique (physiologique et biochimique). L'étude s'est concentrée sur la recherche de nouveaux bio-marqueurs d'exposition chez *Eurytemora affinis*. Des techniques d'électrophorèse bidimensionnelle couplées à des techniques de chimie analytique ont été utilisées pour analyser les effets d'exposition en flux continu à deux familles de médicaments sur l'expression de leur protéome. L'étude du protéome a montré que **de nombreuses protéines étaient différemment exprimées, notamment des protéines intervenant dans trois processus cellulaires : le métabolisme énergétique, la régulation des concentrations cellulaires en Ca²⁺ et les réponses cellulaires à différents stress.**

→ Enfin, dans un troisième temps, des indices d'éventuelles perturbations endocriniennes dues aux médicaments, notamment la carbamazépine et l'éthynyloestradiol, ont été recherchés. Des études *in vivo* ont montré que **la carbamazépine et l'éthynyloestradiol peuvent perturber les transformations et les mues** à des doses sans effet toxique observable (dose la plus élevée d'une substance pour laquelle aucun effet toxique n'est observé ; Figure 24).

De plus, la carbamazépine et l'éthynyloestradiol, à ces mêmes concentrations, sont susceptibles de **déséquilibrer le sex-ratio des individus issus des générations exposées en faveur des**

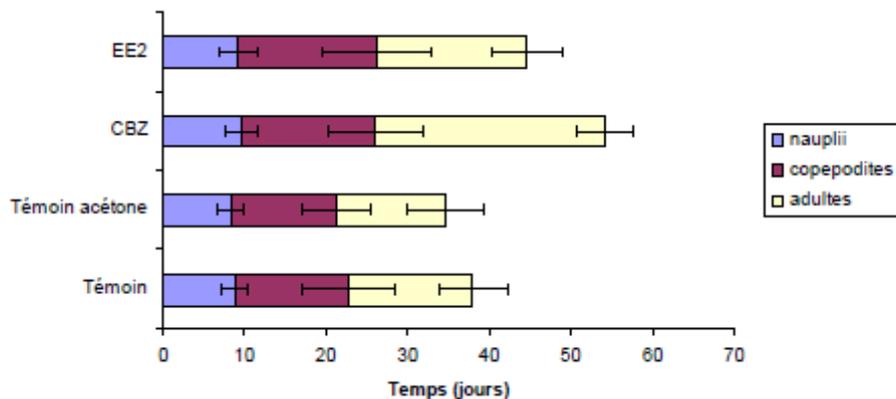


Figure 24 : durée des différents stades de développement chez *Eurytemora affinis* lors des différents bio-essais.

femelles. Les premiers stades de développement d'*Eurytemora affinis* sont sensibles à ces contaminants.

Les bio-essais couvrant l'ensemble du cycle de développement sont donc des outils intéressants et rapides pour identifier les dérégulateurs endocriniens présents dans l'environnement aquatique.

Conclusion

Lors de la sélection du projet en 2003, la problématique de la contamination des milieux aquatiques, en particulier littoraux, par les résidus médicamenteux était encore émergente, notamment en France. Le projet a été une étude pionnière en la matière et a permis de publier **les premières données quantitatives de contamination par les médicaments des écosystèmes littoraux français**, d'apporter des informations sur leur **influence toxicologique**, de développer des protocoles analytiques et de tester un nouveau type d'échantillonnage basé sur des échantillonneurs intégratifs.

Bien que conduit sans relation directe avec les gestionnaires, ce projet a contribué à la prise de conscience des risques liés aux polluants d'origine médicamenteuse, désormais largement pris en compte par les ministères en charge de l'Écologie et de la Santé.

Suites

Les travaux développés au sein de ce projet ont été suivis de nombreux projets de recherche menés en partenariat avec notamment Irstea, l'Ifremer et l'Inra et le GIP Seine-Aval. L'équipe a ainsi participé ou est impliquée dans quatre projets financés par l'ANR, dont notamment :

- AMPERES (2006-2009) sur l'élimination de substances prioritaires et émergentes par les stations d'épuration domestiques. Ce projet s'est notamment appuyé sur les résultats obtenus dans le cadre du projet « Budzinski » sur les effluents des STEP.
- Pharm@Ecotox (en cours) sur les résidus pharmaceutiques et leur impact écotoxicologique en milieu marin.

Les techniques analytiques développées dans le cadre du projet « Budzinski » sont mobilisées dans le cadre de ces autres projets.

En 2007, suite aux résultats du projet « Budzinski » sur la contamination de la calanque de Cortiou, la STEP de Marseille a

été réhabilitée et modernisée en incluant un traitement biologique secondaire permettant de dégrader plus efficacement les substances pharmaceutiques telles que le paracétamol.

À un niveau plus général, la gestion des résidus médicamenteux dans les eaux continentales et marines fait l'objet d'un **Plan national sur les résidus de médicaments dans l'eau (PNRM)** sur la période 2010-2015, élaboré par les ministères en charge de l'Écologie et de la Santé. Le PNRM a pour objectif d'évaluer le risque éventuel lié à la présence de molécules liées aux médicaments dans l'eau, les conséquences possibles pour l'écosystème et l'homme et d'engager des actions de réduction de la dispersion médicamenteuse dans l'eau. La coordinatrice du projet, H. Budzinski, qui participe en tant qu'experte au groupe d'appui scientifique du PNRM, a pu y valoriser l'expertise acquise dans le cadre du projet.

Pour en savoir plus :

[Rapport scientifique sur www1.liteau.net](http://www1.liteau.net)

Site web du Plan national sur les résidus de médicaments dans les eaux (PNRM) : <http://www.sante.gouv.fr/plan-national-sur-les-residus-de-medicaments-dans-les-eaux-pnrm-2010-2015.html>

2.2.2. Développement et impacts des dinoflagellés toxiques du genre *Ostreopsis* sur le littoral de la Méditerranée nord-occidentale : le projet MediOs 2 (2007-2010).

Coordination : Rodolphe Lemée, Laboratoire d'océanologie de Villefranche-sur-mer (LOV)

Partenaires scientifiques : Station marine de Roscoff, université de Nice Sophia-Antipolis (ECOMERS), Ifremer, CHU de Nice

Partenaire gestionnaire : CCI de Nice, Conseil général des Alpes Maritimes, Agence de l'eau RMC

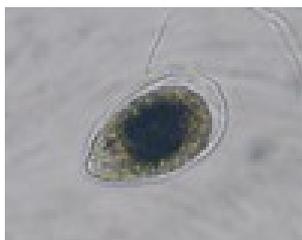


Figure 25 : Photo au microscope d'un dinoflagellé du genre *Ostreopsis*



Figure 26 : Photo de « fleurs d'eau » constituées lors des efflorescences d'*Ostreopsis ovata*

Les dinoflagellés du genre *Ostreopsis* sont connus dans les régions tropicales pour être à l'origine d'intoxications alimentaires graves. Depuis une dizaine d'années, des développements massifs ponctuels d'*Ostreopsis* ont été observés au niveau des côtes méditerranéennes italiennes, françaises et espagnoles, potentiellement liés à une introduction accidentelle par les eaux de ballast* des navires ou à une extension de l'aire de distribution de l'algue due au réchauffement climatique. Ces microalgues d'environ 50 µm de long se développent préférentiellement à très faible profondeur, sur d'autres végétaux marins ou directement sur le substrat. En période estivale, lorsque les conditions sont favorables, ces microorganismes peuvent proliférer de manière importante et se retrouver en suspension dans la colonne d'eau.

Ces algues contiennent des toxines (palytoxine et dérivés) et leurs efflorescences* peuvent engendrer une hypoxie* voir une anoxie* du milieu, ainsi qu'une forte mortalité d'invertébrés (notamment chez les oursins et les coquillages). **La palytoxine est l'une des molécules naturelles marines les plus toxiques connues à ce jour.** Chez l'homme, les réactions à une exposition sont diverses : irritations cutanées, affections respiratoires, conjonctivites, fièvres peuvent être observées. Les toxines (ou les cellules ou fragments de cellules les contenant)

étant transportées par les aérosols marins, même les personnes n'étant pas en contact direct avec l'eau de mer peuvent être atteintes.

Le projet MediOs 2 se proposait d'étudier les conditions écologiques propices au développement de cette microalgue et ses conséquences sanitaires et socio-économiques via une approche pluridisciplinaire : écologique, biologique, chimique, épidémiologique et socio-économique.

Détermination des espèces du genre *Ostreopsis*

En Méditerranée, deux espèces du genre *Ostreopsis* prolifèrent : *Ostreopsis* cf.* *siamensis* et *Ostreopsis* cf.* *ovata*. Une étude de caractérisation moléculaire a été nécessaire pour distinguer les différentes souches sans ambiguïté. Les analyses génétiques réalisées sur des prélèvements effectués à Marseille, Nice, Villefranche et Monaco indiquent que la souche concernée est *Ostreopsis* cf. *ovata*, probablement originaire du Brésil.

Détermination des conditions écologiques favorisant le développement d'*Ostreopsis* spp

- **Méthodologie**

Deux campagnes d'échantillonnage ont eu lieu :

→ La première s'est déroulée durant l'été 2008 sur 6 sites : Gênes, Villefranche, Nice, Saint-Raphaël, Ramatuelle et Cassis (Fig. 27).

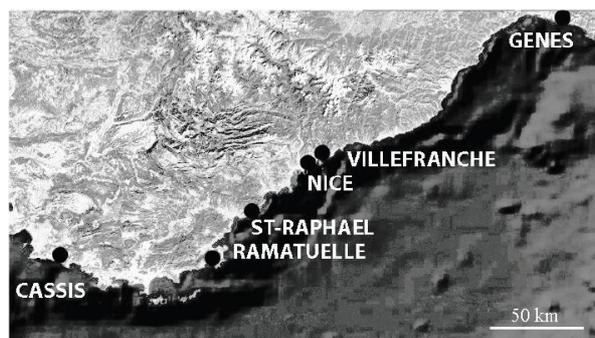


Figure 27 : sites d'études de 2008.

Ces sites ont été choisis en fonction i) des caractéristiques des vents dominants (diversités, fréquence, intensités), ii) de l'état de la mer (calme, battu, intermédiaire), iii) du substrat (naturel, artificiel) et iv) de l'urbanisation.

Sept séries de prélèvement ont été réalisées sur chacun des sites (mars, mai, juin, début et fin juillet, août et automne). Sur chaque site, des prélèvements de macroalgues (trois espèces différentes : *Stypocaulon scoparium*, *Corallina elongata*, *Dictyota*

spp.) et d'eau ont été réalisés au niveau de trois stations distantes d'environ 10m et à trois profondeurs différentes (0,5m, 1m et 3m). En parallèle, de nombreux autres prélèvements ont été effectués pour mesurer la concentration en sels nutritifs, en pigments, en abondance bactérienne ainsi que certains paramètres physico-chimiques de l'eau de mer (oxygène, température). Plus de 1500 échantillons naturels ont été analysés au microscope pour évaluer l'abondance d'*Ostreopsis* et d'autres espèces de dinoflagellés toxiques sur les macroalgues et dans l'eau.

→ Lors de la seconde campagne de prélèvement (2009), la stratégie d'échantillonnage a été modifiée afin de compléter les résultats de la première campagne et de mieux comprendre les conditions du passage de la phase benthique à la phase pélagique des microalgues toxiques. Les variations d'abondance à court et moyen terme, à différentes échelles spatiales (du mètre au kilomètre), en fonction du substrat et de l'hydrodynamisme, ont été mesurées pendant un an sur trois sites relativement proches de la rade de Villefranche-sur-mer avec trois orientations différentes par rapport aux vents dominants (Figure 28).



Figure 28 : carte localisant les 3 sites d'étude dans la rade de Villefranche.

• Résultats

→ Première étude (2008)

Les résultats ont permis de mettre en évidence des différences significatives de quantité d'*Ostreopsis* en fonction des sites et de la période (présence maximale fin juillet). Il apparaît par ailleurs que la profondeur la plus favorable au développement d'*Ostreopsis* est comprise entre 0,5 et 3 m.

L'analyse des variables environnementales a permis de mettre en évidence des facteurs qui pourraient être déterminants pour le développement d'*Ostreopsis* : sa concentration est corrélée à la température et à la concentration en sels nutritifs.

→ Deuxième étude (2009)

Suite aux études à grandes échelles spatiale et temporelle de 2008, un suivi annuel de l'abondance de la micro-algue a permis de mettre en évidence la **présence de l'algue toxique tout au long de l'année avec un développement plus important en été**. Sur les trois sites, seul le site du Lido ne présente pas d'efflorescences importantes d'*Ostreopsis*. L'analyse des variations nycthémérales* a permis de proposer l'hypothèse suivante : **les microalgues se divisent sur les macroalgues en fin de nuit et début de journée, et elles se décrochent en fin de journée pour migrer vers la surface**.

L'étude permet de définir certains des facteurs qui influent sur le développement d'*Ostreopsis*. La localisation, la période d'occurrence et l'intensité des efflorescences d'*Ostreopsis* semblent dépendre principalement de deux facteurs : la **température** (une température supérieure à 22-23°C favorise le développement de la microalgue) et l'**hydrodynamisme** (une mer agitée empêche la constitution d'un stock conséquent). Les zones les plus à risques sont les zones présentant une grande surface de **substrat rocheux de faible profondeur recouvert de macroalgues**. Les grandes étendues de sables, comme celles présentes à l'ouest du delta du Rhône, ne semblent au contraire pas être des zones sensibles. Enfin, lorsqu'un site a présenté un fort développement d'*Ostreopsis* durant un été, il existe une très forte probabilité pour que la microalgue prolifère les années suivantes sur le même site.

En parallèle des études de terrain, le projet MediOs 2 a réalisé des cultures in vitro qui ont permis d'identifier les conditions expérimentales nécessaires à la culture des cellules d'*Ostreopsis* cf. *ovata*.

Étude des impacts sur la faune

→ Impacts sur les macroherbivores

Ostreopsis cf. *ovata* contient plusieurs toxines : la palytoxine (PTX) et certains de ses dérivés tels que l'ovatoxine-a. L'impact potentiel des efflorescences d'*Ostreopsis* a été étudié sur deux espèces :

- *Paracentrotus lividus*, l'oursin comestible, principal macroherbivore de Méditerranée (Fig. 29)
- *Patella* spp., mollusque gastéropode de la zone médiolittorale (Fig. 30)

Des individus de ces deux espèces ont été retrouvés morts après un événement de prolifération d'*Ostreopsis* près de Gênes en 2005.



Figure 29 : *Paracentrotus lividus* (Source : Wikipédia)

Sur la base de 144 échantillons analysés en rade de Villefranche, aucun impact significatif des efflorescences sur la densité des populations d'oursins n'a été observé. Il est possible que la mortalité exceptionnelle observée lors de l'épisode d'efflorescence de 2005 en Italie soit liée à d'autres caractéristiques du milieu (par exemple, une qualité environnementale dégradée) ou à un impact indirect d'*Ostreopsis* cf. *ovata* via une hypoxie* ou anoxie* du milieu suite à la forte activité bactérienne en fin d'épisode.



Figure 30 : *Patella* spp
(source : <http://cyberechos.creteil.iufm.fr>)

Par contre, le projet a clairement montré un impact négatif du développement d'*Ostreopsis* sur les populations de patelles avec une diminution du nombre d'individus pouvant atteindre 30 %, principalement dans les petites classes de taille.

→ Impacts sur la méiofaune*

La méiofaune est une classe de taille des métazoaires* benthiques dont les limites sont comprises entre 40 µm et 1 mm. Ces petits organismes vivent dans les macroalgues où ils servent de nourriture à de nombreux organismes plus gros, notamment les juvéniles de poissons. La méiofaune est bien adaptée à ce type d'étude, car elle est très abondante dans le biotope des algues photophiles* où se développe *Ostreopsis*. De plus, certains taxons qui la composent sont particulièrement

sensibles aux toxines et peuvent être considérés comme des indicateurs de pollutions organiques.

Les analyses ont permis de mettre en évidence des changements de structure de la méiofaune en présence de fortes concentrations en *Ostreopsis*. Les groupes les plus affectés sont les nauplii* et les insectes (marins) tandis que les abondances en nématodes* et acariens* augmentent de façon significative. Les nauplii étant les premiers stades juvéniles des copépodes, il semble que la concentration d'*Ostreopsis* a un effet négatif sur la reproduction des copépodes. L'augmentation des nématodes et des acariens est quant à elle probablement due à un effet indirect lié à la réduction du nombre de compétiteurs occupant une même niche trophique. **Ces résultats montrent que la prolifération d'*Ostreopsis* pourrait avoir des répercussions sur la structure des communautés.**

Risque d'intoxication humaine directe ou indirecte

Dans les zones favorables à sa prolifération, la microalgue *Ostreopsis* se divise d'abord sur des macroalgues, jusqu'à former des amas compacts bruns recouvrant presque totalement le substrat. Les microalgues en amas se détachent ensuite du fond et flottent en surface où elles forment des « fleurs d'eau ».

Les intoxications humaines connues en Méditerranée sont dues (a) à un contact direct avec les microalgues benthiques, qui provoque des irritations cutanées au niveau des jambes, (b) à un contact avec les microalgues planctoniques, (c) à un contact avec les microalgues ou fragments de microalgues issues des « fleurs d'eau » et transportées par le vent dans les embruns. **Les symptômes sont alors des irritations cutanées, des conjonctivites, des inflammations de la sphère ORL et des problèmes respiratoires.** C'est par ce biais que plus de 200 personnes (baigneurs, promeneurs ou riverains) ont été intoxiquées en Espagne en 2004, en Italie en 2005 et en Algérie en 2009.

Le risque sanitaire lié à l'ingestion de produits de la mer est avéré dans les zones tropicales où des intoxications sévères ont eu lieu après l'ingestion de poissons et de crustacés dans lesquels de la palytoxine a été retrouvée. Si **aucune intoxication par voie alimentaire n'a encore été recensée en Méditerranée**, le projet MediOs 2 a permis d'étudier la présence des toxines d'*Ostreopsis* dans plusieurs organismes marins. Des analyses ont notamment été menées sur les

oursins comestibles, les moules comestibles et les mollusques gastéropodes du genre *Murex* (prédateurs et nécrophages susceptibles d'apporter des renseignements sur le transfert des métabolites secondaires dans la chaîne alimentaire). **La palytoxine et l'ovatoxine-a n'ont été trouvées en relativement grande quantité que dans le tube digestif des oursins en été.** Sachant que la récolte des oursins est interdite en été et que la partie comestible (les gonades) ne contient pas de toxines, **le risque d'intoxication est limité dès lors que la réglementation est respectée.**

Impacts socio-économiques

Pour connaître les impacts socio-économiques liés au développement de cette algue sur nos côtes, une étude a été menée sur 6 plages de la région PACA. L'estimation de l'impact d'*Ostreopsis* est basée sur des enquêtes auprès des usagers des plages (380 personnes interrogées sur 6 plages) et de 52 entreprises situées à proximité immédiate. De l'enquête sur les usagers, il est ressorti que la plage est l'élément principal de la venue des touristes. **L'enquête a permis de montrer le faible niveau d'inquiétude des usagers par rapport à *Ostreopsis* même lorsqu'ils y ont été confrontés à un événement de prolifération.**

L'enquête auprès des entreprises a montré que moins de la moitié des entreprises enquêtées estime que la qualité des eaux de baignade influe sur la fréquentation des plages alors que plus des trois quarts indiquent que la plage proche a connu des phénomènes ayant affecté la qualité des eaux de baignade. Les principaux phénomènes cités sont les méduses et la pollution, mais très peu de personnes enquêtées ont cité les microalgues toxiques.

Par ailleurs, une étude économique menée au travers de trois scénarios prospectifs a conclu que **les dinoflagellés toxiques du genre *Ostreopsis* n'ont pas actuellement d'impact significatif sur l'économie régionale**, mais pourraient en avoir en cas de communication alarmiste dans les médias.

L'ensemble des résultats a permis de faire des recommandations pour améliorer la surveillance environnementale et la gestion de la problématique *Ostreopsis*, notamment vis-à-vis du Ministère de la Santé.

Suites

Les résultats du projet MediOs 2 ont été approfondis dans le cadre de nouvelles études :

- un projet conduit par l'Ifremer s'est intéressé à la contamination possible des mollusques filtreurs (moules) à Marseille et Villefranche, dans le cadre du réseau national REPAMO de surveillance de la santé des mollusques marins.
- un projet financé par la Direction générale de la Santé et conduit par l'ANSES en partenariat avec le laboratoire océanologique de Villefranche-sur-mer a porté sur la caractérisation de la contamination de plusieurs organismes marins via des tests de toxicité spécifique et des analyses chimiques. Les matrices organiques du projet MediOs 2 ont notamment pu être analysées de manière plus approfondie.

Par ailleurs, le projet MediOs 2 a permis de mettre en place un réseau français et international de chercheurs et de gestionnaires du milieu marin littoral. Ainsi, en 2011, l'université de Nice-Sophia Antipolis et l'Observatoire Océanologique de Villefranche-sur-mer ont organisé un Congrès International sur *Ostreopsis* (ICOD). Les publications issues du congrès sont téléchargeables sur le site www.ramoge.org (onglet GIZC). Un projet méditerranéen sur *Ostreopsis* intitulé M3-HABs a pu être lancé en 2014 grâce à ce réseau (financement par les programmes MED et IEVP CT MED).

Enfin, Luisa Mangialajo, Hubert Grosse et Rodolphe Lemée, chercheurs impliqués dans le projet MediOs 2, participent au groupe de travail « connaissance et gestion de la qualité des eaux des milieux marins et côtiers » de l'accord international RAMOGE (traité de protection de l'environnement marin signé en 1976 entre la France, Monaco et l'Italie), qui poursuit un travail spécifique sur *Ostreopsis*. Ils participent également aux cellules d'aide à la décision mises en place par le Ministère de la Santé pour gérer les événements de prolifération d'*Ostreopsis*.

Pour en savoir plus :

[Rapport scientifique](http://www1.liteau.net) sur www1.liteau.net

Site internet : <http://www.obs-vlfr.fr/medios2/>

2.2.3. Bilan, conséquences et scénarios de gestion de la prolifération de l'huître creuse du Pacifique sur les côtes Manche-Atlantique françaises : le projet PROGIG (2005-2008).

Coordination : Christian Hily, laboratoire LEMAR (IUEM, UBO)
Partenaires scientifiques : LETG Brest-Géomer, CEDEM, CRBC, Ifremer
Partenaires gestionnaires : Comité national de la conchyliculture, Comités Régionaux de la Conchyliculture Bretagne Nord et Sud

L'huître creuse du Pacifique, *Crassostrea gigas* est élevée en France depuis les années soixante-dix pour pallier l'effondrement des stocks des autres espèces : l'huître « portugaise », *Crassostrea angulata* et l'huître « plate », *Ostrea edulis*. Cette espèce a été introduite massivement sur la façade atlantique mais à cette époque, seuls deux bassins ostréicoles ont vu l'espèce s'implanter durablement et établir des populations naturelles : Marennes-Oléron et le bassin d'Arcachon. Le risque écologique de sa dispersion et *a fortiori* de son invasion sur le littoral n'avait pas été envisagé. Pourtant au début des années 2000, *Crassostrea gigas* est devenue une nouvelle espèce invasive* à caractère proliférant sur une grande partie des côtes Manche-Atlantique françaises. Les causes et les conséquences de cette invasion restaient inconnues au début du projet.

Le projet PROGIG a proposé de **dresser un premier bilan de la prolifération et de ses conséquences sur les écosystèmes marins et les activités humaines**. Il s'agissait également de prendre la mesure des principales composantes de la dynamique de la prolifération pour **définir une stratégie de gestion adaptée à la diversité des situations rencontrées**.

État des lieux

Dans le but de réaliser un bilan des sites touchés par la prolifération de populations d'huîtres en milieu naturel sur les côtes Manche-Atlantique françaises, un système d'information géographique (SIG) a été mis en place à l'échelle de la Bretagne, qui porte des données biologiques, environnementales, socio-économiques et géographiques de référence (SHOM, BDCarthage, BDOOrtho littoral). Afin de réaliser un inventaire des sites colonisés par *C. gigas* sur le littoral breton, des données ont été collectées sur le terrain, qui complètent les données recueillies préalablement par le LEMAR sur la rade de Brest et le golfe du Morbihan ainsi que dans différentes stations de suivi local réparties sur l'ensemble du littoral Manche-Atlantique.

L'inventaire réalisé sur le terrain a permis de produire **un état de la prolifération de *Crassostrea gigas* en 2007**. En l'absence d'autres données historiques, il constitue un **état de référence dans la perspective d'un suivi de l'évolution de la population d'huître creuse à l'échelle de la Bretagne**. Le bilan des sites concernés par l'implantation d'huîtres sauvages fait apparaître que de **très nombreux secteurs sont colonisés** (Figure 31). Le nombre de sources d'émissions de larves pélagiques et leur dispersion par les courants paraissent suffisants pour que l'on puisse considérer que tous les secteurs côtiers sont potentiellement exposés à des flux de larves. En Bretagne selon les sites et les conditions environnementales, la densité et la fréquence d'apparition de ces larves, leur fixation, puis la survie et la croissance des naissains sont très variables. **Les sites les plus abrités et les plus chauds montrent les proliférations les plus importantes**, mais les secteurs côtiers de la mer d'Iroise commencent également à être colonisés.

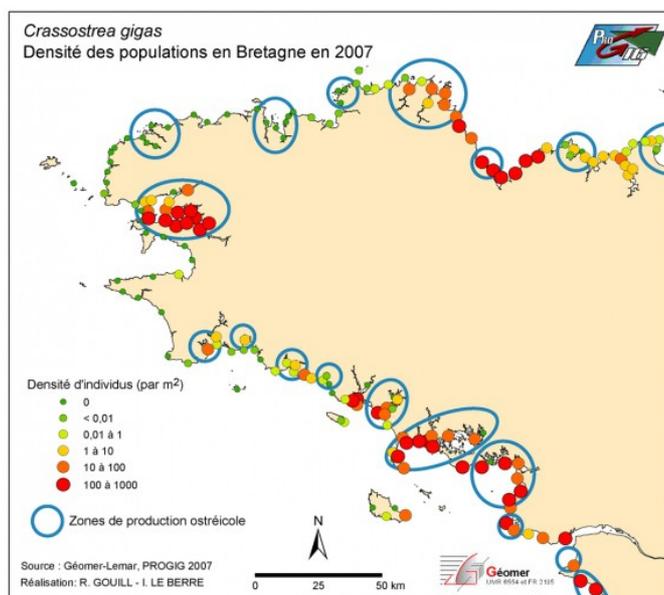


Figure 31 : Densité de population de *Crassostrea gigas* en 2007.

Les données issues de l'inventaire ont été confrontées à des données socio-économiques, une analyse qui montre que **les zones les plus à risques se situent en Bretagne Sud**.

Les causes de la prolifération

Le projet PROGIG a cherché à identifier les causes de la prolifération de *C. gigas*.

L'étude de l'adaptation de l'espèce a montré que l'huître possède un **fort potentiel invasif**, qui résulte d'une **plasticité phénotypique**, mais surtout d'une **sélection locale**.

d'individus tolérants à certaines contraintes environnementales (comme le temps d'émersion), permise par sa forte diversité génétique.

Plusieurs facteurs sont connus pour contrôler l'atteinte de la maturité sexuelle des huîtres et le déclenchement de la ponte :

- une « durée d'exposition » minimale est nécessaire pour obtenir des huîtres matures. Cette durée d'exposition, exprimée au travers de la notion de degré-jour (Dj), correspond à la somme des températures journalières de l'eau, du début de la gamétogenèse* (10,55°C) à l'émission des gamètes.
- une température seuil minimale comprise entre 18 et 20°C est nécessaire à l'émission des gamètes.
- si le seuil thermique n'est pas atteint, des chocs thermiques (par exemple un différentiel thermique important entre air et eau sur l'estran) sont également susceptibles de déclencher la ponte.

Le suivi du cycle reproducteur dans un secteur « froid » (les Abers) et « chaud » (rade de Brest) a permis de mettre en évidence qu'une durée d'exposition de l'ordre de 2200 Dj est nécessaire à l'atteinte de la maturité. Le seuil thermique de ponte est par ailleurs atteint plus vite et plus longtemps dans le secteur chaud. Les forts courants de marée dispersent ensuite les larves sur de grandes distances, ce qui permet le développement de populations sauvages dans des secteurs où les températures de l'eau ne permettent pas la reproduction.

Le réchauffement observé de près de 1°C des eaux bretonnes depuis le début des années 90 a permis de dépasser le seuil thermique de ponte mais également d'initier plus précocement la gamétogenèse et d'accélérer le développement gamétique. L'explosion du nombre de sites concernés par des populations d'huîtres sauvages est simultanée à ce réchauffement des eaux. Ainsi, l'analyse menée met en évidence que **le réchauffement climatique est le principal facteur déclenchant et facilitant l'invasion de *Crassostrea gigas* au Nord de la Loire**. Les seuls secteurs ostréicoles non colonisés sont les sites les plus froids (Abers, baie de Morlaix).

Interactions avec l'écosystème

Ce volet vise à étudier la place occupée par *C. gigas* dans le milieu naturel et l'impact éventuel de son introduction sur le fonctionnement de l'écosystème.

→ Méthodologie

L'étude est basée sur les données de vastes prospections de terrain (substrat, salinité, hydrodynamisme et profondeur) qui ont permis de caractériser l'amplitude de la niche écologique de *C. gigas*. L'étude des interactions biotiques avec les espèces autochtones (compétition spatiale et trophique, prédation) repose sur une approche comparative et expérimentale in situ.

→ Résultats

Le projet PROGIG a mis en évidence que ***C. gigas* est l'espèce la plus tolérante du milieu côtier (substrat, salinité, hydrodynamisme et exondaison), devant la moule**, ce qui explique son importante aire de répartition et son potentiel de colonisation.

L'étude a montré que la présence de récifs d'huîtres se traduit par un impact positif sur la biodiversité locale, tant en termes de biomasse qu'en termes de diversité spécifique, et ce quel que soit le substrat initial (meuble ou rocheux). **L'huître est donc l'une des seules espèces invasives qui stimulent la biodiversité à l'échelle locale**. Ces résultats sont interprétés comme résultant de l'augmentation de la complexité et de l'hétérogénéité de l'habitat dues à la construction du récif. À plus grande échelle cependant, les conséquences en terme de biodiversité régionale peuvent être différentes car la colonisation des milieux naturels peut conduire à une homogénéisation et une banalisation des habitats intertidaux.

Par ailleurs, une étude a été menée pour évaluer le rôle de l'huître dans le cycle de la silice. L'hypothèse est qu'au travers de la consommation de diatomées et du rejet dans les fèces de leurs tests siliceux, l'huître participe au recyclage local de la silice biogénique, favorisant le développement de diatomées plutôt que d'éventuels dinoflagellés toxiques. La silice biogénique a été mesurée à petite échelle (bancs d'huîtres) et à grande échelle (Rade de Brest). Les résultats montrent qu'il n'y a pas de teneur en silice significativement plus importante à proximité des bancs d'huître que sur les sédiments éloignés. Il n'y a donc **pas d'accumulation, ni de concentration de silice dans et à proximité des bancs d'huîtres** car la dispersion des bio-dépôts est assurée par l'hydrodynamisme de l'estran*.

Conséquences socio-économiques

→ Méthodologie

L'étude s'appuie sur les résultats du recensement conchylicole de 2001 et utilise le découpage professionnel en deux sections régionales : Bretagne Nord (257 entreprises) et Sud (487

entreprises). Le poids économique de la conchyliculture bretonne est appréhendé à l'aide des indicateurs suivants : nombre d'entreprises, emploi, surfaces concédées et production. Une enquête socio-économique a été menée auprès des professionnels de la conchyliculture de Bretagne et des entretiens non directifs sur le terrain ont été conduits auprès d'usagers non professionnels de l'estran en vue d'appréhender les conséquences de l'invasion sur le milieu professionnel et les usages.

→ Résultats

L'étude met en évidence que **les interactions de *Crassostrea gigas* avec la conchyliculture sont fortes et que sa prolifération constitue une menace réelle pour la profession**. La prolifération entraîne ainsi des surcoûts importants dus à l'entretien supplémentaire des structures et du cheptel ainsi que par un retard à la taille marchande du fait de la compétition trophique.

La présence de *C. gigas* constitue en revanche une opportunité pour la pêche à pied professionnelle, dont elle ne représentait toutefois en 2005 qu'une activité secondaire.

Au niveau des usages non professionnels, l'étude montre que la prolifération constitue une **gêne importante dans les sites balnéaires** en raison des laisses de mer* d'huîtres qui gênent la baignade et engendrent un risque de coupures. Les coquilles coupantes des huîtres peuvent en outre constituer un facteur de risque pour certaines activités de plaisance, en particulier pour les bateaux pneumatiques.

Quelles mesures de gestion pour l'huître *C. gigas* ?

Des réunions avec élus, gestionnaires et usagers de l'estran ont été organisées afin de cerner les attentes en termes d'outils de gestion, de cadrer les actions envisageables et de faire un bilan des actions réalisées.

Les résultats ont montré qu'il **n'est pas envisageable d'éradiquer totalement les huîtres sauvages des côtes françaises**. Des actions ponctuelles sont cependant possibles pour limiter localement les gênes (accès aux quais et cales, nettoyage des plages). Le projet PROGIG propose un organigramme d'aide à la décision destiné aux gestionnaires qui s'interrogent sur l'opportunité d'une gestion ciblée (Figure 32). Le maintien de sites protégés (sites Natura 2000, Parc Marin d'Iroise...) sans présence d'huître paraît possible dans les

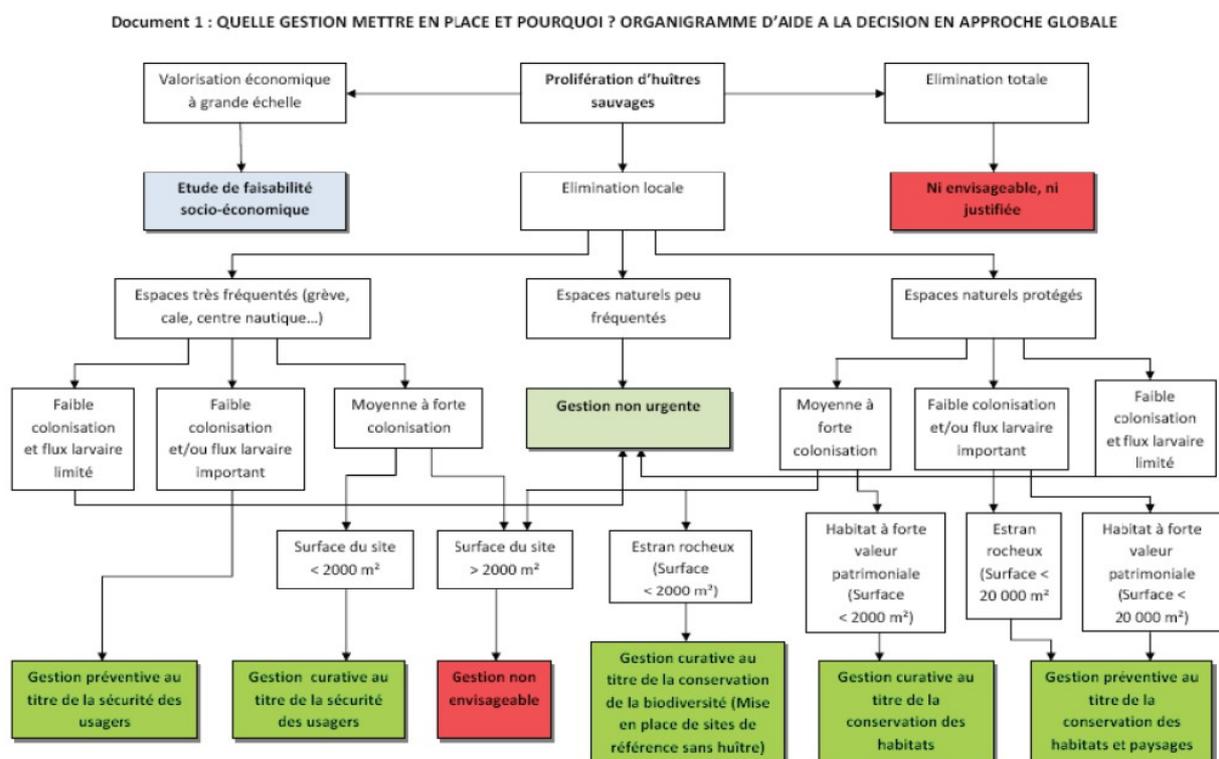


Figure 32 : Organigramme d'aide à la décision en approche globale

secteurs encore peu colonisés et où les flux de larves restent modérés.

Le devenir des huîtres récoltées et enlevées et leur valorisation éventuelle demeure une question complexe. PROGIG a produit une synthèse des différentes possibilités de valorisation et d'élimination des huîtres et coquilles d'huîtres, mais il n'existe pas actuellement d'option rentable pour l'exploitation de *C. gigas* du fait des coûts élevés de ramassage et de transport.

Le projet a enfin permis de réaliser une synthèse juridique en vue d'apporter des éléments de réponse aux questions élémentaires que pourraient se poser les gestionnaires ou collectivités confrontés à la problématique de gestion des huîtres sauvages :

- A-t-on le droit d'enlever ou de détruire les huîtres localement ?
- Quelles sont les autorités compétentes pour donner cette autorisation le cas échéant ?
- Quelle pourrait être la responsabilité des élus communaux face au danger de blessures lié aux huîtres ?

Si les différents textes réglementaires et législatifs étudiés n'apportent pas de réponse directe à toutes les questions posées, ils permettent d'avoir une idée générale du cadre réglementaire dans lequel les gestionnaires peuvent se positionner pour justifier une gestion locale.

Conclusion

Au début du projet PROGIG, la problématique de la prolifération de *C. gigas* et ses conséquences environnementales et économiques était méconnue des scientifiques, du public et des médias en France.

Le projet PROGIG a permis d'acquérir, en relation étroite avec les professionnels de la conchyliculture, une expertise scientifique complète sur *C. gigas* en tant qu'espèce invasive. Il a également contribué à la visibilité de cette problématique au travers de communications en direction de médias locaux et nationaux.

Le projet a en outre produit une série de documents synthétiques destinés aux gestionnaires en prise avec les invasions de *C. gigas* : liste des critères à prendre en compte pour une gestion éventuelle de l'invasion, organigrammes d'aide à la décision en approche globale et locale, fiche pratique d'aide à la gestion, protocoles de gestion et de suivi détaillés.

Suites

L'huître creuse *Crassostrea gigas* demeure aujourd'hui l'huître majoritairement élevée en France (plus de 90 % de la production). Depuis plusieurs années, la filière ostréicole est cependant confrontée à une mortalité massive des huîtres creuses. Depuis 2008, le taux de mortalité des naissains et des huîtres juvéniles oscille ainsi entre 60 et 80 % (contre 10 à 30 % habituellement) et la production nationale annuelle est en nette diminution (130 000 tonnes en 2009, 85 000 tonnes en 2010 et 80 000 tonnes estimées en 2011). Plusieurs raisons ont été avancées pour expliquer ces surmortalités massives : le changement climatique, la pollution et l'herpès virus. En outre, des phénomènes de mortalité massive des populations adultes ont été constatés en 2013 (entre 50 et 80 % dans certaines zones), liés notamment à la présence d'une bactérie mortelle (*Vibrio aestuarianus*). Les causes de son développement, probablement liées au changement climatique, ne sont pas clairement identifiées. Des recherches menées principalement par l'Ifremer sont en cours pour lutter contre ces surmortalités et ainsi maintenir la filière ostréicole en France.

Dans ce contexte, la problématique de l'invasion de *C. gigas* est perçue comme moins alarmante aujourd'hui. Le rythme de l'invasion a d'ailleurs ralenti mais les populations sauvages restent très développées dans de nombreux secteurs. **Les populations d'huîtres sauvages sont peu impactées par les phénomènes de mortalité observés sur les cheptels d'huîtres, et des réflexions sont engagées sur la possibilité de les utiliser pour réalimenter les parcs ostréicoles.**

Le projet PROGIG a constitué une étude précurseuse sur les évolutions rapides qu'engendrent certaines espèces invasives sur les écosystèmes marins. Elle a inspiré la mise en place d'études comparables notamment en Grande-Bretagne et en Irlande.

L'expertise acquise a permis aux chercheurs du projet PROGIG d'apporter leur contribution aux activités du CIEM (Conseil International pour l'Exploration de la Mer) sur les espèces invasives en 2007.

Pour en savoir plus :

[Rapport scientifique sur www1.liteau.net](http://www1.liteau.net)

Conclusions

Sur les problématiques de risques côtiers, les projets Liteau financés entre 2003 et 2007 ont principalement porté sur la connaissance des aléas physiques et biologiques et la proposition de différents outils d'appui à la gestion : outils de suivi, d'aide à la décision, objectivation des conséquences socio-économiques des risques, préconisation de solutions de gestion.

Les appels Liteau n'ayant pas explicitement sollicité de projets sur la thématique des risques « physiques » avant 2007, on trouve logiquement relativement peu de projets sur cette thématique dans la présente publication. Les projets sélectionnés abordent la question de la gestion du trait de côte et des risques littoraux essentiellement sous l'angle de la restauration de systèmes dégradés.

Ainsi, le projet Multidune a proposé les premiers indicateurs synthétiques d'évaluation de l'état des cordons dunaires littoraux, barrières naturelles contre la submersion marine et sources de fonctions écologiques majeures. Multidune propose des indicateurs intégrés des services écosystémiques multiples procurés par les cordons dunaires, qui constituent d'intéressants outils pour guider les collectivités dans les tentatives de restauration des dunes littorales. Bien que testés sur un site particulier, les outils développés par le projet sont novateurs, basés sur des données satellitaires et photographiques largement disponibles sur le littoral, et donc extensibles à d'autres portions du littoral français. Leur extension géographique et leur opérationnalisation sont d'ailleurs en cours dans le cadre de nouveaux projets.

Le projet « Certain » sur les rechargements sédimentaires d'avant-côte répond encore plus directement aux questionnements des gestionnaires sur l'efficacité d'opérations relativement importantes de génie écologique pour la gestion des plages. Le projet a permis le développement de plusieurs modèles numériques et expérimentaux afin de tester des scénarios de rechargements en sable sous différentes conditions hydrodynamiques. Il a donné des réponses précises quant à l'option la plus économique, utilisées dans le cadre d'actions opérationnelles de rechargement sédimentaire.

La thématique des risques émergents permet de mettre en lumière une autre facette des projets financés par Liteau : conscients de l'existence d'un aléa mal ou non appréhendé par la puissance publique, les chercheurs proposent des projets

innovants, dont les résultats sont susceptibles d'interpeller la puissance publique et de lui proposer des moyens d'action.

En 2003, la contamination des eaux estuariennes et littorales par les substances pharmaceutiques était une thématique tout à fait nouvelle. Le projet mené par H. Budzinski a ainsi été une étude pionnière, qui a permis de tester des protocoles analytiques et de publier les premières données quantitatives sur la contamination des écosystèmes littoraux français par les médicaments et leurs impacts préoccupants sur les écosystèmes aquatiques. Poursuivies dans plusieurs projets successifs, ces recherches ont contribué à une prise de conscience sociétale et politique et au lancement du Plan national sur les résidus de médicaments dans l'eau 2010-2015.

Sur la thématique des espèces invasives, les projets MediOs 2 et PROGIG se sont attachés à examiner non seulement les effets écologiques et sanitaires de proliférations biologiques, mais aussi leurs impacts sur les activités socio-économiques, dans une approche intégrée propre au programme Liteau. Ils proposent ainsi des connaissances et des outils qui viennent directement en appui à l'action publique.

Le projet MediOs 2 sur la prolifération des algues du genre *Ostreopsis* a permis de réunir un grand nombre de connaissances nouvelles sur la dynamique de ces microalgues et les facteurs déclenchants de leurs efflorescences. Si ces proliférations ont à ce stade un impact sanitaire et économique limité en Méditerranée nord-occidentale, les préconisations du projet pour améliorer la surveillance environnementale et la gestion de la problématique *Ostreopsis* pourraient s'avérer cruciales dans le cas d'une recrudescence des phénomènes d'efflorescences en lien avec le réchauffement de la Méditerranée. L'expertise acquise dans le cadre de MediOs 2 a pu être mise à profit à l'échelle internationale.

Au moment du lancement du projet PROGIG, la prolifération de l'huître creuse *Crassostrea gigas* était considérée comme problématique sur le littoral Atlantique. PROGIG a permis de faire un état des lieux complet de la situation en 2007. Les résultats montrent sans ambiguïtés l'influence du changement climatique dans la capacité de colonisation de nouvelles zones par l'huître creuse, tandis que du point de vue de la biodiversité, la prolifération de l'huître creuse s'avère plutôt positive. Plus généralement, PROGIG apporte des clés de compréhension pour la gestion des espèces invasives.

Le programme Liteau a financé de nombreux autres projets sur la connaissance, la gestion et l'adaptation aux risques littoraux, notamment dans les phases plus récentes du programme. Pour approfondir cette thématique, le lecteur pourra donc consulter d'autres projets qui n'ont pas été abordés dans cette publication :

- **Mise au point d'un modèle prévisionnel d'évolution d'une plage macrotidale sous l'effet d'un procédé de drainage** (2004-2007, coord. Franck Levoy, Univ. de Caen)

> Ce projet s'est intéressé à un autre mode de lutte « douce » contre l'érosion des plages, qui consiste à créer par drainage une zone désaturée en eau sur la plage afin de permettre une meilleure absorption du jet de rive et ainsi un dépôt des sédiments. Le projet avait pour objectif de calibrer un modèle physique en utilisant les données de suivi d'une plage équipée d'un tel dispositif à Villers-sur-Mer (Calvados). Les contraintes techniques liées à la modélisation en laboratoire et l'absence d'impact significatif sur la topographie de la plage du procédé en nature n'ont pas permis d'aboutir à un modèle prévisionnel. Le suivi de l'évolution du site pendant 4 ans n'a pas permis d'identifier de tendance volumétrique et altimétrique positive de la plage traitée. En revanche, l'assèchement de la plage qu'induit le drainage constitue un atout touristique pour la commune.

Retrouvez le [rapport scientifique](http://www1.liteau.net) sur www1.liteau.net

- **SURCOTE – Subir, réagir et s'adapter aux changements globaux : l'exemple de la côte des Havres (Ouest Cotentin, Manche occidentale).** (2009-2013, coord. Franck Levoy, Univ. de Caen)

> SURCOTE avait pour finalité d'analyser l'évolution de la côte des Havres sur la période 1950-2010 et de faire la part des effets anthropiques et climatiques sur les changements de la zone intertidale, afin d'en prévoir l'évolution possible à l'échelle des prochaines décennies. Le projet a notamment réalisé une cartographie fine de la vulnérabilité des zones côtières grâce à des relevés topographiques de haute résolution et à l'utilisation d'outils de simulation numérique de l'aléa submersion marine. Ces analyses ont permis de proposer pour l'avenir un mode de gestion concerté et intégré de cette zone littorale à forte pression anthropique.

Retrouvez le [rapport scientifique](http://www1.liteau.net) sur www1.liteau.net

- **BARCASUB – La SUBmersion marine et ses impacts environnementaux et sociaux dans le Bassin d'ARCACHON (France) : est-il possible, acceptable et avantageux de gérer ce risque par la dépoldérisation ?** (2009-2013, coord. Lydie

Goeldner, Frédéric Bertrand, Univ. Paris 1 et 4)

> BARCASUB s'est intéressé aux avantages et inconvénients de la dépoldérisation comme solution possible de gestion du risque avéré et grandissant de submersion marine dans le bassin d'Arcachon. La possibilité d'une dépoldérisation volontaire de certains secteurs a été évaluée au regard d'une analyse coûts-bénéfices approfondie, intégrant aspects écologiques et sociaux. Le projet formule des propositions argumentées de dépoldérisation de certains secteurs du bassin, ainsi que des recommandations pour la conduite de la concertation avec la population.

Retrouvez le [rapport scientifique](http://www1.liteau.net) sur www1.liteau.net

- **BLINIS – Enregistrement sédimentaire par les barrières littorales des niveaux marins extrêmes du Petit Age Glaciaire à nos jours : une aide à l'évaluation de la vulnérabilité des zones côtières** (2012-2015, coord. Bernadette Tessier, Univ. de Caen)

> L'objectif principal de ce projet est de reconstituer les grandes étapes de construction/destruction de barrières littorales sableuses depuis le XVI^e siècle afin de quantifier les impacts des événements « météo-marins » extrêmes sur l'évolution des systèmes littoraux, et de croiser ces données avec la perception des populations littorales des phénomènes extrêmes, telle qu'enregistrée dans les archives historiques. Ces nouvelles données doivent permettre d'améliorer les prévisions d'évolution des barrières littorales et de la vulnérabilité des sociétés.

[Plus d'informations](http://www1.liteau.net) sur www1.liteau.net

- **SOLTER – Quelles solidarités territoriales et quelles stratégies pour la résilience du littoral à la submersion marine ?** (2012-2015, coord. Hélène Rey-Valette, Univ. Montpellier 2)

> En lien avec la Stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte, l'objectif de ce projet est d'explorer les modalités de mise en œuvre de politiques sans regret permettant d'anticiper le recul stratégique, en tenant compte des perceptions des populations de façon à renforcer l'acceptabilité de ces mesures et à identifier les possibilités de financement privé. Il s'agit en particulier d'identifier des outils financiers et/ou réglementaires innovants permettant de financer des actions d'aménagement et des mesures de compensations financières, en veillant à l'équité des contributions au sein de la population en fonction des niveaux d'implication et des solidarités territoriales existantes.

[Plus d'informations](http://www1.liteau.net) sur www1.liteau.net

Sur les risques sanitaires et environnementaux marins :

- **MICROGAM – Modélisation des contaminations bactériennes d'origine fécale du golfe d'Aigues-Mortes en vue d'une gestion des risques en temps réel** (2007-2012, coord. Patrick Monfort, Univ. Montpellier 2)

> *Le projet visait à comprendre les sources de contamination microbienne du golfe d'Aigues-Mortes (GAM), à modéliser leur diffusion sous différentes contraintes météorologiques et à analyser leurs conséquences sanitaires et socio-économiques éventuelles. Il conclut que les principales sources de contamination proviennent du bassin versant lors de périodes de précipitations, et non de l'émissaire de la station d'épuration de l'agglomération montpellieraine. Ces contaminations ne présentent toutefois pas de risque sanitaire pour les usagers du littoral. Le projet a en outre conduit une étude originale des pratiques sanitaires des usagers des plages.*

Retrouvez le [rapport scientifique](http://www1.liteau.net) sur www1.liteau.net

- **GELAMED – Étude du Plancton Gélatineux sur la façade Méditerranéenne** (2009-2013, coord. Delphine Bonnet, Univ. Montpellier 2)

> *GELAMED s'est intéressé au phénomène émergent des épisodes de prolifération du plancton gélatineux dans certaines lagunes du littoral méditerranéen. Il a permis de caractériser les différentes espèces de plancton gélatineux présentes au niveau de la façade méditerranéenne française, leurs rythmes d'apparition, leur distribution géographique et a tenté d'identifier les causes de leur prolifération. Il a en outre permis d'analyser la perception de ces phénomènes par les acteurs du milieu marin et leurs éventuelles conséquences socio-économiques. GELAMED a ainsi permis d'acquérir des données de référence sur un phénomène encore mal connu et appréhendé.*

Retrouvez le [rapport scientifique](http://www1.liteau.net) sur www1.liteau.net

- **REPAMEP – Réponse des palourdes aux stress environnementaux combinant métaux, efflorescences toxiques et pathogènes** (2009-2013, coord. Xavier de Montaudouin, Univ. Bordeaux 1)

> *Conduit en partenariat avec le comité régional des pêches Aquitaine, le projet REPAMEP a développé une approche interdisciplinaire en vue de comprendre les origines de deux maladies touchant les stocks de palourdes japonaises du Bassin d'Arcachon, une ressource d'intérêt conchylicole. Le projet a permis de faire un état complet de la prévalence des pathologies dans le bassin, de formuler des pistes sur*

leur origine, et plus largement d'analyser la réponse des palourdes aux stress environnementaux. Ces connaissances scientifiques nouvelles ont été mises à profit pour appuyer la gestion des stocks.

Retrouvez le [rapport scientifique](http://www1.liteau.net) sur www1.liteau.net

Partie 3 – Vers la mise en œuvre de nouveaux modes de gestion de la mer et du littoral

Introduction

Compte tenu de la grande diversité des activités, des usages et plus globalement des interactions entre nature et société dans la zone côtière, des divergences de perception et des incertitudes quant à ses évolutions à long terme, de l'éclatement des compétences de gestion, il est nécessaire de rechercher et d'expérimenter les voies et moyens d'une gestion concertée et intégrée des espaces et ressources littoraux et marins.

Promue par la conférence de Rio en 1992, puis en Europe par la recommandation 2002/413/CE du Parlement européen et du Conseil, la gestion intégrée des zones côtières (GIZC), parfois élargie au concept de gestion intégrée de la mer et du littoral (GIML), constitue le principal instrument de cette gestion renouvelée. Selon le protocole GIZC de la Convention de Barcelone, la gestion intégrée des zones côtières « *est un processus dynamique de gestion et d'utilisation durables des zones côtières, prenant en compte simultanément la fragilité des écosystèmes et des paysages côtiers, la diversité des activités et des usages, leurs interactions, la vocation maritime de certains d'entre eux, ainsi que leurs impacts à la fois sur la partie marine et la partie terrestre* » (voir Prieur, 2011). Les dispositifs de concertation sont au cœur des dispositifs de GIZC, car ils doivent permettre de dépasser les divergences de perception et d'intérêt et de fédérer les acteurs locaux autour d'enjeux partagés de gestion du territoire côtier, afin de permettre la réalisation efficace d'objectifs différents, mais rendus compatibles.

La recherche a un rôle important à jouer pour accompagner la mise en place de nouvelles formes de gestion des zones côtières. Il s'agit ici d'élaborer des diagnostics préalables de l'état et des dynamiques territoriales, d'aider à construire des outils de suivi et des représentations partagées, de développer des outils d'intégration des connaissances scientifiques et des méthodes d'évaluation des actions menées, et enfin de créer les conditions favorables à un apprentissage collectif.

L'appui à la gestion intégrée des zones côtières constitue un enjeu fort du programme Liteau depuis sa création. Cette troisième partie vise donc à mettre en lumière l'apport de projets à des approches novatrices de gestion intégrée de la mer et du littoral, ainsi qu'au développement d'outils qui y contribuent.

Dans une première sous-partie, on aborde quelques exemples de projets ayant développé des démarches ou outils innovants pouvant venir en appui des démarches de gestion intégrée :

- Les observatoires de la fréquentation littorale « **Bountiles** » ont été mis en place dans plusieurs espaces littoraux protégés à l'issue de deux projets Liteau successifs qui ont développé des outils méthodologiques pour l'observation, la gestion, la prévision et la concertation des usages touristiques, en liens étroits avec les acteurs gestionnaires.
- Deux séries de projets montrent ensuite comment des outils de modélisation numérique de l'environnement peuvent constituer des supports indispensables des démarches de concertation pour la gestion intégrée. Dans la Baie du Mont-Saint-Michel, le **projet IPRAC** a ainsi mobilisé un outil de modélisation des transferts de nutriments depuis le bassin versant couplé à des modèles de l'écosystème marin pour tester, en lien avec la profession conchylicole, l'impact de scénarios d'évolution des apports trophiques sur la production conchylicole de la Baie. Le **projet « Lefebvre »**, plus ancien, a développé une chaîne de modèles permettant de simuler l'impact des nutriments exportés par la Seine, la Somme et l'Escaut sur l'état d'eutrophisation de la zone Manche-Mer du Nord. Ces modèles ont ultérieurement été utilisés à l'appui de démarches participatives.

Si les problématiques relatives aux aires marines protégées (AMP) auraient pu justifier à elles seules un chapitre dans cette publication, les AMP n'en constituent pas moins un dispositif de gestion intégrée et concertée du milieu marin et de ses ressources, avec pour objectif la préservation à long terme de l'environnement marin et des services écosystémiques qu'il procure, mais aussi le développement durable des activités maritimes (Stratégie nationale pour la création et la gestion des aires marines protégées, MEDDTL, 2012). L'objectif ambitieux que s'est fixé la France lors du Grenelle de la mer en matière de création et de gestion d'un réseau « cohérent et représentatif d'aires marines protégées » (20% des zones sous juridiction française d'ici à 2020) suppose de pouvoir évaluer l'efficacité des AMP à atteindre les objectifs qui leur sont assignés, et donc de disposer d'outils de suivi des écosystèmes et des usages,

d'indicateurs des pressions et de l'état des écosystèmes, de démarches d'évaluation incluant la performance des systèmes de gestion et les aspects socio-économiques.

- Le **projet PAMPA** a justement eu pour objectif de construire et de tester, en collaboration étroite avec de nombreux gestionnaires d'AMP, des tableaux de bord d'indicateurs portant sur les écosystèmes, les usages (pressions/impacts) et la gouvernance des AMP, afin d'évaluer la performance de leurs systèmes de gestion.

La **seconde sous-partie** est dédiée à trois projets ayant concrètement participé à construire des démarches de gestion intégrée en Outre-mer.

- La baie du Robert, en Martinique, a fait l'objet de deux projets Liteau successifs ayant largement accompagné la mise en place d'une démarche de GIZC. Le premier d'entre eux, le **projet « Dao »**, s'est attaché à construire un diagnostic environnemental complet du territoire de la baie, partagé avec les acteurs locaux. Le **projet RESPIREAU** s'est appuyé sur cet état des lieux préalable pour construire une représentation plus complète des interactions entre société et environnement, en mobilisant notamment les sciences humaines et sociales. RESPIREAU a permis de proposer des outils de représentation favorisant l'appropriation des connaissances scientifiques, utilisés dans le cadre d'un exercice de prospective mené avec des acteurs représentatifs du territoire.
- Le **projet COGERON** visait à initier une démarche de co-gestion des ressources et espaces marins sur un site du littoral néo-calédonien marqué par le développement d'un complexe industriel minier pour l'exploitation du nickel. Il a pour ce faire mené une analyse détaillée du contexte local au plan environnemental, sociologique et économique, et a cherché à organiser la participation des parties prenantes (en particulier des populations autochtones) à la gestion des ressources côtières.

3.1. Quelques outils en appui à la gestion intégrée de la mer et du littoral

3.1.1. Tourisme et environnement dans les espaces littoraux et insulaires protégés : les observatoires de la fréquentation littorale Bountiles (2006-2009)

Coordination : Louis Brigand (UMR LETG-Géomer, IUEM, université de Bretagne occidentale)

Partenaires scientifiques : université de Bretagne occidentale

Partenaires gestionnaires : Parc national de Port-Cros, Syndicat mixte espaces littoraux de la Manche, Syndicat mixte Baie du Mont-Saint-Michel, Syndicat intercommunal d'aménagement du golfe du Morbihan, Syndicat intercommunal du bassin d'Arcachon, Conseil général de la Manche, association Nautisme en Finistère, Association des îles du Ponant.



Figure 33 : Photo aérienne des îles Chausey
(© Laurent Mignaux/METL-MEDDE)

L'essor du tourisme de nature génère une fréquentation grandissante des espaces protégés, avec de multiples impacts sur le littoral : piétinement de la flore, dérangement de la faune, pollution des habitats... Ce phénomène est particulièrement exacerbé sur les îles du fait de l'exiguïté de leur territoire. Le tourisme représentant une activité économique primordiale pour les populations insulaires, **la conciliation de la fréquentation touristique et de la préservation de l'environnement naturel est donc un enjeu majeur pour les gestionnaires des espaces naturels**. Engagés dans une politique de gestion intégrée de la mer et du littoral, les gestionnaires souhaitent connaître et maîtriser la fréquentation touristique dans le temps et l'espace, en vue d'un développement touristique durable. Il ne s'agit plus seulement de gérer les flux de visiteurs à mesure que les impacts sociaux et environnementaux sont révélés mais de prévenir leur

apparition. Il s'agit également de définir des politiques de fréquentation axées sur la qualité de la visite plutôt que sur la quantité de visiteurs. La définition de « capacités de charge », au travers de seuils d'acceptabilité d'ordre sociaux, économiques et environnementaux permettrait de fonder et d'appuyer leur prise de décisions. Cependant, les paramètres à prendre en compte sont très diversifiés et difficiles à évaluer, et les gestionnaires ne disposent pas à ce jour de dispositif d'évaluation et d'outils prospectifs répondant totalement à leur demande.

Dans ce contexte, l'objectif de ce projet Liteau était double :

- 1) proposer des **outils méthodologiques pour l'observation, la gestion, la prévision et la concertation des usages touristiques** ;
- 2) opérer des **transferts de savoir-faire et d'expérience vers les acteurs gestionnaires**.

Cinq sites ateliers insulaires ou littoraux à forte valeur environnementale, tous confrontés à une forte pression touristique, ont été choisis comme sites ateliers : les îles de Port-Cros et Porquerolles, l'archipel de Chausey (Fig. 33), les îles et le littoral finistérien, la Mer d'Iroise et l'île d'Yeu. Les premières études de fréquentation touristique ont été menées dès 2003 sur les îles de Port-Cros et Porquerolles et dans l'archipel de Chausey. Les autres sites ont été retenus en raison de demandes formulées par les gestionnaires. Les objectifs poursuivis sur chacun des sites ateliers tiennent donc compte des spécificités des territoires, et des études menées préalablement. Ils sont détaillés dans le Tableau 7.

Une méthode basée sur une démarche participative

→ Les études de fréquentation

Il s'agit en premier lieu de réaliser un état des lieux précis de la fréquentation touristique, selon une méthodologie standardisée. L'objectif est de recueillir sur le terrain **des données quantitatives, qualitatives et comportementales** afin de répondre à des questions concrètes concernant la fréquentation : « qui, quoi, combien, où, quand, comment ? ». L'étude se doit de tenir de compte de la réalité du terrain, en prenant notamment en compte la diversité des modes de fréquentation induite par le caractère maritime des îles, et en mettant en place des outils méthodologiques adaptés aux sites.

Différents protocoles de collecte ont donc été mobilisés : des comptages manuels sur site, des comptages en mission aérienne, des comptages automatisés par l'intermédiaire d'« éco-compteurs » (dispositifs qui enregistrent le passage des visiteurs

Site-atelier	Partenaires gestionnaires	Objectifs poursuivis
Îles de Port-Cros et Porquerolles	Parc national de Port-Cros	Mettre en place un observatoire de la fréquentation touristique sur un site pilote depuis 2002.
Archipel de Chausey	Conservatoire du littoral, Syndicat Mixte des Espaces littoraux de la Manche	Actualiser des données de fréquentation touristique. Projet de mise en place d'un observatoire s'attachant particulièrement aux activités de pêche à pied et de plaisance.
îles et littoral du Finistère	Association « Nautisme en Finistère »	Caractériser de façon précise la plaisance : évaluation et cartographie des mouillages. Réflexion sur la mise en place d'un observatoire à l'échelle départementale.
Île d'Yeu	Association des îles du Ponant	Réflexion sur les notions de « capacité d'accueil » et de « charge » d'un territoire insulaire.
Mer d'Iroise	Mission d'étude pour la création du Parc naturel marin d'Iroise	Définir les aspects théoriques et méthodologiques préalables à l'élaboration et la mise en œuvre d'un observatoire de la fréquentation touristique

Tableau 7 : Récapitulatif des sites-ateliers du projet et des objectifs poursuivis dans le cadre du projet.

sur les sentiers). La méthodologie a fait appel à des **techniques originales**, notamment celle des « instantanés cartographiques » qui représentent la fréquentation globale d'un espace à un instant t, ou bien celle des « reconstitutions d'itinéraires » qui révèlent les typologies de visite des sites.

En parallèle, la réalisation en nombre d'entretiens semi-directifs, d'enquêtes et de questionnaires à choix multiples a permis de **qualifier la fréquentation (profil, bien-être et comportement du visiteur) et de mieux connaître les usagers et leurs points de vue.**

Un investissement important sur le terrain a été nécessaire, avec des équipes de terrain composées de 6 à 10 personnes, constituées d'étudiants, d'enseignants-chercheurs, d'ingénieurs et de doctorants. Du fait de la diversité des informations recherchées, la réalisation des études de fréquentation a également nécessité l'investissement des partenaires gestionnaires sur le plan technique et matériel dans la réalisation de l'étude. Cet investissement repose sur une importante étape de co-construction et de concertation préalable.

Les données collectées sont centralisées dans une base de données afin d'assurer une mémoire de la fréquentation du site. Elles peuvent alors être consultées directement ou couplées avec un système d'information géographique afin de spatialiser les résultats.

→ **Les observatoires Bountiles (bases d'observation des usages nautiques et terrestres des îles et des littoraux)**

Si les informations réunies par l'intermédiaire des études de fréquentation peuvent constituer un outil d'aide à la gestion à part entière, la mise en place d'observatoires vise à assurer une continuité dans la collecte et le traitement des données à l'échelle d'un territoire.

À partir des résultats de l'étude de fréquentation, les partenaires (gestionnaires, scientifiques, voire professionnels et usagers) définissent conjointement une architecture de suivi basée sur trois niveaux hiérarchiques : des **critères de suivi** (thèmes généraux, par exemple « usage et usagers »), une **série d'indicateurs quantitatifs, qualitatifs et comportementaux** (thèmes spécifiques à chaque site, par exemple « gestion des déchets » ou « fréquentation des sites de plongée ») et des **paramètres de suivi**, chiffrés, volontairement peu interprétés et très proches de la donnée de terrain pour garantir leur pertinence à long terme (par exemple « volume de déchets collectés par mois »). Cette architecture constitue l'ossature de l'observatoire.

La méthodologie de collecte des données doit pouvoir être transférée aux agents de la structure gestionnaire en vue de la pérennisation de l'observatoire. Elle doit être adaptée aux conditions et moyens locaux, et fait donc l'objet d'une co-construction et d'un accompagnement des agents de terrain. Un **recueil méthodologique** est ainsi établi sur chaque site, réunissant des fiches techniques décrivant finement chaque

indicateur.

Une fois les principes de suivi élaborés et les indicateurs choisis, la mise en œuvre, le fonctionnement de l'observatoire Bountiles et la communication des résultats reposent sur **une chaîne d'outils opérationnels** :

- une base de données informatique, qui permet d'archiver, de traiter et de visualiser les données collectées par les agents de terrain ;
- un recueil méthodologique (description fine et complète des protocoles de collecte, et déroulement des tâches organisant le suivi pour les équipes de terrain) ;
- une formation des agents de terrain ;
- un tableau de bord cadrant les travaux des étudiants mobilisés annuellement pour la collecte de données ;
- des fiches « référents » organisant précisément la répartition des responsabilités de suivi de la fréquentation ;
- des fiches de synthèse annuelles, qui visent à livrer un bilan des évolutions des paramètres majeurs du suivi de la fréquentation ;
- une réunion publique de restitution annuelle, qui rassemble les gestionnaires, les scientifiques et les usagers. Il s'agit de livrer des informations, et surtout d'engager de façon collective leur interprétation ;
- un accompagnement scientifique, indispensable pour assurer la bonne appropriation de l'outil.

La figure 34 synthétise la démarche de co-construction qui permet une forte appropriation des outils de suivis par les utilisateurs, garantissant l'opérationnalité et la bonne mise en œuvre du suivi dans le temps. L'élaboration des outils techniques, tels que la base de données informatique, découle directement de cette démarche : ils sont adaptés aux spécificités locales.

Résultats

Le projet a conduit au développement de nouvelles démarches méthodologiques pour les études de fréquentation, qui permettent une meilleure connaissance des sites retenus.

Toutefois, les acquis principaux du projet se situent au plan méthodologique : la mise en place d'observatoires de la fréquentation littorale sur la base d'une démarche de co-construction des observatoires avec les scientifiques, les gestionnaires et les acteurs locaux sur chacun des sites.

Bountiles a fait l'objet d'un dépôt de marque et d'une déclaration d'invention. C'est un outil simple, peu coûteux, opérationnel et évolutif permettant de suivre l'évolution quantitative, qualitative et comportementale de la fréquentation d'un site littoral ou insulaire dans le temps et dans l'espace.

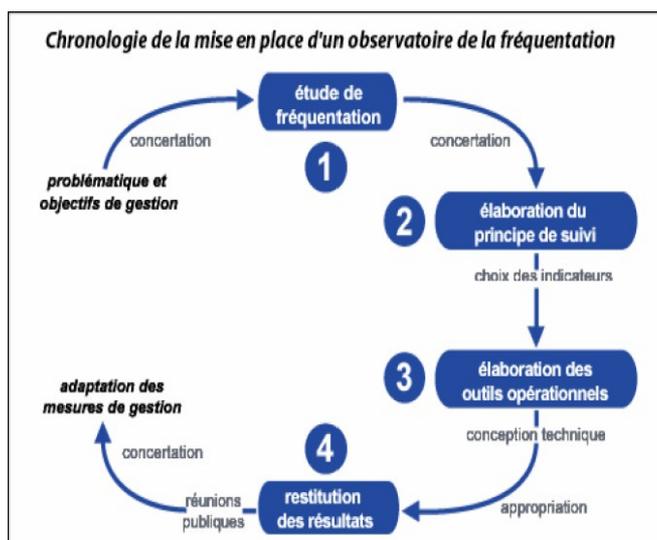


Figure 34 : Étapes chronologiques de l'évolution et de la mise en œuvre de l'observatoire Bountiles

À l'issue du projet, des observatoires Bountiles étaient en activité sur les îles de Port-Cros et Porquerolles et l'archipel de Chausey. **Ils ont depuis été étendus à trois autres sites** : le littoral du Finistère, le Mont-Saint-Michel (en partenariat avec le Syndicat mixte baie du Mont-Saint-Michel) et le bassin d'Arcachon (en partenariat avec le syndicat mixte du bassin d'Arcachon).

Les observatoires constituent un **outil de suivi routinier et d'aide à la décision pour les gestionnaires**. Ils fournissent des données factuelles en appui à la gestion des sites, qui font l'objet d'un bilan annuel à destination des habitants et des élus locaux. La pérennisation de ces dispositifs est permise par l'implication financière et humaine des gestionnaires des sites. L'outil permet

non seulement d'acquiescer une mémoire de la fréquentation des sites, mais aussi de mettre en place des aménagements et de cibler les informations nécessaires pour une gestion durable des sites à fort développement touristique. Par exemple, le suivi de la fréquentation sur les sites de Port-Cros et Porquerolles a permis d'observer un non-respect de l'interdiction de fumer sur le site. Les gestionnaires ont donc modifié leur communication afin de sensibiliser un plus large public à la réglementation.

Cependant, plus qu'un simple outil technique destiné à apporter des connaissances actualisées sur les usages touristiques, l'observatoire peut être considéré comme une **plate-forme d'échanges entre les acteurs du territoire et un support d'une réflexion collective sur la gestion durable d'un site**, au-delà de la question touristique.

Dans cette optique, trois séminaires regroupant gestionnaires, scientifiques et acteurs locaux ont été organisés autour de questions suscitées par le tourisme dans les îles : gestion des mouillages et des estrans à Chausey en 2006, gestion des flux touristiques à Port-Cros en 2007, et le premier « atelier des îles » à Ouessant en 2009. Ces rencontres régulières ont permis

de structurer un **réseau pérenne de gestionnaires, de scientifiques et d'acteurs locaux** (élus, usagers, acteurs économiques...) autour des questions relatives à la fréquentation touristique.

Suites

Outre le développement de l'outil Bountiles pour trois nouveaux sites après la fin du projet, la méthodologie d'étude de la fréquentation développée dans le cadre du projet a été appliquée à une dizaine d'autres sites littoraux et insulaires métropolitains. Grâce notamment aux financements du programme Liteau, un **réseau cohérent d'observatoires des usages et de la fréquentation touristique de sites littoraux** venant en appui à la mise en œuvre de politiques de gestion a pu être constitué à l'échelle du territoire métropolitain (Fig. 35).

Dans le cadre du projet MedPAN Nord, coordonné par le WWF-France sous l'égide du réseau de gestionnaires d'AMP méditerranéennes MedPAN et financé par le programme Interreg IIC, un **guide méthodologique sur la fréquentation des aires marines protégées de Méditerranée** a été publié

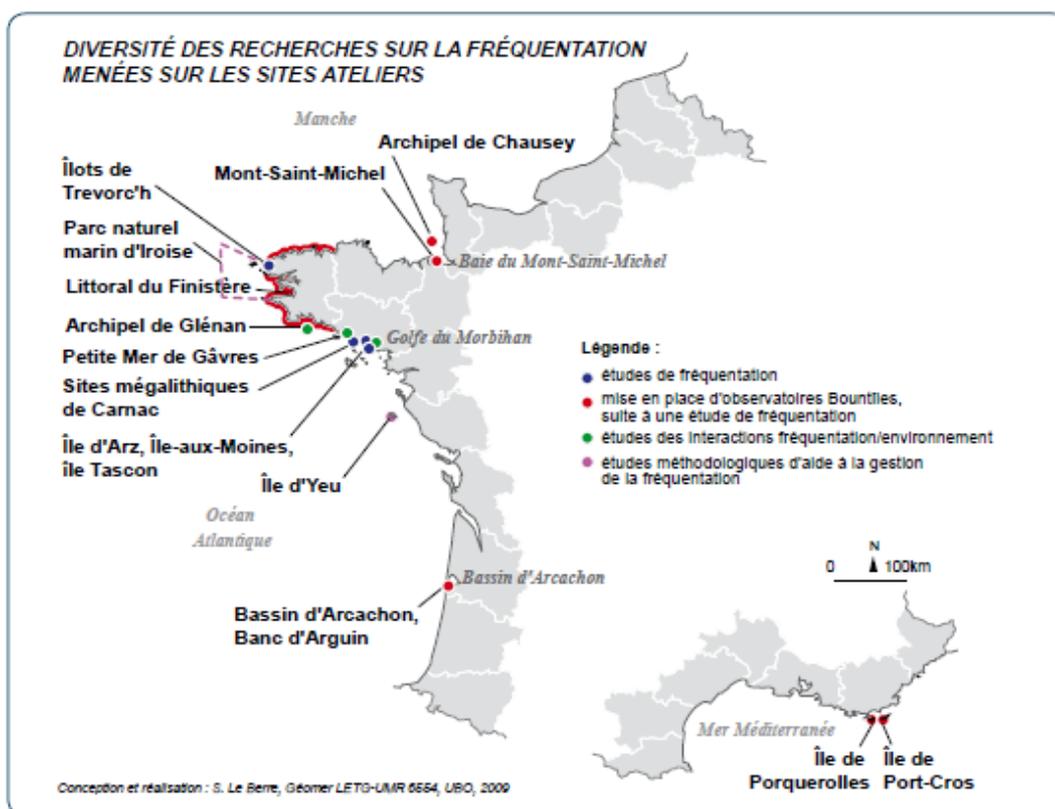


Figure 35 : Réseau d'observatoires de la fréquentation littorale constitué dans la continuité du projet

en juillet 2013. Ce guide résume l'ensemble des protocoles pour mettre en place un suivi de la fréquentation dans les aires marines protégées. Issu de l'expérience acquise dans le cadre des observatoires Bountiles, le guide s'adresse en priorité aux gestionnaires d'aires marines protégées. Il est téléchargeable [sur le site du réseau MedPAN Nord](#).

La création en 2013 du groupement d'intérêt scientifique **HomMer**, associant notamment l'université de Bretagne occidentale et l'Agence des aires marines protégées, vient concrétiser une démarche initiée en 2009 lors du séminaire d'Ouessant. Ce GIS dédié aux questions de **fréquentation, d'usages et de gouvernance des aires marines protégées** aura pour principal objectif de structurer au niveau national un domaine de recherche dynamique et de **fédérer la communauté scientifique et les gestionnaires d'espaces marins protégés**.

Enfin, dans le cadre du projet BECO (« Bountiles Economie », coordination J. Boncoeur, UMR AMURE, UBO), financé en 2009 par Liteau et qui vient de s'achever, des données issues des observatoires Bountiles à Chausey et au Mont-Saint-Michel ont été utilisées pour **évaluer l'impact économique de la fréquentation touristique de sites littoraux et insulaires protégés**. Le projet a permis d'adjoindre à l'outil Bountiles des outils de mesure dans le domaine économique.

Pour en savoir plus :

[Rapport scientifique](#) sur www1.liteau.net

Le 1^{er} cahier des îles (restitution du séminaire d'Ouessant) : www.iles-du-ponant.com/upload/document/1er-cahier-des-iles-18.pdf

3.1.2. La modélisation numérique, un outil en appui à la gestion intégrée terre-mer des zones côtières ? Deux exemples issus de projets Liteau

On présente ici deux exemples illustrant l'apport potentiel d'outils de modélisation numérique comme supports de processus de concertation et de gestion intégrée de la zone côtière. Le premier porte sur la Baie du Mont-Saint-Michel, sur laquelle plusieurs projets Liteau successifs ont été financés. On s'intéressera principalement au projet IPRAC, financé en 2007, tout en évoquant les apports d'un projet antérieur. L'autre exemple porte sur la façade Manche-Mer du Nord et s'inscrit dans un continuum de trois projets Liteau successifs.

→ Stratégies d'utilisation des ressources de la baie du Mont-Saint-Michel et conséquences en termes de gestion intégrée d'une zone côtière (2004-2008)

Coordination : Rémi Mongruel, Département d'économie maritime, Ifremer / UMR AMURE

Partenaires scientifiques : université de Bretagne occidentale

Partenaires gestionnaires : Association Interdépartementale Manche - Ille-et-Vilaine

Si le territoire de la baie du Mont-Saint-Michel et son bassin versant sont clairement identifiables d'un point de vue

fonctionnel, leur découpage administratif en trois départements (Manche, Ille-et-Vilaine, Mayenne), trois régions (Basse Normandie, Bretagne et Pays de la Loire) et deux bassins hydrographiques (Seine-Normandie et Loire-Bretagne) engendre une certaine fragmentation des démarches de gestion mises en œuvre (Fig. 36). L'association interdépartementale Manche - Ille-et-Vilaine (AIMIV) a été créée en 2005 afin de favoriser le développement de projets de partenariat entre les deux départements, en particulier sur les thèmes intéressant l'avenir de la baie du Mont-Saint-Michel.

Ce projet financé par Liteau en 2003 s'inscrit dans le contexte de la mise en œuvre de la directive-cadre sur l'eau d'une part, et d'autre part de la mise en œuvre d'une approche de gestion intégrée des zones côtières, portée par l'AIMIV en réponse à l'appel à projets locaux DIACT/SG Mer en 2005.

L'objectif du projet était de **comprendre les stratégies d'acteurs en matière d'utilisation de ressources naturelles partagées** (eau douce, biodiversité, terres agricoles, paysage, ressources trophiques primaires sur l'estran) en adoptant un cadre d'analyse issu des sciences sociales, qui mobilise principalement l'économie et le droit. L'objectif opérationnel était de mobiliser une large partie des connaissances scientifiques déjà produites relativement au fonctionnement du site afin **d'apporter un éclairage sur les enjeux de la mise en œuvre de la GIZC et de la directive-cadre sur l'eau (DCE) en baie du Mont-Saint-Michel.**

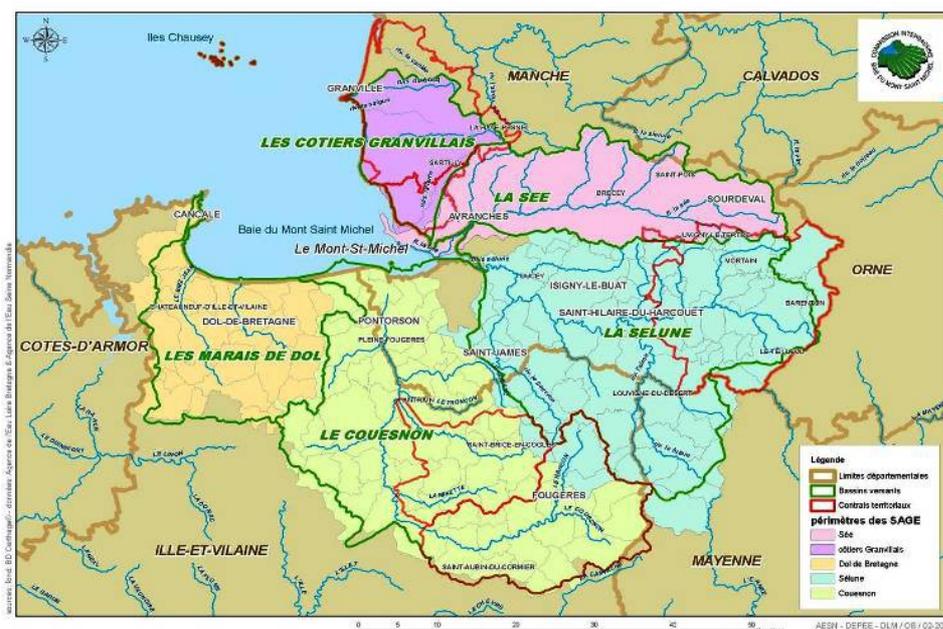


Figure 36 : Carte des bassins versants de la baie du Mont St-Michel
(Source : www.pays-baie-mont-saint-michel.fr)

Le projet est organisé autour de cinq axes de travail :

- produire une représentation du fonctionnement de la baie du Mont-Saint-Michel comme un ensemble de socio-écosystèmes ;
- dresser un bilan du poids relatif des grands secteurs d'activité, qui débouche sur une mise en regard des indicateurs économiques et des enjeux de gestion ;
- étudier les implications juridiques des implications de la mise en œuvre de la directive-cadre sur l'eau et leur perception par les acteurs ;
- analyser la participation des acteurs dans les processus de gestion concertée de la baie ;
- définir des indicateurs de développement durable appropriés et proposer des outils pour tester des scénarios de gestion intégrée du site.

→ Analyse économique des grands secteurs d'activité

On s'intéressera ici uniquement à l'analyse du poids économique respectif de quatre grands secteurs d'activité : la conchyliculture, l'agriculture, les industries agro-alimentaires et le tourisme, et à ses conséquences en termes de positionnement dans les processus de concertation. L'analyse s'appuie sur différentes bases de données et outils de l'INSEE, en particulier la base de données SIRENE, ainsi que la base AGRESTE du Ministère de l'Agriculture, les bases du Service des études et statistiques industrielles du Ministère de l'Économie et des études de suivi ponctuelles des diverses chambres de commerces et d'industries et des Comités Départementaux du tourisme.

Un tableau économique de la baie a été élaboré, qui répertorie les contributions relatives de chaque secteur à l'économie locale en fonction de différents indicateurs :

- Nombre d'emplois, indicateur de l'importance sociale du secteur ;
- Chiffre d'affaires (CA), indicateur de l'importance économique du secteur ;
- Valeur ajoutée (VA), indicateur des effets induits dans l'économie et la société ;
- Ratios tels que la valeur ajoutée (VA) et le chiffre d'affaires (CA) rapportés à l'emploi et à l'établissement.

Ces ratios ont été calculés pour le bassin côtier de la région de Dol-de-Bretagne où l'on retrouve la plus grande proximité de l'économie locale avec la partie maritime de la baie notamment du fait de la présence de la conchyliculture (Tableau 8).

L'intérêt de ce tableau économique est de pouvoir confronter des indicateurs quantitatifs vérifiables avec les discours visant à légitimer l'emprise d'un secteur d'activité sur un espace ou une catégorie de ressources. Le poids des activités primaires dans les processus de gestion du site s'explique d'abord par l'efficacité de leur mode de création de valeur ajoutée à partir de l'utilisation des ressources du site (ressources marines, eau, terres agricoles) ; il en résulte également une capacité à supporter un grand nombre d'établissements et d'emplois, ce qui contribue à renforcer l'importance sociale de ces secteurs et leur pouvoir de négociation dans les processus de gestion.

L'analyse montre qu'en baie du Mont-Saint-Michel (y compris sur le canton de Dol-de-Bretagne) **la contribution de la conchyliculture à la création d'emplois et d'entreprises est moindre que celle de l'agriculture ou de l'hôtellerie-restauration**. Cependant, les conchyliculteurs génèrent la deuxième plus forte VA sectorielle sur le bassin versant après l'agriculture, et **la plus forte VA par emploi ainsi que par établissement**. Il en ressort que le pouvoir de négociation de la

DOL	Agriculture, chasse, services annexes	Hôtels et restaurants	Conchyliculture	Industries agro alimentaires
Etablissements	716	251	113	65
Emplois	1 177	879	530	294
Emplois moy./étab.	1,6	3,5	4,7	4,5
Chiffre d'affaires €	72 440 051	52 770 208	35 050 807	69 070 972
CA moy./Etablissement €	101 173	210 240	310 184	1 062 630
CA moy./Emploi €	61 546	60 034	66 134	234 935
Valeur ajoutée €	36 074 220	22 754 939	28 905 261	13 341 765
VA moy./Etablissement €	50 383	90 657	255 799	205 258
VA moy./Emploi €	30 649	25 887	54 538	45 380
Tx. VA	49,8%	43,1%	82,5%	19,3%

Tableau 8 : VA et CA par emploi et par établissement dans le bassin versant de Dol (données publiées en 2008)

conchyliculture peut être exercé aussi bien de façon collective – comme c’est traditionnellement le cas dans les secteurs primaires – que de façon individuelle par les « figures » du secteur (des entrepreneurs ayant atteint un degré de réussite économique significatif au plan local). **L’agriculture** se caractérise au contraire par des poids individuels relativement modestes mais une force collective qui peut générer un pouvoir de représentation concertée important. Les **industries agro-alimentaires** présentent quant à elles un poids économique moindre en termes de création de richesse et d’effets induits.

→ **Penser une gestion intégrée de la ressource trophique**

Le rôle économique structurant de la conchyliculture, sa contribution au patrimoine culturel local, et son importance dans les processus de négociation territoriale poussent à s’intéresser à son insertion dans une **démarche de gestion intégrée des ressources naturelles**.

Concrètement, la conchyliculture développe ses activités d’élevage à partir du prélèvement de phytoplancton dans les masses d’eau. Cette ressource trophique est partagée au sein du secteur conchylicole entre filières mytilicole et ostréicole, mais également avec d’autres usages et fonctionnalités de l’écosystème. Elle est par ailleurs fortement liée à l’usage de la ressource en eau continentale, au travers notamment de l’export de nutriments dans le milieu marin. Elle interagit enfin avec d’autres activités anthropiques environnantes par l’intermédiaire d’usages concurrents de l’espace ou de relations économiques directes et indirectes. En parallèle, la réflexion menée dans le cadre du projet sur les **indicateurs de développement durable** utilisables dans la baie du Mont-Saint-Michel montre une **tendance à l’accroissement de la pression sur les ressources**, notamment via la hausse des densités de population et des capacités d’accueil touristique, rapprochant la baie de son seuil de saturation.

En contribuant à une meilleure compréhension des enjeux relatifs aux partages des ressources de la baie, le projet aura posé les bases des travaux à suivre sur la **construction de scénarios d’évolution de la répartition entre usages des ressources trophiques primaires**.

Pour en savoir plus :

[Rapport scientifique](http://www1.liteau.net) sur www1.liteau.net

→ Impacts des facteurs environnementaux et des pratiques conchylicoles sur l'écosystème de la baie du Mont St-Michel et la production conchylicole : Projet IPRAC (2007-2010)

Coordination : Philippe Cugier, DYNECO, Laboratoire d'écologie benthique, Ifremer Brest.

Partenaires scientifiques : Ifremer (La Trinité, Dinard, Argenton), université de Bretagne occidentale (UMR AMURE), Agrocampus-Ouest, Muséum national d'histoire naturelle (CRESCO Dinard).

Partenaires gestionnaires : Association interdépartementale Manche-Ile et Vilaine, sections régionales conchylicoles, comités locaux des pêches, associations de pêcheurs amateurs, collectif « Vigibaie », Groupe ornithologique normand, Agences de l'eau Seine-Normandie et Loire-Bretagne, DDAM 35 et 50, DIREN Normandie et Bretagne, Conservatoire du littoral.

Le projet IPRAC visait à **fournir des éléments d'appréciation sur l'évolution de la ressource trophique dans la Baie du Mont-Saint-Michel et son partage par les principaux filtreurs benthiques, sauvages ou cultivés, en fonction de différentes hypothèses de modification des forçages environnementaux et anthropiques**. Il s'est appuyé sur l'état des lieux réalisé dans le cadre du projet « Mongruel » (p. 66), ainsi que sur des modèles numériques développés préalablement dans le cadre du chantier du Programme National Environnement Côtier (PNEC) « Baie du Mont St-Michel » (Cugier et al., 2010), exploités ici de manière prospective : modèle hydrodynamique et de transport sédimentaire (SiAM), modèle de production primaire et modèle de croissance des mollusques filtreurs cultivés (huîtres, moules).

Les outils de modélisation

Le modèle SiAM de l'Ifremer est utilisé pour calculer les caractéristiques hydrodynamiques (courant et marée) ainsi que le transport depuis le bassin versant de substances dissoutes ou particulaires. Il a été couplé à un modèle de production primaire et à un module benthique qui simule l'impact des principaux filtreurs de la baie sur le phytoplancton. Des données de distribution et de densités des principales espèces de filtreurs sauvages et invasifs (mollusques et polychètes) ont ainsi été introduites dans la chaîne de modèles. Une des améliorations majeures apportée dans le cadre du projet IPRAC réside dans la prise en compte de la croissance des filtreurs cultivés (huîtres, moules) dans le modèle d'écosystème. Lors du projet PNEC, des modèles d'écophysiologie basés sur la théorie du DEB (Dynamic Energy Budget, Kooijman, 2000) ont été développés pour la moule *Mytilus edulis* et l'huître *Crassostrea gigas*. Ces modèles permettent de simuler la croissance individuelle en fonction des

conditions environnementales de température et de nourriture. Il est donc possible d'estimer l'incidence sur la ressource trophique et les espèces cultivées de scénarios modifiant les conditions environnementales.

Établissement de scénarios sur la base d'ateliers participatifs

Afin de co-construire des scénarios, un comité de pilotage regroupant les scientifiques et des représentants de différents groupes d'acteurs (comités locaux des pêches, associations de pêcheurs à pied de loisir, le collectif VIGIBAIE, les agences de l'eau Loire-Bretagne et Seine-Normandie, la DDAM, la DIREN, le Conservatoire du littoral et les élus via l'association interdépartementale de Manche - Ile-et-Vilaine) a été mis en place. Les discussions avec les acteurs ont permis de faire émerger **trois problématiques principales** :

→ **l'étude du lien terre-mer au travers des apports nutritifs (notamment azotés) des bassins versants**. Ces apports fertilisent la zone côtière et stimulent la production phytoplanctonique, source de nourriture pour les bivalves en élevage. **Quelles peuvent être les conséquences d'une modification de ces apports sur la production primaire planctonique et donc sur la croissance des bivalves ?**



Figure 37 : Photo de *Crepidula fornicata* (© X. Caisey, Ifremer).

→ **la problématique des espèces invasives***, notamment la **crépidule (*Crepidula fornicata*)**. Comme dans la plupart des sites ostréicoles français, la crépidule s'est propagée dans les parcs de Cancale au début des années 70 suite à l'introduction de l'huître creuse (*Crassostrea gigas*). Elle a ensuite proliféré dans le secteur des parcs en eau profonde mis en élevage à la même époque. Les effets liés à la présence de populations denses de crépidule sont multiples : changement de la nature et de la structure des assemblages benthiques, recouvrement du fond qui exclut les espèces endogées* ou inféodées au substrat (par

exemple, la coquille St-Jacques), compétition trophique avec les mollusques filtreurs sauvages ou cultivés. Le stock était estimé en 2004 à 150 000 tonnes. Cette prolifération a un impact négatif sur les activités conchyliques en eau profonde en imposant un tri des produits de dragage, un nettoyage des concessions et des abords avant toute mise en culture et dans les cas extrêmes le déplacement des concessions vers des zones moins colonisées. La crépidule exerce de plus une compétition trophique potentielle avec les espèces exploitées. **Ces différentes conséquences de la prolifération motivent la recherche de solutions remédiatrices.**

→ **l'optimisation de l'exploitation de la baie par la conchyliculture.** Les pratiques culturales et notamment les densités en élevages ont elles-mêmes un impact sur la production phytoplanctonique. En quoi une modification des densités en élevage (taux d'ensemencement des pieux ou densité des pieux pour les moules et densité des poches pour les huîtres) ou la création de nouvelles zones, modifie-t-elle la production phytoplanctonique et sa répartition dans la baie ? En quoi cela affecte-t-il en retour la croissance des bivalves eux-mêmes ?

Des scénarios ont été établis au cours des réunions avec les acteurs. Dans un premier temps, les différents facteurs de changement sur lesquels un contrôle pouvait être opéré (via des options de gestion) ont été identifiés. Une réflexion sur leurs gammes de variation a été menée, permettant d'aboutir à autant de **scénarios possibles (dit sectoriels ou thématiques)**. Dans un deuxième temps, les scénarios sectoriels ont été croisés afin de définir des **scénarios globaux**.

Les scénarios sectoriels :

→ le **bassin versant** : 1) réduction globale de 30 % de la concentration des apports azotés (scénario « réaliste »); 2) les apports azotés sont ramenés à 13 mg/L sur l'ensemble des cours d'eau (soit une réduction globale d'environ 60%), en accord avec les objectifs de la convention OSPAR (scénario « extrême »); 3) augmentation des apports sur les cours d'eau normands (Sée et Sélune)

→ la **crépidule** : 1) augmentation du stock à 250 000 t en 10 ans; 2) augmentation du stock et exploitation de 20 t/jour (conformément aux prévisions d'extraction industrielle) qui limiterait l'augmentation du stock à 210 000 t en 10 ans; 3) diminution significative du stock à 130 000 t par une exploitation de 60 t/jour.

→ la **prolifération de l'huître creuse sauvage** : statu quo ou

colonisation de l'ensemble des supports de la baie (scénario « catastrophe »).

→ la **mytiliculture** : 1) taux d'ensemencement des bouchots harmonisé à 70 %, contre 55 à 65 % actuellement; 2) taux d'ensemencement harmonisé à 50 %; 3) harmonisation de la densité des bouchots à 110 pieux par 100 m linéaire (contre 110 à 140 pieux actuellement); 4) implantation de moules dans la partie normande de la baie.

→ **l'ostréiculture** : 1) réduction très forte de la densité des poches par hectare (2500 poches/ha, contre 3600 à 4000 poches/ha actuellement); 2) réduction modérée de la densité des poches par hectare (à 3000 poches/ha); 3) remplacement des huîtres plates *Ostrea edulis* actuellement cultivées par des huîtres creuses *Crassostrea gigas*.

Deux scénarios globaux ont été élaborés en croisant les scénarios sectoriels :

→ **scénario exploratoire d'évolution probable ou souhaitable** : diminution de 30 % de la concentration des apports azotés sur l'ensemble des bassins versants, exploitation de 20t/jour de crépidule permettant de limiter sa prolifération et diminution de la densité de bouchots (110 pieux par 100m).

→ **scénario exploratoire d'évolution très importante** : réduction des apports azotés à 13 mg/L sur l'ensemble des cours d'eau, augmentation du stock de crépidule et augmentation du taux d'ensemencement des zones mytilicoles à 70 %.

Bilan général des scénarios

Parmi l'ensemble des scénarios étudiés, **ceux concernant la prolifération de la crépidule apparaissent comme ayant potentiellement le plus d'impact en termes de compétition trophique**. Les projections à 10 ans pour différentes hypothèses de prolifération (voir figure 38) montrent notamment des pertes de performance de croissance pour les espèces cultivées de 10 à 20 % selon les secteurs dans le cas d'un scénario à 250 000 t de crépidules.

Par contre, l'objectif des SDAGE de réduction des concentrations d'apports azotés par les bassins versants (testé au travers d'une réduction moyenne de 30 % des apports) ne semble avoir qu'un impact très modéré sur la production planctonique et donc sur la croissance des filtreurs. Une réduction des apports azotés à 13 mg/L aurait en revanche un impact négatif significatif sur la productivité des mollusques cultivés.

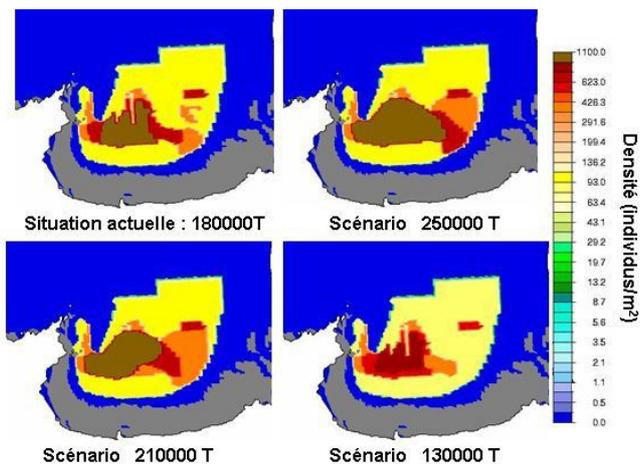


Figure 38 : Cartographie estimée « à dire d'experts » de la répartition de la crépidule pour les différents scénarios

Enfin, les scénarios explorant différentes hypothèses de modification des densités d'élevage des espèces cultivées (notamment des réductions de densité) montrent un impact conséquent sur la disponibilité en nourriture et donc sur la croissance des filtreurs, en particulier les coquillages d'élevage eux-mêmes. Ainsi, **l'adaptation des densités d'élevage est susceptible de constituer un levier de contrôle de la capacité trophique de la baie permettant, dans une certaine mesure, de compenser l'effet négatif dû à la prolifération de la crépidule**, aujourd'hui difficilement contrôlable.

Au début du projet IPRAC, les objectifs des SDAGE concernant la réduction des apports en nutriments par les bassins versants étaient perçus par les professionnels de la conchyliculture comme un risque de diminution de la ressource trophique primaire et donc de productivité de leurs cultures marines. **Les résultats obtenus dans cette étude montrent que la réduction des apports azotés aura peu d'impact sur la culture des huîtres et des moules et contribuent donc à l'acceptabilité des objectifs fixés par la directive-cadre sur l'eau.**

Conclusion

L'approche de modélisation développée par le projet IPRAC a permis d'apporter des réponses concrètes pour une gestion écosystémique de la production conchylicole dans la Baie du Mont-Saint-Michel. La restitution des résultats auprès des acteurs locaux a suscité un intérêt fort, **l'approche par modélisation numérique ayant été perçue comme un outil important d'aide à la décision.**

Suite à ces échanges, de nouveaux scénarios de modélisation ont été proposés par les acteurs. Un scénario sur la distribution de la crépidule à l'échelle de 5 ans a ainsi été demandé par les associations environnementales et plusieurs autres scénarios concernant des modifications de densités en élevage ont été proposés par la profession conchylicole.

Suites

Dans le cadre de la révision du schéma des structures conchylicoles de la baie, les résultats des scénarios de répartition des activités conchylicoles ont été exploités lors des discussions des professionnels avec la direction départementale des affaires maritimes.

Les résultats du projet ont par ailleurs contribué à consolider et à affiner localement les objectifs des SDAGE Seine-Normandie et Loire-Bretagne 2010-2015, et les programmes de mesures associés. Ils ont également contribué à la définition des enjeux et programmes d'action pour les SAGE en cours ou en élaboration sur les bassins versants de la baie.

Sur le plan scientifique, la capitalisation des travaux issus du projet IPRAC a débouché sur la construction d'un nouveau projet intitulé MOBE (MODélisation de Bassins conchylicoles dans le cadre d'une approche Écosystémique), qui a pour objectif d'élargir le champ de modélisation développé par le projet IPRAC en intégrant également des dimensions biologiques, socio-économiques et réglementaires observées à une échelle pertinente. Le site d'étude privilégié est le golfe Normand-Breton. Une focalisation spécifique sur les conditions de mise en œuvre des directives européennes en matière de protection des écosystèmes aquatiques (notamment la DCE et la DCSMM) est prévue. Les recherches de financement nationaux et européens sont en cours.

Pour en savoir plus :

[Rapport scientifique sur www1.liteau.net](http://www1.liteau.net)

→ Modélisation intégrée des transferts de nutriments depuis les bassins versants de la Seine, la Somme et l'Escaut jusqu'en Manche-Mer du Nord (2004-2007)

Coordination : Alain Lefebvre (Ifremer Boulogne-sur-Mer)

Partenaires scientifiques : Ifremer Brest (DYNECO), université Pierre & Marie Curie (UMR Sisyphe), université libre de Bruxelles (laboratoire ESA), Institut Royal des Sciences naturelles de Belgique (UGMM)

Le bon état écologique des milieux côtiers est fortement dépendant des différents apports des cours d'eau. 80% de la pollution en mer a ainsi une origine terrestre. En particulier, l'état d'eutrophisation* du littoral dépend des apports de nutriments par les fleuves.

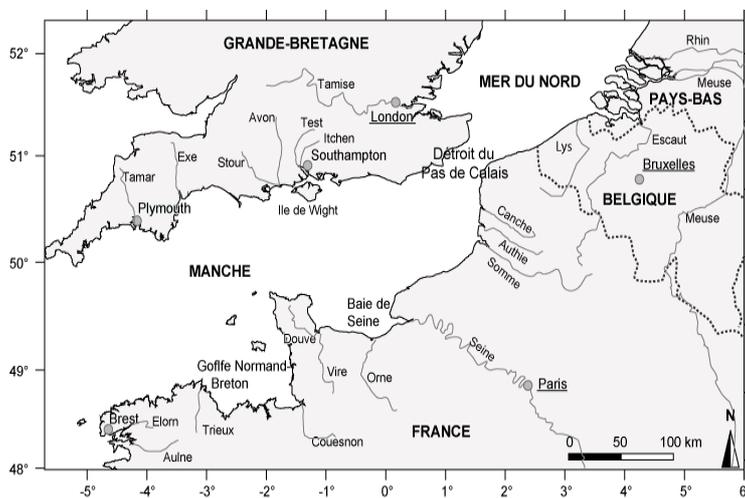


Figure 39 : Carte de situation du domaine marin modélisé et des 32 fleuves dont les apports sont pris en compte

En mer du Nord, l'eutrophisation de la bande côtière a stimulé la prolifération spécifique de colonies de *Phaeocystis**, à l'origine d'événements d'efflorescence* planctonique très importants. Ces efflorescences se manifestent en mer par l'apparition d'un épais mucilage* qui gêne la pêche et sur la côte par l'apparition d'une couche d'écume nauséabonde. *Phaeocystis* est reconnu comme un indicateur des effets de l'eutrophisation. Sa présence en excès révèle une altération de l'état de l'environnement et peut provoquer le déclassement de la qualité d'une zone marine : son classement en zone à problème au regard de l'eutrophisation dans le cadre de la réglementation OSPAR (OSPAR, 2002), ou en zone à risque de non-atteinte du bon état écologique dans le cadre de la directive-cadre sur l'eau.

Le projet avait pour objectif de caractériser les apports en nutriments des différents fleuves du littoral français, belge et néerlandais (principalement : Seine / Somme / Authie / Canche, Escaut / Lys / Yser et Rhin / Meuse), et d'apporter des éléments d'appréciation quantitative sur les conséquences de ces apports sur l'état d'eutrophisation de la Manche - Mer du Nord (zone d'étude représentée dans la Figure 39). Le projet fait suite à une étude de faisabilité sur la baie de Seine financée par Liteau en 1999.

Méthode

La méthode a consisté à réaliser dans un premier temps des simulations des cycles biogéochimiques de l'azote, du phosphore et de la silice sur les bassins versants de la Seine, de l'Escaut et de la Somme. Les flux de nutriments ainsi simulés, validés sur des séries historiques de données, ont ensuite été utilisés comme données d'entrée dans un modèle numérique 3D de la dynamique océanique de la Manche - Mer du Nord méridionale pour simuler les répartitions des nutriments et des efflorescences phytoplanctoniques. Les modèles des bassins versants et des zones marines réceptacles ont été ensuite mobilisés pour simuler les conséquences de divers scénarios d'évolution rétrospectifs et prospectifs.

Modèles utilisés

→ Le **modèle Riverstrahler** (développé par l'UMR Sisyphe) couple un module hydrologique et un module biogéochimique. Il permet de calculer les débits spécifiques, la qualité de l'eau, et le bilan des transferts de nutriments dans le réseau hydrographique d'un grand fleuve, à partir des contraintes climatiques et liées à l'activité humaine (usage du sol et pratiques agricoles, rejets d'eaux usées, régulation hydraulique). **SENEQUE** est le logiciel résultant de l'incorporation du modèle Riverstrahler dans une interface SIG conviviale, permettant une meilleure résolution et une plus grande souplesse dans la représentation du réseau hydrographique.

→ **ECO-MARS 3D** (développé par l'Ifremer) et **MIRO&CO-3D** (développé par l'Institut Royal des Sciences naturelles de Belgique et l'université libre de Bruxelles) sont des modèles couplant hydrodynamique et biogéochimie qui permettent de réaliser des simulations des écosystèmes marins côtiers (physique, biogéochimie, phytoplancton).

→ Le **modèle biogéochimique MIRO**, développé par l'UMR Sisyphe, permet de décrire les efflorescences de diatomées et de *Phaeocystis* en lien avec les cycles du carbone, de l'azote, du phosphore et de la silice.

Résultats

Le projet a permis de **quantifier la part de chaque bassin versant dans les flux organiques et inorganiques atteignant la zone Manche Mer du Nord**. Le nitrate est ainsi en moyenne à 22 % d'origine française dans la zone sous juridiction belge. En moyenne sur l'année, l'influence des fleuves français est supérieure à celle des fleuves belgo-néerlandais dans cette zone. Cependant, la production de colonies de *Phaeocystis* dans la zone côtière belge est majoritairement liée à l'influence des apports de la Lys, de l'Escaut, de la Meuse et du Rhin, en raison de la période d'occurrence des efflorescences de *Phaeocystis*.

La reconstitution du passé jusqu'à un état « pristine* » par modélisation a permis de définir **un état historique de référence concernant les apports de nutriments à la zone côtière, conformément à l'esprit de la directive-cadre sur l'eau**. Il s'agit d'une situation caractérisée par une végétation climacique* et l'absence d'activités et d'aménagements humains.

L'excédent d'azote ou de phosphore par rapport à la silice constitue le facteur à l'origine des efflorescences indésirables d'algues non siliceuses (dont *Phaeocystis*), et caractérise le plus souvent les phénomènes d'eutrophisation marine côtière. **Un indice de risque d'eutrophisation en zone côtière basé sur les valeurs de flux de nutriments N, P et Si a été développé** (ICEP : Indicator of Coastal Eutrophication Potential, Billen & Garnier, 2007). Il correspond au potentiel de croissance d'algues non siliceuses sur les nutriments apportés par la rivière en excès par rapport à la silice.

La modélisation a par ailleurs été utilisée pour **modéliser l'état des masses d'eau atteint dans la zone Manche - Mer du Nord en 2015** sous une hypothèse de mise en œuvre des plans de gestion de l'eau annoncés par la France et la Belgique : mise aux normes européennes des infrastructures d'assainissement de l'ensemble des collectivités urbaines et des industries, en particulier en ce qui concerne l'abattement des rejets de matière organique (90 %), de phosphore (90 %) et d'azote (70 %). Une telle réduction des exports de nutriments engendrerait une diminution très significative du risque d'eutrophisation, mais les exports en azote encore élevés (en raison des apports diffus provenant des sols et des nappes) continueraient de provoquer des biomasses importantes de *Phaeocystis*. **Pour atteindre le bon état écologique en mer du Nord** (réduire les efflorescences de *Phaeocystis* sans affecter le développement des diatomées), il est nécessaire d'**agir prioritairement sur les exports en azote des bassins de la Seine et de l'Escaut**.

Conclusion

Les modèles développés dans le cadre de ce projet constituent des **outils précieux d'aide à la décision en matière de gestion du bassin versant**, car ils permettent de tester l'impact de mesures de réduction de nutriments sur les bassins versants de la Seine, de la Somme et de l'Escaut sur la qualité écologique de la zone côtière française et belge. Ces outils peuvent être étendus à plusieurs bassins versants et par conséquent à diverses zones côtières allant de la façade Manche à la Mer du Nord.

Suites

Les connaissances acquises dans le cadre du projet ont pu être valorisées dans le cadre d'**expertises en appui à la convention OSPAR** entre 2005 et 2010, notamment pour la livraison du produit JAMP EA-5, relatif à la nécessité d'évaluer le statut de la zone maritime OSPAR au regard de l'eutrophisation.

Le projet, uniquement scientifique, n'avait pas pour but premier d'utiliser les outils de modélisation développés à l'appui de démarches participatives de gestion intégrée. Les outils ont en revanche pu être mobilisés dans le cadre de projets postérieurs :

- L'UMR Sisyphé a ainsi été impliquée dans le projet AWARE, financé en 2009 dans le cadre du 7e PCRD, qui avait pour but de parvenir à une gestion intégrée de l'eau dans les zones côtières faisant une large place à la démarche participative, en impliquant conjointement des scientifiques, des décideurs et le public. Cette approche a été mise en œuvre dans trois zones d'étude en vue de développer des exemples concrets de gestion adaptative : le golfe de Riga (Estonie et Lettonie), la zone sud de la mer du Nord (France et Belgique), et le delta du Pô ainsi que la lagune de Goro (Italie). Les scénarios sur la mer du Nord sont testés avec les modèles développés ici.
- Les travaux se sont également poursuivis dans le cadre du projet NEREIS financé par le GIP Seine-Aval dans le cadre du programme de recherche Seine-Aval 4. Le continuum aquatique terre-mer est modélisé grâce au couplage du modèle de bassin versant Seneque/Riverstrahler et du modèle d'écosystème marin ECO-MARS 3D. Différents scénarios (mise aux normes des stations d'épuration, passage à l'agriculture biologique, etc.) ont été testés et analysés du point de vue de leur impact sur l'eutrophisation.
- Enfin, la même suite de modèles est utilisée dans le cadre du projet FLAM financé par Liteau en 2011, mené en partenariat avec l'Agence de l'eau Seine-Normandie, où la

démarche de modélisation numérique couplée viendra en appui d'une démarche originale de concertation avec les acteurs du territoire afin de définir des scénarios de changement de pratiques agricoles et de gestion des zones humides.

Pour en savoir plus :

[Rapport scientifique](#) sur www1.liteau.net

3.1.3. Construction d'indicateurs de performance des aires marines protégées pour la gestion des écosystèmes côtiers, des ressources et de leurs usages : le projet PAMPA (2008-2011)

Coordination : Dominique Pelletier, Ifremer Nouvelle-Calédonie

Partenaires scientifiques : Ifremer (Nantes, Brest, Sète, La Réunion), IRD (UR CoReUs, UMR Espace-Dev La Réunion), université de Nouvelle-Calédonie, université de la Réunion, université de Bretagne occidentale (UMR AMURE), université Montpellier II (UMR ECOSYM), université de Perpignan Via Domitia (CERTAP, EPHE), université de Nice (ECOMERS)

Partenaires gestionnaires : réserve naturelle de la Réunion, AMP de la Province Sud de Nouvelle-Calédonie, réserve naturelle de St Martin, parc naturel marin de Mayotte, réserve naturelle des Bouches de Bonifacio, réserve naturelle de Banyuls-Cerbère, parc marin de la Côte Bleue, cantonnement de pêche du Cap Roux

Co-financeurs : Agence des aires marines protégées (AAMP), Initiative française pour les récifs coralliens (IFRECOR)

Les aires marines protégées (AMP) constituent un instrument privilégié de la gestion intégrée des zones côtières et sont susceptibles de pouvoir répondre à plusieurs objectifs de gestion : conservation des écosystèmes côtiers, gestion des pêcheries et plus généralement gestion des usages. L'efficacité des AMP dans la poursuite des différents objectifs qui leur sont assignés doit pouvoir être évaluée à l'aune d'indicateurs robustes et fiables.

Le projet PAMPA fait suite à un premier projet financé par Liteau en 2003, intitulé « Développement d'outils diagnostics et exploratoires d'aide à la décision pour évaluer la performance d'aires marines protégées ». Ce premier projet a permis d'initier le développement d'outils d'évaluation (indicateurs multi-paramétriques) et de créer un groupe pluridisciplinaire de scientifiques et de gestionnaires autour de la problématique de l'évaluation de la performance des AMP.

PAMPA répond à la demande, émise par les partenaires de ce premier projet, de poursuivre la dynamique de cette démarche au travers de la construction d'indicateurs et de leur grille de lecture en relation avec les actions de gestion, et du test de ces indicateurs sur un ensemble d'AMP.



Afin d'évaluer la performance de systèmes de gestion des écosystèmes côtiers incluant des AMP, le projet PAMPA avait donc pour objectif de construire et de tester des tableaux de bord d'indicateurs portant sur l'état des écosystèmes et de leurs ressources, les usages récréatifs et professionnels, et la gouvernance.

Conduit autour d'un objectif de transfert des connaissances vers les gestionnaires de l'environnement marin, le projet PAMPA a été mené en collaboration étroite avec les gestionnaires de huit AMP situées en métropole et dans l'outre-mer français (Fig. 40).



Figure 40 : Carte situant les huit AMP partenaires du projet PAMPA.

Éléments méthodologiques généraux

La démarche générale s'est appuyée sur une formalisation commune préalable des objectifs de gestion des AMP, organisés en huit buts, selon la terminologie du projet :

- Exploitation durable des ressources halieutiques
- Conservation de la biodiversité (espèces, habitats, fonctions)
- Maintien et développement d'usages durables
- Mise en place et pérennisation des structures et stratégies de gestion des AMP
- Participation et représentation des acteurs
- Acceptation de l'AMP
- Éducation, sensibilisation
- Renforcer la connaissance de l'environnement marin

Ces buts regroupent des objectifs de gestion plus détaillés, auxquels sont associées des actions de gestion (envisagées ou mises en œuvre) de nature réglementaire, contractuelle, de sensibilisation, d'information ou d'aménagement. Cette formalisation commune des objectifs de gestion s'est appuyée

sur les résultats du projet Liteau 2003, ainsi que sur plusieurs ateliers de travail conjoints entre gestionnaires et scientifiques dans le cadre du projet PAMPA.

Pour chaque objectif de gestion est proposé un certain nombre de métriques*, en fonction des données existantes ou pouvant être collectées au niveau des AMP. **Un objectif central du projet PAMPA est de contribuer à la validation en tant qu'indicateurs* de certaines de ces métriques.**

Une métrique est susceptible d'être sélectionnée en tant qu'indicateur si elle jugée pertinente et efficace. Elle est pertinente pour un objectif de gestion s'il existe un lien fort, direct ou indirect, entre l'état réel du processus observé (par exemple l'impact d'une AMP sur la biodiversité du milieu) et la réponse de la métrique testée (par exemple un indice de richesse spécifique). Elle est efficace si elle est robuste d'un point de vue statistique et si ses variations sont interprétables.

Les métriques se rapportent à trois grands thèmes, utilisés ci-dessous pour rendre compte des résultats du projet :

- Biodiversité et ressources vivantes
- Usages (pêche et autres usages de la biodiversité et des ressources)
- Gouvernance

En vue de tester les métriques au niveau de chaque AMP, les données existantes sont compilées et formatées de manière homogène, tandis que des protocoles d'acquisition harmonisés sont définis pour acquérir les données manquantes sur les différents sites d'étude. Des plateformes automatisées de calcul et d'analyse statistique des métriques ont été développées sous le logiciel R afin de faciliter la sélection des indicateurs sur la base des critères mentionnés ci-dessus.

L'indicateur constitue une aide à la gestion si l'interprétation de ses variations permet d'orienter les actions de gestion. Il doit donc être associé à une « **grille de lecture** » qui définit les règles d'interprétation de sa valeur, définie conjointement entre scientifiques et gestionnaires. En dernier lieu, les métriques validées comme indicateurs de la performance des AMP ont été agencées en « tableaux de bord » par objectif de gestion. Chaque tableau de bord contient un ensemble d'indicateurs jugés utiles pour l'évaluation de l'atteinte de l'objectif concerné (voir ci-dessous).

Méthodes et résultats spécifiques à la biodiversité et aux ressources

Les métriques concernées visent à évaluer l'état et la dynamique de l'écosystème et de ses ressources dans et autour des AMP. Les données mobilisées sont des jeux de données préexistants au sein des AMP partenaires, ainsi que des données collectées pendant le projet, essentiellement des données vidéo et des données de comptage en plongée.

Les données vidéo constituent une originalité du projet, puisque ce type de données n'avait jusqu'alors pas été exploité pour les AMP. Elles ont notamment permis de prendre en compte les variations de l'habitat pour l'évaluation des effets de la protection sur les peuplements de poissons, et de disposer d'un nombre important de données pour les tests statistiques.

Près de 500 métriques ont été analysées, et 200 ont été validées comme indicateurs (entre 15 et 50 indicateurs par AMP), portant notamment sur la présence/absence, la densité, l'abondance, la biomasse, la taille moyenne, la richesse spécifique des poissons-cibles, la capture de pêche par unité d'effort (CPUE) ou encore la fréquence d'occurrence des espèces remarquables.

Dans le cadre du projet PAMPA, **deux « référentiels espèces » ont en outre été construits**, l'un pour l'Outremer, l'autre pour la Méditerranée. Ces référentiels contiennent la liste des espèces rencontrées, leurs caractéristiques écologiques, et font le lien avec les référentiels du système d'information halieutique (SIH) et de la FAO.

Méthodes et résultats spécifiques concernant les usages

Les métriques concernées visent à caractériser les différents usages des ressources de l'AMP (pêche artisanale et récréative, plaisance, plongée, randonnée palmée), l'impact de ces usages sur l'écosystème et le rôle de l'AMP face à ces impacts.

Les données concernant les usages ont été acquises par l'intermédiaire d'**études de la fréquentation**, et d'**enquêtes de terrain menées auprès des usagers** dans le but de caractériser les usages (type d'activités, zones de pratique), les pressions et leur impact sur le milieu, les caractéristiques socio-économiques des usagers, et leurs **perceptions de l'AMP**.

Une attention particulière a été portée à la définition de protocoles standardisés de collecte des données et aux

Métrique	Type de données Commentaire	Métrique retenue (O/N)	Explication
Nombre de bateaux observés par type d'activité par zone (35) et par groupe de zone (8)	Fréquentation 59 sorties, 1 an	OUI par groupe de zone, utile au gestionnaire par zone mais trop détaillée	Pêche récréative comprend 3 activités (pêche bord, embarquée et chasse) + plongée, + plaisance (jetski, planche, kayak non pertinents pour CB)
Nombre de bateaux observés dans l'AMP par type d'activité par zonage PAMPA	Fréquentation	OUI	Approche inter-site
Nombre de bateaux observés par type d'activité par mois pour la totalité de l'AMP	Fréquentation	OUI	Utile pour gestion, mais très détaillée.
Nombre de bateaux observés par type d'activité par trimestre pour la totalité de l'AMP	Fréquentation	OUI	Choisie comme échelle temporelle représentative. Plus synthétique.
Nombre de bateaux observés par type d'activité par an pour la totalité de l'AMP		NON	Trop globale

Tableau 9 : exemples de métriques d'usages testées dans le parc marin de la Côte Bleue. La métrique surlignée en bleu n'a pas été testée car elle n'a pas été jugée suffisamment informative pour constituer un indicateur pertinent.

métriques qui en découlent. La priorité a été donnée aux usages récréatifs ; cependant la pêche professionnelle a été particulièrement traitée pour le parc marin de la Côte Bleue, avec un protocole cohérent avec le SIH. Un référentiel des engins de pêche a été construit dans ce but.

Près de **400 métriques de pression et de perception ont été testées, aboutissant à 182 indicateurs sélectionnés**. Le tableau 9 présente ainsi quelques exemples de métriques d'usages testées comme indicateurs de la performance du parc marin de la Côte Bleue.

Au final, le projet a permis de renseigner quantitativement les gestionnaires afin de mieux prendre en compte les usages et les usagers dans la gestion. Pour la plupart des sites, c'était en effet la première fois que des données sur la fréquentation étaient collectées.

Méthodes et résultats spécifiques concernant la gouvernance

Les métriques concernent l'état de la gouvernance et l'influence des AMP sur les usages, en termes d'occupation de l'espace côtier et de qualification des pressions anthropiques.

Les données nécessaires pour renseigner les métriques de gouvernance proviennent de deux sources différentes : des **informations sur les actions engagées par les gestionnaires** d'une part (par exemple nombre d'heures consacrées à la surveillance, nombre de réunions d'information ouvertes au public) et **des enquêtes sur la perception des usagers vis-à-vis de ces actions d'autre part** (par exemple connaissance de la réglementation de l'AMP, avis sur le degré d'information). Les enquêtes ont été réalisées auprès des usagers à l'aide d'un protocole harmonisé entre les sites, et les données de gestion ont été acquises à partir de rapports d'activités des AMP ou directement auprès des gestionnaires.

Une attention particulière a été portée à la formalisation des métriques, dont 290 ont été retenues comme indicateurs de gestion. Tous les gestionnaires ne sélectionnent bien entendu pas les mêmes indicateurs, en fonction du contexte local des AMP et de leur capacité de mise en œuvre des indicateurs. Le tableau 10 montre quelques exemples de métriques proposées aux AMP partenaires afin de suivre l'objectif de gestion intitulé « Favoriser l'implication des acteurs dans les activités de l'AMP ».

Objectif 5.1. Favoriser l'implication des acteurs dans les activités de l'AMP							
Métrique	BA	CB	MAY	CR	STM	RUN	NC
Nombre d'organismes impliqués dans les suivis	●	●		●	●	●	●
Nombre de personnes impliquées dans les suivis, hors personnel de l'AMP	●	●	●	●	●	●	
% de l'effort total de suivi réalisé par ces personnes (en % du nb de jours.personne)			●			●	
Taux de retour de carnets de pêche remplis par les professionnels		●		●			●
Comparaison des captures déclarées et des captures observées (pour les professionnels)		●	●	●			
Existence de suivis faisant l'objet d'une rétribution des participants (O/N)			●	●			●
% de l'effort total de suivi réalisé par ces personnes (en % du nb de jours.personne)							
Taux de retour de "carnets de pêche" remplis par les pêcheurs récréatifs		●		●		●	
Nombre de pêcheurs récréatifs acceptant de faire partie d'un panel							
Taux de refus de participer à des enquêtes en rapport avec l'AMP	●	●	●	●	●	●	●

Tableau 10 : Exemple de métriques associées à un objectif de gouvernance (BA = Banyuls, CB = Cerbère, MAY = Mayotte, CR = Cap Roux, STM = St-Martin, RUN = Réunion et NC = Nouvelle-Calédonie). Les points noirs matérialisent les métriques sélectionnées par les AMP partenaires.

Grilles de lecture et tableaux de bord

Que ce soit pour l'étude de la biodiversité et des ressources vivantes, des usages ou de la gouvernance, l'interprétation de chaque métrique calculée à partir de données de terrain a été réalisée à travers une grille de lecture qui se réfère aux objectifs détaillés des AMP et aux actions qui en découlent. **Elle précise comment les valeurs prises par la métrique sont interprétées pour orienter les actions de gestion.**

État	Description	Seuils	
Très bon	État de référence, idéal	Très bon	100%
Bon	RAS, continuer les actions en cours	Bon	75%-99%
Moyen	Commence à attirer une action de gestion	Moyen	50%-74%
Médiocre	Requiert une action de gestion soutenue	Médiocre	25%-49%
Mauvais	Etat mauvais, action radicale requise	Mauvais	0%-24%

Figure 41 : Code couleur traduisant l'interprétation des métriques.

Pour chaque objectif de gestion, des seuils ont été définis par consensus entre les partenaires en vue d'associer une couleur à la qualité d'un état. Chacun des indicateurs retenus se voit donc attribuer une couleur, fonction des résultats des analyses de

données (Fig. 41). Lorsque les données ne permettent pas de déterminer une couleur, la couleur grise est adoptée, dans l'attente de futurs points de suivis qui compléteront l'évaluation.

La synthèse des indicateurs permet ensuite de déterminer la performance de l'AMP par rapport à l'objectif de gestion, selon une grille de lecture allant de « très bon » à « mauvais ». Ce diagnostic peut alors être mobilisé pour déterminer les actions à mener pour améliorer la performance de l'AMP.

Dans une dernière étape, tous les indicateurs de performance des AMP retenus ont été agencés en tableaux de bord pour chaque objectif de gestion (Figure 42). Chaque tableau de bord contient ainsi un ensemble d'indicateurs jugés utiles pour l'évaluation de l'atteinte de l'objectif concerné.

But	Objectif	Indicateur	Interprétation
Exploitation durable des ressources	Restaurer et maintenir les espèces-cibles	Abondance de l'espèce-cible	 Ressource surexploitée et déclinant hors de l'AMP
		Nb d'unités de pêche par zone	 Intensité de pêche élevée et stable
		% des pêcheurs avec une perception positive des effets de l'AMP	 AMP bien acceptée par les pêcheurs
Commentaire: Surexploitation significative et ressource déclinant autour de l'AMP avec une densité de pêcheurs élevée. Réguler les activités de pêche concernées est nécessaire. L'AMP étant bien acceptée, cette régulation peut être envisagée avec la participation des pêcheurs. 			

Figure 42 : Exemple d'agencement des indicateurs en tableau de bord par objectif de gestion

Résultats généraux et conclusion

Un grand nombre d'indicateurs portant sur les écosystèmes, les usages et la gouvernance des AMP ont été validés et organisés en « tableaux de bord » synthétiques pour chaque objectif de gestion. Au-delà des tableaux de bord et des résultats qu'ils contiennent, PAMPA a permis de mettre au point des outils fonctionnels et opérationnels :

- un référentiel spatial pour chaque AMP ;
- des formats de données compatibles avec l'ensemble des types de données rencontrées dans les suivis de terrain, et une base de données associée ;
- deux plateformes automatisées de calcul et d'analyse des métriques (l'une sur la biodiversité et les ressources, l'autre sur les usages).

Le projet PAMPA était basé sur une **démarche de co-construction des indicateurs et des outils d'aide à la décision, reposant sur une collaboration continue entre gestionnaires et scientifiques**. Toutes les métriques ont été discutées et choisies de façon collégiale. Les valeurs seuils et les tableaux de bord ont été établis et agencés avec les gestionnaires selon les spécificités et les objectifs de gestion pour chaque site d'étude. **Les outils d'aide à la décision ont été pensés et réalisés avec et pour les gestionnaires des AMP et sont donc adaptés à leurs besoins.**

Les connaissances acquises dans le cadre du projet PAMPA ont contribué à améliorer la connaissance du contexte environnemental et social dans lequel s'insèrent les AMP. En particulier, les données acquises sur les usages et la fréquentation étaient nouvelles dans la plupart des sites

partenaires. Par ailleurs, le projet PAMPA ayant été conduit autour d'un objectif de transfert des connaissances vers les gestionnaires de l'environnement marin et la communauté scientifique, tous les documents et outils produits ont été regroupés et référencés sur un site internet (<http://wwz.ifremer.fr/pampa>) afin de faciliter une large diffusion des livrables. De nombreuses restitutions ont été organisées auprès des gestionnaires et des scientifiques, en particulier un colloque final ayant réuni plus de 100 personnes.

Suites

À l'issue du projet Liteau, les actions du projet PAMPA se sont poursuivies avec le soutien du Thème d'Intérêt Transversal sur les Aires Marines Protégées (TIT-AMP) de l'initiative française pour les récifs coralliens (IFRECOR) en 2011 et 2012. Ce soutien, ainsi que l'investissement de l'Ifremer en Nouvelle-Calédonie, ont conduit à des progrès considérables dans les outils :

- une refonte des outils de calcul en termes de panel d'indicateurs calculables (notamment sur les espèces et habitats remarquables), d'ergonomie de l'outil et d'amélioration des sorties (graphiques, fichiers) ;
- un masque de saisie plus simple des données de fréquentation ; une plus grande flexibilité du protocole de suivi de la fréquentation qui autorise désormais des sorties ne couvrant qu'une partie de l'AMP ;
- un nouveau référentiel spatial enrichi qui intègre une large gamme de représentations des territoires écologiques, réglementaires et d'usage, qui peuvent toutes être prises en compte dans le calcul des indicateurs
- l'interopérabilité des bases de données PAMPA avec les bases de données SERENA (de Réserves Naturelles de France), COREMO V3 (outil de suivi des récifs coralliens), et QUADRIGE² (Ifremer).

Tous ces points étaient demandés et attendus par les utilisateurs, scientifiques et gestionnaires.

Les indicateurs et les tableaux de bord définis dans le cadre de PAMPA sont **utilisés pour l'évaluation des plans de gestion de la réserve naturelle de Banyuls-Cerbère, de la réserve de la Réunion, de St Martin et des réserves du Grand Nouméa (Province Sud de Nouvelle-Calédonie).**

Dans le parc marin de la Côte Bleue, PAMPA a contribué à la réalisation de plusieurs actions du plan de gestion (notamment la mise en place d'un protocole de suivi de la pêche professionnelle et de loisir cohérent avec celui du système

d'information halieutique de l'Ifremer) et à la rédaction de son document d'objectifs Natura 2000. Les nombreuses données acquises sur la pêche de loisir ont été valorisées dans le cadre d'un **guide sur la pêche de loisir dans les AMP en Méditerranée** ([téléchargeable sur le site du réseau MedPan](#)), et un **cahier technique de l'ATEN** sur la même thématique ([numéro 87](#)). Par ailleurs, et suite au projet PAMPA, le parc marin de la Côte Bleue est désormais identifié par le GIS HomMer (voir projet Bount'iles p.61) comme l'un des 18 observatoires de la fréquentation en France.

Au final, un grand nombre d'indicateurs a été retenu pour la plupart des sites. Différentes réflexions sont en cours dans les AMP partenaires pour faire évoluer les tableaux de bord et opérer une sélection plus importante des indicateurs en vue d'opérer un suivi en adéquation avec les moyens des AMP. Un transfert de ces outils vers d'autres AMP est également envisagé.

Au-delà des AMP, les acquis de PAMPA en matière de bancarisation de données de différentes natures, d'analyse quantitative et d'évaluation pourraient être mobilisés en appui à d'autres politiques publiques environnementales, par exemple dans le cadre de la gestion des sites Natura 2000.

Pour en savoir plus :

[Rapport scientifique et annexes](#) sur www1.liteau.net

Site internet : wwz.ifremer.fr/pampa

L'intégralité du colloque de restitution a été filmée et est disponible sur : wwz.ifremer.fr/webtv/Thema/Ressources-aquacoles/Colloque-PAMPA

3.2. Gestion intégrée des territoires et des ressources : deux exemples ultramarins

3.2.1. Mise en œuvre d'une démarche de gestion intégrée des zones côtières dans la baie du Robert (Martinique)

L'île de la Martinique comporte des écosystèmes marins remarquables fortement dépendants de la qualité des eaux douces et marines. Troisième commune de la Martinique, la ville du Robert se doit de concilier les enjeux de son développement économique et résidentiel avec la préservation de sa baie. Deux projets financés successivement par Liteau ont permis de jeter les bases d'une gestion intégrée de la baie et de son bassin versant.

→ Projet « Étude préalable à l'aménagement intégré de la zone côtière : site atelier de la baie du Robert » (2004 - 2007)

Coordination : Jean-Claude Dao, Ifremer.

Partenaires scientifiques : Irstea (ex-Cemagref), université des Antilles et de la Guyane (UAG), bureau d'étude Impact Mer, université de Bordeaux.

Partenaire gestionnaire : Commune du Robert

Le projet visait à initier une démarche de gestion intégrée sur le territoire de la baie du Robert, qui comprend un bassin versant agricole et anthropisé (Fig. 43) associé à une baie marine dont l'écosystème subit les effets des rejets.

La baie pénètre fortement à l'intérieur des terres et est partiellement fermée par de nombreux îlets. Ces caractéristiques font de ce site une zone où les effluents des bassins versants ont un temps de résidence important, ce qui permet d'en mesurer l'impact sur les organismes vivants et les biocénoses marines. Les externalités des activités anthropiques (notamment halieutiques, industrielles et agricoles) sont globalement mal identifiées. Le projet avait donc pour objectif **d'établir un diagnostic exhaustif de l'occupation et des usages du territoire, et de leurs impacts, en vue d'initier une coopération plus importante entre les acteurs concernés.**

De nombreux enjeux de gestion ont été identifiés sur le territoire de la baie, notamment au niveau marin :

- Le maintien de la richesse et de la diversité biologique du milieu marin (zone de nurserie, croissance des juvéniles et diversité des biocénoses) ;
- Le développement durable des activités halieutiques, dont l'aquaculture (50 % de la production martiniquaise

est assurée dans la baie) ;

- La mise en valeur touristique d'un paysage naturel et culturel riche et attractif.

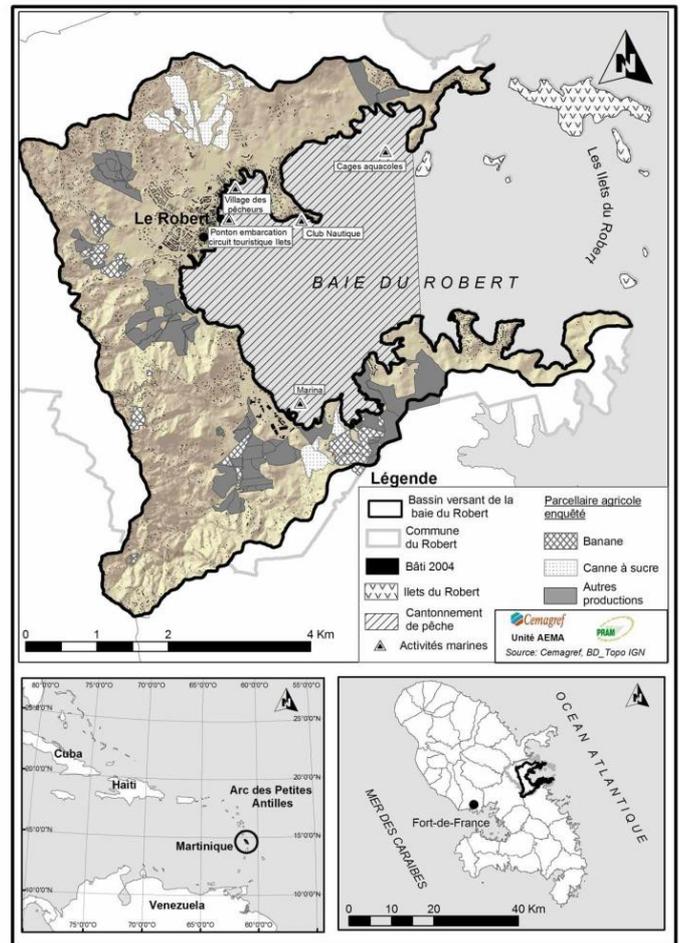


Figure 43 : la baie du Robert et son bassin versant (Rizand & al., 2006)

Au niveau terrestre, les principaux enjeux identifiés sont :

- Le besoin de concilier les objectifs de préservation de l'environnement et de production, notamment agricole ;
- La préservation de la qualité des produits agricoles du territoire et l'impact de leur consommation sur la santé humaine ;
- Le maintien d'un tissu économique nécessitant la préservation d'espaces paysagers à dominante rurale ;
- La pression démographique croissante qui s'exerce sur le territoire de la commune.

Le milieu marin est plus particulièrement soumis à des phénomènes d'eutrophisation, de turbidité et d'envasement excessif (dû à un phénomène d'hyper-sédimentation en provenance des bassins versants) qui dégradent l'état des

écosystèmes aquatiques.

La démarche de gestion intégrée s'insérait au démarrage du projet dans un faisceau de volontés politiques aux niveaux :

- international, avec la convention de Carthagène pour la Caraïbe et la convention RAMSAR de préservation des milieux humides ;
- national, avec la mise en place de « groupes de prospective maritime et littorale » par le Comité Interministériel d'Aménagement et de Développement du Territoire ;
- régional et départemental enfin, avec la mise en œuvre du schéma de mise en valeur de la mer et du schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux.

La démarche a été soutenue par la commune du Robert, partenaire et cofinancier du projet « Dao ».

Diagnostic du milieu marin

La quasi-totalité des pollutions terrestres se déverse dans le milieu marin côtier. Or, la baie du Robert comprend différents habitats d'un grand intérêt écologique (mangroves, herbiers, récifs). Un diagnostic a donc été réalisé afin de **caractériser et quantifier les phénomènes d'eutrophisation et d'hyper-sédimentation**.

Des campagnes de mesures conduites en 2005 ont permis de mettre en évidence des **teneurs en azote dissous élevées**, caractéristiques d'un état d'eutrophisation. Par ailleurs, des températures anormalement élevées d'avril à octobre 2005 se sont traduites par un blanchissement des coraux dans toute la baie.

Des mesures des flux sédimentaires ont également été réalisées en 2005, à différents endroits de la baie, en période pluvieuse et en période sèche. Elles ont permis de mettre en évidence un **phénomène de sédimentation excessive** (hyper-sédimentation) en provenance du bassin versant, surtout en fond de baie et après de forts épisodes pluvieux. Cette hyper-sédimentation se traduit par une turbidité accrue qui réduit la pénétration de la lumière et donc la photosynthèse, et par la formation d'une pellicule plus ou moins épaisse de sédiment qui étouffe les herbiers et les communautés coralliennes. La relation avec la présence de grands chantiers alors en cours est probable, mais n'a pas été démontrée.

Des cartographies des habitats (géomorphologie, substrat,

biocénose), de l'état de santé et de la sensibilité des biocénoses ont été réalisées à partir de données préexistantes, de relevés de terrain et par photo-interprétation de photographies aériennes. Les cartes ont permis de montrer que **les communautés benthiques de grand intérêt écologique dans la baie sont cantonnées aux faibles profondeurs : cayes* et pourtour de la baie** (Fig. 44).

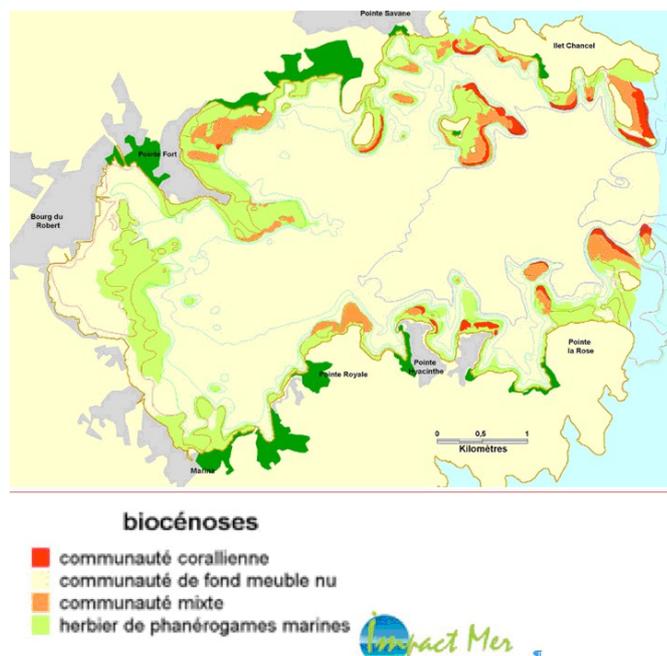


Figure 44 : Cartographie des biocénoses benthiques (Impact Mer 2005)

L'état des communautés montre un gradient global de dégradation croissante de l'Est vers l'Ouest, avec de grandes disparités liées au type de peuplement (coraux, herbiers) et à la circulation des eaux (et donc des pollutions) en trois dimensions. Les biocénoses les plus impactées par la prolifération de macroalgues en lien avec l'eutrophisation sont les coraux, les herbiers étant moins concernés. Malgré des écosystèmes dégradés sur la moitié ouest de la baie qui demandent et demanderont un gros effort de restauration, **il subsiste des zones en relativement bon état qu'il est urgent de préserver**.

Étude du bassin versant de la baie

L'étude du bassin versant permet de prendre en compte l'ensemble des activités humaines potentiellement polluantes pour le milieu côtier via le réseau hydrographique superficiel. Le bassin versant de la baie, de 23 km², se trouve presque exclusivement sur le territoire de la commune du Robert. Cette unicité administrative est un atout en termes de coordination

des projets d'étude et de mise en place de programmes de gestion intégrée (Kalaora et Charles, 2000). Afin de caractériser le fonctionnement du bassin versant de la baie du Robert, des études portant sur le relief, la pluviométrie et le réseau hydrologique ont été menées.

Le réseau hydrographique du bassin versant de la baie est constitué de 22 rivières et ravines qui partent des lignes de crêtes et arrivent sans détour à la baie. Une réponse hydrographique rapide du bassin aux sollicitations pluvieuses a été observée sur le terrain. **Le bassin présente donc des caractéristiques climatiques et topographiques propices au transfert de produits du milieu terrestre au milieu marin.**

Le projet s'est intéressé à la nature et à l'organisation des activités humaines présentes afin d'identifier les causes potentielles des pollutions constatées dans la baie :

- Une caractérisation de la sole agricole a été réalisée grâce à des enquêtes auprès des exploitants de la baie du Robert. La sole se caractérise par une diversité importante, tant par les activités recensées que par la structure d'exploitation. Le morcellement des parcelles domine (petites surfaces, parcelles en friches), lié en partie à la pression urbaine croissante (-58 % de surfaces agricoles entre 1973 et 2000).

- En termes d'habitat, la commune du Robert connaît des modifications territoriales importantes que ce soit sur la frange littorale ou sur l'arrière-pays. L'urbanisation croissante des crêtes du bassin versant induit l'imperméabilisation de surfaces de plus en plus importantes. La propagation des écoulements est ainsi accrue, tant par une infiltration réduite que par la canalisation des flux le long des routes et des habitations. Ces écoulements sont reçus par les parcelles agricoles situées plus bas, ce qui entraîne un lessivage des sols. **L'organisation spatiale augmente donc les risques en termes de transfert des pollutions de nature chimique (par ruissellement et lessivage) ou solide (par érosion des sols).**

Afin de caractériser les différentes pollutions (produits phytosanitaires, sels nutritifs, sédiments issus de l'érosion), **trois indicateurs ont été développés à l'échelle de la parcelle agricole et des 22 sous-bassins versants** : un indicateur de charge polluante en produits phytosanitaires, un indicateur de charge polluante en sels nutritifs (azote, phosphore) et un indicateur de sensibilité des sols à l'érosion hydrique. Ces indicateurs ont vocation à faire ressortir les « points chauds » sur le territoire dans l'optique de préconisations de gestion.

Indicateurs de charge polluante

L'**indicateur de charge polluante en produits phytosanitaires** exprime la quantité totale de substances appliquées rapportée à la surface géographique concernée par les applications de ces substances. Il a été construit à partir d'enquêtes auprès des agriculteurs et d'une étude du parcellaire agricole.

Des enquêtes ont été menées à l'échelle de la parcelle, puis agrégées au niveau des 22 sous-bassins. La répartition spatiale de l'indicateur est directement corrélée aux productions agricoles et aux pratiques culturales. Par exemple, la culture de la banane nécessite de nombreux traitements (herbicides, nématicides et fongicides) tandis que celle de la canne à sucre en utilise moins mais sur une durée plus limitée dans le temps (post-récolte). La moitié des éleveurs n'utilisent aucun produit phytosanitaire sur les pâturages, l'autre moitié en utilise de manière occasionnelle et locale.

L'indicateur ne permet pas de quantifier la pollution effectivement transportée à la baie, mais permet d'identifier les rivières les plus soumises à la charge phytosanitaire agricole globale. La figure 45 montre ainsi l'existence d'un bassin essentiellement agricole (en rouge) soumis à une charge très élevée (~800 kg/an de matières actives) en raison d'usages importants de produits phytosanitaires sur des parcelles de bananier. Les trois sous-bassins majeurs sont ensuite, du fait de leur surface, les plus gros contributeurs à l'export de produits phytosanitaires (charges estimées entre 150 et 200 kg/an).

Une méthode analogue a été utilisée pour construire un **indicateur de charge polluante en azote total et phosphore total d'origine agricole et domestique**. Du fait du mitage intense correspondant à la dispersion de l'habitat, il résulte un important transfert de sels nutritifs d'origine domestique directement vers le milieu marin. Les estimations donnent des ordres de grandeur comparables pour les exports d'azote issus des activités agricoles d'une part, domestiques d'autre part (environ 60 tonnes/an pour chaque activité pour l'ensemble du bassin).

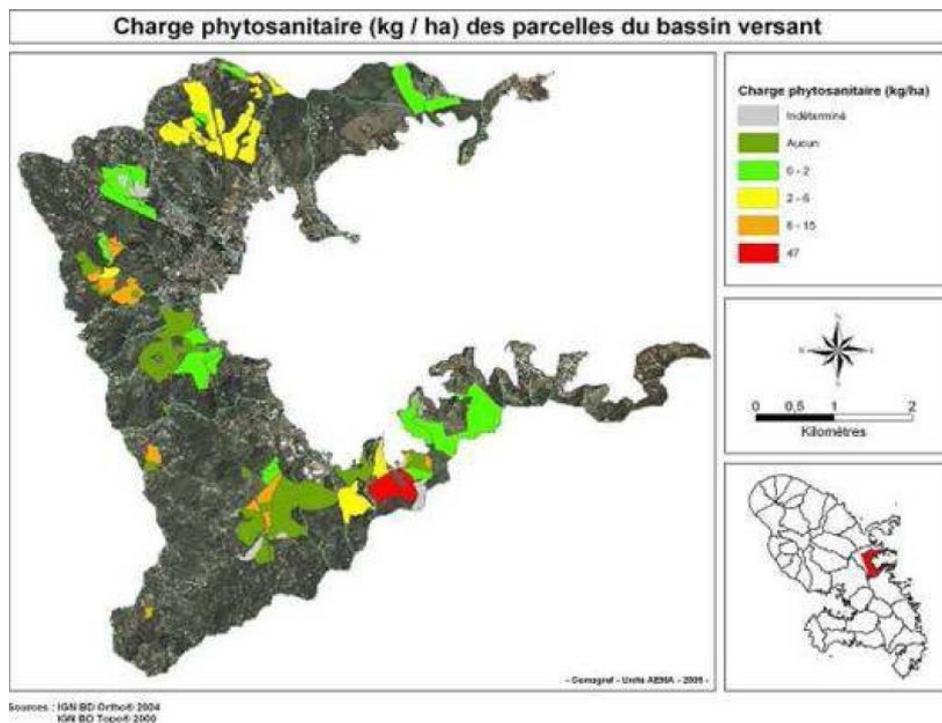


Figure 45 : Charge phytosanitaire (kg/ha) des parcelles du bassin versant en 2005.

Indicateurs de sensibilité à l'érosion

L'indicateur de sensibilité des sols à l'érosion hydrique, qualitatif, a été construit sur la base d'un modèle numérique de terrain, d'orthophotographies et d'une cartographie pédologique détaillée. Il prend en compte les différents

facteurs influençant l'intensité de l'érosion des sols (pente, écoulements, occupation des sols, érodabilité, etc.).

La figure 46 met en évidence que la sensibilité des sols est localisée (7 % de la superficie est classée comme « sensible » à « très sensible »). Les zones les plus sensibles correspondent aux parcelles de banane et aux zones temporaires de travaux. L'érosion linéaire (ravines) est prédominante. L'érosion des sols est accrue par la conjonction entre la forte vulnérabilité des parcelles et l'influence hydraulique des zones pavillonnaires qui concentrent les écoulements (et donc augmentent leur capacité d'érosion) en amont des parcelles. **L'envasement semble donc être la conséquence de processus érosifs intenses mais spatialement limités.**

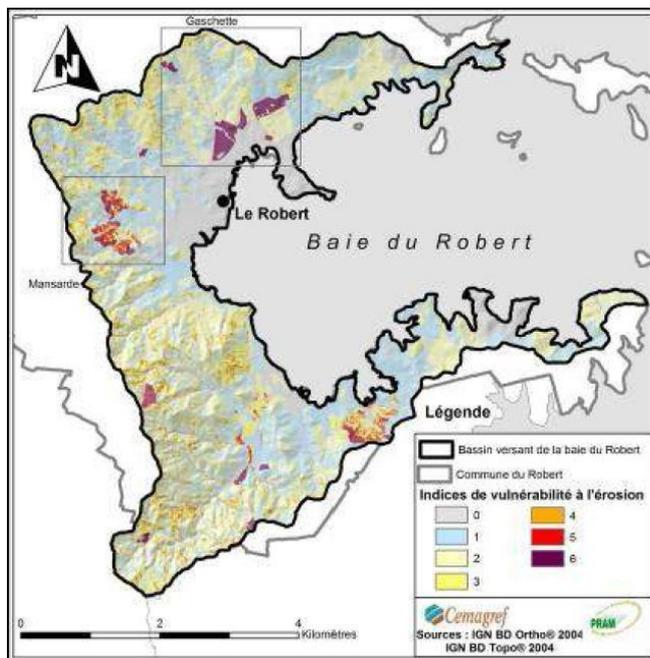


Figure 46 : Spatialisation de la sensibilité des sols à l'érosion hydrique du bassin versant sur le bassin versant de la baie du Robert.

Diagnostic général

L'ensemble des connaissances acquises a permis de proposer un schéma de fonctionnement global de la baie et des incidences des apports littoraux sur l'état des biocénoses.

Les phénomènes majeurs résultants des apports terrigènes sont de plusieurs ordres :

→ un envasement du fond de la baie et des exutoires des sous-bassins versants (Fig. 47), qui a pu contribuer à modifier le tracé de la côte.

→ une eutrophisation de la baie avec l'observation d'une augmentation de la colonisation en macroalgues et en invertébrés coloniaux opportunistes aux dépens des coraux et des herbiers de phanérogames (Fig. 48).

→ une modification des peuplements sous l'action combinée de l'eutrophisation et de la turbidité avec un gradient entre le fond et l'entrée de la baie. Il convient de signaler l'influence possible de la pêche qui peut avoir une incidence indirecte sur les populations d'organismes fixés (notamment par le biais d'une forte pression de pêche sur les herbivores).



Figure 47 : Envasement des herbiers (© Impact Mer 2005)



Figure 48 : Eutrophisation des herbiers et récifs (© Impact Mer 2005)

Conclusions et suites

Le projet « Dao » a permis de réaliser un premier état des lieux de l'état de l'environnement et des pressions anthropiques s'exerçant sur la Baie du Robert au travers notamment du développement d'indicateurs environnementaux (de charge polluante, de sensibilité à l'érosion). Les valeurs numériques des différents indicateurs n'avaient pas vocation à quantifier la pollution réelle qui s'exerce sur la baie, mais davantage à hiérarchiser et identifier les principaux secteurs contributeurs ou vulnérables. L'analyse conduite souligne les interactions fortes entre activités sur le bassin versant et apports au milieu marin, et **souligne donc l'intérêt d'une réflexion transversale et de la mise en place d'un plan de gestion qui intègre l'ensemble des activités.**

Le travail de terrain a impliqué régulièrement la profession agricole. Des restitutions des résultats auprès de la mairie, des agriculteurs et des pêcheurs ont eu lieu et des efforts importants ont été mis en œuvre afin d'effectuer le transfert des connaissances acquises vers les acteurs locaux.

Au terme de ce premier projet Liteau, **une démarche de « site atelier » pluridisciplinaire a ainsi été créée sur la Baie du Robert** : le nombre et la taille réduite des équipes de recherche présentes localement nécessitait en effet de fédérer des compétences et des disciplines variées dans une démarche

dépassant les compétences disciplinaires et l'échéance d'un seul projet. La reconnaissance de l'intérêt d'une telle démarche en partenariat a ainsi permis d'engager d'autres initiatives de recherches et actions aux niveaux local et régional (cf. *infra*).

L'action collective engagée a par ailleurs donné lieu au dépôt par la municipalité d'un projet en réponse à l'appel à projets GIZC de la DIACT en 2005. Le projet de GIZC lui-même a été conduit entre 2006 et 2008.

L'appropriation des enjeux locaux par les différentes catégories d'acteurs est essentielle dans la perspective de la construction d'une véritable concertation territoriale autour de l'objectif de la GIZC (Rizand et al, 2006). **Le projet RESPIREAU, présenté ci-après, visait justement à organiser un processus de discussion entre chercheurs et acteurs, sur la base des outils d'analyse et de diagnostic développés pour l'essentiel dans le projet « Dao ».**

→ **Projet RESPIREAU (2007 – 2011) :** **« Représentation systémique discutée des interdépendances entre activités humaines et ressources en eau sur le littoral. »**

Coordination : Valérie Deldrève et Nicolas Rocle, Irstea (ADBX)

Partenaires scientifiques : Ifremer, université des Antilles et de la Guyane (CRPLC), bureau d'étude Impact-Mer.

Partenaires gestionnaires : Commune du Robert

Le projet RESPIREAU s'est intéressé à deux sites d'étude distincts, la Baie du Robert et les Pertuis Charentais, qui se rejoignent sur un même enjeu socio-économique et environnemental : la qualité de l'eau. Seule la partie de l'étude portant sur la Baie du Robert sera mentionnée ici. Le lecteur intéressé par l'étude sur les Pertuis Charentais pourra se référer au rapport final du projet.

Sur la baie du Robert, RESPIREAU fait suite au projet « Dao » présenté ci-dessus. La problématique générale peut être résumée comme suit : **comment assurer l'intégration des connaissances scientifiques dans les processus de décision sur la gestion de la zone côtière ?**

Le projet RESPIREAU avait pour objectif de compléter les recherches sur les phénomènes à l'œuvre dans la dégradation des ressources en eau et des écosystèmes aquatiques de la baie du Robert, d'**identifier comment les acteurs locaux perçoivent les problématiques relatives à la qualité de l'eau**, et dans un deuxième temps, d'**initier et d'analyser un processus de discussion entre chercheurs et acteurs** autour de scénarios basés sur les outils et supports issus des travaux de description. L'implication forte de chercheurs des sciences humaines et sociales visait notamment à permettre une meilleure connaissance du système d'acteurs local et des interactions possibles entre « chercheurs » et « non-chercheurs ».

Diagnostic environnemental et actualisation des indicateurs

L'indicateur de sensibilité des sols à l'érosion hydrique a été actualisé et amélioré, notamment par l'intermédiaire d'une nouvelle modélisation des phénomènes érosifs tenant compte de la proximité des écoulements superficiels avec les zones contributives à l'érosion. En outre, les chercheurs ont identifié par des enquêtes de terrain les pratiques agricoles au sein des itinéraires techniques (culture de la banane, de la canne à sucre) accentuant le risque érosif.

L'analyse qualitative permise par l'indicateur a ensuite été mise en parallèle avec des mesures quantitatives de transport solide sur les bassins versants anthropisés du Robert. Le flux de matières transférées dans la baie a été estimé à environ 10 tonnes de matière sèche par hectare et par an pour une parcelle de bananeraie sans couvert végétal. La figure 49 montre que les différentes composantes du transport solide ne sont pas uniformément réparties sur l'année mais évoluent en fonction de la pluviométrie. L'étude montre cependant l'importance globale du transport par suspension, qui favorise le transport des substances polluantes.

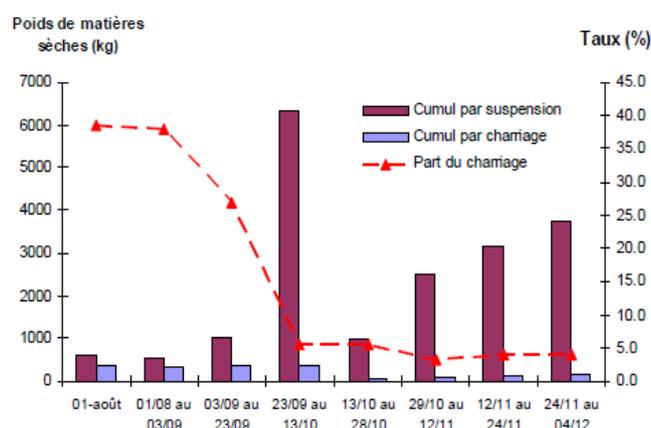


Figure 49 : Transport par suspension et par charriage sur la ravine Mansarde au Robert.

L'indicateur de charge polluante en produits phytosanitaires développé dans le projet précédent a été également actualisé en intégrant les informations issues de SIRIS-Pesticides, un outil développé par l'INERIS qui permet de classer des substances phytosanitaires suivant leur potentiel à atteindre les eaux superficielles et les eaux souterraines. Ces données permettent donc de tenir compte de la mobilité et de la persistance des substances dans le milieu.

L'actualisation et l'amélioration des indicateurs ont permis non seulement de mieux appréhender les dynamiques du réseau hydrographique des bassins versants mais également de mettre en évidence l'importance de prendre en compte la distribution spatiale et temporelle des activités humaines dans les transferts du bassin versant à la baie du Robert.

La formulation par les acteurs locaux des enjeux liés à la ressource en eau

Une enquête auprès de 35 personnes concernées à différents

écosystèmes littoraux (Figure 50) ;

- une seconde version représentant les différents services (de support, de production, de régulation, de récréation) procurés par les écosystèmes (Figure 51).

productive. En particulier, il s'agit de veiller à l'homogénéité des participants (du point de vue de leur statut hiérarchique et de leurs activités pratiques) et de s'appuyer sur un réseau local préexistant, en veillant à la représentation de compétences variées. Le groupe comprenait donc, outre les chercheurs, des

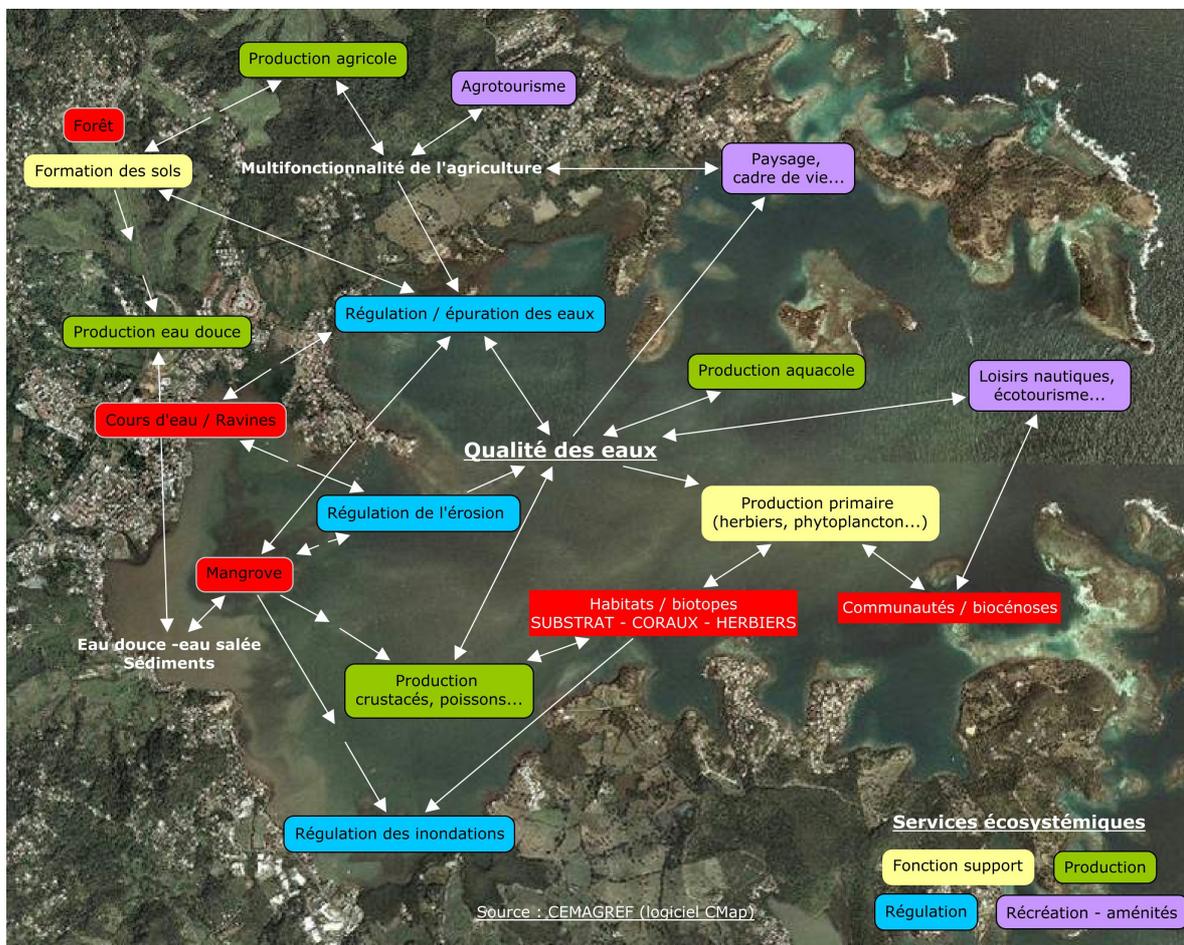


Figure 51 : Cartographie des services écosystémiques liés à la qualité des ressources en eau sur le territoire du Robert.

Ces représentations, imaginées par les chercheurs, ont été mobilisées à l'appui des travaux d'un groupe de discussion visant à construire différents scénarios d'évolution du territoire (Vernier et al., 2012). Les services écosystémiques n'ont pas été hiérarchisés afin de laisser libre cours aux discussions entre chercheurs et acteurs. Ils n'ont pas fait l'objet d'une quantification à l'échelle locale concernée.

Scénarios d'évolution

→ Méthodologie

Un groupe de discussion réunissant chercheurs et acteurs a été constitué et organisé selon des principes de sociologie des connaissances, en vue de permettre une réflexion collective

élus de la commune et des agents communaux, des acteurs socio-professionnels, des représentants d'administration déconcentrée (DEAL) et d'établissements publics (Office de l'eau, ONF, Conservatoire du Littoral).

Une prospective territoriale qualitative mobilisant la méthode des scénarios a été choisie. Il s'agit de coupler des « récits prospectifs », constructions souples permettant d'établir les relations causales entre variables du système, et des « modèles » (en l'occurrence, les indicateurs de vulnérabilité et les représentations cartographiques) permettant des simulations spatialisées cohérentes à partir des hypothèses formulées par le groupe.

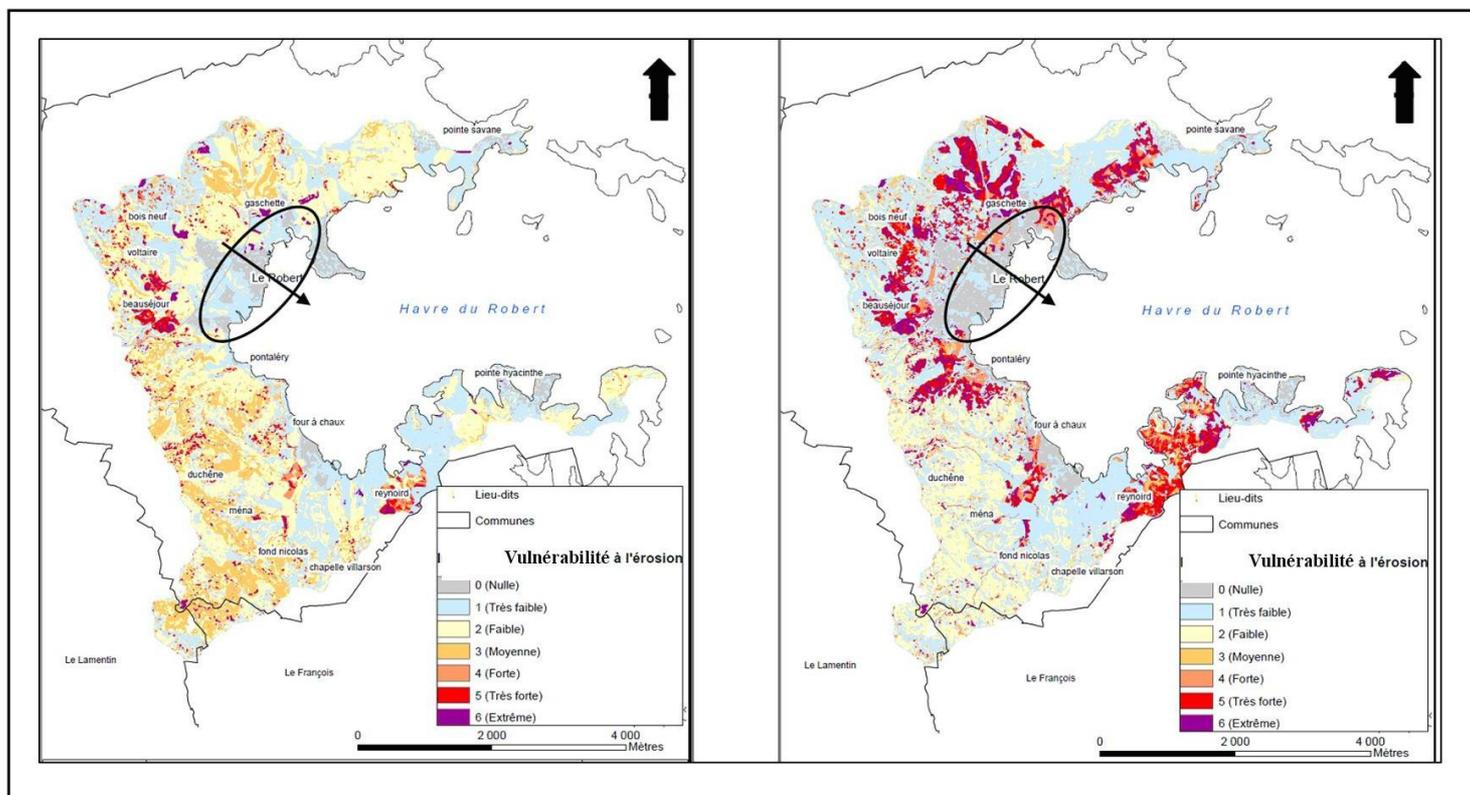
Afin de faire ressortir les enjeux les plus saillants au regard des évolutions possibles du territoire, la méthode des « scénarios normatifs et contrastés » (Mermet et al., 2005) a été utilisée : il s'agit de mettre en évidence les variantes extrêmes des futurs envisageables, et les cheminements plausibles qui permettent de les relier à la situation présente. **La construction des scénarios, appuyée par les connaissances et outils développés dans les deux projets Liteau, n'a pas pour but de prédire l'avenir ou d'anticiper sur celui-ci mais bien de mettre en exergue les évolutions fortes et/ou plausibles du territoire et de ses enjeux environnementaux**, en vue de concevoir un « projet de territoire » plus conforme aux attentes des acteurs.

Deux types de scénarios ont été établis par le groupe de travail : un scénario dit « tendanciel » et un scénario « idéal ». Deux horizons temporels ont été discutés : 2015, échéance fixée par la directive-cadre sur l'eau pour un retour au bon état écologique et chimique des masses d'eau, et 2027, échéance fixée par le SDAGE de Martinique comme objectif de résultats pour la baie du Robert.

→ Scénario tendanciel

Le scénario tendanciel prolonge les tendances environnementales observées sur le territoire. Il s'appuie dans le cas présent sur le diagnostic de l'état de la baie (envasement et hyper-sédimentation, eutrophisation, état des ressources en eau et biocénoses aquatiques, etc.), les connaissances en matière de perte de biodiversité et les évolutions prévisibles des territoires littoraux dans le contexte du changement global. Véritable « scénario catastrophe », ce scénario intègre le mitage du territoire par l'urbanisation diffuse, la pollution du milieu marin par des pollutions diffuses ou ponctuelles issues d'une agriculture intensive ou du vieillissement des dispositifs d'assainissement, le développement non contrôlé d'activités nautiques et de loisirs et les pratiques de pêche illégale. **Tous ces forçages impliquent à terme une diminution voire une disparition de nombreux services rendus par les écosystèmes aquatiques de la baie du Robert.** Les services rendus par l'écosystème mangrove ont particulièrement été discutés du fait de leur rôle dans le transfert et le dépôt des particules et des sédiments.

La figure 52 illustre les résultats d'un exemple de scénario tendanciel réalisé sur les indicateurs de vulnérabilité à l'érosion.



Le paramètre déterminant dans les hypothèses d'évolution de l'érosion est l'occupation du sol, aussi bien pour ce qui concerne la nature de la couverture du sol que pour les mécanismes d'infiltration, de ruissellement et d'imperméabilisation. La figure montre ainsi l'augmentation forte de la vulnérabilité à l'érosion qu'engendrerait une augmentation importante de la couverture du sol par des bananeraies.

→ Scénario « idéal »

Le scénario « idéal » repose sur l'hypothèse d'une politique ambitieuse de gestion intégrée des zones côtières (GIZC) combinant le développement encadré de l'urbanisme avec l'aménagement des bassins versants et du front de mer, des assainissements efficaces, une agriculture et une aquaculture raisonnées, la formation écologique et culturelle des acteurs, l'encadrement et l'accompagnement des micro-entreprises et le développement d'une zone d'activités orientée vers la mer et l'innovation. **Le scénario idéal a ainsi donné lieu à des discussions tournées vers des préconisations ambitieuses pour parvenir à un état caractérisé par un « équilibre » entre les différentes activités humaines présentes sur le territoire et entre les activités humaines et les écosystèmes du territoire de la baie du Robert.** Ces discussions se sont appuyées sur un recensement global des projets et actions d'aménagement et de développement en cours ou identifiés à l'échelle communale, afin de confronter le scénario idéal à la situation actuelle et identifier ainsi les freins et leviers essentiellement sociaux et politiques aux cheminements possibles et plausibles pour aboutir à un tel scénario.

Conclusion

L'objectif du projet était de construire une représentation socio-écosystémique du territoire permettant de matérialiser les interdépendances entre activités humaines, état écologique de la baie du Robert et services écosystémiques associés, et de l'utiliser à l'appui d'une démarche plus prospective de construction de scénarios d'évolution avec les acteurs locaux.

Le diagnostic environnemental s'est appuyé sur le **développement d'indicateurs de vulnérabilité à l'érosion et aux pollutions phytosanitaires qui constituent des outils d'aide à la décision** permettant d'identifier les zones où des opérations d'aménagement ou de sensibilisation doivent être réalisées. Le projet a également permis une première déclinaison de la notion de service écosystémique à l'échelle territoriale étudiée, ce concept ayant été mobilisé pour traduire et discuter des liens entre activités humaines et ressources en eau.

L'approche prospective, basée sur des scénarios d'évolution contrastés, a permis de mettre en discussion avec des acteurs diversifiés les connaissances et outils scientifiques disponibles sur les devenir possibles du territoire de la Baie du Robert au regard des enjeux environnementaux. Le groupe de discussion créé à cet effet a permis de créer et de **formaliser les échanges entre acteurs, de créer une situation de confiance et d'initier un dispositif participatif essentiel à la poursuite de la démarche de GIZC.** Les scénarios d'évolution eux-mêmes ont permis d'objectiver le débat sur les conséquences des orientations technico-économiques et socio-politiques du développement territorial. Le groupe de discussion contribue ainsi à encourager les liens entre recherche et gestion, figés a priori dans un partage des tâches entre réflexion et action, intellectuel et opérationnel, qui peut être redéfini le temps des discussions.

L'observation sociologique du groupe de discussion **a mis en évidence l'intérêt de la notion de « services écosystémiques » pour faciliter l'intégration** des connaissances scientifiques tout autant que les incertitudes associées dans les processus de décision. En outre, du point de vue des chercheurs, l'enjeu de présentation des résultats de la recherche aux acteurs a conduit à dynamiser les travaux de recherche.

Suites

Les deux projets présentés ici ont largement contribué à initier une démarche de gestion intégrée des zones côtières sur un territoire sans expérience préalable en la matière. **Cette démarche se poursuit sous la forme d'un projet de « Charte GIZC » sur la Baie du Robert, porté par un comité de suivi et un chargé de mission recruté à cet effet début 2012 par la commune du Robert.** La charte est envisagée par les différents acteurs en présence comme le moyen de mobiliser et fédérer les parties prenantes, de façonner une vision et des objectifs partagés pour l'avenir du territoire du Robert, avant d'identifier les outils et les façons de mettre en œuvre cette action publique. Des chercheurs impliqués dans le projet RESPIREAU font partie du comité de suivi mis en place afin de permettre une continuité et un appui à cette initiative, qui mobilise largement les résultats de recherche et la dynamique de coopération engendrés par les deux projets financés par Liteau.

La démarche de site-atelier mise en place sur le territoire de la baie du Robert a permis de **produire des outils et des connaissances qui ont bénéficié à et nourrissent d'autres**

démarches environnementales en cours à la Martinique. Ainsi, au plan méthodologique, une approche analogue à l'approche de concertation développée sur la baie du Robert a été mobilisée dans le cadre de l'étude préalable à la création de la réserve marine régionale sur la commune du Prêcheur située sur la façade Nord-Caraïbe de la Martinique. De même, les travaux de certains chercheurs de l'équipe sur l'analyse et l'évaluation des outils et politiques de gestion intégrée ont permis des travaux sur le suivi-évaluation du contrat de la baie de Fort-de-France (Rocle et al., 2011). La mise en œuvre de la directive-cadre sur l'eau sur les masses d'eau du territoire du Robert bénéficie également des travaux de recherche menés sur le site-atelier, en particulier sur l'état biologique et chimique des masses d'eau côtières définies pour la baie.

Enfin, certains éléments méthodologiques du projet RESPIREAU sont repris dans le cadre du projet de recherche ATOUMO, financé par la Fondation de France sur la période 2013-2015, qui vise à analyser les trajectoires de gouvernance en réponse aux changements systémiques marins et littoraux en Martinique.

Pour en savoir plus :

[Rapport du projet « Dao »](#) et [Rapport du projet RESPIREAU](#) sur www1.liteau.net

Dans la zone des Pertuis Charentais, les interdépendances autour de la ressource en eau ont également été illustrées au travers de l'usage de la notion de service écosystémique. Quatre entrées ont été privilégiées :

- *une analyse de la demande pour la pêche à pied de loisir, dont la valeur économique a été estimée ;*
- *une lecture écologique du Millenium Ecosystem Assessment (MEA) appliquée à la conchyliculture ;*
- *une évaluation économique de l'attractivité du littoral à partir des prix du foncier agricole et résidentiel ;*
- *et enfin une approche agro-environnementale afin de modéliser les flux de nutriments et de pesticides, et scénariser les changements de pratiques sur la qualité de l'eau.*

L'ensemble des résultats, décrits dans le rapport final du projet, a été discuté avec les gestionnaires au sein de groupes de travail locaux.

3.3.2. Organiser la cogestion des récifs et lagons à forte valeur patrimoniale en Nouvelle-Calédonie : le projet COGERON (2007-2011)

Coordination : Marc Léopold. Institut de Recherche pour le Développement (IRD).

Partenaires scientifiques : Ifremer, AgroCampus Ouest, Institut Agronomique néo-calédonien (IAC), université de la Nouvelle-Calédonie (UNC).

Partenaires gestionnaires : Province Nord de Nouvelle-Calédonie, Ifremer, Koniambo Nickel SAS (KNS).



La diversité des écosystèmes coralliens, la multiplicité des modalités d'exploitation de leurs ressources et l'hétérogénéité des contextes socio-culturels insulaires rendent complexe la gestion des pêcheries récifo-lagonaires du Pacifique sud. Les systèmes de cogestion reçoivent une attention grandissante en raison de leur potentiel d'implication des acteurs dans la gestion effective et le processus de décision. Or, si des actions partielles de cogestion ont été menées en Nouvelle-Calédonie, il manquait l'exemple d'une approche locale intégrée qui analyserait les conditions et les méthodes pouvant conduire à une cogestion adaptée au contexte local : perceptions de l'environnement, de l'espace et des territoires à prendre en compte ; mise en commun cohérente des savoirs locaux et scientifiques en matière d'environnement et de sa gestion ;

formes de communication, de concertation et d'organisations pertinentes ; méthodes adaptées de formation et de construction des capacités d'action collectives.

Le projet COGERON visait à **préparer et accompagner la cogestion de l'espace maritime sur deux sites à forte valeur patrimoniale du littoral de Nouvelle-Calédonie : la zone de Voh-Koné-Pouembout, située sur la Grande-Terre en Province Nord, et l'une des îles Loyauté, Ouvéa.**

Toutes les actions prévues sur les **îles Loyauté** n'ont pu être menées à bien en raison de difficultés indépendantes du projet. Seule l'action qui concernait la **gestion des impacts sous-marins causés par le mouillage de paquebots de croisière** a pu être finalisée. Des études de terrains ont ainsi permis de caractériser les impacts des paquebots sur les récifs coralliens et leurs étendues géographiques. Face à l'ampleur des impacts mis en évidence, les acteurs locaux d'Ouvéa ont mis un terme à ce type de tourisme peu après la communication des résultats.

Sur le **site d'étude Voh-Koné-Pouembout (VKP, Fig. 53)**, l'étude a pu être menée dans son intégralité. La zone est caractérisée par le développement d'un complexe industriel minier pour l'exploitation du nickel du Massif Koniambo, qui engendre un fort développement économique et un bouleversement des sociétés locales.

Le projet reposait sur deux approches interdépendantes :

→ **l'identification des enjeux environnementaux, sociaux et économiques locaux** dans le contexte des changements rapides que connaît la zone d'étude. Les recherches ont porté

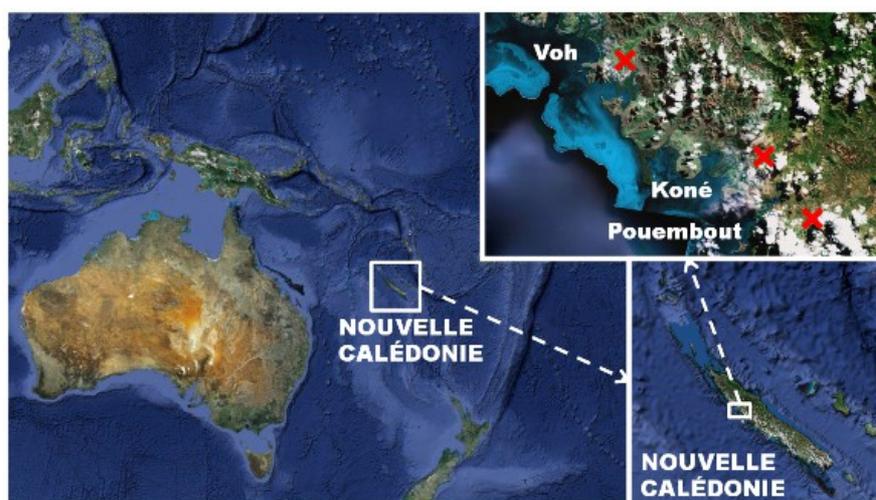


Figure 53 : Carte de la zone Voh-Koné-Pouembout (VKP), Province Nord de Nouvelle-Calédonie.

sur les perceptions des acteurs locaux (acteurs du développement économique et pêcheurs en particulier) sur la gestion du lagon et de la zone littorale, la place de la pêche dans les activités familiales et dans le développement territorial, la connaissance du milieu marin et des modes de pêche. Ces études avaient pour objectif de définir les priorités de gestion à court et moyen terme.

→ **l'organisation de la participation des parties prenantes à la gestion.** Il s'agissait de construire une initiative durable de cogestion, avec des méthodes adaptées au contexte local. Le travail a notamment porté sur l'échelle géographique et sociale à considérer, les leviers de mobilisation des acteurs pour suivre la santé du lagon et des ressources sur le long terme, la diffusion de l'information au public, ainsi que la recherche d'une formalisation juridique adaptée aux modes de gestion concertée.

Enjeux de gestion des territoires et des ressources dans la zone VKP

Le projet COGERON a réalisé plusieurs études pour évaluer et anticiper les changements prévisibles dans les dix prochaines années dans la zone VKP en raison du développement économique, et formaliser les enjeux de gestion associés.

Une étude des activités de pêche lagonaire a ainsi été réalisée dans le cadre de la thèse de N. Guillemot (2009, Agrocampus Ouest / IRD / KNS). Les trois principales ressources de la zone VKP ont été prises en compte : les poissons lagonaires, les crabes de palétuvier et les holothuries. Les résultats ont permis de **caractériser géographiquement la pression de pêche** et révèlent la **forte structuration spatiale et sociale des activités de pêche**, fonction notamment du contexte social et professionnel du pêcheur et des objectifs de la pêche (plaisance, vivrière, commerciale). Un atlas de la pêche non professionnelle de poissons récifo-lagonaires a ainsi été produit.

Des enquêtes auprès de 77 pêcheurs professionnels et plaisanciers ont été réalisées afin de mieux appréhender la perception par les usagers des enjeux de gestion. Elles ont notamment permis d'aboutir à une carte des usages (Fig. 54), qui montre **un lagon compartimenté mais partagé et une cohabitation maîtrisée des usages**. Les règles informelles en vigueur (appropriation de zones du lagon par des groupes sociaux ou tribus) sont généralement respectées, renforcées par des modalités informelles de surveillance et de sanction spatialement et communautairement ancrées. Les **sources de conflits identifiées** portent surtout sur **l'installation de nouvelles populations** (forte augmentation démographique depuis cinq

ans), la **pression de pêche accrue** et **l'impact de l'immigration** sur des filières de pêche informelles.

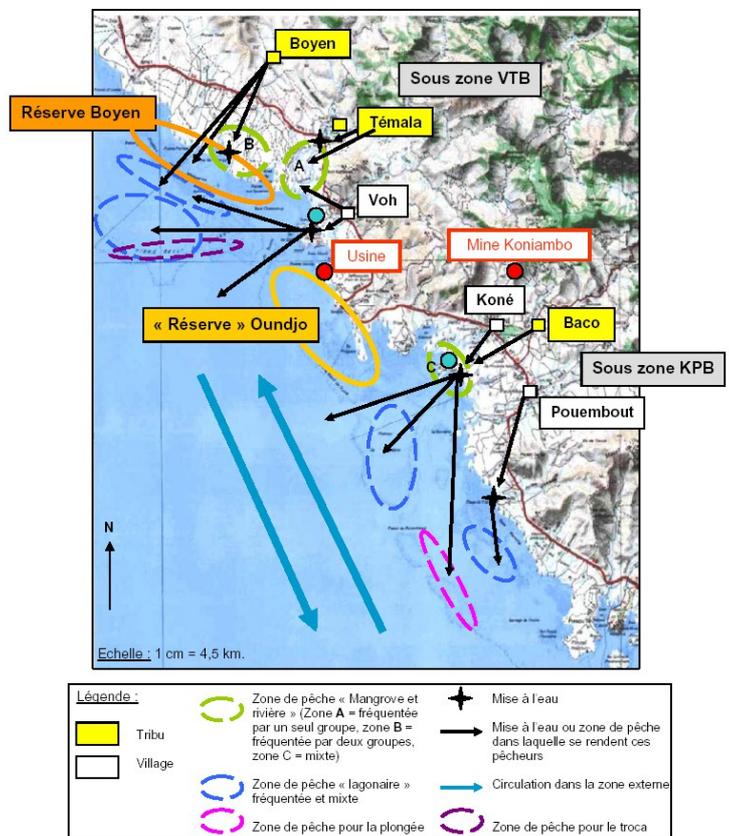


Figure 54 : Carte des usages du lagon, dessinée d'après les enquêtes menées sur le territoire VKP

En prenant en compte la grande différence des modes de pêche et de vie dans les villages et les tribus, une **étude des circuits de commercialisation et de valorisation des ressources lagonaires** a été menée au travers d'enquêtes auprès de pêcheurs, de colporteurs, de magasins, restaurants et collectivités et de grandes et moyennes surfaces. Les résultats ont permis d'estimer la production et la vente de poissons lagonaires et de crabes de palétuviers. **L'augmentation démographique attendue entraînera un déficit significatif de l'offre locale en poisson**, qui ne pourra être comblée que par une augmentation de la pression de pêche dans le lagon ou par un approvisionnement en provenance d'autres communes. Elle engendrera une **modification des circuits de commercialisation**, du fait de l'augmentation de la demande en produits de la mer et de la méconnaissance des circuits locaux par les nouveaux arrivants. Une approche territoriale de développement local articulée aux grandes dynamiques

économiques et sociales que connaît la région est donc nécessaire pour préserver la pêche locale ainsi que le consensus apparent autour des règles de gestion coutumières.

L'ensemble des résultats, synthétisés dans la Figure 55, a été présenté aux acteurs clés du développement de la zone VKP (collectivités territoriales – élus et administratifs, société KNS, Comité Environnemental Koniambo). Des entretiens ont été menés avec ces acteurs afin d'apprécier leurs points de vue sur les priorités actuelles des collectivités en matière d'accompagnement du projet industriel et les marges de manœuvre quant à la participation de la population à la gestion du lagon et de la pêche. Il en ressort que, **si les changements actuels et à venir sur le lagon, ses usages et le paysage côtier sont correctement perçus et partagés par les acteurs rencontrés, ils ne semblent pas constituer l'une de leurs principales préoccupations et priorités d'action** – à l'exception des impacts directs du projet Koniambo sur le milieu marin. L'essentiel de leur action est concentré sur l'accélération de l'aménagement terrestre (infrastructures, urbanisation). Par ailleurs, la population ne semble pas suffisamment informée des bouleversements à l'œuvre sur l'environnement et ses modes de vie, malgré la volonté affichée des collectivités de l'associer aux décisions concernant son environnement.

Suivi environnemental et gestion des systèmes socio-écologiques du lagon VKP

Le suivi et la gestion des systèmes halieutiques de la zone VKP ont fait l'objet d'une approche différente par type de ressources (poissons lagunaires, crabes de palétuviers, holothuries), en raison de leurs caractéristiques et de leur fonctionnement propres.

Sur les poissons lagunaires, le projet COGERON a permis de proposer une **méthode de suivi des activités de pêche lagunaires** qui permettra de caractériser dans le futur l'évolution des pêcheries, en comparaison notamment de l'état des lieux effectué dans le cadre du projet. Des **indicateurs de suivi de l'état des ressources halieutiques et de l'influence de la pêche** ont par ailleurs été mis au point, associés à une proposition de **méthode de suivi à long terme** tenant compte des capacités techniques et financières des acteurs locaux.

Une étude de l'écologie et de la répartition spatiale des crabes de palétuviers a par ailleurs permis de faire un **bilan des stocks disponibles et de la pression de prélèvement**, qui ne semble pas avoir d'impact significatif sur l'abondance de la ressource et la taille des individus. Un test de différentes méthodes de suivi a permis de proposer la **mise en place d'un suivi opérationnel de cette pêche, basé sur la participation**

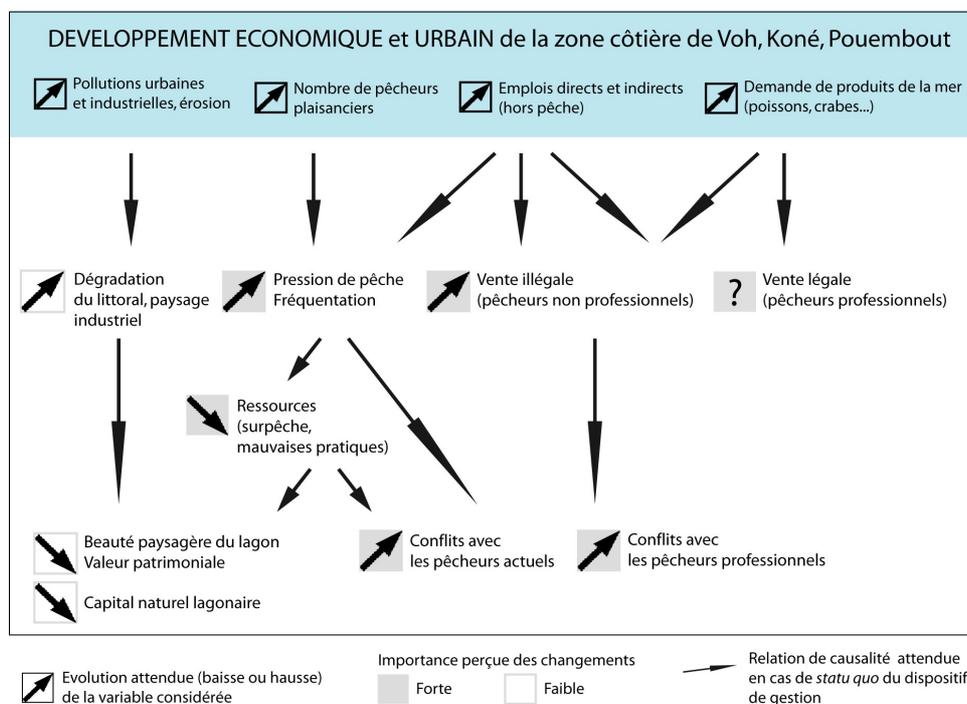


Figure 55 : Schéma synthétique du diagnostic des enjeux dressé par les usagers enquêtés et présenté aux acteurs clés du développement.

des pêcheurs. Un guide synthétique a été produit, accompagné d'un tableur Excel pour faciliter la saisie et le calcul des indicateurs. La pérennité de ce suivi volontaire reste cependant liée au maintien des relations avec les pêcheurs impliqués et à la volonté de la province Nord de le conserver sur le long terme.

→ *Un exemple concret de gestion participative : la pêche des holothuries sur le plateau des Massacres*

L'important développement de la pêche des holothuries depuis 2007 a créé une forte pression sur les stocks de l'archipel. Constatant une raréfaction des holothuries de taille commerciale (20 cm) dans l'herbier du plateau des Massacres, les pêcheurs de la tribu Boyen qui l'exploitent y avaient fermé temporairement la pêche en 2007. Dans le cadre du projet COGERON, le service des pêches de la Province Nord et l'IRD ont apporté leur soutien technique à cette initiative locale pour mettre en place un système de gestion opérationnel. Cette démarche consiste en six étapes qui constituent un cycle de cogestion, associant les pêcheurs et la province Nord (service des pêches et gardes nature) pour chaque action et décision (figure 56). Les pêcheurs ont également instauré certaines restrictions (prises maximales par pêcheur, limitation de l'accès à la ressource en fixant le nombre de licences), de nature à partager la rente de cette pêcherie.



Figure 56 : Les 6 étapes du cycle de co-gestion de la pêche des holothuries

Ce système adaptatif de cogestion se révèle efficace : le stock est en nette progression depuis 2008 et l'activité est devenue très rentable pour les pêcheurs. Les facteurs clés du succès de

ce système sont 1) la forte cohésion au sein de la communauté de pêcheurs, renforcée par l'augmentation significative de la ressource et de la rente, et garante d'une gouvernance collective efficace ; 2) la simplicité du système halieutique, constitué d'une seule espèce peu mobile, facilement accessible et exploitée pour l'exportation ; 3) la localisation de la pêcherie sur une zone restreinte et côtière.

Cette approche appliquée de cogestion est un exemple de partenariat réussi entre pêcheurs, gestionnaires publics et scientifiques. Une base de données et un guide méthodologique ont été développés en 2010 par le projet COGERON afin de rendre autonomes les gestionnaires de la province Nord en matière de calculs d'indicateurs et d'évaluations des stocks (Duvauchelle, 2010).

→ *Communication des données*

Afin de rassembler les données issues des études réalisées dans le cadre de COGERON mais aussi des données de suivi environnemental effectué par KNS, un **démonstrateur de présentation de la donnée environnementale du lagon VKP** a été réalisé en partenariat avec KNS et le Comité Environnemental Koniambo. Cet outil informatique est basé sur la base de données Quadrigé² de l'Ifremer et l'outil de représentation cartographique SURVAL. Ces données de différents types (comptage de poissons, état des coraux, température de l'eau, concentrations en métaux, cartes de pêche, etc.) seront collectées sur le long terme dans la zone, et l'interface constitue un support intéressant pour la communication avec le grand public. L'outil nécessite toutefois que les données environnementales soient collectées dans un format standardisé.

Formalisation juridique et organisationnelle des modes de gestion

Suite aux études anthropologiques et halieutiques, une analyse juridique a été conduite afin de déterminer les solutions s'offrant aux autorités provinciales pour gérer et, le cas échéant, formaliser les usages existant sur le domaine public maritime du lagon VKP.

Il ressort d'une étude comparée internationale qu'il n'est généralement pas nécessaire de transférer des droits de propriété aux populations autochtones pour satisfaire leurs revendications territoriales, mais plus simplement de **leur reconnaître des droits d'usage**, si besoin en leur octroyant des droits exclusifs. **L'outil privilégié pour ce faire est l'aire de gestion durable des ressources (AGDR)**, une forme d'aire marine protégée

incluant certaines activités humaines. À partir de ce double constat, l'analyse a montré qu'une telle solution serait compatible avec les règles de droit international, le principe d'égalité des usagers du domaine public en droit français et le cadre réglementaire et législatif en vigueur en Province Nord. Un grand nombre de formes juridiques a été envisagé et comparé (David et al. 2011). Il en ressort **l'intérêt de privilégier des structures légères et flexibles n'étant pas forcément dotées de la personnalité juridique** (ex : comité de gestion). Il est toutefois suggéré d'étendre la possibilité aux tribus et aux groupements de droit particulier local de signer des conventions de gestion avec la Province nord afin de participer à la gestion du lagon, ce qui n'est pas possible en l'état actuel de la réglementation provinciale.

→ L'organisation de la participation à la gestion

Les enseignements opérationnels de toutes les études réalisées dans le projet ont été mis en discussion lors de **deux ateliers participatifs**, organisés en août 2010 pour contribuer au débat entre les différents groupes d'usagers du lagon de la zone d'étude d'une part, et entre les usagers et les autorités locales (coutumières, communales, provinciales) d'autre part.

L'objectif général était d'exploiter ces connaissances comme support de dialogue, afin d'amener les participants à formuler des propositions visant à engager des démarches de gestion concertée du lagon. La méthode « EXPLoRE » (Existant, Prospective, Regulations) a été expérimentée au cours de ces ateliers. Elle vise à articuler un diagnostic partagé avec l'exploration par les acteurs des espaces de concertation à créer et à faire émerger un premier réseau susceptible de porter ces dynamiques.

Lors de la première journée, les acteurs ont pu mettre en commun les connaissances qu'ils avaient de l'existant afin de **construire une vision partagée du lagon**. La deuxième journée a consisté en une **projection dans l'avenir** à partir des représentations élaborées. Lors de la troisième journée, des intervenants scientifiques et non scientifiques sont venus faire part de leurs expériences en termes de **démarches de dialogues ou de gestion des conflits**.

Au terme de ces ateliers, **trois pistes d'actions prioritaires ont émergé** :

- l'amélioration du fonctionnement du Comité Environnemental Koniambo, notamment en termes de diffusion vers le public de l'information environnementale ;

- la mise en place d'aires de gestion durable dans les zones concernées par des tensions ou des enjeux spécifiques ;
- sensibiliser et mobiliser les élus des collectivités autour des enjeux de gestion du lagon (organisation d'événements festifs, information du grand public, identification de personnes relais entre les élus et les acteurs locaux sur le terrain).

Conclusion

Le projet COGERON a permis d'éclairer le contexte halieutique, social, environnemental et économique d'une zone en plein bouleversement en Nouvelle-Calédonie, de créer une dynamique autour des enjeux propres à cette zone, et de proposer des pistes d'actions concrètes aux acteurs publics et privés du développement local en faveur d'une gestion concertée des ressources côtières.

Le développement de dispositifs de suivis des principales ressources exploitées (poissons récifaux, crabes de palétuvier, holothuries) et des activités de pêche, en favorisant l'implication des pêcheurs et en adaptant les méthodes proposées au contexte local, sont autant d'outils disponibles dans cet objectif.

Toutefois, la mobilisation des acteurs, notamment politiques, apparaît comme l'un des défis majeurs en matière de gestion concertée dans cet espace en mutation rapide, concentré sur son aménagement terrestre. **En l'absence de conflits manifestes, les conditions de la concertation ne sont pas réunies à ce stade.**

Suites

Afin de mobiliser les acteurs mais aussi les populations locales à la gestion du lagon et de ses ressources, un grand effort a été porté sur la communication tout au long du projet. Une restitution publique a ainsi été organisée chaque année et un site internet est disponible depuis 2010 (<http://cogeron.ird.nc/>) afin de diffuser les résultats et les informations liés au projet COGERON.

Deux courts documentaires sur la pêche du crabe de palétuvier ([lien vidéo](#)) et des holothuries ([lien vidéo](#)) ont été produits en 2009 et 2010. Les deux vidéos sont disponibles sur le site du projet COGERON et sur le site de vidéo en ligne de l'IRD. Par ailleurs, **un documentaire destiné au grand public (26')** sur les enjeux du développement à VKP, intitulé

« Cogérons le lagon », a été réalisé en 2011 par la société Nautile Movie et a fait l'objet de deux projections-débats publics en juillet 2011 (bande-annonce disponible sur le site du projet).

Pour en savoir plus :
[Rapport scientifique sur www1.liteau.net](http://www1.liteau.net)
 Site internet : <http://cogeron.ird.nc/>

Par ailleurs, un **livret d'information grand public sur la pêche dans le lagon VKP** (Fig. 57) a été distribué en 2009 à 650 personnes, enquêtées ou concernées par le projet.



Figure 57 : A droite, couverture du livret d'information et à gauche, publication sur l'outil Surval par le Comité Environnemental Koniambo.

Les partenaires du projet considèrent que le projet COGERON a répondu aux objectifs fixés en 2007. La mise en œuvre des actions initiées dans le cadre de COGERON relève désormais davantage d'actions politiques et/ou participatives endogènes que de l'initiative d'un nouveau projet de recherche. Sur ce consensus, **il n'est pas envisagé de prolongement de la recherche sur la zone VKP.**

Concernant le système de cogestion mis en place pour l'holothurie, après cette première phase, le système de gestion doit être consolidé tout en préservant sa capacité adaptative, par exemple par la voie réglementaire (ex : attribution de licences de pêche spatialisées). Suite à la réussite de cette cogestion à l'échelle locale, il est envisagé **d'étendre le système et de définir un plan de gestion de la pêche des holothuries à l'échelle provinciale à partir de 2013.** Une aire de gestion durable des ressources sera ainsi mise en place en 2014 sur le Plateau des Massacres. La même démarche est en cours au Vanuatu, où les holothuries ont été fortement surexploitées jusqu'au début des années 2000.

Conclusions

Axe majeur des appels à propositions de recherche Liteau, la thématique de la gestion intégrée des zones côtières rassemble près de 40% des projets financés sur la période. Plusieurs projets ont permis des avancées significatives dans la construction d'outils et de démarches appuyant de nouvelles formes de gestion des espaces côtiers et de leurs ressources.

Construire une gestion intégrée nécessite de disposer d'un état des lieux du territoire concerné, non seulement d'un point de vue environnemental et culturel, mais intégrant également les dynamiques socio-économiques et les liens entre sociosystème et écosystème afin de définir de manière concertée les objectifs à atteindre, puis de conduire les actions nécessaires.

C'est à la première étape que s'est attelé le premier projet de recherche consacré à la baie du Robert en Martinique (projet « Dao »), qui a proposé un diagnostic environnemental et un schéma de fonctionnement global de la baie, tant à terre qu'en mer. Ce diagnostic a été affiné dans le cadre du projet RESPIREAU, qui a mis en œuvre des recherches pluridisciplinaires afin de mieux appréhender les interactions entre systèmes sociaux et systèmes écologiques. Un tel diagnostic écosystémique* est nécessaire pour proposer des mesures de gestion permettant la préservation des ressources et la protection des écosystèmes tout en étant économiquement viables et socialement acceptables. Ces deux projets ont en outre permis le développement d'indicateurs synthétiques de la vulnérabilité* des parcelles à l'érosion et aux pollutions phytosanitaires, outils permettant d'identifier les zones où des actions d'aménagement ou de sensibilisation doivent être réalisées en priorité.

Une démarche analogue a été mobilisée dans le cadre du projet COGERON, dont l'approche reposait sur une identification préalable des enjeux environnementaux, sociaux et économiques dans la zone Voh-Koné-Pouembout du lagon néo-calédonien. Les outils mis en place pour le suivi environnemental du lagon et des principales ressources exploitées viennent directement en appui à la gestion. De même, dans la Baie du Mont-Saint-Michel, le projet « Mongruel » a mobilisé des connaissances préalablement disponibles sur le site afin de produire un diagnostic socio-économique préalable à une démarche de gestion intégrée, utilisé notamment dans le projet IPRAC.

Certains projets ont enfin développé des méthodes innovantes d'acquisition de données, contribuant à la connaissance du territoire et des activités. Ainsi, le projet « Bountiles » a proposé un outil novateur et simple de suivi quantitatif et qualitatif de la fréquentation sur des sites littoraux. Cette méthodologie a été valorisée sur de nombreux sites du littoral français, ainsi que par des gestionnaires d'AMP méditerranéens au sein du réseau MedPAN. Dans le cadre du projet PAMPA, des méthodes d'acquisition de données par vidéo ont par ailleurs été développées en vue d'évaluer la performance des aires marines protégées. Ces méthodes d'observation constituent de précieux outils de suivi pour les gestionnaires d'AMP.

Plusieurs projets ont cherché à structurer l'information scientifique, pour la rendre synthétique et appropriable par les gestionnaires, mais aussi plus largement, par l'ensemble des acteurs concernés par le projet de gestion. Ainsi, de nombreux outils développés dans cette perspective apportent un appui à la prise de décision et à la participation des différents acteurs : indicateurs, tableaux de bord, modèles numériques...

Les observatoires de la fréquentation littorale Bountiles, au-delà des données qu'ils permettent d'acquérir de manière standardisée et qui constituent en tant que telles une aide à la gestion, reposent sur un système d'indicateurs qui font l'objet d'un bilan annuel discuté avec la population locale. Développés en partenariat étroit avec les gestionnaires des sites, les observatoires Bountiles, actuellement déployés de manière opérationnelle sur cinq sites du littoral métropolitain, fournissent des données objectives et actualisées sur l'évolution de la fréquentation et des usages tout en constituant une plate-forme d'échanges entre les acteurs du territoire en vue de concilier la fréquentation touristique et la préservation de l'environnement naturel.

Projet ambitieux conduit en partenariat étroit avec les gestionnaires de huit aires marines protégées (AMP) en métropole et en outre-mer, PAMPA a permis de construire une série d'indicateurs statistiquement solides visant à renseigner l'état des écosystèmes, les pressions anthropiques et leurs impacts, la qualité de la gouvernance des AMP. Organisés en « tableaux de bord » cohérents avec les objectifs de gestion, ces outils sont utilisés de manière opérationnelle par plusieurs AMP partenaires. PAMPA a ainsi contribué à construire un continuum de l'acquisition de la donnée scientifique, à sa standardisation, sa bancarisation et sa structuration jusqu'à son usage par les gestionnaires d'AMP.

Les modèles numériques développés dans le cadre du projet « Lefebvre » ou mobilisés dans IPRAC permettent de coupler les exports de nutriments depuis le bassin versant (en lien notamment avec l'activité agricole) et leurs impacts sur la qualité des eaux littorales, les efflorescences phytoplanctoniques toxiques et la croissance des coquillages cultivés. Ils constituent par conséquent de puissants outils d'intégration des connaissances scientifiques, et permettent de visualiser les conséquences possibles des décisions de gestion. Ce faisant, ils traduisent le lien terre-mer qu'il est indispensable d'appréhender dans le cadre d'une gestion intégrée du littoral.

Cependant, de tels instruments ne peuvent véritablement constituer des outils d'aide à la gestion intégrée que s'ils sont mobilisés à l'appui de démarches de concertation visant à construire une représentation partagée du territoire littoral et une vision commune du futur possible de ce territoire. **La gestion intégrée bénéficie de la mise en place de nouvelles pratiques de recherche basées sur le partenariat avec les acteurs non-scientifiques du littoral, qui facilitent la prise en compte des aspirations et des savoirs locaux dans l'élaboration du diagnostic préalable à l'action, l'appropriation des outils de diagnostic proposés par la recherche et la construction commune de scénarios prospectifs. Elle nécessite également d'aborder les questions de façon transversale et pluridisciplinaire.** Dans ce type de démarche, le chercheur a un rôle de passeur-traducteur qui aide à acquérir un langage commun et crée les conditions favorables à un apprentissage collectif. En retour, les acteurs peuvent être à l'origine de questionnements qui contribuent à la mise en œuvre de projets de recherche.

Les projets Liteau ayant concrètement contribué à la mise en place de démarches de gestion intégrée comptent parmi les plus récents de la période considérée dans cette publication. Cela correspond à une évolution du programme Liteau, qui à partir de 2007 a cherché à solliciter des projets plus interdisciplinaires, mobilisant plus largement les sciences humaines et sociales.

Ainsi, dans le cadre du projet IPRAC, les scénarios établis sur proposition d'acteurs locaux et testés grâce à une suite de modèles numériques ont permis de mettre en évidence l'impact faible d'une réduction des apports azotés depuis le bassin versant sur les ressources trophiques dans la Baie du Mont-Saint-Michel, et ont permis de mettre en évidence des marges d'adaptation des densités d'élevages conchylicoles pour faire face à la prolifération de la crépidule. L'approche par modélisation

numérique a été perçue par les acteurs comme un important outil d'aide à la décision.

En Martinique, les deux projets de recherche successifs menés sur la baie du Robert ont permis un appui très concret à la mise en place d'une démarche de gestion intégrée sur ce territoire. Basée sur un diagnostic environnemental et socio-économique solide, la démarche de prospective conduite par le projet RESPIREAU a permis de scénariser les évolutions possibles de la baie et des services écosystémiques qu'elle assure, et a ainsi contribué à définir l'équilibre souhaité par les acteurs locaux entre développement des activités humaines et préservation des écosystèmes. Cette démarche a notamment permis de créer les conditions de confiance nécessaire à la mise en place d'une véritable démocratie participative.

Le projet COGERON a également cherché à organiser la participation des acteurs locaux à la co-gestion des ressources naturelles du lagon dans la province Nord de la Nouvelle-Calédonie. Si cette démarche a été couronnée de succès pour la pêche des holothuries et des crabes de palétuviers, la mise en place d'une gestion intégrée de plus grande ampleur sur cette zone en mutation rapide se heurte à la faible appétence des acteurs, notamment politiques, d'avantage tournés vers l'aménagement terrestre.

Il est utile de remarquer qu'outre la production d'outils de nature opérationnelle, un acquis important des projets Liteau présentés ici réside dans la constitution de réseaux pérennes à l'interface entre recherche et gestion, gage de poursuite des collaborations et des développements scientifiques. C'est le cas notamment pour les observatoires de la fréquentation Bountiles, pour le réseau de scientifiques et de gestionnaires constitué dans le cadre du projet PAMPA ou pour les liens tissés entre chercheurs et acteurs autour de la Baie du Robert.

Pour approfondir cette thématique, le lecteur pourra se référer à d'autres projets financés dans le cadre du programme Liteau qui n'ont pas été abordés dans cette publication :

1. Développements d'outils de suivi, d'indicateurs d'état et d'outils de représentation des usages :

- **Rad2Brest - Modélisation et scénarisation des activités humaines en rade de Brest** (2009-2013, coord. Françoise Gourmelon, univ. de Bretagne occidentale)

> Le projet se propose d'identifier et d'analyser les interactions spatio-temporelles à l'œuvre entre les nombreuses activités maritimes, en prenant pour cas d'étude la rade de Brest. Il a permis le développement d'une Base d'Information Géographique et Temporelle (BIG-T), outil de simulation et de représentation géographique du déroulement des activités maritimes à un pas de temps quotidien, qui peut être mobilisé en support de démarches de planification et de concertation.

Retrouvez le [rapport scientifique](#) sur www1.liteau.net

- **FHUVEL - Caractérisation de la fréquentation littorale et détermination d'indicateurs de vulnérabilité écologique pour définir des modes de gestion durable du Parc national des Calanques** (2009-2014, coord. Thierry Taton, IMBE et Lidwine Le Mire-Pêcheux, Parc des Calanques)

> FHUVEL a pour objectif d'apporter des outils pour la gestion du Parc national des Calanques, un patrimoine naturel littoral soumis à de fortes pressions anthropiques. Il propose des indicateurs biologiques et socio-économiques caractérisant la vulnérabilité de différents habitats emblématiques ainsi que la localisation, l'intensité et les représentations associées à plusieurs activités touristiques. Les résultats permettent de proposer pour chaque site étudié un modèle de développement durable, comprenant des actions et mesures permettant d'adapter les politiques de gestion, de réguler la fréquentation et de hiérarchiser les priorités de conservation ou de restauration.*

[Plus d'informations](#) sur www1.liteau.net

2. Définition, gestion, gouvernance des aires marines protégées :

- **Développement durable de la pêche artisanale sur le site de la Réserve Naturelle des Bouches de Bonifacio** (2004-2007, coord. David Mouillot, Univ. Montpellier 2)

> L'objectif de ce projet était de développer des outils nécessaires à la gestion et au suivi de la réserve naturelle des

Bouches de Bonifacio et plus particulièrement de la pêche artisanale. Il s'agissait en particulier de mettre en évidence un possible effet positif de l'extension en 1999 de l'aire protégée sur les espèces ciblées par les pêches de loisirs à la ligne et sous-marine au harpon et, dans cette éventualité, de vérifier si cet effet a profité à la pêche artisanale. Le suivi des captures de pêches et d'un indicateur de la diversité fonctionnelle des espèces, développé dans le cadre du projet, a permis de montrer que les restrictions imposées à la pêche de loisir ont eu un effet positif tant pour la biodiversité que pour la pêche artisanale.

Retrouvez le [rapport scientifique](#) sur www1.liteau.net

- **GRAMP - Recherche sur la gouvernance des grandes aires marines protégées** (2009-2014, coord. François Féral, EPHE, Univ. de Perpignan)

> GRAMP a pour objectif principal d'étudier les processus de mise en place de grandes aires marines protégées françaises (en Méditerranée et dans le Pacifique), leur gouvernance et les principes arrêtés pour en faciliter l'implantation et en améliorer la connaissance. Cinq séminaires ont ainsi été organisés afin de réunir des experts et scientifiques internationaux autour de questions clés sur la gouvernance des grandes AMP : la connectivité, la biodiversité, le droit international de l'environnement et de la mer, la gestion internationale des pêches, la coopération régionale, la gestion intégrée des zones côtières et les communautés côtières, la dimension anthropologique de la protection marine...

[Plus d'informations](#) sur www1.liteau.net

- **Roc-Connect** (2012-2014, coord. Katell Guizien, Station Marine de Banyuls)

> Le projet vise à quantifier la connectivité potentielle des populations de différentes espèces de gorgonaires présentes dans l'habitat rocheux fragmenté du Golfe du Lion et son rôle dans la persistance régionale de ces espèces, dans le but d'apporter des bases solides à la définition d'une « trame bleue marine » entre les AMP existantes. Il repose sur une articulation entre simulations numériques de la dispersion larvaire des espèces, expérimentation afin d'estimer les capacités de mobilité des larves, et observations de terrain de la structure démographique et génétique des populations du Golfe du Lion.

[Plus d'informations](#) sur www1.liteau.net

3. Soutien à la mise en place et analyse/évaluation des

démarches de gestion intégrée de la mer et du littoral :

- **GIZCAM - Gestion intégrée d'une zone humide littorale méditerranéenne aménagée : contraintes, limites et perspectives pour l'île de Camargue** (2006-2009, coord. Philippe Chauvelon, Tour du Valat)

> Le projet visait à quantifier et modéliser les processus physiques et sociaux relatifs à la gestion de l'eau dans l'île de Camargue en vue d'aider à la prise de décision des gestionnaires chargés de la régulation des échanges d'eau des étangs vers la mer. Les nombreux résultats obtenus sur le fonctionnement hydrologique de la Camargue, l'évolution récente du trait de côte, les transferts de pesticides issus des activités agricoles ou le système de gouvernance de l'eau par la commission exécutive de l'eau ont permis de jeter les bases d'une gestion durable des zones humides littorales, que les chercheurs ont cherché à accompagner via un processus de modélisation d'accompagnement.

Retrouvez le [rapport scientifique](http://www1.liteau.net) sur www1.liteau.net

- **CAMADAPT – Adaptation aux changements globaux dans la Réserve de Biosphère « Camargue Grand delta »** (2010-2014, coord. Paul Allard, Laurence Nicolas, Univ. de la Méditerranée)

> À la suite notamment du projet GIZCAM, l'objectif de CAMADAPT est d'étudier la résilience et les modes d'adaptation du grand delta rhodanien face aux changements globaux, notamment relatifs au littoral, et ce, depuis les perceptions sociales des risques jusqu'à l'action des acteurs locaux et du législateur, en passant par les modes de gestion de l'eau et les interactions entre usages de la nature. Les différents volets du projet convergent par le biais de la construction d'une simulation multi-agents et d'un jeu de rôles afin d'identifier et de faire prospecter par les acteurs les principaux modes d'adaptation en train de se dessiner sur le territoire. Les actions de renaturation et l'écologisation des pratiques sont en particulier mises en discussion comme possible mode d'adaptation des espaces littoraux.

Retrouvez le [rapport scientifique](http://www1.liteau.net) sur www1.liteau.net

- **InterSAGE - Vers une gestion intégrée des masses d'eau littorales de l'ouest Hérault : Outils de gestion et nouveaux modes de gouvernance** (2009-2012, coord. Mathieu Dionnet, Lisode)

> InterSAGE s'est intéressé à l'amélioration de la coordination des dispositifs de gestion de l'eau au travers de deux études de cas. La première la gestion des bassins versants littoraux de l'Orb et de la Basse Vallée de l'Aude ainsi que du périmètre de

la nappe de l'Astien. La seconde porte sur la coordination entre les gestionnaires de bassins versants et ceux des milieux marins et lagunaires de l'Ouest-Hérault. A la croisée entre sciences de gestion, sciences de la complexité et sciences politiques, cette recherche-intervention s'est appuyée sur des outils innovants, tels que la modélisation participative et les jeux de rôles. Au final, ce projet a mobilisé une quarantaine de structures et plus de cent trente participants, qui ont produit ensemble des recommandations pour une meilleure gouvernance de l'eau sur le territoire étudié.

Retrouvez le [rapport scientifique](http://www1.liteau.net) sur www1.liteau.net

- **ProtoGIZC – Enjeux et perspectives de mise en œuvre du protocole GIZC en Méditerranée** (2009-2012, coord. Raphaël Billé, IDDRI)

> Adopté en janvier 2008 par les Parties contractantes à la Convention de Barcelone, et entré en vigueur le 24 mars 2011, le protocole relatif à la gestion intégrée des zones côtières (GIZC) de la mer Méditerranée constitue le premier instrument juridique supra-étatique visant spécifiquement la gestion des zones côtières. Le projet avait pour objectif de répondre aux enjeux théoriques liés à cet instrument juridique et de permettre aux états signataires de mesurer la portée des obligations prévues par le texte afin de faciliter sa mise en œuvre. Le projet étudie les modalités de mise en œuvre dans quatre états (Croatie, France, Italie et Liban) pour établir un diagnostic des différents systèmes de gestion des zones côtières et proposer des recommandations de mise en œuvre adaptées à chaque système étatique.

Retrouvez le [rapport scientifique](http://www1.liteau.net) sur www1.liteau.net

- **Dessine-Moi... un système Mer-Terre !** (2012-2015, coord. Fabienne Kervarec, Actéon)

> Limité trop souvent à des questions de Gestion Intégrée des Zones Côtières, l'interface terre-mer européenne est en train de connaître une petite révolution de par l'émergence de nouvelles politiques marines, telles que la Directive-cadre Stratégie pour le Milieu Marin, qui élargissent les domaines de l'action publique. Se pose alors la question de la place de la mer dans les processus de planification et les démarches stratégiques et de son appréhension, sa perception par les acteurs des politiques publiques. Dans ce contexte, les principaux objectifs de ce projet sont (i) :

- appréhender la diversité des représentations des acteurs du système terre-littoral-mer ; (ii)

- évaluer les changements potentiels de ces représentations et leur marge de convergence possible suite à la mobilisation des acteurs dans un exercice de prospective partagé ; (iii)

- développer et appliquer des méthodes et outils spécifiques d'appui à des exercices de prospective permettant d'appréhender et d'expliciter les représentations d'acteurs et leur évolution dans le cadre de tels exercices et dans l'élaboration de stratégies d'intervention partagées.

[Plus d'informations sur www1.liteau.net](http://www1.liteau.net)

Conclusion générale

L'objectif du programme Liteau est de soutenir le développement de connaissances, outils, méthodes et pratiques scientifiques en appui à la gestion durable de la mer et du littoral. La diversité des thématiques abordées par les projets est elle-même révélatrice de la diversité des activités et enjeux présents sur la mer et le littoral. Il convient donc d'examiner quelles formes prennent en pratique les résultats du programme sur la période 2004-2012. À l'aune des projets présentés, on peut classer ces acquis en trois catégories principales :

- **Des connaissances scientifiques nouvelles sur des problématiques émergentes interpellant l'action publique**

Le programme Liteau a permis de soutenir des projets dont l'objectif premier était d'acquérir des connaissances scientifiques inédites sur des problématiques peu ou mal appréhendées par l'action publique et susceptibles de devenir des enjeux de gestion. Ces projets portent en particulier sur de nouveaux risques sanitaires ou environnementaux en milieu côtier, liés notamment à l'introduction d'espèces invasives, au changement climatique ou à des phénomènes de pollution de l'eau.

Les projets Liteau ont par exemple permis d'acquérir les premières données sur la contamination à grande échelle des eaux estuariennes et des eaux côtières françaises par des résidus médicamenteux (projet « Budzinski », p. 43), de constituer un état des lieux complet de la prolifération de l'huître creuse sur le littoral métropolitain, de ses origines et de ses impacts socio-économiques (projet PROGIG, p. 52), de documenter les facteurs favorables aux efflorescences de la microalgue toxique *Ostreopsis* en Méditerranée et de sensibiliser les autorités sanitaires aux risques posés par ces proliférations (projet MediOs 2, p. 48).

L'expertise scientifique de haut niveau développée dans le cadre de ces projets a été valorisée à l'échelle nationale et internationale, par la participation des chercheurs à l'élaboration de plans d'action nationaux ou à des groupes de travail impliquant la puissance publique à différents niveaux.

- **Des outils opérationnels en appui à la mise en œuvre de politiques publiques...**

Les politiques qui ont particulièrement bénéficié des outils opérationnels apportés par le Programme Liteau sont celles qui sont relatives à **la directive-cadre sur l'eau, à la gestion des risques naturels littoraux et à la gestion intégrée des espaces côtiers**. Nombreux sont les projets à avoir développé des outils à vocation opérationnelle, dont certains sont actuellement mis en œuvre, que ce soit à l'échelle nationale ou par des gestionnaires locaux.

L'observation et le suivi des écosystèmes côtiers constituent de fait un enjeu essentiel pour la mise en œuvre des politiques publiques environnementales. Les projets Qualif (p. 13), BEEST (p. 21) et Multidune (p. 35) ont ainsi contribué au développement d'outils de suivi des écosystèmes basés sur des images satellitaires, susceptibles de contribuer à la stratégie globale de surveillance des milieux en permettant de suivre à moindre coût de larges portions du littoral. Le projet PAMPA (p. 75) a proposé des innovations méthodologiques pour suivre les populations de poissons dans les AMP, tandis que, dans un tout autre registre, le projet Bountiles (p. 61) a développé de nouvelles méthodes pour le suivi de la fréquentation littorale.

... avec un nombre significatif d'indicateurs...

Outils indispensables d'intégration et d'opérationnalisation de la connaissance scientifique, un nombre significatif d'indicateurs environnementaux a été développé et validé dans le cadre de projets Liteau, en partenariat étroit avec la sphère gestionnaire. C'est le cas notamment de l'indicateur « poisson » (p. 18), seul indicateur actuellement validé en France pour évaluer l'état des masses d'eaux de transition dans le cadre de la directive-cadre sur l'eau, ainsi que de nombreux autres indicateurs de l'état des milieux développés dans le cadre des projets Qualif (p. 13), BEEST (p. 21), 'Certain' (p. 38) ou PAMPA (p. 75).

Certains de ces travaux nourrissent les réflexions actuelles sur les indicateurs pour la DCE dans les eaux de transition. Les travaux de développement d'indicateurs ne se sont d'ailleurs pas limités à la description de l'état des écosystèmes, puisque certains projets ont proposé des indicateurs relatifs aux usages et à la gouvernance des espaces côtiers (projets Bountiles ou PAMPA), des indicateurs de pression anthropique sur l'environnement (RESPIREAU, p. 86) et un indicateur de l'état de conservation des cordons dunaires (Multidune, p. 35). Les indicateurs et tableaux de bord développés dans le cadre du projet PAMPA sont utilisés de manière opérationnelle pour la gestion de plusieurs aires marines protégées françaises.

... et un soutien à l'aide à la décision et à la gestion intégrée des espaces

Liteau a également permis d'élaborer des outils d'aide à la décision collective et à la gestion intégrée qui prennent en compte tant les besoins des gestionnaires que les enjeux socio-économiques du territoire côtier. Modèles numériques (projets « Certain » p. 38, « Lefebvre » p. 72, IPRAC p. 69), systèmes d'information géographique et autres outils de représentation du territoire (projets BEEST p. 21, Baie du Robert p. 81) sont ainsi des instruments précieux, qui permettent de visualiser les conséquences des choix de gestion et qui constituent des supports pour les démarches de concertation. À une échelle plus large, les observatoires Bountiles (p.61) sont dédiés à la gestion intégrée de la fréquentation littorale, en allant de l'observation des usages jusqu'à la mise en discussion des connaissances et des mesures de gestion avec les citoyens. De tels observatoires sont actuellement maintenus par les gestionnaires de cinq sites littoraux métropolitains. L'expérience acquise au travers de ces observatoires a été valorisée sous la forme de guides méthodologiques largement diffusés à l'échelle internationale.

- **Des réseaux pérennes à l'interface entre science et gestion**

L'appropriation des outils par les acteurs constitue un enjeu fort des projets Liteau. Elle est facilitée quand la construction des outils s'est fondée sur des partenariats forts et durables entre scientifiques et gestionnaires. C'est le sens de l'exigence posée au départ par le programme Liteau, de collaborations étroites entre chercheurs et gestionnaires au sein des projets financés. De fait, certains partenariats subsistent au terme du projet et peuvent contribuer à la poursuite des développements scientifiques ou des démarches de concertation.

C'est le cas, par exemple, du « Réseau inter-estuariers », réseau à l'interface entre science et gestion, qui s'est structuré à l'issue du projet BEEST (p. 21), pour poursuivre la réflexion sur les problématiques de gestion et de suivi environnemental des grands estuaires. Les travaux successifs autour des observatoires Bountiles ont permis de créer un réseau pérenne de gestionnaires, de scientifiques et d'acteurs locaux (élus, usagers, acteurs économiques...) autour des questions relatives à la fréquentation touristique, tandis que le projet PAMPA a permis de renforcer un réseau dynamique de scientifiques et de gestionnaires autour des problématiques de gestion des AMP.

Dans le cas de la baie du Robert en Martinique, deux projets Liteau successifs (p. 81) ont initié et accompagné la mise en place d'une démarche de gestion intégrée des zones côtières, au travers notamment de relations suivies sur le

moyen terme entre scientifiques, municipalité et autres acteurs du territoire. L'intervention du chercheur à la fois comme producteur de données, comme acteur et comme médiateur de la GIZC, a contribué au succès de la démarche.

Au-delà de cette tentative de typologie, forcément incomplète, les apports des projets Liteau pour la recherche comme pour ses utilisateurs tiennent également à **la démarche d'apprentissage collectif qu'ils ont suscitée**.

La démarche scientifique aide en effet à la formalisation des objectifs et à la prise de décision, en apportant des méthodes innovantes, des outils efficaces d'analyse, d'inventaire et d'élaboration de scénarios. La société civile apporte ses perceptions du littoral, sa vision des enjeux de gestion et ses propres capacités d'action en faveur d'objectifs communs. Ses interrogations peuvent en outre susciter de nouveaux questionnements pour la recherche. Cet enrichissement mutuel, favorable à l'appropriation des résultats produits par les projets, nécessite l'implication des acteurs en amont et tout au long des projets de recherche.

Il est enfin possible de souligner quelques **caractéristiques des projets Liteau les plus réussis** :

- **Une dynamique de recherche sur le moyen terme**, soutenue au travers de projets successifs financés par Liteau ou par d'autres guichets de financement : les résultats les plus remarquables constituent souvent l'aboutissement de deux, voire trois projets de recherche successifs. Ce délai est nécessaire pour aller de l'acquisition de connaissances scientifiques au transfert à la gestion d'un outil opérationnel, en passant par l'établissement d'une relation de confiance entre scientifiques et gestionnaires. Ceci est particulièrement vrai pour les démarches de gestion intégrée, au sein desquelles la concertation occupe une place essentielle. On peut ainsi citer les projets Bountiles (p. 61), PAMPA (p. 75) ou les deux projets sur la baie du Robert (p. 81).
- **Une dynamique participative** conçue dès la conception, voire en amont, du projet. La co-construction d'un projet avec une réelle implication des gestionnaires facilite le transfert des résultats de la recherche à l'action. C'est le cas notamment des projets BEEEST (p. 21) ou IPRAC (p. 68), pour n'en citer que deux. Une telle collaboration suppose un accord mutuel sur les enjeux et les objectifs de la gestion du territoire et permet de surmonter les difficultés conceptuelles ou de langage.
- **Une forte implication des coordinateurs scientifiques** dans les tâches de coordination et d'interface science-politique : des projets tels que Bountiles ou PAMPA (entre autres) ont nécessité une implication des coordinateurs qui dépassait largement le strict cadre de l'activité de recherche scientifique, au travers notamment d'actions de médiation et de formation.
- **L'interdisciplinarité, condition du succès de démarches intégrées** : en accord avec l'appel à propositions de recherche Liteau 2007, des projets tels que BEEEST, RESPIREAU, COGERON, PAMPA ou IPRAC, proposent une approche intégrée des socio-écosystèmes littoraux, au travers d'états des lieux intégrant les enjeux socio-économiques, de la prise en compte des perceptions des populations et de la discussion des scénarios d'évolution avec les acteurs. Ces démarches nécessitent la mobilisation de disciplines scientifiques variées, en particulier dans le champ des sciences humaines et sociales, pour appréhender les différents aspects de la gestion intégrée.

Un programme en phase avec l'évolution du contexte national et européen

Depuis 2007, les cadres national et européen de la gestion et de la gouvernance des espaces littoraux et marins ont largement évolué. Ainsi, la directive-cadre Stratégie pour le milieu marin (DCSMM), adoptée en 2008, place la gestion écosystémique au cœur de son objectif de maintien ou de rétablissement du bon état écologique des eaux marines. Par ailleurs, les propositions issues en 2009 du Grenelle de la Mer ont renforcé les démarches de gestion intégrée et de planification stratégique, avec notamment l'émergence dans notre pays d'organes de concertation comme le Conseil national de la mer et des littoraux et les Conseils maritimes de façade. Parallèlement, avec la création depuis 2006 de plusieurs parcs naturels marins on dispose de nouveaux outils pour une gestion intégrée des territoires marins.

L'évolution du programme Liteau vers une plus grande interdisciplinarité en soutien de démarches intégrées s'est ainsi poursuivie au cours des appels 2009 et 2011 du programme, avec une attention particulière portée aux modèles émergents de gestion et de gouvernance, aux enjeux d'adaptation au changement global sur le littoral et aux démarches prospectives aussi bien que rétrospectives. Cette évolution thématique s'est accompagnée d'un certain élargissement de l'emprise spatiale des projets, tant vers la mer que vers le bassin versant, qui a permis de mieux prendre en compte l'intégration « terre-mer » de certaines problématiques de la gestion publique.

Quelques références bibliographiques

- ANCORIM, 2011. « Risques côtiers : mieux comprendre pour mieux gérer » Réseau Atlantique pour la Gestion des Risques Côtiers, Programme INTERREG IVB. <http://ancorim.aquitaine.fr>
- Basilico L., Massu N., Martin D., Changement climatique, impacts sur le littoral et conséquences pour la gestion. *Synthèse du séminaire GICC/Liteau des 18 et 19 octobre 2010, Fréjus.*
- Binias C., Do V. T., Jude-Lemeilleur F., Plus M., Froidefond J.M., de Montaudouin X., 2013. Environmental factors contributing to the development of Brown Muscle Disease and perkinsosis in Manila clams (*Ruditapes philippinarum*) and trematodiasis in cockles (*Cerastoderma edule*) of Arcachon Bay. *Marine Ecology*, 1-11.
- Borja A., Franco F., Pérez V. 2000. A marine biotic index to establish the ecological quality of soft-bottom benthos within European estuarine and coastal environments. *Marine Pollution Bulletin*, 40 : 1100-1114.
- Borja A., Muxika I., Franco F. 2003. The application of a Marine Biotic Index to different impact sources affecting soft bottom benthic communities along European coasts. *Marine Pollution Bulletin*, 46 : 835-845.
- Billen G., Garnier J., (2007). River basin nutrient delivery to the coastal sea: assessing its potential to sustain new production of non siliceous algae. *Marine Chemistry*, 106 : 148-160.
- Carstensen J., Conley DJ, Henriksen P. 2004. Frequency, composition, and causes of summer phytoplankton blooms in a shallow coastal ecosystem, the Kattegat. *Limnology Oceanography*, 49:190-201.
- Conseil et Parlement européen, 2002. Recommandation du 30 mai 2002 relative à la mise en œuvre d'une stratégie de gestion intégrée des zones côtières en Europe. *J. off. Communautés eur.*, n°L. 148 du 6 juin 2002, p. 25.
- Dauvin J.-C., Ruellet T. 2007. Polychaete/amphipod ratio revisited. *Marine Pollution Bulletin*, 55 : 215-224.
- David C., G. Zambrano, R. Casado et S. Menu, 2011. Formalisation juridique des usages sur la zone lagunaire en Nouvelle-Calédonie. *Rapport de synthèse du projet COGERON*, Nouméa, université de la Nouvelle-Calédonie, 97 pp. http://www.coreus.ird.fr/cogeron/documents/rapports/Synthese_juridique_finale_David_mai2011.pdf
- Dehouck A., Baghdadi N., Garcia A., Curti C., Trut G., Lafon V. (2013). Cartographie bio-sédimentaire des estrans par imagerie multi-capteurs et multi-date. *2ème édition CARHAMBAR*, Brest, 26-28 mars 2013, p. 36-41.
- Duvauchelle C., 2010. Développement d'un guide méthodologique de suivi de la pêcherie d'holothuries « gris » *Holothuria scabra* dans le lagon nord-ouest de Nouvelle-Calédonie. *Mémoire de fin d'études d'ingénierie halieutique, Agrocampus Ouest*. 36pp. + annexes.
- Froidefond, J. M., Lafon, V. et de Montaudouin, X. 2012. Variations saisonnière et annuelle de l'indice NDVI en relation avec les herbiers de zostères (*Zostera noltii*) par images satellites SPOT. Exemple du Bassin d'Arcachon (France). *Revue Française de Photogrammétrie et Télédétection*, 197, 52-63.
- Guillemot, N., 2009. Les peuplements de poissons récifaux et leur exploitation dans la zone de Voh-Koné-Pouembout (Nouvelle-Calédonie) : caractérisation, indicateurs et enjeux de suivi. Rennes, *Thèse de Doctorat Spécialité halieutique, Agrocampus Ouest*, 344 p.
- Kalaora B., Charles L., 2000. Intervention sociologique et développement durable : le cas de la gestion intégrée des zones côtières, *Natures Sciences Sociétés*, vol.8,, 31-38.
- Kooijman S.A.L.M., 2000. Dynamic Energy and Mass Budgets in Biological Systems. *Cambridge University Press*.
- Labrune C., Amouroux J.-M., Sarda R., Dutrieux E., Thorin S., Rosenberg R., Grémare A. 2005. Characterization of the ecological quality of the coastal Gulf of Lions (NW Mediterranean). A comparative approach based on three biotic indices. *Marine Pollution Bulletin*, 52 : 34-47.
- Lafon X., Citeau L., 2011. La recherche en action pour le développement durable du littoral, Actes du Colloque Liteau d'avril 2008. www.liteau.net
- Lavesque, N., Blanchet, H., de Montaudouin, X., 2009. Development of a multimetric approach to assess perturbation of benthic macrofauna in *Zostera noltii* beds. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 368, 101-112.
- Mermet L. (dir.), (2005). Étudier des écologies futures. Un chantier ouvert pour les recherches prospectives environnementales. P.I.E. - Peter Lang, *Ecopolis*, n°5, Bruxelles.
- Mills E.L., Leach J.H., Carlton J.T., Secor C.L. 1993. Exotic species in

the Great Lakes: a history of biotic crises and anthropogenic introductions. *Journal of Great Lakes Research*, 19(1) : 1-54.

Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de la mer, 2010. Arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface pris en application des articles R. 212-10, R. 212-11 et R. 212-18 du code de l'environnement. *Journal officiel de la République française*, n°0046 du 24 février 2010, page 3429.

OSPAR, 2002. Common assessment Criteria, their assessment levels and Area classification within the comprehensive procedure of the common procedure. OSPAR Commission. Ref. No. 2002-20.

Prieur M. (2011). Le Protocole de Madrid à la Convention de Barcelone relatif à la gestion intégrée des zones côtières de la Méditerranée. *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], Hors-série 9 | Juillet 2011

Rizand A., Marie P. et Pinte K. (2006). La place des scientifiques dans un processus de gestion intégrée des zones côtières : évaluation des pressions polluantes d'origine terrestre sur la baie du Robert (Martinique). *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], vol. 7, n°3.

Rocle N., Bray X., Nivet A-C., Gresser J., De La Foye F-X., 2011. Processus érosifs et transport solide en milieu tropical insulaire.

Cas des bassins versants de la baie du Robert, Martinique, FWI. *Actes sur DVD de l'Agence Universitaire de la Francophonie et du réseau de chercheurs EGCES, Lutte antiérosive et productivité des terres agricoles tropicales.*

Rocle N., Lafitte A., Denis J., Hénocque Y., 2011. Mesurer l'intégration dans l'action publique territoriale. L'exemple de la gestion intégrée de la mer et du littoral. *Actes du 48ème colloque de l'Association de Science Régionale De Langue Française (ASRDLF), 6-8 juillet 2011, Schœlcher, Martinique.*

Rosenberg R., Blomqvist M., Nilsson H.C., Cederwall H., Dimming A. 2004. Marine quality assesment by use of benthic species-abundance distributions: a proposed new protocol within the European Union Water Framework Directive. *Marine Pollution Bulletin*, 49 : 728-739.

Simboura N., Zenetos A. 2002. Benthic indicators to use in Ecological Quality classification of Mediterranean soft bottom marine ecosystems, including a biotic index. *Mediterranean Marine Science*, 3 : 77-111.

Vernier F., Rocle N., Prou J., Petit K., Bray X., 2012. Conceptual modeling of dynamics and interdependencies around water quality issues within coastal systems. Two case studies: the Pertuis Charentais (SW France) and the Baie du Robert (Martinique island, FWI). *50th Estuarine and Coastal Science Association (ECSA) Conference: Today's science for tomorrow's management*, 03-07/06/2012, Venise, ITA.

Annexe 1 : Glossaire

Acarien : membre d'un groupe de petits arachnides, les Acari, parfois parasites et pathogènes.

Aléa : phénomène d'origine naturelle ou anthropique dont la nature et l'intensité correspondent à une probabilité d'occurrence donnée.

Amphihalin : qualifie une espèce migratrice au cycle de vie alternant entre le milieu marin et l'eau douce.

Amphipode : crustacé de taille généralement centimétrique, très abondant dans le milieu marin, notamment dans la zone de balancement des marées et colonisant également les eaux saumâtres et les eaux douces, ainsi que le milieu terrestre.

Angiosperme : subdivision des phanérogames réunissant les végétaux dont les graines sont enfermées à l'intérieur d'un fruit, par opposition aux Gymnospermes, dont la graine est nue.

Analgésique : médicament destiné à supprimer ou à atténuer la douleur.

Anoxie : absence de dioxygène dissous dans un milieu aquatique ou dans un sédiment immergé.

Antipyrétique : médicament utilisé dans le traitement symptomatique de la fièvre.

Benthique : relatif au fond de la mer. Adjectif qualifiant également les organismes qui vivent sur, ou près du substrat.

Berme : zone généralement située au milieu de la plage et caractérisée par une coupure nette de la pente de la plage, séparant l'arrière-plage de l'estran.

Biofouling : colonisation par des organismes vivants de toute surface (vivante ou non) en milieu aqueux.

Bronchodilatateur : substance provoquant une augmentation du diamètre des bronches et diminuant la gêne respiratoire dans le cas d'asthme et de bronchite chronique.

cf. : abréviation de confer, expression latine, employée en biologie pour désigner un spécimen qui ressemble à une espèce connue sans en avoir toutes les caractéristiques.

Clapage : opération consistant à déverser en mer des substances (généralement déchets ou produits de dragage).

Climacique : adjectif caractérisant, en écologie, un écosystème qui a atteint un état durable d'équilibre, en l'absence de toute perturbation humaine.

Crépidule : mollusque gastéropode originaire de la façade atlantique de l'Amérique du Nord et devenue espèce invasive en Europe.

Défens (mise en) : technique de restauration d'habitats dégradés par l'intermédiaire d'une clôture visant à en interdire l'accès.

Diatomée : algue unicellulaire vivant dans les eaux douces ou salées, et dont la membrane est entourée d'une coque siliceuse bivalve, parfois finement ornée.

Dinoflagellé : organisme phytoplanctonique unicellulaire, photosynthétique ou hétérotrophe, muni de deux flagelles.

Diversité alpha : richesse spécifique d'un écosystème, traduisant le nombre d'espèces de faune et/ou de flore présentes dans l'espace considéré.

Dulçaquicole : adjectif caractérisant un taxon vivant exclusivement dans les eaux douces.

Dune blanche : dune au couvert végétal (oyat notamment) très discontinu et laissant apparaître le sable nu. En l'absence de stabilisation par la végétation, la zone ne peut être colonisée que par des espèces végétales adaptées à l'enfouissement.

Écosystémique (approche) : méthode de gestion de l'environnement considérant chacun des composants dans ses interactions avec les autres, dans une vision intégrée dont l'objectif est de favoriser la conservation et l'utilisation durable des ressources naturelles.

Efflorescence phytoplanctonique : phénomène de forte prolifération phytoplanctonique dans le milieu aquatique, résultant de la conjonction de facteurs du milieu (température, éclairage, concentration en sels nutritifs). Équivalent de « bloom phytoplanctonique ».

Endogée : qualificatif pour une espèce effectuant la totalité de son cycle de vie sous la terre ou dans les sédiments marins.

Espèce sentinelle : espèce à la sensibilité particulière, jouant le rôle d'indicateur précoce des changements de l'environnement pour un écosystème donné.

Espèce invasive : espèce vivante exotique, transportée par les hommes et se reproduisant avec succès dans des régions où elle n'existait pas, pour devenir un agent de perturbation nuisible à la biodiversité autochtone des écosystèmes où elle s'est établie.

Estran : partie du littoral située entre les limites extrêmes des plus hautes et des plus basses marées.

Eutrophisation : modification et dégradation d'un milieu aquatique liées en général à un apport excessif de substances nutritives (azote et phosphore) accroissant la production d'algues et d'espèces aquatiques, dont la décomposition provoque une diminution notable de la teneur en oxygène.

Gamétogenèse : processus aboutissant, au cours de la vie d'un organisme, à la formation des cellules reproductrices, les gamètes.

Ganivelles : barrière formée par l'assemblage de lattes de bois verticales, dont la perméabilité est fonction de la largeur de l'espace séparant les lattes.

Guilde : ensemble d'espèces appartenant à un même groupe taxonomique ou fonctionnel exploitant une ressource commune de la même manière et en même temps, et donc partageant une niche écologique.

Hypolipémiant : médicament capable de diminuer une augmentation du taux de lipides dans le sang.

Hypoxie : manque de dioxygène dissous dans un milieu aquatique.

Indicateur : variable quantitative ou semi-quantitative, mesurable directement ou calculable indirectement à partir de données de terrain, et dont l'interprétation permet d'établir un diagnostic sur l'effet étudié.

Intégrée (gestion) : démarche et outil de gouvernance territoriale visant un développement durable par la prise en compte simultanée de l'espace, des ressources et des enjeux terrestres comme marins, naturels comme socio-économiques, d'une zone définie comme territoire cohérent de réflexion et d'action.

Intertidale (zone) : estran.

Laisse de mer : accumulation par la mer de débris naturels (coquillages, algues, bois mort, etc.) ou d'origine anthropique, drossés à la limite supérieure du flot.

Macrophytes : plantes aquatiques visibles à l'œil nu.

Masse d'eau : découpage territorial élémentaire des milieux aquatiques constituant l'unité d'évaluation de la directive-cadre sur l'eau.

Méiofaune : animaux de petite taille (moins de 1 mm) vivant sur ou dans les substrats meubles, à toutes les profondeurs, en eaux douces comme en milieu marin.

Mésohaline : zone d'un fleuve dont la salinité est comprise entre 3-5 ‰ et 18 ‰, caractérisant l'eau saumâtre.

Métazoaire : organisme eucaryote multicellulaire mobile et hétérotrophe.

Métrique : variable calculée à une échelle donnée et à partir d'un protocole d'observation défini. Équivalent d'indicateur, quand elle est accompagnée d'une grille d'interprétation et d'une méthode déterminant sa précision et sa justesse.

Microcosme : dispositif expérimental permettant de reproduire un écosystème simplifié dans un environnement fermé et contrôlé.

Microphytobenthos : algues microscopiques unicellulaires ou coloniales, faisant partie des végétaux benthiques.

Morphodynamique : évolution morphologique sous l'effet d'un transport liquide (eau) et d'un transport solide (sédiments).

Mucilage : substance végétale constituée de polysaccharides gonflant au contact de l'eau et prenant une consistance visqueuse, parfois collante, semblable à la gélatine.

Nauplius (nauplii) : larve la plus simple chez les crustacés, libérée lors de l'éclosion des œufs.

Nématode : vers non segmenté.

Nyctémérale : relatif au nyctémère, espace de temps de vingt-quatre heures, comprenant une nuit et un jour et correspondant à un cycle biologique.

Percentile 90 (resp. 97,5) : niveau en dessous duquel se situent 90 % (resp. 97,5 %) des observations.

Phaeocystis : genre d'algues nanoplanctoniques marines, pouvant passer d'un mode de vie solitaire à une vie coloniale et être à l'origine d'efflorescences planctoniques très importantes, notamment en Mer du Nord.

Phanérogame : plante aux organes de reproduction apparents dans le cône ou dans la fleur. Les phanérogames marines sont peu nombreuses et forment des herbiers. Les zostères (en Manche-Atlantique) et les posidonies (en Méditerranée) occupent les petits fonds et les niveaux inférieurs de la zone de balancement des marées.

Phéopigment : l'un des pigments photosynthétiques contenus dans le phytoplancton (avec les chlorophylles *a*, *b* et *c*).

Photophile : qualificatif pour les organismes exigeant un éclaircissement important.

Polychète : vers annélide, essentiellement marin ou estuarien.

Polyhaline : zone d'un estuaire dont la salinité est supérieure à 18 ‰.

Protéome : ensemble des protéines codées par un génome.

Phytoplancton : ensemble des espèces de plancton autotrophes vis-à-vis du carbone (photosynthétiques).

Pristine : état hypothétique d'un environnement jamais perturbé par l'action humaine.

Screening : processus visant à identifier de façon aléatoire des molécules dans un milieu donné.

Souille : fosse creusée sur un fond marin, pour y poser un appareillage ou pour y enfouir des déchets. Exemple de la souille de Dispute dans le bassin d'Arcachon, en vue du stockage d'environ 100 000 m³ de substrat coquillier.

Subtidale (zone) : adjectif qualifiant la zone située en dessous de la zone de balancement des marées et ne se découvrant donc jamais à marée basse.

Tidale (zone) : bande de terre régulièrement recouverte par la marée.

Transition (eaux de) : eaux de surface située à proximité des embouchures de rivières ou de fleuves, et partiellement salines en raison de leur proximité des eaux côtières, mais fondamentalement influencées par des courants d'eau douce.

Vulnérabilité : sensibilité spécifique à un aléa des différents acteurs, activités et écosystèmes en termes de dommages et de préjudices.

Zooplancton : plancton animal se nourrissant directement ou indirectement de phytoplancton.

Annexe 2 : Acronymes

AGD	Aire de gestion durable
AMP	Aire marine protégée
ANSES	Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
ANR	Agence nationale de la recherche
APR	Appel à propositions de recherche
CBD	Convention sur la diversité biologique
CCI	Chambre de commerce et d'industrie
CHU	Centre hospitalier universitaire
CIEM	Conseil International pour l'Exploration de la Mer / International Council for the Exploration of the Sea (ICES)
CNRS	Centre national de la recherche scientifique
CPUE	Captures de pêche par unité d'effort
DCE	Directive-cadre sur l'eau
DCSMM	Directive cadre stratégie pour le milieu marin
DDAM	Direction(s) départementale(s) des affaires maritimes
DGAL	Direction générale de l'alimentation
DIACT / DATAR	Délégation Interministérielle à l'Aménagement et à la Compétitivité des Territoires (entre 2005 et 2009) / Délégation Interministérielle à l'Aménagement du Territoire et à l'Attractivité Régionale (entre 2009 et 2014)
DIREN	Direction(s) régionale(s) de l'environnement (avant 2009)
DREAL	Direction(s) régionale(s) de l'environnement, de l'aménagement et du logement (depuis 2009)
FAO	Food and Agriculture Organization (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture)
IAA	Industries agroalimentaires
ICOD	Congrès international sur <i>Ostreopsis</i>
IFRECOR	Initiative française pour les récifs coralliens
Ifremer	Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer
IRD	Institut de recherche pour le développement
Irstea	Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture
GIZC	Gestion intégrée des zones côtières
MedPAN	Réseau des gestionnaires d'aires marines protégées en Méditerranée
MEC	Méthode d'évaluation contingente
MEEDDM / MEEDDAT / MEDD	Ministère en charge du développement durable (entre 2002 et 2012)
MEDDE	Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie (depuis 2012)

MET	Masse d'eau de transition
MNHN	Muséum national d'histoire naturelle
ONEMA	Office national de l'eau et des milieux aquatiques
ONF	Office national des forêts
OSPAR	Convention pour la protection du milieu marin de l'Atlantique du Nord-Est
PACA	Région Provence-Alpes-Côte d'Azur
PNEC	Programme national environnement côtier (programme national inter-organismes devenu un volet du programme EC2CO)
PNRM	Plan national sur les résidus de médicaments
RAMOGE	Accord relatif à la protection de l'environnement marin et côtier d'une zone de la mer Méditerranée
REBENT	réseau benthique
REPAMO	Réseau de pathologie des mollusques
REPHY	Réseau de surveillance du phytoplancton et des phycotoxines
SAGE	Schéma d'aménagement et de gestion des eaux
SCOT	Schéma de cohérence territoriale
SDAGE	Schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux
SIG	Système d'information géographique
SIH	Système d'Information Halieutique
SIVOM	Syndicat intercommunal à vocations multiples
SG MER	Secrétariat Général de la Mer
SOERE	Système d'observation et d'expérimentation pour la recherche en environnement
SO-LTC	Système d'observation littoral – trait de côte
STEP	Station d'épuration
ULM	Planeur ultra léger motorisé
UNESCO	Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture (<i>United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization</i>)
UVC	Underwater visual census, méthode de comptages visuels en plongée sous-marine

Annexe 3 : Membres du conseil scientifique et du comité d'orientation du programme Liteau

Membres du conseil scientifique

- Nacima BARON, professeur, université Paris Est-Marne-la-Vallée (géographie) – *présidente du conseil scientifique*
- Yves HENOCQUE, Ifremer (gestion intégrée, gouvernance) – *ancien président et actuel vice-président du conseil scientifique*
- Louis BRIGAND, professeur, université de Bretagne occidentale (géographie) – *vice-président du conseil scientifique*
- Martine ANTONA, CIRAD (économie)
- Geneviève BARNAUD, Muséum national d'Histoire naturelle (écologie des zones humides)
- Philippe BOËT, directeur de recherche, Irstea (écologie estuarienne)
- Philippe CUGIER, Ifremer (modélisation des écosystèmes marins côtiers)
- Jean-Claude DAUVIN, professeur, université de Caen Basse-Normandie (écologie littorale)
- Gilbert DAVID, directeur de recherche, IRD (géographie)
- Jean-Paul DUCROTOY, professeur émérite, University of Hull (écologie estuarienne)
- Patrice FRANCOUR, professeur, université Nice-Sophia Antipolis (écologie marine, ichthyologie)
- Michel GRAS, directeur de recherche CNRS, École Française de Rome (histoire)
- Daniel GUIRAL, directeur de recherche, IRD (écologie microbienne)
- Julien HAY, maître de conférences, université de Bretagne occidentale (économie)
- Hélène HOWA, professeur, université d'Angers (sédimentologie, océanographie)
- Bernard KALAORA, professeur honoraire de l'université de Picardie Jules Verne (sociologie, anthropologie)
- Valérie LAVAUD-LE TILLEUL, maître de conférence, université Montpellier 3 (géographie)
- Harold LEVREL, professeur, AgroParisTech (économie)
- Jean-Pascal QUOD, directeur de l'Agence pour la recherche et la valorisation marines (biologie marine)
- Hélène REY-VALETTE, maître de conférences, université Montpellier 1 (économie)
- Julien ROCHETTE, Coordinateur du programme Océans et zones côtières, Institut du Développement Durable et des Relations Internationales (droit)
- François SABATIER, Maître de Conférences, Aix-Marseille Université (géographie physique)
- Lars STEMMANN, professeur, université Paris 6, observatoire océanologique de Villefranche-sur-mer (océanographie)

Membres du comité d'orientation

Le comité d'orientation est présidé par le chef du service de la recherche du ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, Philippe Courtier.

- Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie
 - Commissariat général au développement durable / Direction de la recherche et de l'innovation
 - Direction générale de l'aménagement, du logement et de la nature / Direction de l'eau et de la biodiversité
 - Direction générale de la prévention des risques
 - Direction générale des infrastructures, des transports et de la mer
 - Directions interrégionales de la mer
 - Directions régionales de l'environnement, de l'aménagement et du logement
- Ministère des Outre-Mer / Direction Générale des Outre-Mer
- Secrétariat Général de la Mer
- Commissariat général à l'égalité des territoires
- Office national de l'eau et de milieux aquatiques (ONEMA)
- Conservatoire de l'espace littoral et des rivages lacustres
- Agence des Aires Marines Protégées
- CEREMA / Direction Technique Eau Mer et Fleuves
- Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse
- Agence de l'eau Loire-Bretagne
- Cedre (Centre de documentation, de recherche et d'expérimentations sur les pollutions accidentelles des eaux)
- Initiative française pour les récifs coralliens (IFRECOR)
- Fédération des Parcs naturels régionaux
- Région Bretagne
- GIP Littoral Aquitain
- Association Nationale des Élus du Littoral
- Fondation de France
- Fondation Total
- Pôle Mer PACA
- Veolia Environnement
- Président(e) du Conseil scientifique du programme Liteau

Annexe 4 : Appels à propositions de recherche et projets du programme Liteau

Les rapports finaux des projets sont accessibles sur le site internet du programme (www1.liteau.net) ainsi que par la base de données bibliographiques [TEMIS](#) du Ministère en charge du Développement durable.

I. Appels à propositions de recherche de 2003 à 2007 (objet de la publication)

Les projets de recherche abordés dans la publication sont indiqués en gras ci-après.

Appel à propositions de recherche 2003

Thématiques :

- 1) Réhabilitation du milieu et mesures compensatoires : expérimentation d'outils permettant de lutter contre des pollutions ou des dégradations existantes du littoral et de gérer le trait de côte
- 2) Appui à la directive-cadre européenne sur l'eau :
 - Qualification de l'état écologique des masses d'eau
 - Méthodes de suivi des milieux
- 3) Appui à la Gestion Intégrée des Zones Côtières :
 - description de l'environnement, des structures de gestion, des plans d'aménagement en cours ;
 - analyse des problèmes environnementaux et de leurs causes impliquant l'évolution socio-économique et ses effets ;
 - perspectives et plans d'aménagement possibles, bases éventuelles d'une restauration du milieu.

Projets retenus :

- Évaluation de l'état écologique des milieux côtiers et des effets anthropiques associés : mise en place d'une méthode basée sur les relations bernaches-zostères dans le Golfe du Morbihan et les zones attenantes (Baie de Quiberon, Baie de Vilaine). Coordinateur : Hervé Fritz (CNRS – CEBC).
- Développement durable de la pêche artisanale sur le site de la Réserve Naturelle des Bouches de Bonifacio (Corse du Sud). Coordinateur : David Mouillot (université Montpellier II).
- **Étude de la contamination des estuaires de la Seine, de la Gironde et de l'Adour par les substances pharmaceutiques : présence, devenir et impact toxicologique.** Coordinatrice : Hélène Budzinski (université de Bordeaux I).
- **Modélisation intégrée des transferts de nutriments depuis les bassins versants de la Seine, la Somme et l'Escaut jusqu'en Manche-Mer du Nord.** Coordinateur : Alain Lefèbvre (Ifremer).
- **Les stratégies d'utilisation des ressources de la baie du Mont-Saint-Michel et leurs conséquences en termes de gestion intégrée d'une zone côtière.** Coordinateur : Rémi Mongruel (UBO-CEDEM).
- **Développement d'outils diagnostics et exploratoires d'aide à la décision pour évaluer la performance d'Aires Marines Protégées.** Coordinatrice : Dominique Pelletier (IRD).
- **Mise au point d'un modèle prévisionnel d'évolution d'une plage macrotidale sous l'effet d'un procédé de drainage.** Coordinateur : Franck Levoy (université de Caen).
- **Étude préalable à l'aménagement intégré de la zone côtière : site atelier de la Baie du Robert, Martinique.** Caractérisation des apports terrigènes et du milieu récepteur. Coordinateur : Jean-Claude Dao (Ifremer).

Appel à propositions de recherche 2005

Thématiques :

- 1) Réhabilitation du milieu et mesures compensatoires : expérimentation d'outils permettant de lutter contre des pollutions ou des dégradations existantes du littoral et de gérer le trait de côte
- 2) Appui à la directive-cadre européenne sur l'eau :
 - Qualification de l'état écologique des masses d'eau
 - Méthodes de suivi des milieux
- 3) Appui à la Gestion Intégrée des Zones Côtières

Projets retenus :

- **QUALIF** : Évaluation de la qualité biologique des milieux littoraux semi-fermés. Coordinateur : Xavier De Montaudouin (université de Bordeaux I).
- **PROGIG** : Prolifération de l'huître creuse du Pacifique *Crassostrea gigas* sur les côtes Manche-Atlantique françaises : bilan, dynamique, conséquences écologiques, économiques et ethnologiques, expériences et scénarios de gestion. Coordinateur : Christian Hily (université de Bretagne occidentale).
- **GIZCAM** : Gestion Intégrée d'une Zone humide littorale méditerranéenne aménagée : contraintes, limites et perspectives pour l'île de Camargue. Coordinateur : Philippe Chauvelon (Fondation Tour du Valat).
- **Tourisme et environnement dans les espaces protégés littoraux et insulaires**. Évaluation et proposition d'outils méthodologiques pour l'observation, la gestion, la prévision et la concertation. Coordinateur : Louis Brigand (université de Bretagne occidentale).
- **Les rechargements sédimentaires d'avant-côte : une nouvelle méthode de lutte contre l'érosion côtière**. Coordinateur : Raphaël Certain (université de Perpignan).
- **Développement d'un indicateur poisson pour les eaux de transition**. Coordinateur : Michel Girardin (Irstea).
- **Restauration et réhabilitation de la végétation des falaises littorales des côtes Manche-Atlantique**. Coordinateur : Frédéric Bioret (UBO).

Appel à propositions de recherche 2007

Thématiques :

- 1) Restauration des milieux altérés et ingénierie écologique
- 2) Aires marines protégées : délimitation des espaces à enjeux patrimoniaux et effet réserve
- 3) Définition et critères du « bon état écologique » des milieux littoraux
- 4) Vulnérabilité, adaptation et gestion collective des risques sur le littoral
- 5) La gestion intégrée des zones côtières : concept et cadre opérationnel

Projets retenus :

- **IPRAC** : Impacts des facteurs environnementaux et des pratiques conchylicoles sur l'écosystème de la baie du Mont-Saint-Michel et la production conchylicole. Études de scénarios par modélisation. Coordinateur : Philippe Cugier (Ifremer).

- **MULTIDUNE** : Aide à la gestion multifonctionnelle des dunes littorales atlantiques par l'évaluation cartographiée de leur état de conservation. Coordinatrice : Françoise Debaine (université de Nantes).
- **RESPIREAU** : Représentation systémique discutée des interdépendances entre activités humaines et ressources en eau sur le littoral. Coordinatrice : Valérie Deldrève (Irstea).
- **COGERON** : Organiser la cogestion des récifs et lagons à forte valeur patrimoniale en Nouvelle-Calédonie. Coordinateur : Marc Léopold (IRD).
- **MediOs 2** : Le développement des dinoflagellés toxiques du genre *Ostreopsis* sur le littoral de la Méditerranée nord-occidentale : mise en évidence des zones à risque et première évaluation des impacts écologiques, sanitaires et socio-économiques. Coordinateur : Rodolphe Lemée (Laboratoire d'océanologie de Villefranche-sur-mer).
- **MICROGAM** : Modélisation des Contaminations bactériennes d'origine fécale du Golfe d'Aigues-Mortes en vue d'une gestion de risques en temps réel. Coordinateur : Patrick Monfort (université Montpellier II).
- **BEEST** : Vers une approche multicritères du bon état écologique d'un estuaire. Coordinateur : Christian Levêque (IRD).
- **PAMPA** : Indicateurs de la Performance d'Aires Marines Protégées pour la gestion des écosystèmes côtiers, des ressources et de leurs usages. Coordinatrice : Dominique Pelletier (Ifremer).

II. Appels à propositions de recherche de 2009 à 2012

Appel à propositions de recherche 2009

Thématiques :

- 1) Évolution des écosystèmes, échelles et indicateurs d'état
- 2) Résilience, vulnérabilité et adaptation aux changements globaux
- 3) Gestion et valorisation des services écosystémiques
- 4) Enjeux et modèles émergents de gouvernance des zones côtières
- 5) Perspectives de mise en œuvre de la gestion intégrée des zones côtières dans un contexte juridique et politique renouvelé

Projets retenus :

- **GELAMED** : Étude du Plancton Gélatineux sur la façade Méditerranéenne. Coordinatrice : Delphine Bonnet (université de Montpellier 2).
- **PISTE** : Développement industrialo-portuaire, enjeux socio-environnementaux et gestion durable des territoires dans les ports de commerce. Réalités françaises, comparaisons internationales. Coordinatrice : Valérie Lavaud-Letilleul (université Montpellier 3).
- **GRAMP** : recherche sur les projets de gouvernance de deux grandes Aires Marine Protégées (Méditerranée et Polynésie française). Coordinateur : François Féral (université de Perpignan).
- **REPAMEP** : Réponse des palourdes aux stress environnementaux combinant métaux, efflorescences toxiques et pathogènes. Coordinateur : Xavier de Montaudouin (université de Bordeaux 1).

- SURCOTE : Subir, réagir et s'adapter aux changements globaux : l'exemple de la côte des havres (Ouest Cotentin, Manche Occidentale). Coordinateur : Franck Levoy (université de Caen).
- ProCoDyf : Propriété, conflits et dynamiques foncières sur le littoral : les grands domaines et le camping-caravaning sur parcelles privées. Coordinateurs : Vincent Renard (IDDRI) et Clotilde Buhot (ADEF).
- CAMADAPT : Adaptation aux changements globaux dans la Réserve de Biosphère « Camargue Grand delta ». Coordinateurs : Paul Allard, Laurence Nicolas (université de la Méditerranée)
- InterSAGE : Vers une gestion intégrée des masses d'eau côtières de l'Ouest Hérault : Outils de gestion et nouveaux modes de gouvernance. Coordinateur : Mathieu Dionnet (bureau d'étude Lisode).
- FHUVEL : Caractérisation de la fréquentation littorale et détermination d'indicateurs de vulnérabilité écologique pour définir des modes de gestion durable – Cas de la bande littorale du projet de parc national des calanques. Coordinateurs : Thierry Taton (université de la Méditerranée, IMBE) et Lidwine Le Mire-Pêcheux (Parc des Calanques).
- Rad2Brest : Modélisation et scénarisation des activités humaines en rade de Brest. Coordinatrice : Françoise Gourmelon (université de Bretagne occidentale).
- PROTOGIZC : Enjeux et perspectives de mise en œuvre du protocole GIZC en Méditerranée. Coordinateur : Raphaël Billé (IDDRI).
- BECO : Évaluation et suivi des effets économiques de la fréquentation des sites littoraux et insulaires protégés : application aux îles Chausey et au Mont-Saint-Michel. Coordinateur : Jean Boncoeur (université de Bretagne occidentale).
- BARCASUB : La submersion marine et ses impacts sociaux et environnementaux dans le Bassin d'Arcachon : gérer ce risque par la dépoldérisation? Coordinateurs : Lydie Goeldner-Gianella (université Paris 1), Frédéric Bertrand (université Paris 4).

Appel à propositions de recherche 2012

Thématiques :

- 1) Quelle articulation entre la trame verte et bleue et une trame bleu-marine ?
- 2) Quelles avancées dans la gouvernance littorale et maritime française ?
- 3) Stratégie et prospective, protéger et aménager le littoral et l'interface maritime de demain

Projets retenus :

- ROC-CONNECT : Connectivité des habitats rocheux fragmentés du golfe du Lion. Coordinatrice : Katell Guizien (Station Marine de Banyuls, Laboratoire d'Écogéochimie des Environnements Benthiques).
- TRAJEST : Trajectoires fonctionnelles d'un grand écosystème estuarien : la Gironde. Coordinateur : Jérémy Lobry (Irstea).
- SOLTER : Quelles solidarités territoriales et quelles stratégies pour la résilience du littoral à la submersion marine ? Coordinatrice : Hélène Rey-Valette (université de Montpellier 1, LAMETA).
- FLAM : Efflorescences microalgales en Manche : rôle des bassins versant sur le développement du phytoplancton toxique. Coordinateur : Philippe Riou (Ifremer).

- Dessine-moi un système terre-mer ! ou La prospective territoriale comme mécanisme d'élaboration et d'expression de représentation(s) convergente(s) du système mer-terre, pré-conditions de démarches territoriales concertées. Coordinatrice : Fabienne Kervarec (ACTeon).
- BLINIS : Enregistrement sédimentaire par les barrières littorales des niveaux marins extrêmes du Petit Age Glaciaire à nos jours : une aide à l'évaluation de la vulnérabilité des zones côtières. Coordinatrice : Bernadette Tessier (université de Caen, M2C).

Commissariat général au développement durable

Direction de la recherche et de l'innovation

Tour Séquoia

92055 La Défense cedex

Tél : 01.40.81.21.22

Retrouver cette publication sur le site :

www.developpement-durable.gouv.fr/developpement-durable

Résumé

Piloté par le service de la recherche du ministère chargé du développement durable, le programme de recherche Liteau a pour ambition de produire des connaissances, des démarches et des outils utiles à la conception et à la mise en oeuvre d'une gestion durable et intégrée des littoraux et des espaces marins. Il a, depuis 1998, permis de soutenir près de 80 projets de recherche, qui associent étroitement chercheurs et acteurs de la mer et du littoral.

Cette publication met l'accent sur dix-huit projets conduits entre 2004 et 2012, dont elle présente de manière accessible les principaux résultats, articulés autour de trois thématiques : l'évaluation de l'état des écosystèmes aquatiques littoraux et leur restauration, la caractérisation et la gestion des risques côtiers, et la gestion intégrée de la mer et du littoral.

Il s'agit d'illustrer la diversité des thématiques traitées et des approches mobilisées par le programme Liteau, autant que d'identifier, avec quelques années de recul, les trajectoires de progrès qui se dessinent au travers des différents projets. Les lecteurs pourront ainsi apprécier, au travers d'exemples concrets, les apports possibles pour l'action publique des recherches financées dans le cadre de ce programme.



Dépôt légal : mars 2015
ISSN : 2102-474X