

Commissariat général au développement durable

Pour un développement équilibré des espaces littoraux et maritimes

Connaître pour agir : enseignements du programme
de recherche LITEAU 2012-2016

sommaire

Pour un développement équilibré des espaces littoraux et maritimes :

Connaître pour agir : enseignements du programme de recherche LITEAU 2012-2016

5 - Introduction

7 - Projets 2012-2016 (1)

De la compréhension des processus physiques influençant la structure spatiale des espèces marines à la gestion des aires marines protégées

29 - Projets 2012-2016 (2)

Recompositions et représentations des territoires littoraux dans le temps et dans l'espace

47 - Observation et recherche en appui aux politiques du littoral et de la mer

Synthèse du colloque de Brest des 14 et 15 janvier 2016

59 - Conclusion

61 - Annexe 1 : membres du conseil scientifique et du comité d'orientation du programme LITEAU

63 - Annexe 2 : appels à propositions de recherche et projets du programme LITEAU 2003-2016

Document édité par :

La direction de la recherche et de l'innovation
Service de la recherche

Remerciements : nous tenons à remercier ici Nacima Baron, présidente du comité scientifique du programme LITEAU, Jean-Claude Dauvin et Yves Hénocque, les deux vice-présidents, ainsi que Philippe Veyre, chargé de mission recherche de juin 2015 à décembre 2017 sur les sujets mer et littoral et ses prédécesseurs au service de la recherche, qui ont animé depuis près de 20 ans la communauté de recherche LITEAU.

coordinateurs

NB

Nacima Baron
Présidente,
comité scientifique LITEAU
Université Paris-Est

YH

Yves Hénocque
Vice-président,
comité scientifique LITEAU
Ifremer

PV

Philippe Veyre
au moment de la rédaction,
chargé de mission recherche
milieux littoraux et marins
CGDD/DRI

avant-propos



LITEAU, dispositif de soutien à la recherche lancé en 1998 par le ministère chargé de l'Environnement, qui est aujourd'hui également en charge de la Mer, a éclairé au cours du temps une grande diversité de sujets. Force est de constater qu'il est resté fidèle à quatre traits caractéristiques voulus par ses concepteurs : l'implication systématique des gestionnaires et des acteurs du littoral, une excellence scientifique et une interdisciplinarité revendiquées et pour finir le souci permanent du développement d'approches intégrées.

Le littoral et la mer sont au centre des politiques portées par notre ministère. La COP 21, qui a débouché sur l'Accord de Paris, puis la COP 22 qui s'est tenue en 2016 à Marrakech, ont permis de faire de l'océan un sujet majeur en mettant en évidence qu'il pouvait être une solution pour le climat. Depuis lors, le ministère a impulsé plusieurs programmes de recherche qui étudient directement les interrelations entre climat, littoraux et océans. Même si beaucoup reste à connaître sur le milieu marin et son fonctionnement avec pour objectif de le gérer durablement, les productions scientifiques de la recherche océanique alimentent la mise en œuvre d'outils de gestion comme la directive cadre stratégie milieux marins et les indicateurs associés ainsi que son articulation avec la directive cadre sur l'eau (DCE) ou encore les documents stratégiques de façade.

La place importante de la recherche pour l'élaboration de ces stratégies n'est plus à démontrer et un programme de recherche comme LITEAU, interdisciplinaire et multi-acteurs, joue un rôle central pour le ministère au cœur de ce dispositif.

— **Laurence Monnoyer-Smith**
COMMISSAIRE GÉNÉRALE AU DÉVELOPPEMENT DURABLE

introduction

Depuis sa création en 1998, le programme LITEAU soutient des recherches finalisées en appui aux politiques publiques pour le développement durable de la mer et des littoraux. Au-delà des projets soutenus (près de 80), LITEAU représente aussi une communauté de recherche, un site internet très riche (www.liteau.net), des lettres d'information régulières, des nombreux séminaires et ouvrages publiés...

Le présent Théma fait suite à la publication de deux ouvrages qui synthétisent les principaux acquis des projets financés entre 2003 et 2012 : *Apports du programme LITEAU à la gestion durable de la mer et du littoral : projets de recherche 2004-2012* publié dans la collection Références en mars 2015 et *Apports du programme LITEAU à la gestion durable de la mer et du littoral : projets de recherche 2009-2013* publié en décembre 2015.

Cette nouvelle publication détaille les résultats des six projets de recherche retenus dans le quatrième appel à propositions de recherche de LITEAU (2012-2016) qui éclairent principalement deux sujets :

- la compréhension des processus physiques influençant la structure spatiale des espèces marines à la gestion des aires marines protégées ;
- les recompositions et représentations des territoires littoraux dans le temps et dans l'espace.

Elle présente également la synthèse du colloque qui s'est tenu à Brest les 14 et 15 janvier 2016 portant sur l'observation et la recherche en appui aux politiques publiques du littoral et de la mer.

Les chapitres qui suivent montrent bien évidemment l'investissement des équipes scientifiques et l'intérêt des recherches en tant que telles, ainsi que leur application sur le terrain pour la résolution de problèmes de gestion des ressources et des conflits locaux. Plus encore, leur lecture transversale dans un document de synthèse permet de faire

apparaître la valeur ajoutée très particulière d'un programme comme LITEAU dans le double contexte d'un fort renouvellement des champs de recherche sur l'espace littoral et le monde maritime et d'intenses mouvements de recomposition de la science et de la gouvernance territoriale du littoral et de la mer (DCSMM, CNML, Comer, etc.).

Les projets présentés dans cet ouvrage illustrent le positionnement original de ce programme transversal produit simultanément par plusieurs acteurs (l'administration, les collectivités, les organismes scientifiques, les filières professionnelles ...) et aussi pour eux. Ceci conduit les projets à intégrer une complexité à plusieurs niveaux : dans l'organisation des tâches et des équipes multi-sites et multidisciplinaires, dans la construction des méthodologies, avec la constitution de bases de données intégrées, et interopérables, ou encore dans la mobilisation de parties prenantes toujours plus larges (professionnels, habitants...) pour aborder des controverses avérées. Mais les enjeux sont à la hauteur : il s'agira dans certains cas de construire des indicateurs de suivi des socio-écosystèmes où s'articulent la connaissance des milieux et celles des pressions, des impacts ou des réponses, et par ailleurs de renouveler le cadre conceptuel qui structure les dispositifs et les procédures de gestion concertés et innovants pour faire face à des situations de risque (submersion marine, effets du changement climatique) dont les effets doivent être mesurables et transférables.

Les travaux présentés ici donnent une idée de la diversification et de la complexification des dynamiques de gestion et de planification des espaces et des ressources littorales et marines et montrent des chercheurs LITEAU inscrits dans une belle aventure scientifique, mais aussi porteurs d'un véritable engagement éthique.

partie 1.1

Projets 2012 (1)

De la compréhension des processus physiques influençant la structure spatiale des espèces marines à la gestion des aires marines protégées



partie 1.1 : projets 2012 (1) De la compréhension des processus physiques influençant la structure spatiale des espèces marines à la gestion des aires marines protégées

Les écosystèmes estuariens et côtiers peu profonds situés aux interfaces entre les écosystèmes continentaux et marins du large sont dépendants à la fois des apports amont, en particulier ceux en sels nutritifs, et des apports marins dont les intrusions marines de salinité. Leur fonctionnement dépend aussi des interactions entre des processus biogéochimiques, physiques et biologiques. La compréhension des causes générant des efflorescences de phytoplancton, dont certaines peuvent être toxiques, le maintien sur le long terme de populations de substrats durs isolées dans un contexte hydrodynamique puissant et les changements temporels des populations de poissons de l'estuaire de la Gironde dépendent des forçages physiques locaux, régionaux, voire à méga-échelle. Il était important pour le programme LITEAU de soutenir de telles approches multidisciplinaires et intégratives.

Le **projet FLAM** porte sur les causes d'efflorescences de microalgues indésirables du genre *Pseudo-nitzschia* dans le bassin oriental de la Manche, de la baie de Seine à la baie de Somme. Le projet vise à développer une double démarche, à la fois scientifique et participative, autour de la question des apports déséquilibrés de nutriments conduisant à un état d'eutrophisation chronique de la zone côtière et des réponses du phytoplancton à ces apports en excès liés aux utilisations d'intrants notamment azotés en agriculture. La démarche s'est principalement adossée à l'acquisition expérimentale de connaissances sur le déterminisme des épisodes d'efflorescences toxiques du genre *Pseudo-nitzschia* spp. et soit à l'adaptation soit à la construction de modèles pour comprendre les réponses du premier maillon des chaînes trophiques, le phytoplancton, à des apports en excès de nutriments provenant des bassins versants dont celui de la Seine. Outre l'étude dans un contexte spatio-temporel intégrant le continuum bassin versant zone côtière, l'originalité du projet est la co-construction avec les acteurs territoriaux de scénarios de changement de pratiques agricoles et de gestion des zones humides, et l'exploration de leurs conséquences par les modèles. L'azote est responsable de l'eutrophisation lorsqu'il est en excès par rapport à la silice. Les apports diffus en azote et phosphore sont maintenant supérieurs aux apports ponctuels. Parmi les six espèces de *Pseudo-nitzschia* identifiées en baie de Seine, seule l'espèce *P. australis*, probablement introduite, présente une très forte toxicité, d'où la nécessité de pouvoir identifier le plus précisément possible les espèces de phytoplancton toxique. Sur le volet « participatif », le projet FLAM a permis de faire dialoguer des acteurs provenant de l'amont et de l'aval n'ayant pas l'habitude de communiquer ensemble en dehors d'instances officielles.

L'objectif du projet **ROC-CONNECT** était de quantifier la connectivité potentielle des populations des différentes espèces de gorgonaires présentes dans l'habitat rocheux fragmenté du golfe du Lion (de Marseille au Cap de Creus) et son rôle dans la persistance régionale de ces espèces d'intérêt patrimonial. L'originalité de ce projet a résidé dans l'articulation entre simulations numériques, expérimentation et observation. Les taux de rétention des larves sont élevés dans les territoires où des mesures de gestion existent ; des campagnes en plongée ont permis des estimations de l'abondance des populations. L'étude des capacités de mobilité des larves montre que les vitesses de chute et de nage sont du même ordre de grandeur, mais leurs taux d'activité de nage sont très différents, ce qu'il faut prendre en compte sur les capacités de dispersion de chaque espèce. Les simulations basées sur

la connectivité printanière à basse résolution suggèrent l'importance des échanges larvaires entre des sites protégés et non protégés au sein de la Côte Vermeille pour augmenter la résilience des populations de corail rouge. Pour le cas de la gorgone blanche, les simulations comme les observations génétiques mettent en évidence le rôle de source démographique des populations du Cap d'Agde et du Plateau des Aresquiers et de source de diversité génétique de la Côte Bleue. D'un point de vue opérationnel, ROC-CONNECT a apporté aux gestionnaires d'AMP une cartographie de la distribution d'abondance de cinq espèces de gorgonaires dans leur territoire : les populations de gorgone blanche sont plus grandes au centre du golfe du Lion, bien que les densités soient plus fortes sur la Côte Vermeille. Pour le corail rouge et la gorgone rouge, la distribution spatiale est très limitée, hétérogène et donc difficile à cartographier avec précision.

L'estuaire de la Gironde est le plus vaste estuaire européen atlantique ; il est exposé depuis plusieurs décennies à une diversité d'impacts environnementaux liés aux activités humaines et au changement climatique. Le **projet TRAJEST** a consisté à décrire la trajectoire écologique de cet écosystème estuarien en considérant différents niveaux : la dynamique hydro-morpho-sédimentaire, le réseau trophique et le contexte socioéconomique de la filière pêche-aquaculture et à imaginer des futurs possibles pour cet écosystème dans le cadre d'une démarche prospective. L'histoire récente de l'estuaire de la Gironde est marquée, sur le plan environnemental, par des ruptures liées à des modifications du contexte morpho-sédimentaire conjuguées à une réduction des débits fluviaux aboutissant à une marinisation du système estuarien, qui se traduit par des successions de trois périodes distinctes. En parallèle, les activités de pêche et d'aquaculture ont été marquées par des fluctuations et vulnérabilités biologiques, environnementales et économiques, liées entre elles. Après avoir décrit la trajectoire passée de l'estuaire, la combinaison des savoirs fonctionnalistes acquis sur l'écosystème estuarien et l'analyse socio-économique en termes d'héritage et d'innovation a permis, en lien avec le projet ANR ADAPT'EAU, de construire quatre scénarios contrastés d'évolution possible de l'estuaire destinés à éclairer les gestionnaires dans une perspective de gestion de l'eau et des milieux intégrant ce que peuvent dire les différentes disciplines scientifiques sur le socio-écosystème, les capacités d'adaptation des acteurs et différents choix possibles. Les scénarios ont vocation à éclairer les politiques publiques et les décisions locales à moyen terme.

Malgré des problématiques différentes, ces trois projets, parce qu'ils lient la connaissance du contexte environnemental

partie 1.1 : projets 2012 (1) De la compréhension des processus physiques influençant la structure spatiale des espèces marines à la gestion des aires marines protégées

et la réponse du biologique (espèces, populations, communautés) à ces forçages, ont démontré la nécessité d'avoir une bonne connaissance de la biologie et de l'écologie des espèces prises une à une, du couplage des approches de l'observation, de l'expérimentation et de la modélisation dans la compréhension des écosystèmes côtiers. Enfin, le dialogue entre les différents protagonistes de ces trois projets a été fructueux et a amené à la co-construction de scénarios validés par l'ensemble des parties prenantes. Nous retrouvons bien là une des particularités de l'esprit LITEAU : faire se rencontrer des scientifiques, des acteurs et des décideurs du littoral et des systèmes côtiers.

PROJET FLAM

EFFLORESCENCES MICROALGALES EN MANCHE : RÔLE DES BASSINS VERSANT SUR LE DÉVELOPPEMENT DU PHYTOPLANCTON TOXIQUE

Philippe Riou¹, H. Berger¹, P. Cugier¹, R. Le Gendre¹, A. Menesguen¹, M. Schapira¹, J. Billen², J. Garnier², P. Passy², A. Ramarson², S. Théry², P. Claquin³, J. Fauchot³, E. Belliot⁴, Y. Mathieu⁴, A. Vergne⁴, F. Bruchon⁵, S. Pedron⁵

¹ Ifremer

² UMR METIS-Université Paris 6

³ UMR BOREA-Université de Caen

⁴ Missions publiques

⁵ Agence de l'eau Seine-Normandie

CONTEXTE ET OBJECTIFS

Les eaux côtières continentales de la Manche, depuis les côtes normandes jusqu'aux côtes picardes, sont soumises à l'influence majeure des apports déséquilibrés de nutriments de la Seine. Il en résulte, dans le panache du fleuve, un état d'eutrophisation chronique. En parallèle, plusieurs épisodes d'efflorescences microalgales indésirables compromettant les activités de pêche et la conchyliculture ont été observés dans cet écosystème. Historiquement, deux crises majeures de toxicité due à l'acide domoïque produit par les diatomées *Pseudo-nitzschia spp.* se sont produites en 2004 (Nézan *et al.*, 2006), 2011 et 2012 (données Ifremer), entraînant la fermeture partielle de la pêche de la coquille Saint-Jacques en baie de Seine pendant plusieurs mois.

Le chaînage d'un modèle biogéochimique de bassin versant (Senèque/Riverstrahler) et d'un modèle de la dynamique de l'écosystème marin (ECOMARS-3D) a permis d'appréhender le cadre général de ces phénomènes (Garnier *et al.*, 2012, Passy *et al.*, 2016), même si des interrogations subsistent quant à la physiologie et au déterminisme des efflorescences et des microalgues toxiques du genre *Pseudo-nitzschia* et sur les liens entre dystrophie et production de toxines. La faisabilité de l'exploration, à l'aide de ces modèles, de scénarios de modification de la gestion des eaux usées ou de pratiques agricoles dans le bassin versant a été démontrée. Cependant, au-delà du signal dominant du panache de la

Seine, il apparaît des différences locales de niveau d'eutrophisation et d'occurrence d'épisodes de toxicité entre zones littorales et côtières. Aussi ce constat demande à mieux préciser la qualité des différents apports fluviaux, ceux de la Seine et des petits fleuves côtiers, dont les bassins versants définissent collectivement un **territoire littoral** où les activités humaines (agricoles et urbaines, gestion des zones humides) ont des conséquences directes sur le fonctionnement de l'écosystème marin côtier. C'est cette relation entre systèmes littoraux terrestres et marins que le projet visait à appréhender par une approche de modélisation venant en appui à une démarche originale de concertation avec les acteurs du territoire pour définir un plan d'action basé sur un diagnostic et des objectifs partagés.

Le projet visait donc à développer une double démarche à la fois scientifique et **participative** autour de la question des efflorescences de microalgues indésirables en Manche orientale. Elle visait à mettre en relation :

- l'acquisition expérimentale des connaissances encore requises sur le déterminisme des épisodes d'efflorescences toxiques et notamment de *Pseudo-nitzschia spp.* (**Axe 1**) ;
- l'adaptation ou la construction des outils de modélisation adéquats couplant le fonctionnement des bassins versants de la Seine et des fleuves côtiers avec celui des zones marines côtières et littorales (**Axe 2**). Cette chaîne de modèles, des têtes de bassins aux zones côtières ; constitue un véritable outil d'exploration du continuum aquatique permettant de quantifier les liens entre les trames vertes (bassins versants), bleues (réseaux hydrographiques) et bleu-marine (incluant une zone marine protégée). Cette démarche, à une échelle saisonnière et à celle d'un territoire littoral élargi, est tout à fait originale aux plans national et international ;
- la co-construction avec les acteurs territoriaux (État, collectivités, associations, représentants des professionnels des filières pêche et conchyliculture) de scénarios de changement de pratiques agricoles et de gestion des zones humides, et l'exploration de leurs conséquences par les modèles (**Axe 3**). Les scénarios ont été construits pour constituer une aide à la protection du littoral en lien avec une stratégie de gestion des bassins versants.

MÉTHODE ET RÉSULTATS

Phénologie des efflorescences de *Pseudo-nitzschia* en baie de Seine

Les eaux côtières continentales de la Manche orientale (zone d'étude), depuis les côtes normandes jusqu'aux côtes picardes, sont soumises à l'influence majeure des apports déséquilibrés de nutriments de la Seine. Il en résulte, dans le panache du fleuve, un état d'eutrophisation chronique. En parallèle, plusieurs épisodes d'efflorescences microalgales indésirables compromettant les activités de pêche et la conchyliculture ont été observés dans cet écosystème. Parmi celles-ci, *Pseudo-nitzschia spp.*, microalgue siliceuse appartenant au groupe des diatomées est au centre de cette étude. C'est un genre cosmopolite échantillonné régulièrement

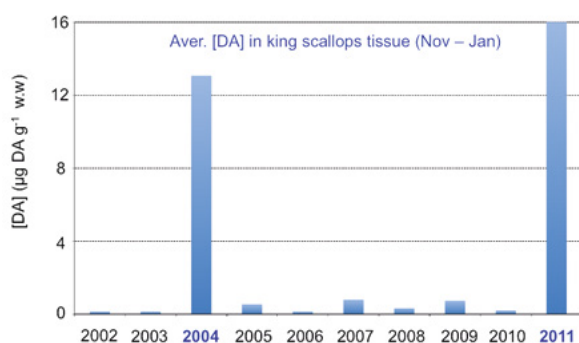
partie 1.1 : projets 2012 (1) De la compréhension des processus physiques influençant la structure spatiale des espèces marines à la gestion des aires marines protégées

sur nos côtes (REPHY¹, *figure 1*) et parfaitement adapté aux conditions environnementales des littoraux de la Manche orientale. La baie de Seine est devenue le siège d'efflorescences régulières à *Pseudo-nitzschia spp.* Au sein de ce genre, certaines espèces produisent une phycotoxine (l'acide domoïque) de type amnésiant (*ASP Amnesic Shellfish Poisoning*) qui se transmet dans la chaîne trophique, notamment chez les bivalves filtreurs, comme la coquille Saint-Jacques, pour lesquels cette diatomée est une source de nourriture directe. L'acide domoïque accumulé principalement dans l'hépatopancréas des coquillages n'est pas nocif pour ces bivalves, mais toxique pour les consommateurs secondaires, tels que l'homme.

Figure 1 : baie de Seine et localisation des stations d'échantillonnage



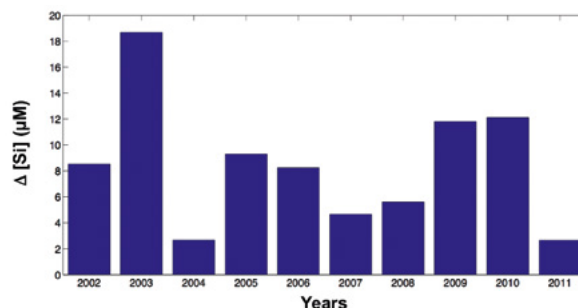
Figure 2 : moyennes des concentrations en acide domoïque ([DA] – $\mu\text{g DA g}^{-1}$ w.w.) dans les coquilles Saint-Jacques (chaire totale) en baie de Seine entre 2002 et 2011



¹ Réseau phytoplancton et phycotoxines.

Historiquement, deux crises sanitaires majeures, dues à l'acide domoïque produit par *Pseudo-nitzschia spp.* et concentré dans les coquilles Saint-Jacques, se sont produites en 2004 (Nézan *et al.*, 2006), 2011 et 2012 (données Ifremer, *figure 2*), entraînant la fermeture partielle, voire totale, de la pêche de coquille Saint-Jacques en baie de Seine pendant plusieurs mois. Durant ces deux épisodes toxiques, la présence d'une espèce a été observée systématiquement, il s'agit de *Pseudo-nitzschia australis*, dont la toxicité est 150 fois plus élevée qu'une espèce standard (Le Bec comm. pers.). Grâce aux campagnes d'observations *in situ* issues du réseau REPHY, mais aussi organisées dans le cadre du projet FLAM, et enfin aux travaux expérimentaux (en laboratoire), le présent projet a permis d'avancer significativement sur la compréhension de l'écologie de ce genre *Pseudo-nitzschia*, mais aussi sur les principales espèces échantillonnées sur nos côtes et reconnues comme toxiques. En effet, lors des campagnes d'échantillonnages, *Pseudo-nitzschia* a été principalement observé dans les zones de panache de la Seine. Les apports en nutriments et leurs rapports semblent être déterminants dans l'apparition des événements toxiques. En effet, les années 2004 et 2011 présentent des conditions nutritives différentes de celles observées généralement sur la zone. Elles se caractérisent en effet par une limitation potentielle du phytoplancton par les silicates au cours de l'été. La *figure 3* représente la différence entre les concentrations estivales et printanières de [Si] sur le point Cabourg (*figure 1*) pour chaque année entre 2002 et 2011. Les résultats mettent en évidence une forte variabilité inter-annuelle, avec des valeurs variant de 2,4 μM en 2004 et 18,4 μM en 2003. Les plus faibles variations de la série de 10 ans sont observées en 2004 et 2011, avec une augmentation de seulement 2,4 μM des concentrations en silicates entre l'été et le printemps.

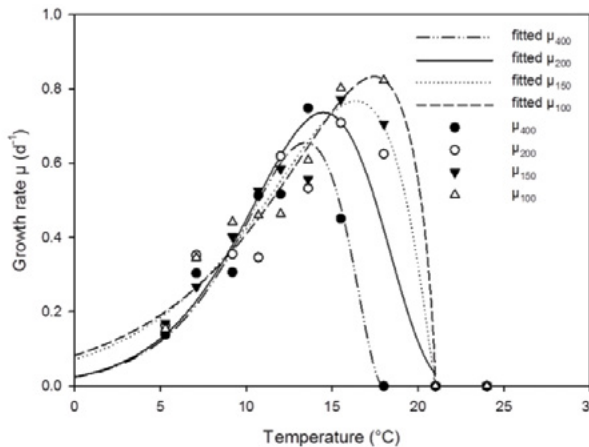
Figure 3 : différences des concentrations en silicates entre l'été et le printemps (μM) mesurées sur le point Cabourg entre 2002 et 2011



partie 1.1 : projets 2012 (1) De la compréhension des processus physiques influençant la structure spatiale des espèces marines à la gestion des aires marines protégées

Il semble donc exister un lien, entre une limitation en silice et/ou l'azote et l'apparition d'événements toxiques ASP majeurs en baie de Seine. Les expérimentations en laboratoire (mise en culture de différentes espèces de *Pseudo-nitzschia*) ont permis d'améliorer nos connaissances sur l'écophysiologie de ces diatomées. En effet, ces travaux ont mis en évidence des optima de croissance différents en fonction de la lumière et de la température (figure 4). Ces expérimentations ont également montré que l'excès d'azote concomitant à une carence en silice ou en phosphore peut conduire les espèces étudiées à produire de l'acide domoïque. Les liens entre flux de sels nutritifs issus des bassins versants et efflorescences de *Pseudo-nitzschia*, mais également production d'acide domoïque, sont donc confirmés.

Figure 4 : taux de croissance de *Pseudo-nitzschia* en fonction de la température et de l'intensité lumineuse



Le développement d'une chaîne de modélisation du continuum aquatique : du bassin versant jusqu'à l'écosystème marin

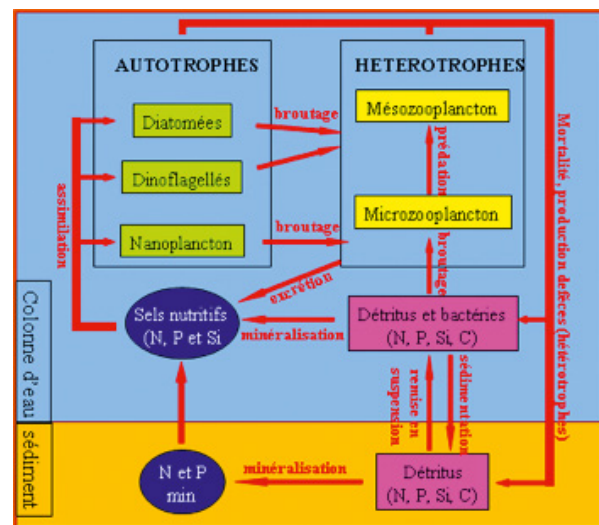
L'axe 2 est dédié à la mise au point et au couplage des outils permettant la modélisation : (i) des flux de nutriments issus des bassins versants ; (ii) du transfert de ces apports vers le milieu marin ; (iii) de l'évaluation de leurs impacts sur les niveaux de production primaire et les efflorescences de microalgues, notamment toxiques.

Concernant les bassins versants, la version 3.6 du logiciel Sènèque/Riverstrahler, a été utilisée dans le cadre de ce projet. Il s'agit d'un modèle biogéochimique décrivant le transfert des nutriments depuis les milieux terrestres d'un bassin versant jusqu'à l'exutoire du réseau hydrographique. Il permet le calcul des flux et des concentrations de nutriments en tout point du réseau hydrographique à partir :

- des contraintes constituées par la morphologie et l'hydrologie du réseau de rivières ;
- des apports ponctuels liés aux rejets urbains ;
- des apports diffus résultant des pratiques agricoles.

Ces derniers ont été évalués à partir d'une représentation de l'ensemble de la chaîne agro-alimentaire du territoire (GRAFS, Billen *et al.*, 2014) permettant en particulier le calcul des surplus azotés des terres arables et des prairies permanentes qui ont été considérés comme représentatifs des apports diffus de nitrates vers l'hydrosystème (figure 5).

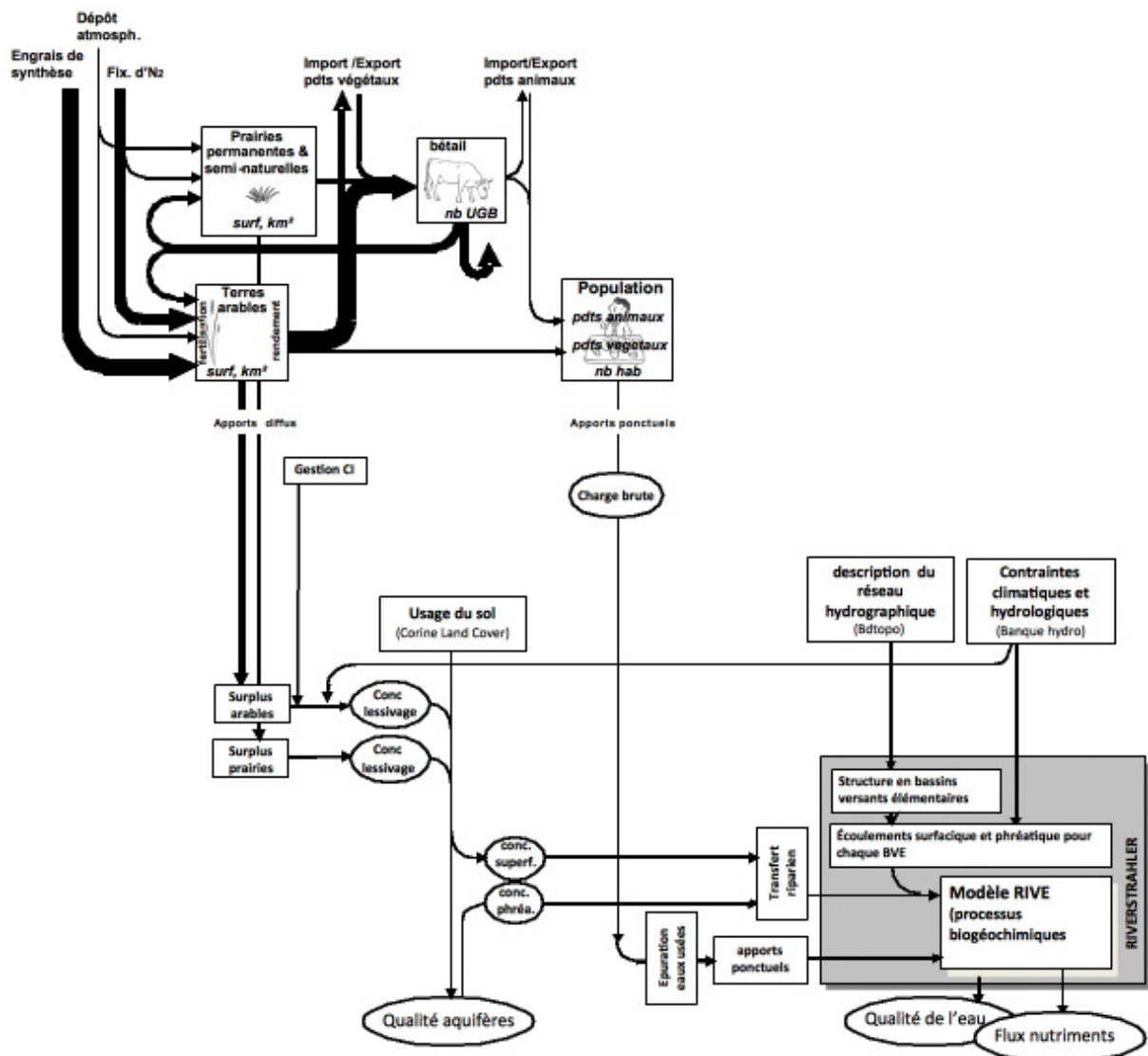
Figure 5 : schéma conceptuel du modèle biogéochimique et écologique ECO-MARS3D



Concernant le modèle d'écosystème marin, les résultats *in situ* et *in vitro* acquis dans le cadre de l'axe 1 concernant le cycle de vie de *Pseudo-nitzschia* spp. ont contribué significativement à la mise au point du modèle écologique

partie 1.1 : projets 2012 (1) De la compréhension des processus physiques influençant la structure spatiale des espèces marines à la gestion des aires marines protégées

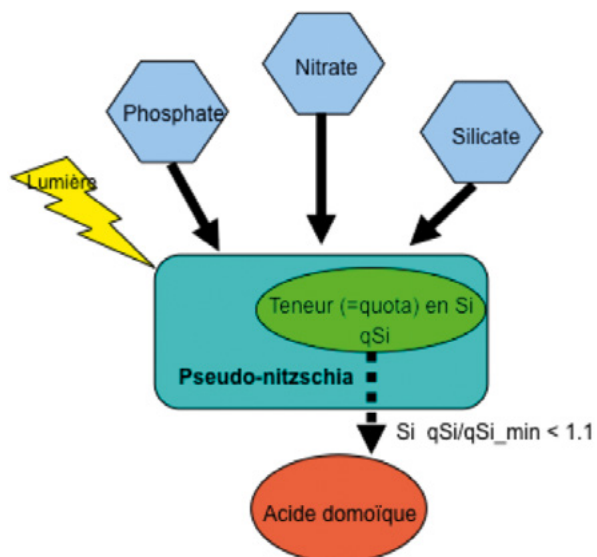
Figure 6 : connexions entre le modèle GRAFS et le modèle Riverstrahler, permettant l'évaluation des conséquences d'une modification structurale du système agro-alimentaire en termes de qualité de l'hydrosystème



partie 1.1 : projets 2012 (1) De la compréhension des processus physiques influençant la structure spatiale des espèces marines à la gestion des aires marines protégées

ECO-MARS3D (figure 6). En effet, ceux-ci ont permis d'affiner plus particulièrement le module spécifique développé dans le cadre de ce projet, qui simule l'évolution de *Pseudo-nitzschia spp.* en fonction des paramètres environnementaux. Le processus de production de l'acide domoïque y est fondé sur le quota cellulaire en silicium (figure 7).

Figure 7 : schéma conceptuel du modèle *Pseudo-nitzschia spp.* (adapté de Davidson et Fehling, 2006)



Co-construction de scénarios de changement des pratiques agricoles et de gestion des zones humides

L'objectif de l'axe 3 est de co-construire (figure 8) avec les acteurs (usagers des bassins versants mais aussi du monde de la mer) des scénarios de restructuration des pratiques, voire de réorganisation de la chaîne agro-alimentaire, et d'en mesurer les impacts sur l'écosystème marin et notamment sur les efflorescences d'algues toxiques. À cet effet, deux ateliers de science participative ont été organisés dans la seconde moitié du projet. Le premier a eu lieu en octobre 2014 à l'Abbaye aux Dames (enceinte du conseil régional de Basse

Normandie) et avait pour double objectif de présenter le projet et la démarche mais surtout de co-construire avec les acteurs territoriaux (État, collectivités, associations, représentants des professionnels des filières pêche et conchyliculture) des scénarios de changement des pratiques agricoles et de gestion des zones humides. Les scénarios ont été réfléchis pour constituer une aide à la protection du littoral en lien avec une stratégie de gestion des bassins versants. Le deuxième atelier a été organisé en octobre 2015 afin de présenter à ces mêmes acteurs l'exploration des conséquences de ces scénarios par les deux types de modèles.

Figure 8 : réunion de science participative avec les acteurs du bassin versant et du littoral

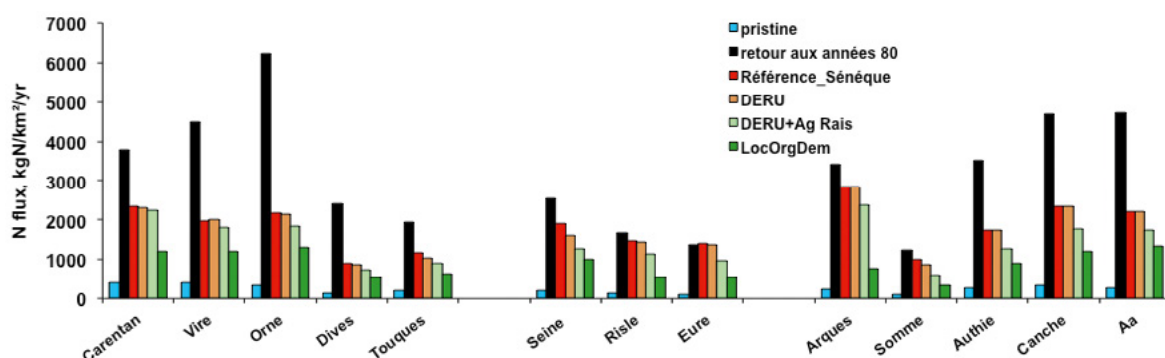


partie 1.1 : projets 2012 (1) De la compréhension des processus physiques influençant la structure spatiale des espèces marines à la gestion des aires marines protégées

Il a déjà été démontré que les activités humaines (agricoles et urbaines, gestion des zones humides) dans ce territoire avaient des conséquences directes sur le fonctionnement de l'écosystème marin côtier. En effet, l'azote est potentiellement responsable de l'eutrophisation lorsqu'il est en excès par rapport à la silice. Le phosphore est aussi apporté par les bassins versants mais néanmoins les flux ont largement diminué (divisé par trois) ces deux dernières décennies. L'azote et le phosphore sont apportés ponctuellement par les rejets urbains mais aussi de manière diffuse par l'agriculture et l'élevage. On constate que les apports diffus sont maintenant supérieurs aux apports ponctuels. Les engrais chimiques constituent la principale source d'azote dans le milieu. Il est toutefois possible de réorganiser la chaîne agro-alimentaire pour limiter ces lourds surplus d'azote. La faisabilité de l'exploration, à l'aide du modèle Sénèque/Riverstrahler, de scénarios de modification de la gestion des eaux usées ou des pratiques agricoles dans le bassin versant a déjà été démontrée (Garnier *et al.*, 2012). Après calibration sur l'ensemble des bassins versants de la Manche Est, six scénarios élaborés à l'issue des débats participatifs ont été considérés et modélisés. Ces modélisations ont alors permis d'évaluer les impacts de ces divers scénarios sur les flux d'azote (figure 9) mais aussi de phosphore.

Autour d'un scénario de référence « situation actuelle » « Référence_Sénèque », deux premiers scénarios rétrospectifs ont été réalisés afin d'évaluer les flux de nutriments dans des situations d'urbanisation et d'agriculture pristine « Pristine » et d'absence de réglementation « Retour Années 80 ». Trois scénarios prospectifs ont également été proposés afin d'évaluer l'impact sur les flux de nutriments, et notamment azotés : (i) de l'application généralisée de réglementation **Directive sur les Eaux Résiduaires Urbaines** « DERU » concernant les stations d'épuration associées ; (ii) à une réorganisation de la chaîne agroalimentaire selon les principes de l'agriculture raisonnée « DERU+Ag Rais » ; (iii) à la généralisation de l'agriculture biologique « LocOrgDem ». Dans la plupart des bassins versants, le scénario apportant les flux d'azote les plus importants est le « retour aux années 80 » et ceux apportant les flux les plus bas sont le « Pristine » et le « LocOrgDem ». Ces premiers résultats mettent clairement en évidence l'impact et l'importance des réglementations en vigueur en matière de limitation des flux azotés. De plus, la diminution des flux azotés arrivant en mer est très significative dans le cas d'une réorganisation profonde des pratiques agricoles et de la chaîne agro-alimentaire.

Figure 9 : flux d'azote délivrés en moyenne en Manche par les principaux fleuves du domaine FLAM, pour les différents scénarios testés



partie 1.1 : projets 2012 (1) De la compréhension des processus physiques influençant la structure spatiale des espèces marines à la gestion des aires marines protégées

Enfin, le chaînage d'un modèle biogéochimique de bassin versant et d'un modèle de dynamique de l'écosystème marin a permis de mieux appréhender l'impact en mer de quatre de ces six scénarios. Dans un premier temps, le modèle d'écosystème marin, calibré sur les observations réalisées dans le cadre du REPHY, a permis de retrouver les grandes tendances passées des fortes efflorescences à *Pseudo-nitzschia* mais aussi leur localisation à l'échelle de la Manche est. Le modèle reproduit également la forte production d'acide domoïque en 2004, mais pas en 2011-2012 pour des raisons inexpliquées. Dans un second temps, les impacts en mer des quatre scénarios (« Référence_Sénèque », « retour aux années 80 », « Pristine » et « LocOrgDem ») ont été évalués. Les résultats sont présentés sur les figures 10 et 11 au point d'échantillonnage REPHY Antifer (figure 1).

Le cycle moyen d'abondance de *Pseudo-nitzschia* simulé dans les quatre scénarios montre une importante sensibilité aux régimes d'apports nutritifs, mais essentiellement en niveau des

abondances globales et peu en termes de successions saisonnières. Les fluctuations inter-annuelles sont qualitativement différentes lors de changements profonds des apports. Ainsi si le scénario de changement radical « LocOrgDem » – ne modifie peu les biomasses de *Pseudo-nitzschia*, elles sont comme on pouvait s'y attendre sévèrement diminuées sous le scénario « Pristine » mais aussi sous le scénario catastrophe « Retour Années 80 » – ce qui n'était pas prévisible (figure 10). La production de toxine (acide domoïque) réagit aux divers scénarios très différemment de la biomasse du phytoplancton. En effet, les fluctuations inter-annuelles montrent une disparition des épisodes toxiques dans le scénario « Pristine » comme attendu, mais aussi dans le scénario de changement radical « LocOrgDem ». Cette observation laisserait penser qu'un ré-équilibrage substantiel des pratiques agricoles sur les bassins versants serait à même de supprimer la toxicité des *Pseudo-nitzschia* en mer. Le « Retour Années 80 » cause par contre une augmentation de la fréquence et de l'intensité des épisodes toxiques (figure 11).

Figure 10 : comparaison des séries 2002-2012 de biomasse simulées à Antifer sous les quatre scénarios

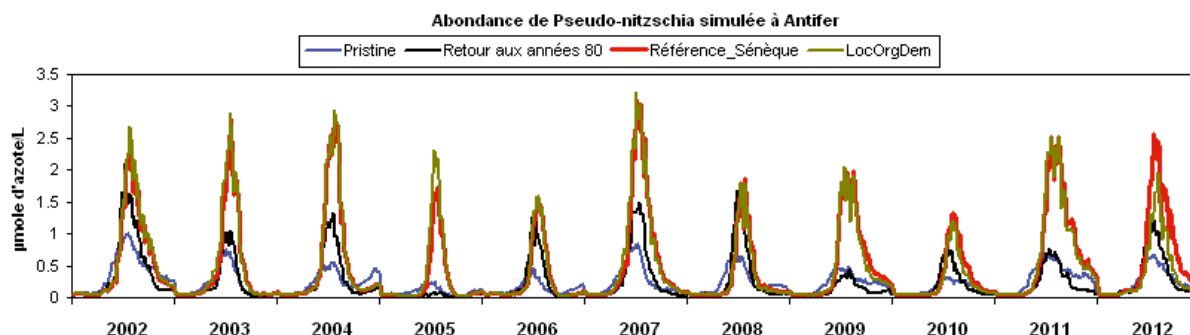
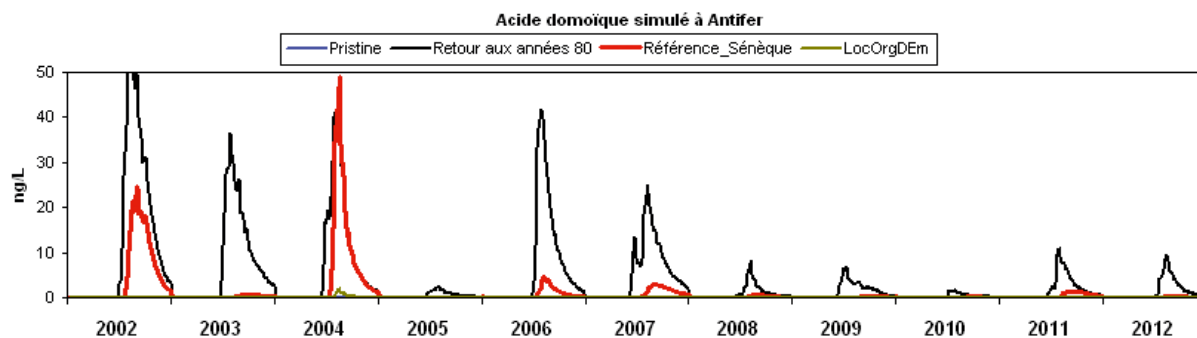


Figure 11 : comparaison des séries 2002-2012 d'acide domoïque dans l'eau simulées à Antifer sous les quatre scénarios



CONCLUSION

La particularité du projet FLAM est de mélanger de la science dite « fondamentale » avec de la science « participative ». Sur le premier volet, le projet a permis des avancées significatives en matière de phénologie des efflorescences de *Pseudo-nitzschia* en baie de Seine. La combinaison de données *in situ* avec celles issues d'expérimentations en laboratoire a permis d'affiner notre compréhension du cycle biologique de ce genre et de leurs relations avec les principaux paramètres environnementaux. De plus, le couplage des deux types de modèle a également produit des résultats intéressants. En effet, malgré les quelques limites rencontrées concernant le modèle écologique, les scénarios proposés ont permis d'évaluer : (i) l'importance des réglementations en vigueur sur la limitation des flux azotés ; (ii) l'impact très positif d'une réorganisation potentielle des pratiques agricoles sur les surplus de nitrate et sur la production en mer d'acide domoïque, par *Pseudo-nitzschia*, source de contamination des coquilles Saint-Jacques. Sur le volet « participatif », le projet FLAM peut être considéré comme une réussite. Les deux tables rondes organisées dans la deuxième moitié du

projet ont permis de faire dialoguer des acteurs intervenant tant à l'amont qu'à l'aval du continuum hydrosystémique de la Seine et n'ayant pas l'habitude de communiquer ensemble en dehors d'instances officielles. L'objectif n'était évidemment pas de fustiger une profession par rapport à une autre mais plutôt de faire prendre conscience que des actions menées en amont, sur le bassin versant, peuvent avoir des répercussions sur les activités en mer. Le dialogue entre ces différents protagonistes a été fructueux et a amené à la co-construction de scénarios validés par l'ensemble des parties prenantes. Toutefois, il a été noté l'absence d'un volet socio-économique au projet FLAM qui aurait permis de proposer des coûts de mise en œuvre des scénarios prospectifs. Cet aspect n'avait pas été programmé mais pourrait bien évidemment constituer une suite à ce projet. Enfin, la présence de citoyens profanes dans les ateliers d'échange a permis aux scientifiques : (i) d'apprendre à adapter/clarifier/simplifier leur discours afin de capter l'attention de tout l'auditoire ; (ii) de faire passer des messages importants concernant le travail du scientifique et les limites de la recherche sur certains sujets d'actualité.

Bibliographie

- **Davidson K. and Fehling J.**, 2006. Modelling the influence of silicon and phosphorus limitation on the growth and toxicity of *Pseudo-nitzschia seriata*., African Journal of Marine Sciences, 28(2), 357-360.
- **Billen Gilles, Luis Lassaletta and Josette Garnier.** (2014) A Biogeochemical View of the Global Agro-Food System: Nitrogen Flows Associated with Protein Production, Consumption and Trade. Global Food Security 3-4 209-19.
- **Garnier Josette, Le Gendre Romain, Passy Paul, Paris Francois, Billen Gilles, Callens Julie, Cugier Philippe, Tronquart Olivier, Romero Estela, Riou Philippe** (2012). NEREIS (Nutrient Export Role on Eutrophication. Indicators and model Scenarios) – Rapport Seine-Aval.
- **Nézan E., Antoine E., Fiant L., Amzil Z., Billard C.**, 2006. Identification of *Pseudo-nitzschia australis* and *P. multiseriata* in the Bay of Seine. Was there a relation to presence of domoic acid in king scallops in autumn 2004? Harmful Algae News, 31, 1-3.
- **Passy P., Le Gendre R., Garnier J., Cugier P., Callens J., Paris F., Billen G., Riou P., Romero E.**, 2016. Eutrophication modelling chain for improved management strategies to prevent algal blooms in the Seine Bight, Marine Ecology Progress Series, 543, 107-125. Publisher's official version: <http://doi.org/10.3354/meps11533>, Open Access version: <http://archimer.ifremer.fr/doc/00300/41103/>

PROJET ROC-CONNECT

CONNECTIVITÉ DES HABITATS ROCHEUX FRAGMENTÉS DU GOLFE DU LION

Katell Guizien¹, J.-M. Guarini¹, L. Bramanti¹, S. Baksay¹, M. Padron¹, R. Bricout¹, L. Lesure¹, F. Cornette¹, C. Labruno¹, P. Romans², B. Hesse², J.-C. Roca², J. Payrot³, B. Ferrari⁴, S. Blouet⁵, E. Charbonnel⁶

¹Laboratoire d'écogéochimie des environnements benthiques, Banyuls-sur-Mer

²Observatoire océanologique de Banyuls-sur-Mer

³Réserve naturelle Banyuls-Cerbère

⁴Parc marin du golfe du Lion

⁵Aire marine protégée Agathoise

⁶Parc marin de la Côte Bleue

CONTEXTE ET OBJECTIFS

Créée en 1974, la Réserve naturelle marine de Cerbère-Banyuls (RNMCB) a comme objectif de concilier la protection des fonds marins, la préservation des espèces sous marines et la gestion durable des activités socio-économiques. Plus de 1 200 espèces animales et environ 500 espèces végétales ont été recensées sur 7,2 kilomètres de linéaire côtier organisé en deux niveaux de protection : la zone de protection renforcée (65 hectares) et la zone de protection partielle (650 hectares). La RNMCB fait partie de la liste verte de l'IUCN.

L'aire marine protégée de la côte agathoise « site Natura 2000 » depuis couvre un territoire marin de 6 152 hectares, de Port-Ambonne au Grau d'Agde, jusqu'à 3 milles au large. Ce périmètre englobe les principales zones où se développent la posidonie et le coralligène, ainsi que les secteurs à forte valeur patrimoniale comme l'îlot et le Roc de Brescou.

Créé en 2011, le Parc naturel marin du golfe du Lion couvre plus de 4 000 km² d'espace marin au large des Pyrénées-Orientales et de l'Aude. C'est le troisième parc naturel marin de France (le premier de Méditerranée) dont la vocation est la gestion intégrée de l'espace marin *i.e.* sa connaissance, sa protection, et le développement durable des activités maritimes. Le Parc est rattaché à l'Agence des aires marines protégées, établissement public placé sous la tutelle du ministère en charge de l'environnement.

Créé en 1983, le syndicat mixte Parc marin de la Côte Bleue intervient sur 43 kilomètres de linéaire de côtier et jusqu'à 3 milles au large entre Martigues à l'ouest et Marseille à l'est. Il regroupe le Conseil régional Provence-Alpes-Côte d'Azur, le Conseil départemental des Bouches-du-Rhône, et les cinq communes de la Côte Bleue. Il gère deux réserves à protection intégrale (295 hectares) et le site Natura 2000 « Côte Bleue marine » (18 928 hectares) et a été désigné aire spécialement protégée d'intérêt méditerranéen.

L'objectif du projet Roc-Connect est d'intégrer dans l'analyse de la persistance des espèces fixées de l'habitat rocheux et ciblées par des suivis de gestion d'AMP dans le

golfe du Lion (en particulier les gorgonaires), la connectivité induite par l'existence d'une phase larvaire dispersive. Ce projet vise à apporter des bases scientifiques aux actions publiques concernant la mise en place d'une trame bleue marine entre les aires marines protégées existantes du golfe du Lion (Parc marin de la Côte Bleue, site Natura 2000 « Posidonies du cap d'Agde », Parc naturel marin du golfe du Lion, Réserve naturelle marine de Cerbère-Banyuls, Réserve naturelle du Cap de Creus) et repose sur une collaboration étroite entre les scientifiques du projet et les gestionnaires de ces AMP.

MÉTHODE ET RÉSULTATS

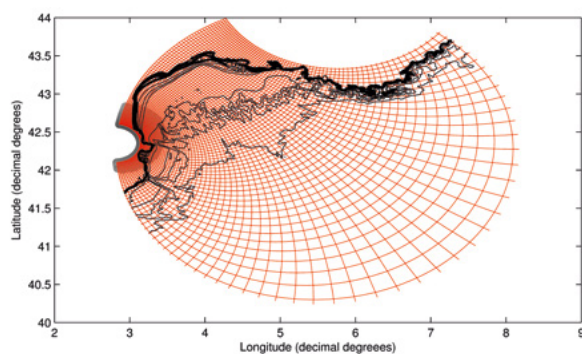
La compréhension des facteurs contrôlant la distribution et la dynamique de communautés d'organismes est un préalable à toute action visant à la conservation de la biodiversité. Le milieu marin présente de ce point de vue des particularités spécifiques du fait de son caractère hautement dispersif. Les courants marins sont en effet susceptibles de transporter les espèces ayant de faible capacité de motilité (dites planctoniques) sur de grandes distances, mais peuvent également contribuer à leur piégeage dans des boucles de recirculation plus ou moins pérennes ou leur évacuation vers des zones non propices à leur survie. Or, la plupart des espèces marines fixées sur le fond à l'âge adulte (dites benthiques) présentent une phase larvaire planctonique. Parmi les espèces fixées de l'habitat rocheux, les gorgonaires sont les espèces les plus remarquables et facilement identifiables, jouant un rôle écologique essentiel de refuge pour les jeunes poissons. Dans les habitats rocheux de Méditerranée, cinq espèces de gorgonaires dominent : la gorgone blanche *Eunicella singularis*, la gorgone rouge *Paramuricea clavata*, la gorgone jaune *Eunicella cavolinii*, la gorgone plumeuse *Leptogorgia sarmentosa* et le corail rouge *Corallium rubrum*. Ces cinq espèces à longue durée de vie suscitent l'intérêt des gestionnaires des AMP préoccupés par une pression anthropique grandissante dans le contexte actuel de changement climatique global.

Le projet consistait donc à quantifier la connectivité potentielle des populations benthiques de l'habitat rocheux du Golfe du Lion en s'appuyant sur (1) la simulation numérique de la dispersion larvaire et (2) des expérimentations pour la détermination des traits larvaires importants pour la dispersion (durée de vie larvaire, comportement de motilité). Cette connectivité potentielle est ensuite intégrée dans des (3) modèles spatialement explicites dit de méta-population et de paysage génétique. La compréhension de la dynamique régionale des échanges démographiques entre différents sites de l'habitat rocheux a été évaluée par la confrontation des simulations numériques de cette même distribution avec l'observation (4) de la distribution spatiale de la densité de population de gorgonaires et (5) de la structure génétique d'une espèce cible, la gorgone blanche.

partie 1.1 : projets 2012 (1) De la compréhension des processus physiques influençant la structure spatiale des espèces marines à la gestion des aires marines protégées

(1) En préalable aux simulations de dispersion larvaire, une maquette de simulations hydrodynamiques à haute résolution spatio-temporelle a été élaborée avec le modèle SYMPHONIE (version 2015, Service national Sirocco, Laboratoire d'aérodynamique de Toulouse). Dans la grille dipolaire définitive, la résolution spatiale horizontale est de moins de 100 mètres sur la zone du Cap Creus-Côte Vermeille, d'environ 400 mètres sur l'ensemble du golfe du Lion et de 2,7 km au large (figure 12). Ces simulations régionales avec sorties horaires sont forcées aux frontières ouvertes par une simulation climatique à haute résolution NM12-FREE (3 h, 6-7 km, Hamon *et al.*, 2016). La dispersion larvaire entre les six plus grandes unités de l'habitat rocheux infra-littoral (moins de 40 mètres de profondeur) du golfe du Lion (superficie de 4,4 à 21 km²) a été simulée pour des durées de vie larvaire de quelques jours à 40 jours et de pontes estivales (début juin à fin août) en 2010, 2011 et 2012.

Figure 12 : maillage dipolaire pour les simulations de dispersion larvaire des populations de substrat dur du golfe du Lion.

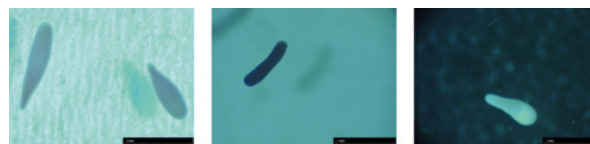


Les isolignes du maillage curviligne (1 sur 10) sont représentées en rouge et la zone grisée indique l'emprise spatiale de résolution horizontale inférieure à 100 mètres qui inclut la Côte Vermeille et le Cap de Creus. La résolution du maillage est de 2,7 km au large

(2) L'analyse bibliographique a confirmé des lacunes importantes de connaissances sur le comportement de motilité des larves des espèces de substrat dur du Golfe du Lion, et en particulier le taux d'activité de nage n'était connu pour aucune espèce. Pour des larves à faible capacité de nage comme les larves planula des gorgones, le comportement de motilité des larves se résume à un ajustement de la flottabilité des larves résultant du bilan entre une vitesse de nage, un taux d'activité de nage et une vitesse de chute ou d'ascension

libre dans les phases d'inactivité. Ces traits larvaires ont été quantifiés expérimentalement par actographie (analyse du mouvement sur des vidéos) sur des larves de *E. singularis*, *P. clavata*, et *C. rubrum* (figure 13) récoltées en 2012 et 2013. En complément, la survie larvaire a été mesurée par comptage d'effectifs de cohorte au cours du temps.

Figure 13 : photos de larves d'*Eunicella singularis*, *Paramuricea clavata* et *Corallium rubrum* (de gauche à droite)



(3) Le modèle générique de dynamique de méta-population spatialement explicite existant (Guizien *et al.*, 2014) a été étendu pour prendre en compte la structure en classe de tailles des populations de gorgonaires afin d'intégrer la fécondité variable suivant l'âge des colonies composant la population. Ce modèle a été appliqué pour deux des trois espèces de gorgonaires : *C. rubrum* et *E. singularis* avec des paramètres démographiques issus de la littérature (Bramanti *et al.*, 2007 pour *C. rubrum* et Weinberg and Weinberg, 1978 pour *E. singularis*) et des paramètres de connectivité issus des simulations de dispersion larvaire à basse résolution existante (Guizien *et al.*, 2014). Un modèle de paysage génétique a été développé en couplant un modèle de flux génique au modèle de dynamique de méta-population spatialement explicite.

(4) Un protocole de comptage de terrain le long d'un maillage régulier avec une résolution de 400 mètres minimum a été mis en place sur les quatre plus grandes unités de l'habitat rocheux du golfe du Lion (Côte Vermeille : 145 sites, Cap Leucate : 9 sites, Cap d'Agde : 69 sites, Plateau des Aresquiers : 100 sites, Côte Bleue : 148 sites). À chaque point de maillage, les abondances de cinq espèces de gorgonaires ont été comptées dans quatre quadrats de 1 m² espacées de 10 mètres, permettant d'estimer une densité moyenne et sa variabilité locale.

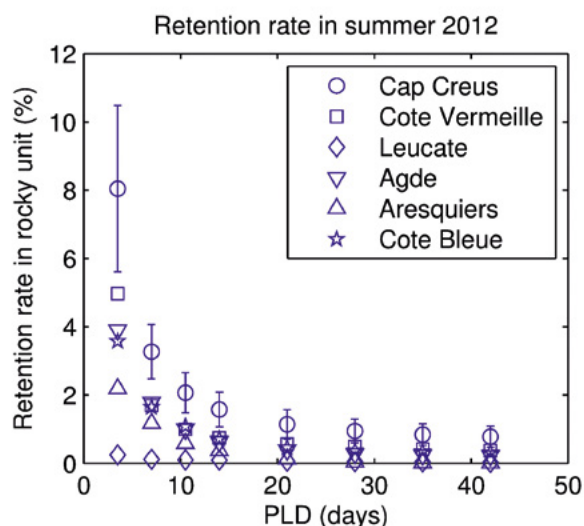
(5) Un échantillonnage de toutes les colonies d'*Eunicella singularis* comptés dans 40 stations (1 200 colonies) a été réalisé pour génotypage. L'échantillonnage, réparti sur des échelles spatiales de 400 mètres à 100 kilomètres et stratifié par sites rocheux disjoints, a été réalisé au cours des étés 2013 et 2014. Le génotypage de chaque colonie a été réalisé à partir de huit micro-satellites polymorphes.

partie 1.1 : projets 2012 (1) De la compréhension des processus physiques influençant la structure spatiale des espèces marines à la gestion des aires marines protégées

Taux de rétention comparés

Les simulations indiquent que le taux de rétention pour des larves à flottabilité nulle est assez élevé dans l'ensemble des unités de l'habitat rocheux (sauf au Cap Leucate) pour une durée de vie larvaire de quelques jours mais diminue rapidement après une semaine (figure 14).

Figure 14 : taux de rétention moyen sur l'été 2012



Les barres d'erreur figurent la variabilité des taux de rétention entre les 13 semaines de ponte, dans chacune des unités d'habitat rocheux en fonction de la durée de vie larvaire établies pour un point de ponte tous les 100 mètres

Au-delà de dix jours de vie larvaire, le taux de rétention se stabilise dans toutes les unités et une hiérarchie s'établit : la plus grande unité, Cap de Creus (21 km²), présente le taux de rétention le plus élevé (2 % en moyenne sur l'été 2012). Les unités du Cap d'Agde, de la Côte Bleue et de la Côte Vermeille pourtant géo-morphologiquement très différentes et de superficie très différentes (16, 10 et 4,2 km² respectivement) présentent des taux de rétention comparables (1 % en moyenne sur l'été 2012), deux fois plus grand que celui de l'unité du plateau des Aresquiers. Les taux de rétention sont donc les plus élevés dans les quatre unités où des mesures de protection existent (Côte Vermeille, Cap de Creus, Côte

Bleue et Cap d'Agde). En plus de fortes rétentions dans les unités du Cap de Creus, Côte Vermeille, Agde et Côte Bleue, des échanges entre unités disjointes sont prédits : pour une durée de vie larvaire d'une semaine, trois groupes déconnectés (Creus-Côte Vermeille-Leucate, Cap d'Agde-Plateau des Aresquiers, Côte Bleue) se distinguent au sein desquels les échanges sont de l'ordre de 1 %. Quand la durée de vie larvaire s'allonge, les taux de transfert diminuent et la connectivité s'organise en deux groupes dis-connectés : la Côte Bleue isolée et toutes les autres unités interconnectées.

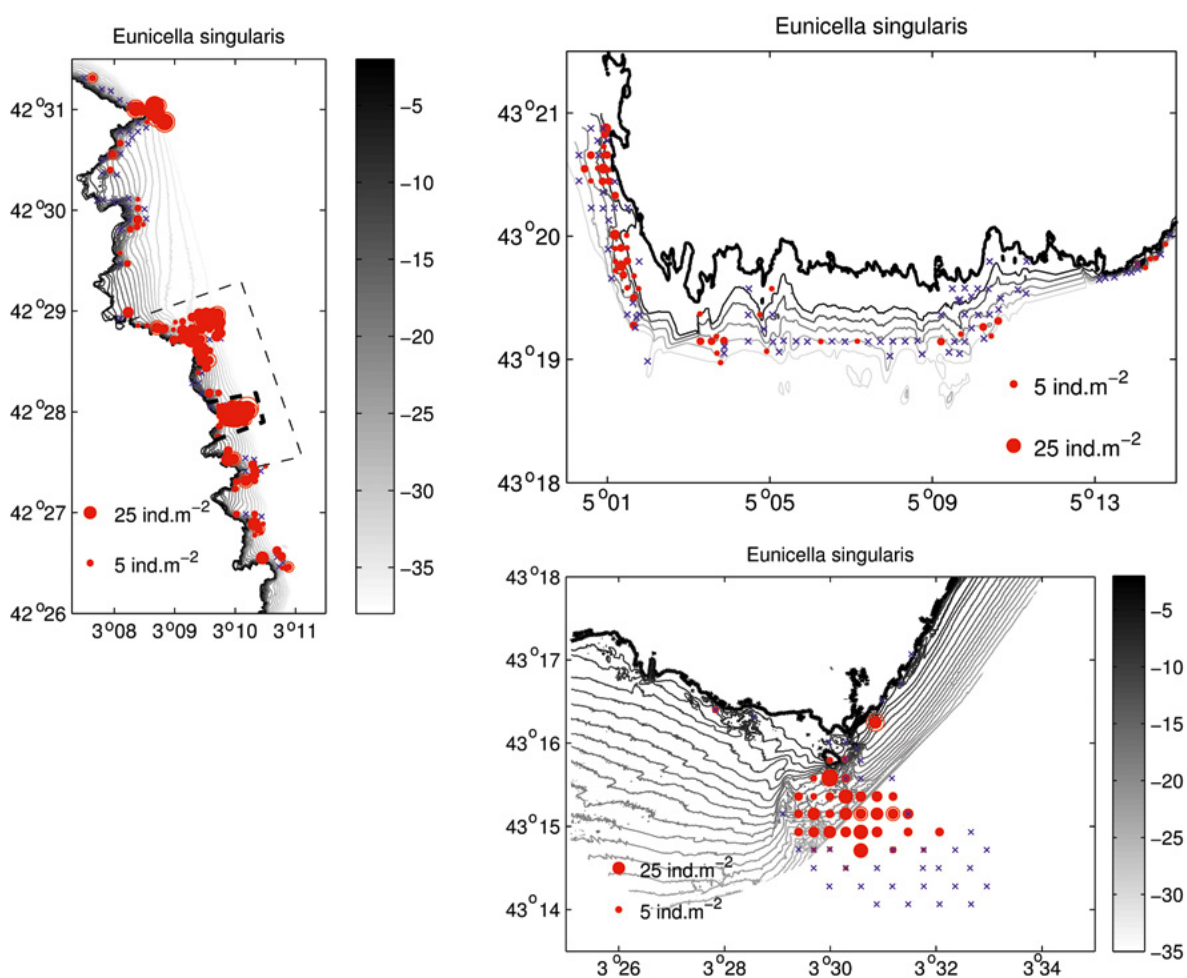
Le comportement de motilité larvaire de trois espèces de gorgonaires met en évidence que les vitesses de chute et de nage des trois espèces sont du même ordre de grandeur (mm/s), mais leur taux d'activité de nage est très différent, atteignant 80 % pour les larves de *C. rubrum* (Martinez-Quintana *et al.*, 2015), proche de 50 % pour *E. singularis* et nulle pour *P. clavata* (Guizien *et al.*, en préparation). Les larves des trois espèces présentent des taux de survie élevés durant les trois semaines suivant la ponte, conférant des capacités de dispersion à ces espèces dans la moyenne de la plupart des invertébrés benthiques.

Densités de population

Les densités de population varient sensiblement entre unités et ne reflètent pas la superficie des unités (figure 4). Par exemple, la densité de population moyenne et maximum pour *E. singularis* sur la zone 5-40 mètres de l'habitat rocheux est plus élevée sur la Côte Vermeille (6.8 col/m², 4.4 km²) qu'au Cap d'Agde (4.7 col/m², 17.1 km²) et sur le Plateau des Aresquiers (4.3 col/m², 16 km²). Les tailles des populations d'*E. singularis* sont comparables au Cap d'Agde (81 millions de colonies) et sur le Plateau des Aresquiers (69 millions de colonies). Mais deux fois plus petite sur la Côte Vermeille (30 millions de colonies) et dix fois plus petite sur la Côte Bleue, la différence de densité de population ne compensant pas la différence de superficie d'habitat (Bramanti *et al.*, en préparation). La seconde espèce la plus abondante et présente dans presque tous les sites du Golfe du Lion (trois sur quatre) est *L. sarmentosa*, avec cependant des tailles de populations au moins vingt fois plus petites (5 millions de colonies au Cap d'Agde). *P. clavata*, *E. cavolinii* et *C. rubrum* forment des populations de petite taille (inférieure à 1 million de colonies) et ces espèces n'ont été détectées que dans deux des quatre unités de l'habitat rocheux explorées (Côte Vermeille et Côte Bleue).

partie 1.1 : projets 2012 (1) De la compréhension des processus physiques influençant la structure spatiale des espèces marines à la gestion des aires marines protégées

Figure 15 : cartographie des densités de populations le long de la Côte Vermeille (à gauche, l'emprise de la RNMCB est figuré en pointillé), sur la Côte Bleue (en haut à droite, emprise du PMCB) et au Cap d'Agde (en bas à droite, AMP Agathoise)

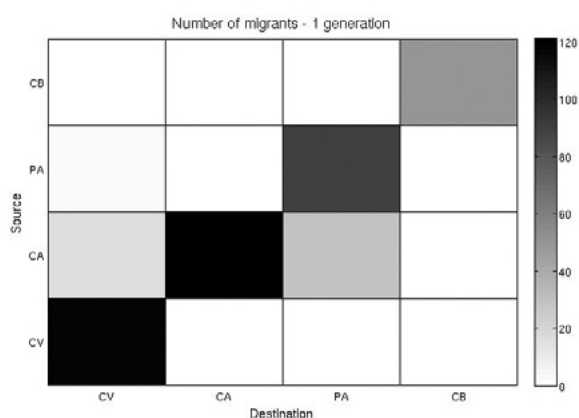


Les croix bleues montrent l'ensemble des stations de comptage. L'échelle de dégradé de gris indique la profondeur en mètres

partie 1.1 : projets 2012 (1) De la compréhension des processus physiques influençant la structure spatiale des espèces marines à la gestion des aires marines protégées

L'analyse de la similarité génétique entre les colonies génotypées dans différents sites indique la possibilité de coexistence entre des sites en isolement génétique (Côte Bleue) et des sites avec forte migration (Côte Vermeille) pour une même espèce (figure 16, Padron *et al.*, en préparation). Ce résultat semble indiquer le potentiel de dispersion d'*Eunicella singularis* sur des distances supérieures à 30 kilomètres.

Figure 16 : nombre de colonies d'*Eunicella singularis* échantillonnées dans une unité de l'habitat rocheux et identifiées comme ayant un ascendant récent dans une autre unité (BayesAss)



Le modèle spatialement explicite de méta-population structurée en classé de taille a permis d'illustrer comment la variabilité de la connectivité peut introduire un effet confondant sur la structure démographique locale pour une espèce longévive, conduisant à l'absence de certaines classes d'âge/taille dans certaines populations (Guizien and Bramanti, 2014). Le modèle de paysage génétique a mis en évidence que malgré des flux migratoires potentiels, la régulation démographique par l'espace (densité de population de saturation) conduit à une forte dérive génétique et à une structuration génétique des populations contre-intuitive : la dérive génétique est d'autant plus forte que la population est dense, conséquence d'une forte limitation du recrutement (Padron and Guizien, 2015). Une conséquence de ce résultat est une dérive génétique plus rapide dans des populations stables que dans les populations perturbées.

Connectivité et gestion

Afin de répondre aux préoccupations de conservation des gestionnaires, les premières simulations pour le cas du corail rouge suggèrent l'importance des échanges larvaires entre des sites dans et hors la RNMCB pour augmenter la résilience des populations de la Côte Vermeille, mais également une possibilité de recolonisation de la Côte Vermeille depuis les populations de la Côte Bleue, plus résiliente grâce à un taux de rétention local plus élevé. Pour le cas de la gorgone

blanche, les simulations mettent en évidence le rôle source des populations du Cap d'Agde qui se maintiennent en l'absence de connectivité par auto-recrutement et qui alimentent les autres unités rocheuses par dispersion larvaire, avec un flux plus important et conduisant à des densités de populations plus fortes dans les unités à l'ouest (Côte Vermeille et Leucate) qu'à l'est (Côte Bleue). Ces simulations suggèrent que la structure spatiale de la connectivité marine (échanges larvaires) explique une part importante de la hiérarchie de la distribution spatiale de cette espèce dans le golfe du Lion.

CONCLUSION

L'exemple d'*Eunicella singularis* dans le golfe du Lion est la première illustration de patrons concordants entre des structures spatiales génétique et démographique observées, et la structuration régionale des échanges larvaires prédite par un modèle bio-physique (Guizien *et al.*, en préparation). Cet exemple indiquant que la connectivité n'est pas uniquement espèce dépendante mais structurée par l'environnement (Padron *et al.*, en préparation) impose de réviser certaines assertions de la littérature génétique sur les capacités biologiques de dispersion des espèces lorsqu'elles ont été inférées sur la base de structuration génétique seule. En particulier on relèvera que lorsqu'elle est mise en relation avec le comportement larvaire d'*E. singularis* a priori moins dispersif que celui de *C. rubrum*, la faible similarité génétique entre les populations de *C. rubrum* n'est certainement pas à attribuer à de faibles capacités de dispersion de l'espèce mais à des filtres postérieurs à la dispersion (restriction de l'habitat, compétition intra- ou inter-spécifique) ou à des structures hydrodynamiques de rétention à petites échelles dans les cavités où l'on trouve souvent cette espèce. Du point de vue opérationnel, ce projet apporte aux gestionnaires d'AMP du golfe du Lion une cartographie de la distribution des densités spatiales de cinq espèces de gorgonaires dans chacune de leurs AMPs, obtenue avec la même méthodologie et permettant d'estimer la taille des populations sous et hors protection et une approche comparative objective : les populations de gorgone blanche sont plus grandes au centre du golfe du Lion, bien que les densités soient plus fortes sur la Côte Vermeille. Pour le corail rouge et la gorgone rouge, la distribution spatiale est très limitée, hétérogène et donc difficile à cartographier avec précision.

En termes de valorisation opérationnelle, le projet a créé l'opportunité d'une démarche pédagogique vers les gestionnaires sur la notion de connectivité marine et ses implications dans l'interprétation des suivis de terrain locaux, et sur la mise en œuvre et l'utilité de l'approche méthodologique spatialisée et aléatoire de description des biocénoses de l'habitat rocheux, permettant ensuite une modélisation projective. Ces nouvelles connaissances ont été diffusées dans les rapports d'activité des quatre AMP, ainsi que dans la presse locale et lors d'un festival d'écologie. Une action de diffusion de la méthodologie de cartographie Roc-Connect au sein du réseau MEDPAN a été menée par B. Ferrari, responsable scientifique du Parc marin du golfe du Lion (flyer,

partie 1.1 : projets 2012 (1) De la compréhension des processus physiques influençant la structure spatiale des espèces marines à la gestion des aires marines protégées

Atelier méthodologique du réseau en novembre 2014). La démonstration du modèle de méta-population du corail rouge a suscité l'intérêt des gestionnaires pour la réalisation de scénarios de gestion après la fin du projet qui demandent un accompagnement pour leur mise en œuvre. De plus, afin d'affiner la connaissance sur les périodes de reproduction des espèces marines, une action de science participative a été promue auprès des plongeurs récréatifs via la création d'un site web de collecte d'observations de reproduction d'espèces marines, qui inclut un volet pédagogique de formation à la reconnaissance des pontes : (<https://sites.google.com/site/observatoiredeusexamarin/>). Ce site web est également un moyen de communiquer sur la notion de connectivité en milieu marin.

Le projet ROC-CONNECT a créé une opportunité

d'intensifier la réflexion sur les différentes approches méthodologiques de la connectivité au travers d'actions de formation dite Workshop pour les nuls du groupement de recherche du CNRS sur la connectivité marine (GDR MarCo piloté par S. Arnaud-Haon et N. Bierne), par l'organisation d'une session spéciale de l'Aquatic Sciences Meeting (ASLO 2015 à Grenade, Espagne), par un regard sur le blog de la Société française d'écologie (publié en ligne : <http://www.sfecologie.org/regards/2014/09/18/r60-k-guizien-connectivite-marine/>) et par un dossier thématique de l'UPMC. Les résultats du projet ont été communiqués dans neuf conférences internationales et des séminaires invités dans plusieurs centres de recherche (USA, Chili, Italie et France). Enfin, deux dissertations de thèse et plusieurs publications dans des revues internationales ont été réalisées.

Bibliographie

- **Guizien K., Bramanti L.** (2014) Modelling ecological complexity for marine species conservation: the effect of variable connectivity on species spatial distribution and age-structure. *Theoretical Biology Forum*. 107 (1-2): 47-56
- **Martinez-Quintana A., Bramanti L., Villadrich N., Rossi S., Guizien K.** (2015) Quantification of larval traits driving connectivity: the case of *Corallium rubrum* (L. 1758). *Marine Biology*. 162: 309-318 Doi 10.1007/s00227-014-2599-z
- **Padron M., Guizien K.** (2015) Modelling the effect of demographic traits and connectivity on the genetic structuration of marine metapopulations of sedentary benthic invertebrates. *ICES Journal of Marine Science. Special Issue "Frontiers in seascape ecology: new approaches to investigate dynamic benthic and pelagic habitats"* doi:10.1093/icesjms/fsv158
- **Padron M., Costantini F., Baksay S., Bramanti L., Guizien K.** Genetic connectivity of the white gorgonian, *Eunicella singularis*, in the Gulf of Lions (NW Mediterranean sea). In preparation for *Molecular Ecology*.
- **Briton F., Cortese D., Marsaleix P., Guizien K.** Spatial scales in ocean circulation matters for ecological studies : the example of summer connectivity between rocky habitat units of the Gulf of Lion. In preparation for *Limnology and Oceanography*.
- **Guizien K., Briton F., Bramanti L.** The role of connectivity in *Eunicella singularis* spatial distribution in the Gulf of Lions: modelling vs observations. In preparation for *Ecography*.
- **Padron M., Bramanti L., Guizien K.** Testing the role of demography and migration on the realized connectivity within the *Eunicella singularis* metapopulation of the Gulf of Lions. In preparation for *ICES Journal of Marine Science*.
- **Bramanti L., Guizien K.** Spatial scales in population density distribution for five gorgonian species in the Gulf de Lion. In preparation for *Diversity and Distributions*.
- **Guizien K., Villadrich N., Martinez-Quintana A., Bramanti L.** Contrast in larval traits important for the connectivity and lipidic content of two gorgonian species: *Eunicella singularis* and *Paramuricea clavata*. In preparation for *Marine Biology*.

PROJET TRAJEST

TRAJECTOIRES FONCTIONNELLES D'UN GRAND ÉCOSYSTÈME ESTUARIEN : LA GIRONDE

Jérémy Lobry, C. Cazals, G. Castelnaud, C. Boschet, X. Chevilloet, G. Bouleau, C. Carter, B. Labbouz, D. Salles, Irstea, centre de Bordeaux, A. Sottolichio, université de Bordeaux

CONTEXTE ET OBJECTIFS

La démarche générale du projet se situe dans le cadre d'une analyse de la trajectoire de l'écosystème estuarien telle qu'elle peut être définie par Blandin (1986) ou telle qu'elle s'entend en écologie de la restauration (http://www.ser.org/pdf/SER_Primer_in_French.pdf) ou en écologie du paysage (Bürgi & Gimmi, 2007)

Dans ce cadre, une trajectoire écologique est celle qui décrit le chemin évolutif d'un écosystème au cours du temps. La trajectoire englobe tous les attributs écologiques – biotiques et abiotiques – d'un écosystème. Dans TRAJEST, la trajectoire de l'estuaire sera analysée en considérant différents niveaux : habitat, dynamique hydro-morpho-sédimentaire (HMS), réseau trophique et contexte socio-économique.

Dans ce contexte, ce travail s'est articulé en deux temps. Il a consisté à : (1) analyser l'histoire récente (depuis le début des années 1980) de l'écosystème afin de : (2) de fournir des éléments de perspectives s'appuyant sur la compréhension de son évolution passée. Plus particulièrement, ce projet a permis d'explorer des hypothèses théoriques d'évolution du contexte social et environnemental. Ces éléments ont nourri des réflexions spécifiques portées par le projet ANR ADAPT'EAU – coordonné par Denis Salles (Irstea) – en relation avec les acteurs locaux. En particulier, c'est dans le cadre d'ADAPT'EAU qu'ont été construits des scénarios prospectifs qui décrivent l'état, le fonctionnement et la dynamique de l'environnement fluvio-estuarien (EFE) Garonne-Gironde. La partie des scénarios relative à l'estuaire s'appuie essentiellement sur les connaissances spécifiques acquises dans TRAJEST.

L'évolution du socio-écosystème est décrite selon plusieurs angles saillants : (1) l'évolution HMS et les habitats ; (2) les communautés écologiques (avec un focus sur l'ichtyofaune) et le réseau trophique ; (3) les dynamiques socio-économiques et, en particulier, la filière pêche-aquaculture.

Dans un second temps, la démarche prospective a permis de combiner les connaissances et les expertises sur le socio-écosystème et d'imaginer quatre scénarios de évolutions possible de l'ensemble.

RÉSULTATS

L'histoire récente de l'estuaire de la Gironde est marquée, sur le plan environnemental, par des ruptures. Différentes phases peuvent en effet être décrites.

D'abord, l'évolution hydromorphosédimentaire de l'estuaire se traduit par une alternance de phases de creusement et d'envasement du système.

Figure 17 : évolution globale de la section mouillée de 1953 à 1994, en % par rapport à la section de 1953

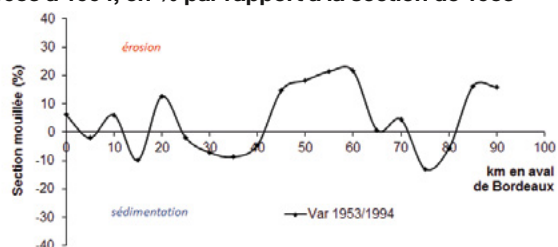
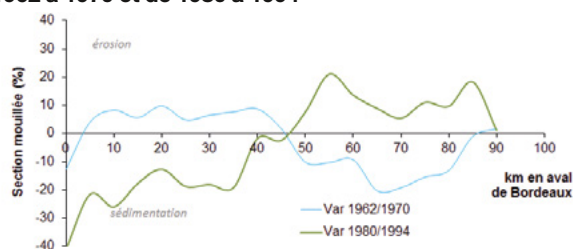


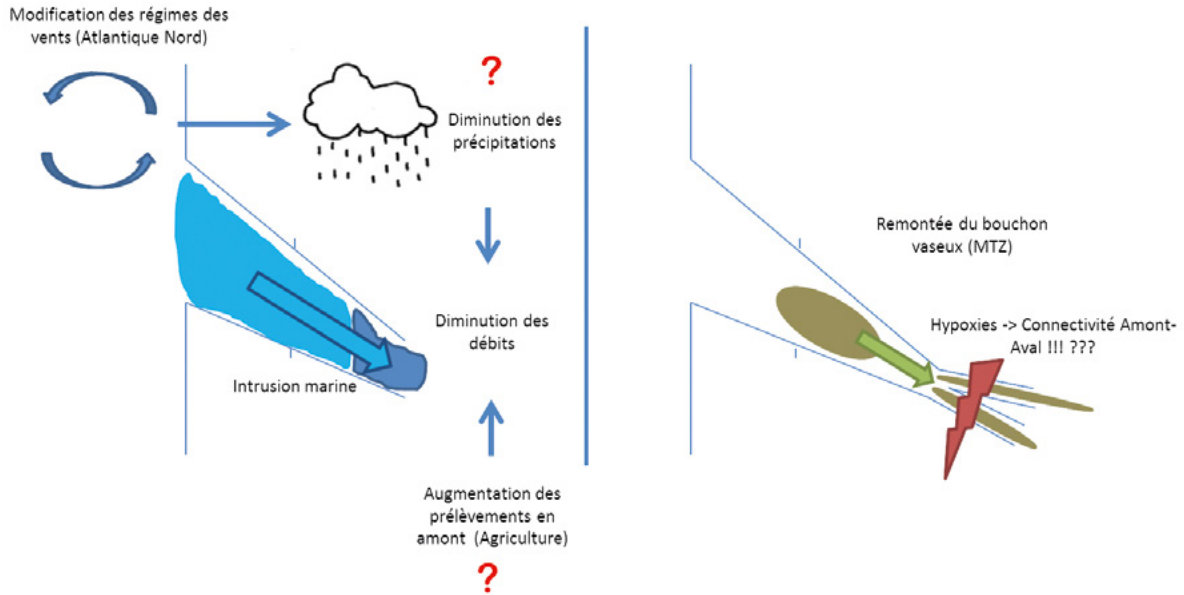
Figure 18 : évolution relative de la section mouillée de 1962 à 1970 et de 1980 à 1994



Il apparaît que le bilan net montre un creusement alors que dans le même temps, le bouchon vaseux remonte dans les fleuves. Ce constat peut être relié à l'évolution du marnage et, en particulier de l'asymétrie de l'onde de marée : le marnage a diminué dans la partie Bordeaux-Le Verdon et les processus physiques se sont déplacés dans la partie amont de l'estuaire géomorphologique. Or, le cadre morpho-sédimentaire conditionne l'environnement hydrologique, ces deux facteurs étant le support de l'habitat des communautés écologiques fréquentant la Gironde. Globalement, dans ce contexte morpho-sédimentaire auquel se conjugue une diminution tendancielle forte des débits fluviaux, il est aujourd'hui communément admis qu'un processus de marinisation est en cours dans l'estuaire de la Gironde.

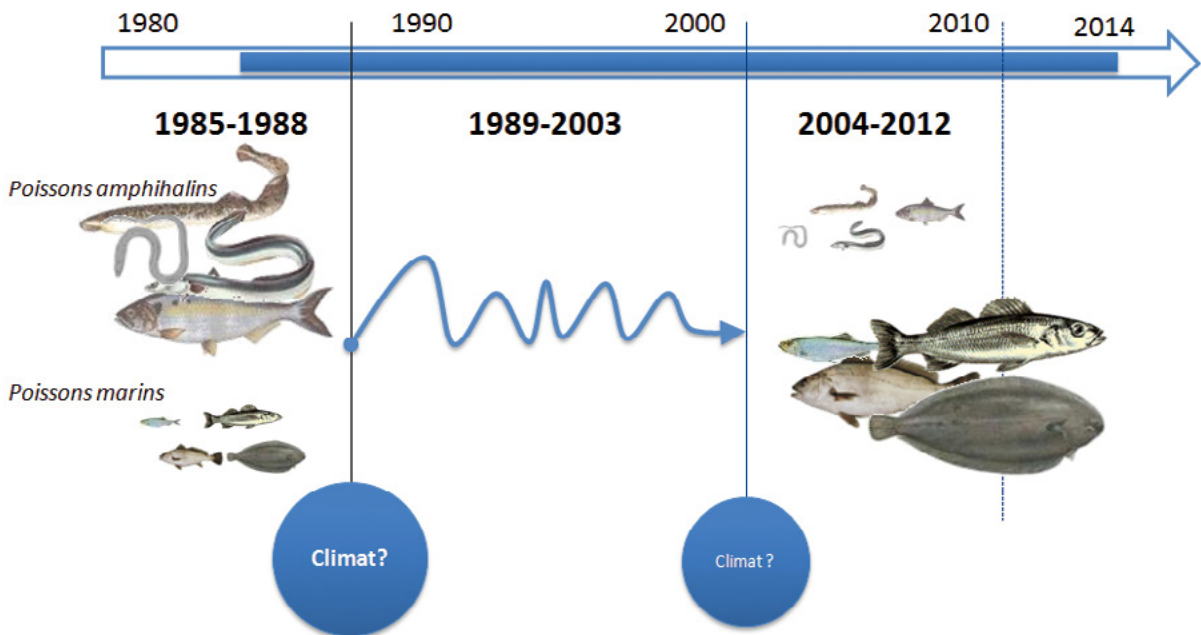
partie 1.1 : projets 2012 (1) De la compréhension des processus physiques influençant la structure spatiale des espèces marines à la gestion des aires marines protégées

Figure 19 : représentation schématique du phénomène de marinisation de l'estuaire de la Gironde



L'étude des suivis écologiques existants sur la Gironde depuis trois décennies montre, elle aussi, une succession de périodes caractérisées par des structures de communautés différentes. La biodiversité a évolué par phases.

Figure 20 : modifications de la biodiversité des poissons entre 1985 et 2014 dans l'estuaire de la Gironde.



La taille des images donne une idée de l'importance relative des groupes de poissons. Au début de la série, les poissons amphihalins sont les plus importants tandis qu'en fin de série ce sont les poissons marins

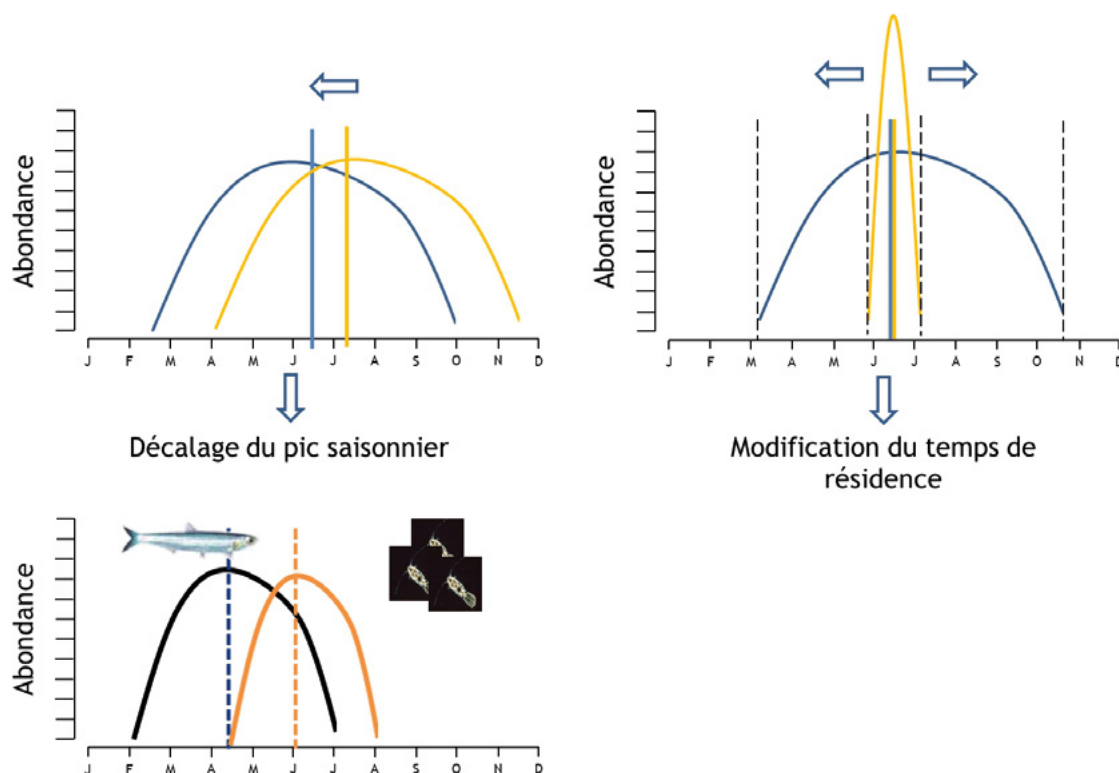
partie 1.1 : projets 2012 (1) De la compréhension des processus physiques influençant la structure spatiale des espèces marines à la gestion des aires marines protégées

Trois périodes peuvent être distinguées. Dans la partie médiane de l'estuaire, on est ainsi passé, dans la période 1985-1988, d'une structure de peuplement de poissons marquée par une abondance élevée de poissons migrateurs amphihalins à un peuplement très marin caractérisé par une abondance très élevée de juvéniles de poissons marins – notamment des anchois, des sprats ou des maigres – lors de la période récente (2004-2014). La relation poisson-environnement varie elle-même selon les périodes. Les drivers environnementaux sont tantôt des variables du climat général (NAO...) ou de l'hydrologie locale (débit...). Ceci suggère que

les processus majeurs structurant les assemblages varient. À ce stade, il semble donc que l'on puisse décrire l'évolution de l'écosystème estuarien sur les trois dernières décennies en considérant une succession de shifts écologiques semblables à des regime shifts.

À ces modifications de la biodiversité s'ajoutent des modifications significatives de la phénologie des espèces et, au final, de la capacité trophique de l'estuaire. Tout ceci conduit à s'interroger sur la qualité de la fonction de nurserie associée à ce milieu.

Figure 21 : représentation synoptique simplifiée des changements observés dans la distribution annuelle de la présence des espèces dans l'estuaire

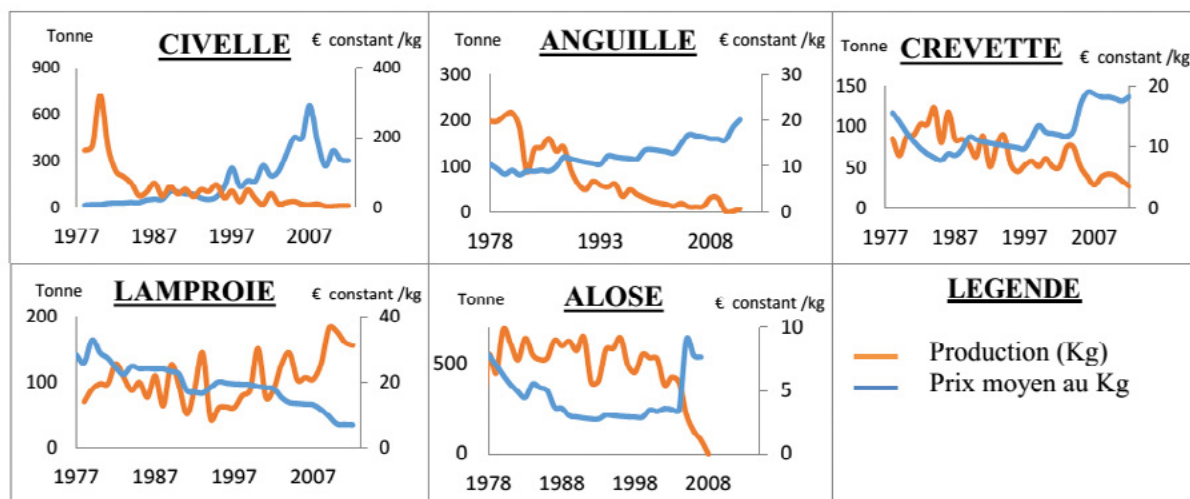


Or, plusieurs filières économiques dépendent de la qualité environnementale de l'estuaire. C'est particulièrement le cas de la filière pêche-aquaculture qui est tributaire de deux grandes sources d'influence : la dynamique de l'écosystème qui régule l'abondance des espèces, et l'environnement économique et institutionnel. Sur le long terme, les activités

de pêche et d'aquaculture sur l'estuaire de la Gironde ont été marquées par des fluctuations et vulnérabilités biologiques, environnementales et économiques, liées entre elles. Ceci a conduit à des périodes de récession plus ou moins longue, et même d'interdictions pour l'ostréiculture.

partie 1.1 : projets 2012 (1) De la compréhension des processus physiques influençant la structure spatiale des espèces marines à la gestion des aires marines protégées

Figure 22 : volatilité des prix en lien avec la production.



Source : Jeu de données Irstea (2015), calculs par auteur. Données non disponibles pour la filière ostréicole

Ainsi, dans ce contexte d'incertitude, l'enjeu est d'appréhender la teneur économique et institutionnelle des dynamiques sectorielles territoriales, de la pêche professionnelle et de l'ostréiculture dont la réimplantation après une longue période d'interdiction et d'extinction fait l'objet de débats.

Sur ces bases, la combinaison des savoirs fonctionnalistes acquis sur l'écosystème estuarien et de l'analyse socio-économique en termes d'héritage et d'innovation a permis, en lien avec le projet ANR ADAPT'EAU, de construire quatre scénarios contrastés d'évolution possible de l'estuaire intégrant : (i) ce que peuvent dire les différentes disciplines scientifiques sur le socio-écosystème ; (ii) les capacités des acteurs ; (iii) différents choix possibles. Le premier qui s'intitule « tout bouge mais rien ne change » est un scénario tendanciel qui décrit une adaptation par ajustement du socio-écosystème aux changements globaux. Dans le deuxième scénario, « Puisqu'il faut de l'eau », l'adaptation se fait par le développement de l'offre en eau. Le troisième scénario présente une dynamique d'adaptation du système via l'économie verte dans laquelle le milieu est apprivoisé par et pour ses métropoles. Enfin, dans le scénario 4, « une voix pour l'écosystème » s'élève et l'adaptation se fait par des pratiques alternatives. Les scénarios ont vocation à éclairer les politiques publiques et les décisions locales à moyen terme. Ils ont été mis en discussion avec les acteurs du territoire à l'occasion de deux journées organisées en avril et en mai 2015, respectivement sur l'estuaire de la Gironde et sur la Garonne moyenne ; puis lors du colloque de restitution finale du projet en octobre 2015. Ces trois journées ont permis porter au débat les enjeux soulevés par ces scénarios et d'animer des discussions publiques et pluralistes sur les politiques à privilégier pour s'adapter aux variations des régimes

hydrologiques sur le territoire de l'environnement fluvio-estuarien Garonne-Gironde.

CONCLUSION

Les résultats obtenus dans TRAJEST ont fait l'objet de nombreuses valorisations. En particulier, ils ont donné lieu à la rédaction de trois mémoires de M2, un mémoire de M1, une thèse et cinq publications dans des revues internationales de rang A. Ils ont, par ailleurs été diffusés auprès de la communauté scientifique au travers de huit communications orales dans des colloques internationaux.

Au-delà de la valorisation scientifique académique, les connaissances acquises lors de ce projet ont donné lieu à plusieurs valorisations publiques et à des actions de diffusion et de médiation. Au travers d'au moins six conférences, nous nous sommes adressés tantôt à un grand public tantôt à des élus et des gestionnaires. Elles ont permis à ces différents publics d'appréhender les dernières connaissances : (1) sur l'évolution à long terme de l'écosystème et de la biodiversité associée ; (2) sur l'impact du changement climatique mais aussi de la gestion hydrologique locale sur cet écosystème et sa biodiversité et (3) sur les interrogations actuelles sur la viabilité future des fonctionnalités majeures associées à cet espace. Tous ces éléments contribuent aujourd'hui à déconstruire l'image d'Épinal dont bénéficiait jusqu'à très récemment encore l'estuaire de la Gironde, celle d'un estuaire riche, préservé, avec tout son cortège de poissons migrateurs amphihalins.

Ces conférences, mais surtout la diffusion des scénarios ont vocation à éclairer les politiques publiques et les décisions locales à moyen terme.

partie 1.1 : projets 2012 (1) De la compréhension des processus physiques influençant la structure spatiale des espèces marines à la gestion des aires marines protégées

Les scénarios ont été mis en discussion avec les acteurs du territoire à l'occasion de deux journées organisées en avril et en mai 2015, respectivement sur l'estuaire de la Gironde et sur la Garonne moyenne ; puis lors du colloque de restitution finale du projet en octobre 2015. Ces trois journées ont permis

de porter au débat les enjeux soulevés par ces scénarios et d'animer des discussions publiques et pluralistes sur les politiques à privilégier pour s'adapter aux variations des régimes hydrologiques sur le territoire de l'EFE Garonne-Gironde.

Bibliographie

- **Blandin, P.**, 1986. Bioindicateurs et diagnostic des systèmes écologiques. *Bulletin d'écologie* **Tome 17, n° 4**.
- **Bürgi, M. & Gimmi, U.**, 2007. Three objectives of historical ecology: the case of litter collecting in Central European forests. *Landscape Ecology* **22**: 77-87.

partie 1.2

Projets 2012 (2)

**Recompositions et représentations
des territoires littoraux dans le temps
et dans l'espace**



partie 1.2 : projets 2012 (2) Recompositions et représentations des territoires littoraux dans le temps et dans l'espace

Les territoires littoraux, par leur mobilité physique et leur attractivité socioéconomique, constituent des milieux et des paysages fortement évolutifs dans le temps et donnent lieu à des représentations plurielles en fonction des types d'usages et des échelles d'approche. Trois des projets financés par LITEAU apportent des témoignages complémentaires quant à l'intérêt d'étudier la diversité des représentations de ces territoires.

Le projet **BLINIS** propose une approche historique de deux flèches sableuses situées en Normandie et en Vendée. Il s'agit de rendre compte de la constitution et de l'évolution de ces flèches depuis le petit âge glaciaire (XV^e-XVIII^e) caractérisé par des conditions climatiques très défavorables. L'interdisciplinarité de l'approche permet de confronter l'analyse des sédiments au cours du temps (étude stratigraphique), des cartographies anciennes, la modélisation des forçages hydrodynamiques de houles et de marée sur la même période et l'évaluation, à partir des documents d'archives, des dommages enregistrés par les populations locales. Il s'agit de comprendre sur le long terme les composantes de la mobilité du trait de côte et de la vulnérabilité de ces territoires. Les résultats témoignent de dynamiques contrastées quant au rythme plus ou moins rapide de constitution des deux flèches sableuses mais aussi de la récurrence des zones de brèches en Vendée. Ainsi, si le rôle du climat est un facteur majeur dans les deux cas, la non concordance entre la violence des tempêtes et l'importance des dégâts enregistrés témoigne du rôle des variables sociodémographiques dans la vulnérabilité des territoires. Ainsi, les enseignements de l'histoire tant physique et sédimentaire que sociale, apportent un éclairage important aux aménageurs et aux populations, relativisant la physionomie actuelle de ces espaces.

La réflexivité qu'apporte l'histoire longue sur la mobilité intrinsèque du trait de côte et des paysages littoraux démontre la relativité au cours du temps de nos représentations du littoral. Cependant, au présent aussi, ces représentations et perceptions sont plurielles en fonction notamment des types d'acteurs, de leurs usages, mais aussi de leurs positions dans le système terre-mer. Rappelons que tout territoire est un espace vécu ; la gouvernance implique de co-construire une représentation partagée du territoire.

En appui à la planification territoriale, le projet « **Dessine-moi un système terre-mer** » montre l'importance du partage des représentations entre les différents usagers dans une logique de continuum terre-mer. Ce ne sont plus des cartes historiques mais des cartes mentales, des associations de mots et une cartographie de la perception des enjeux aux dires des acteurs qui sont produits à travers des interviews d'acteurs (20 interviews préalables puis 28 interviews des parties prenantes du système Manche - Mer du Nord, dont certains membres du comité maritime de façade). Des scénarios sur : « *Comment gérer de façon soutenable les échanges et les activités humaines dans un espace mer-terre ouvert sur le monde et ses dynamiques (changements climatiques)* » ont été co-construits lors de deux séminaires de prospective tandis qu'une enquête rétrospective sur l'apport du processus a été menée auprès de neuf des participants. L'analyse témoigne de la diversité des profils

d'acteurs et des divergences et convergences de leurs représentations par rapport à ce système terre mer. Cette catégorisation des représentations permet d'anticiper des conflits éventuels et constitue un matériau intéressant pour identifier des conditions favorables à une gestion concertée. La prospective permet en effet de dialoguer sur les changements possibles et souhaitables et par là de construire une représentation commune du futur pour orienter l'action publique et aider à penser les mutations futures.

Si les représentations sont donc évolutives et situées socialement et spatialement, la question de l'échelle territoriale à laquelle ces représentations doivent être appréhendées doit aussi être interrogée pour comprendre comment s'organisent les solidarités territoriales autour du littoral et de sa gestion, quelles sont les représentations des risques climatiques et quels types de politiques d'adaptation sont perçues comme légitimes et acceptables.

Ces questions de solidarités territoriales autour de la résilience du littoral ont été étudiées par le projet **SOLTER** en vue de comprendre les conditions et les échelles de relocalisation des biens et des activités dans une logique positive et pro active de recomposition des territoires littoraux. Il s'agit d'étudier les perceptions des habitants quant aux solidarités concernant le financement de l'adaptation, la justice des modalités d'indemnisation des biens à relocaliser, mais aussi les solidarités collectives produites par les interactions institutionnelles, écologiques, économiques entre les communes littorales, rétro-littorales et celles situées dans l'arrière-pays. L'étude des préférences des habitants quant aux modalités de mise en œuvre de la relocalisation fait apparaître une volonté de commencer au plus tôt et d'avoir une approche concertée. La question de la solidarité recouvre aussi celle de la population concernée au-delà des communes littorales notamment vis-à-vis des usagers des plages et des personnes vivant des revenus du tourisme, sensibles au maintien de plages et plus souvent favorables à la relocalisation. Enfin un protocole innovant a été co-construit proposant une mise en œuvre progressive pour garder l'attractivité des territoires, faciliter le détachement des personnes vis-à-vis des biens, et réduire les coûts d'indemnisation par le recours à un démembrement de la propriété ou à des autorisations d'occupation temporaire qui permettent d'économiser 71 à 74 % des coûts.

Malgré des problématiques largement différentes, ces projets illustrent, par la reconstitution du passé et des exercices de prospective la diversité des représentations et la nécessité de co-construire des représentations communes quant aux trajectoires d'évolution et de résilience des littoraux. Comme le rappelle la stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte, il est impératif d'intégrer le caractère évolutif de ces territoires, conséquence de la mobilité naturelle du trait de côte.

PROJET BLINIS

Enregistrement sédimentaire par les barrières littorales des niveaux marins extrêmes du Petit Âge Glaciaire à nos jours : une aide à l'évaluation de la vulnérabilité des zones côtières

Bernadette Tessier¹, Clément Poirier¹, Dominique Mouz  ¹, Pierre Weill¹, Mikkel Fruergaard¹, Suzanne No  l², Emmanuel Garnier^{2,3}, Eric Chaumillon³, Xavier Bertin³, Guy W  ppelmann³

¹ UMR CNRS M2C, université de Caen Normandie

² UMR CNRS CRHQ, université de Caen Normandie

³ UMR CNRS Lienss, université de La Rochelle

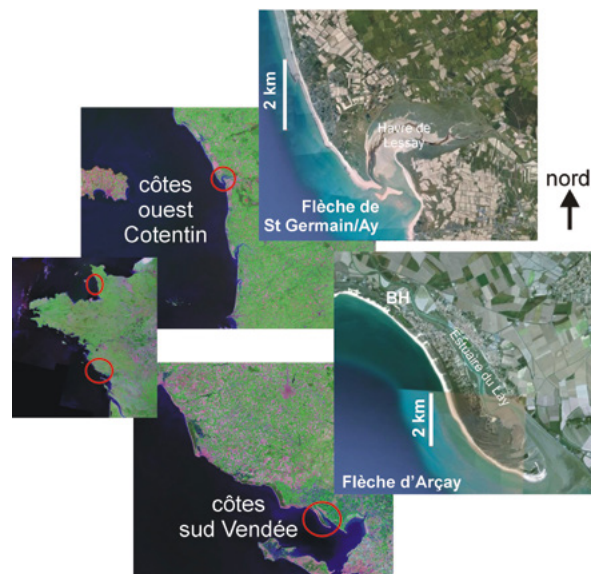
CONTEXTE ET OBJECTIF

Le projet BLiNiS avait pour objectif de reconstituer l'évolution depuis le Petit   ge Glaciaire (PAG) de deux flèches sableuses, situées respectivement en Vendée (flèche de la Belle Henriette – Pointe d'Arçay) et en Normandie (flèche de Saint-Germain-sur-Ay). Le PAG (XV-XVIII^e) est reconnu comme une période de détérioration climatique caractérisée par une intensification de l'activité des tempêtes. Nous proposons donc de comprendre comment une barrière littorale sableuse se comporte sous l'impact d'événements extrêmes, et définir précisément quels sont les facteurs qui contrôlent ce comportement à l'échelle pluri-centennale et pluri-décennale.

MÉTHODE ET RÉSULTATS

Les travaux du projet BLiNiS se sont appuyés sur une approche originale visant à étudier l'évolution de flèches sableuses en croisant trois types de reconstitution afin d'imbriquer l'échelle   v  nementielle (tempêtes) et le contexte climatique global (  volution pluri-séculaire), tout en considérant le contexte historique (sociétal). Afin de discriminer le rôle respectif de la houle et la marée, nous avons développé cette approche au travers de l'étude comparative de deux flèches situées dans des contextes hydro-climatiques différents : 1) La **flèche de Germain-sur-Ay** (ou Pointe du Banc) sur la Côte ouest du Cotentin en Normandie, et 2) la **flèche d'Arçay** (et flèche de la Belle Henriette) le long de la côte sud-vendéenne (*figure 23*). Ces deux flèches évoluent sous un régime relativement comparable de houles, dont l'énergie est qualifiée de faible à modérée. Par contre, le régime tidal diffère significativement : le marnage maximum est de l'ordre de 13 mètres en Normandie (régime dit hypertidal) tandis qu'il n'atteint que 6 mètres sur le site vendéen (régime macrotidal).

Figure 23 : localisation des deux flèches sableuses étudiées.



En Vendée, la flèche d'Arçay comprend au nord-ouest le secteur de la Belle Henriette (BH), son extrémité sud-est étant nommée la Pointe d'Arçay. En Normandie, l'extrémité sud-est de la flèche de Saint Germain-sur-Ay est appelée la Pointe du Banc

Les trois types de reconstitution menés pour l'étude de l'évolution « rétrospective » des deux flèches sont :

Une reconstitution stratigraphique basée sur des données de prospection par géoradar (qui permet d'obtenir des données sur la géométrie interne des flèches, *figures 3 et 4*) et de vibrocarottage (pour analyser l'évolution des faciès sédimentaires, et obtenir des datations). Cette étude a été complétée par l'analyse et la comparaison de cartes anciennes et photographies aériennes pour définir l'évolution des flèches au cours des derniers siècles et dernières décennies ;

Une reconstitution des conditions hydrodynamiques. Les climats de houles ont été reconstitués par simulations rétrospectives à l'aide d'un modèle régional de vagues pour l'Atlantique Nord ; les courbes de marée et temps de submersion ont été reconstituées à partir d'une analyse des enregistrements marégraphiques disponibles dans les secteurs étudiés pour tenir compte des effets de géographie locale. Cette analyse permet d'extraire les composantes harmoniques, et de reconstituer les niveaux d'eau sur une période historique pour laquelle il n'y a pas d'observation ;

Une reconstitution historique. L'objectif était d'analyser à partir de l'étude d'archives les témoignages et réactions des populations locales face à des événements majeurs ayant affecté le littoral. En Normandie, cette analyse a été menée par Suzanne Noël pour la période allant de 1600 à 1950. En Vendée, l'étude a porté sur la période de 1500 à 2010 (Master 2 de Nathalie Giloy, dir. T. Sauzeau & E. Chaumillon).

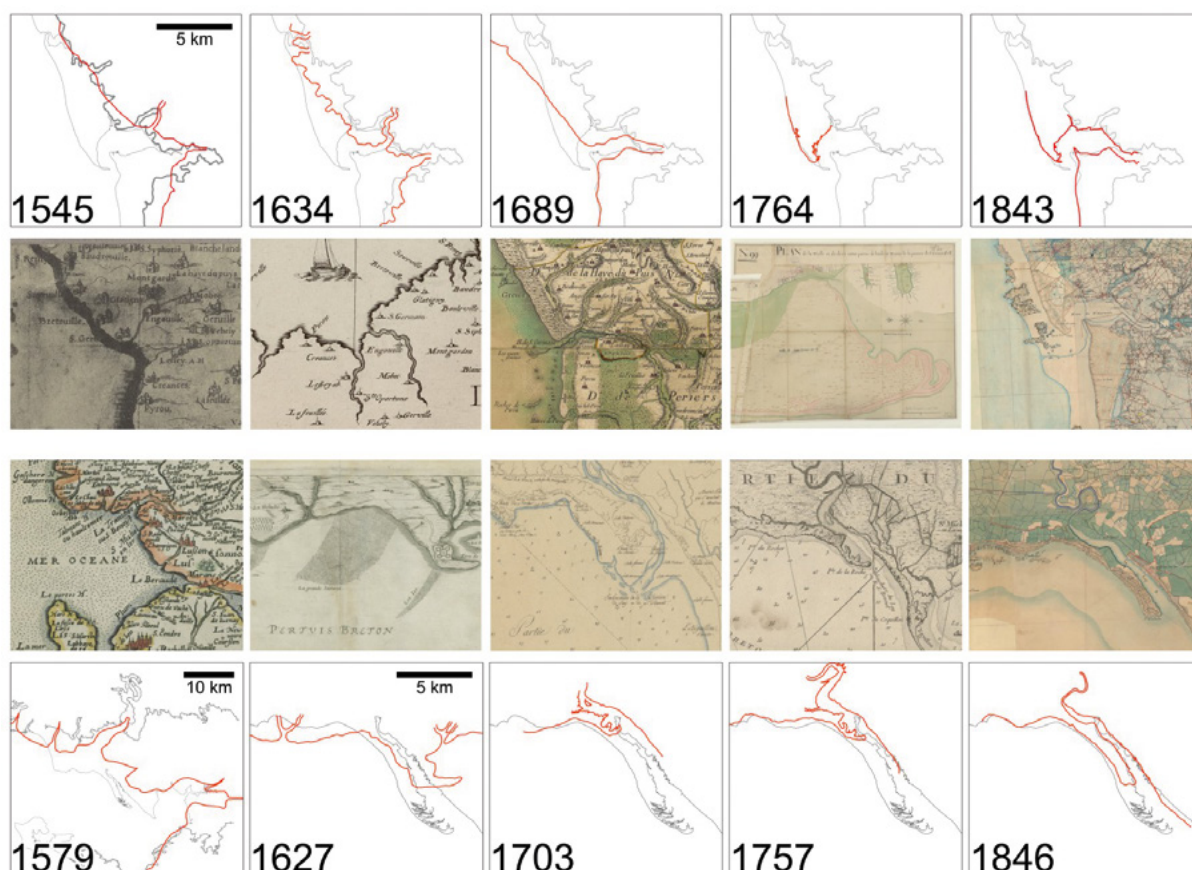
partie 1.2 : projets 2012 (2) Recompositions et représentations des territoires littoraux dans le temps et dans l'espace

**Chronologie d'évolution des flèches :
une apparition synchrone à la fin du XVII^e siècle**

Les résultats issus de l'analyse des cartes anciennes nous indiquent que l'apparition des deux flèches est synchrone, se réalisant entre la fin du XVII^e et le tout début du XVIII^e siècle,

soit pendant le PAG (*figure 24*). Dans les deux secteurs, sur les cartes les plus anciennes datant de la moitié du XVI^e siècle ou début du XVII^e, aucune des flèches n'est clairement identifiable, les estuaires semblant largement ouverts, notamment sur la côte ouest du Cotentin.

Figure 24 : cartes anciennes et dates clés de l'évolution des flèches de Saint-Germain (en haut) et d'Arçay (en bas) depuis le XVI^e siècle (en rouge, trait de côte à la date indiquée ; en noir, trait de côte actuel).



Les flèches apparaissent de façon globalement synchrone entre la fin du XVII^e et le début du XVIII^e siècle (à noter que la flèche visible sur la carte de 1627 en Vendée correspond à la flèche de l'Aiguillon aujourd'hui située au sud de la zone d'étude).

Les datations 14C obtenues sur les carottes de sédiments confirment cette chronologie, en particulier pour la flèche d'Arçay dont le début (l'enracinement) daté de la fin du XVII^e siècle, et situé dans la zone de la Belle Henriette (*figure 23*) repose sur des sédiments sableux de plage datés entre 500 et 400 ans cal. BP (soit XVI^e siècle environ). L'évolution de la flèche de Saint-Germain en Normandie est plus complexe. Les datations et les carottes montrent qu'une première étape de construction sableuse (estran sableux) est initiée aux environs du X^e siècle. La partie inférieure des carottes est formée de sédiments déposés dans un environnement

estuarien protégé à ouvert (embouchure) et surmontée via une surface d'érosion par des sédiments sableux attribués plutôt à de l'estran (plage). Cette surface érode les sédiments fins estuariens datés autour de 1100 ans cal. BP (soit IX^e siècle) et pourrait marquer l'impact de la crise climatique précédant celle du Petit Âge Glaciaire et reconnue dans des études antérieures dans le nord de la baie du Mont-Saint-Michel (Billeaud *et al.*, 2009) où son impact est daté entre 1200 et 1000 ans cal. BP. Les sédiments plus fins qui surmontent parfois ce premier niveau sableux indiqueraient le retour à des conditions plus calmes. Au sommet, de nouvelles surfaces

partie 1.2 : projets 2012 (2) Recompositions et représentations des territoires littoraux dans le temps et dans l'espace

d'érosion apparaissent surmontées de sables interprétés comme des dépôts de haute plage. Cette partie supérieure des carottes correspond à la mise en place de la barrière au PAG.

Après leur apparition synchrone à la fin du XVII^e siècle, l'évolution des deux flèches diffère nettement (*figure 24*). En Normandie, la flèche se construit très rapidement et acquiert la morphologie générale qu'on lui connaît aujourd'hui dès la moitié du XVIII^e siècle. Seule son extrémité (la Pointe du Banc) évolue activement sous l'influence de la dynamique de la passe tidale du Havre de Lessay (*figure 23*). En Vendée, la construction de la flèche est beaucoup plus progressive. Elle s'allonge régulièrement parallèlement au trait de côte par adjonction de crochons de plage successifs. Cet allongement se poursuit encore de nos jours.

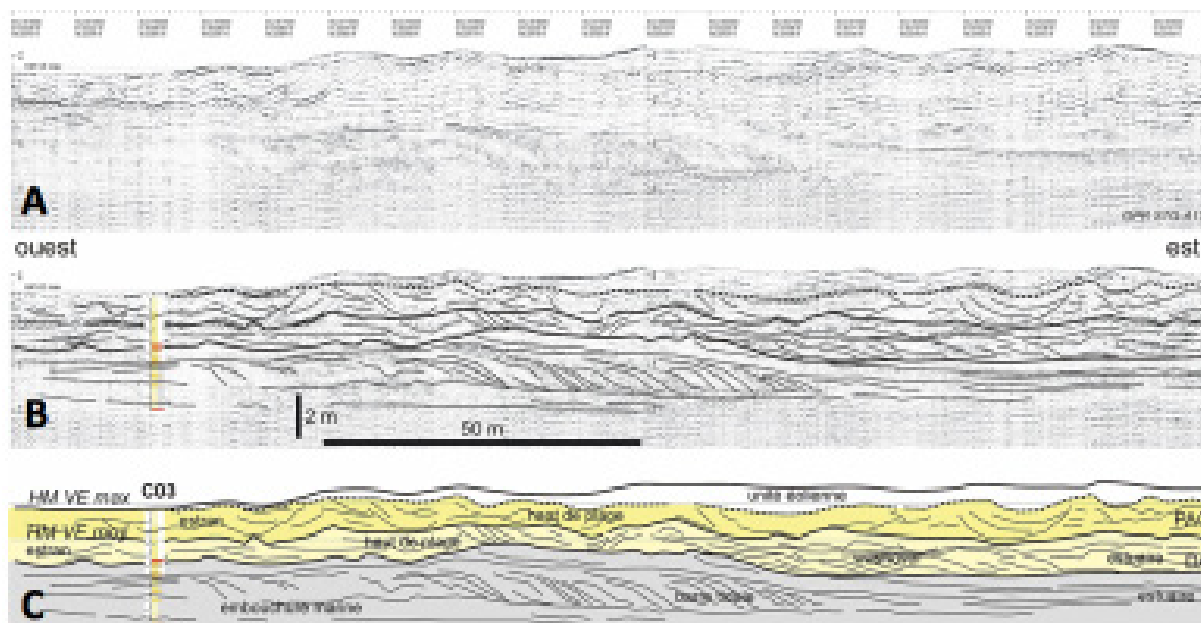
Architecture interne : deux systèmes très différents

Les évolutions contrastées constatées avec les cartes anciennes reflètent un mode de construction des deux flèches très différent. Les données de géométrie interne (acquises

avec un géoradar ou GPR) confirment ces deux types de construction, opposant un mode d'empilement sédimentaire vertical très amalgamé dans la flèche de Saint-Germain à un mode en accrétion latérale dans la flèche d'Arcay.

Compte tenu de la construction extrêmement rapide de la flèche de Saint-Germain et de l'enregistrement stratigraphique qui en résulte il est impossible de préciser quels ont été les impacts de tempêtes extrêmes au cours du PAG sur son évolution morphologique. Nous n'avons pas détecté dans la flèche des objets sédimentaires qui refléteraient ces impacts (brèches, lobe de submersion par exemple). Les profils GPR indiquent que la partie supérieure de la flèche comporte une multitude de surface d'érosion sans bonne continuité latérale. Cet ensemble est interprété comme un haut de plage soumis à l'action des vagues et houles de tempête (spits, bermes, washover). Il surmonte via une surface d'érosion un ensemble plus plat, contenant localement des corps progradants (dunes ou bancs tidaux, barres de swash ?), et interprété comme un estran sableux tidal ou une embouchure estuarienne (*figure 25*). (Fruegaard *et al.*, en cours de rédaction, soumission à *Sedimentary Geology*)

Figure 25 : extrait d'un profil GPR montrant l'architecture interne type de la flèche de Saint-Germain (Normandie).



A : profil brut ; B : profil habillé (réflecteurs radar dessinés) ; C : profil interprété (cette interprétation est basée sur l'architecture et les données de carottage et de datations 14C).

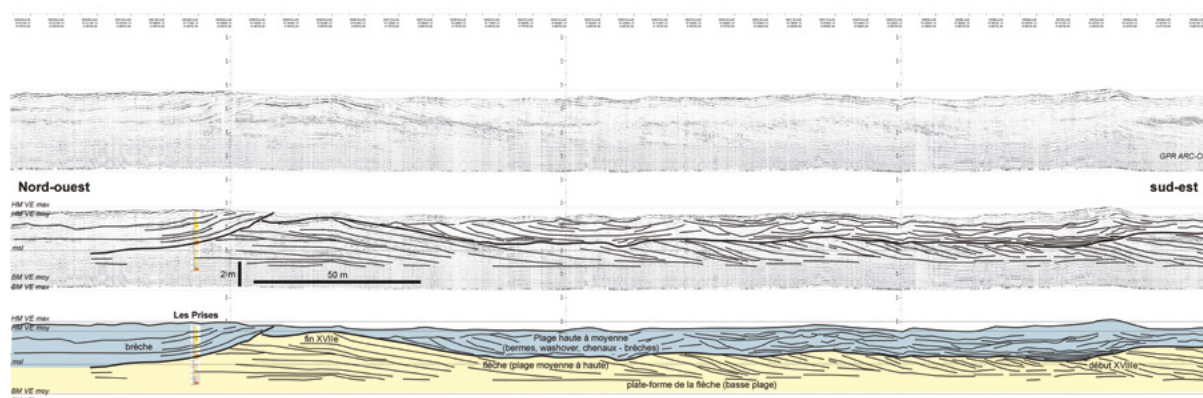
PAG : Petit Âge Glaciaire ; DA : Dark Age pour nommer la crise climatique précédant le PAG ; HM : haute mer ; VE : vive-eau.

partie 1.2 : projets 2012 (2) Recompositions et représentations des territoires littoraux dans le temps et dans l'espace

En Vendée, le mode de construction régulière en accrétion latérale permet de distinguer les différentes phases d'évolution de la flèche, et d'identifier des signatures sédimentaires d'impact de tempêtes (notamment des brèches). Les données géoradar dans le secteur de la Belle Henriette permettent de caractériser l'architecture de la flèche ancienne de la fin du XVII^e-XVIII^e siècle. Ces données montrent que la flèche est constituée par un ensemble très bien défini qui progresse régulièrement vers l'est à sud-est. Cet ensemble est surmonté via une surface d'érosion plus ou moins prononcée par une unité dont l'architecture montre de nombreuses surfaces d'érosion à géométries ondulées (figure 26). Ces surfaces sont

interprétées comme des chenaux, et parmi eux, les plus incisés, comme des brèches et/ou les chenaux et passes tidales de l'estuaire du Lay situé en arrière. Enfin, des corps sédimentaires de haut de plage (spits, washover, bermes) sont également préservés dans cet ensemble supérieur qui enregistre le fonctionnement morpho-dynamique du haut de la flèche (haut de plage, dune, arrière-dune) sous l'action des vagues et houles de tempête (submersion, formation de brèches, érosion estuarienne) avant le début XX^e siècle, période à partir de laquelle la nouvelle flèche de la Belle Henriette se développe et « fossilise » ce trait de côte jusqu'alors très actif.

Figure 26 : extrait d'un profil GPR montrant l'architecture interne type de la flèche d'Arcay (sud Vendée) au niveau de son enracinement, c'est-à-dire au début de son développement à la fin du XVI^e siècle (les dates fin XVII et début XVIII sont positionnées à titre indicatif pour illustrer le déplacement en accrétion latérale de la flèche).



A : profil brut ; B : profil habillé (réflecteurs radar dessinés) ; C : profil interprété (interprétation basée sur l'architecture et sur les données de carottage et de datation 14C). HM, BM : haute mer, basse mer ; VE : vive-eau.

En Normandie, nous attribuons la construction que l'on peut qualifier de « soudaine » à de très forts apports sédimentaires, sans doute principalement cross-shore (perpendiculaires au trait de côte), associés aux conditions tempétueuses de cette époque centrale du PAG. D'ailleurs, les archives historiques de l'époque font état en permanence du problème de « sables volages », reflétant une dynamique éolienne exacerbée, et soulignant ainsi les vastes apports et étendues de sable. En Vendée, les flux sédimentaires sont plus modérés, et surtout réguliers, en lien depuis le début de l'édification de la flèche avec des conditions modales de houles engendrant un transport presque exclusivement long-shore (parallèles au trait de côte). Nous proposons que cette différence de quantité d'apports sédimentaires entre les deux sites est principalement liée au régime tidal. En Normandie, le régime hypertidal conduit au développement d'estrans sableux très vastes permettant la production d'apports volumineux. Les estrans étant moins développés sur le site vendéen macrotidal les apports sont moindres (Tessier *et al.*, en cours de rédaction, soumission à *Sedimentary Geology*).

Facteurs d'évolution pluri-centennale des deux flèches : le rôle prépondérant du climat

L'apparition synchrone des deux flèches pendant le PAG indique que le forçage par le climat est dans les deux cas un facteur de contrôle majeur.

En Normandie, le forçage climatique de l'évolution de la flèche de Saint-Germain depuis le PAG ne peut pas être décrypté précisément, principalement en raison de la rapidité du développement, et des enregistrements sédimentaires qui en résultent. Par contre, l'ensemble des données stratigraphiques permet de resituer la construction de cette flèche dans le cadre de la variabilité climatique globale du dernier millénaire.

En Vendée, le mode très dominant de construction en accrétion latérale a permis de préserver au sein de la flèche toute son évolution depuis son apparition. Ainsi le couplage entre les données stratigraphiques (GPR, sédimentologie, datations) et l'analyse des cartes anciennes montre que la flèche a progressé depuis son initiation à une vitesse régulière

partie 1.2 : projets 2012 (2) Recompositions et représentations des territoires littoraux dans le temps et dans l'espace

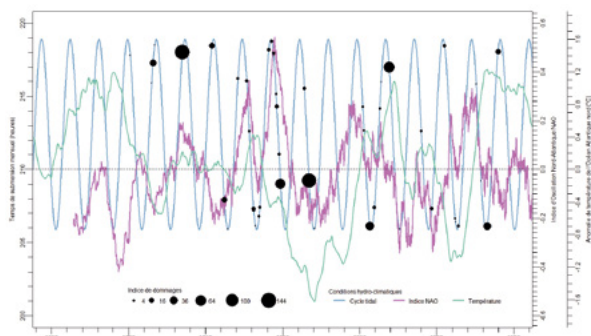
de l'ordre de 25 mètres par an. Dans le détail, l'analyse met en évidence les faits majeurs suivants : trois périodes d'une durée d'environ 10-20 ans se distinguent nettement depuis le XIX^e siècle par une vitesse d'allongement nettement supérieure à la moyenne. La confrontation avec les données hydro-climatiques démontre que ces accélérations sont clairement associées à un forçage climatique global (du domaine nord-atlantique) couplant houles globalement plus énergétiques et indices NAO positifs (Poirier *et al.*, soumis à Geomorphology).

L'évolution du littoral et la perception par les populations : le poids du contexte socio-économique

Les études menées sur les archives historiques ne montrent pas de similitudes entre les deux secteurs concernés (Normandie et Vendée) en termes d'occurrence d'événements majeurs.

Par ailleurs, l'analyse très poussée réalisée sur les archives normandes pour la période s'étendant du XV^e au XIX^e siècle (thèse de Suzanne Noël) a permis d'établir une échelle d'indices de dommages. La comparaison de cette échelle avec les conditions hydro-climatiques (marées, houles) ne révèle pas de corrélation (figure 27), démontrant ainsi que le contexte socio-économique et politique sur la perception et la réaction des populations locales face aux événements météo-marins impactant le littoral, ainsi que sur la quantité et la qualité des archives, a finalement un poids prépondérant.

Figure 27 : confrontation entre les indices des dommages



Confrontation entre les indices des dommages (points noirs) reconstruits à partir des données historiques (thèse Suzanne Noël) et les paramètres hydro-climatiques (NAO en violet ; les temps de submersion liés au cycle tidal nodal - 18,6 ans ; la température). Les indices ont été positionnés volontairement sur la courbe « tidale » (courbe de temps de submersion) pour une meilleure visualisation (plutôt qu'au même niveau horizontal sur l'axe central).

Aucune corrélation ne peut être établie

CONCLUSION

Les points principaux suivants peuvent être soulignés à l'issue du projet BLiNiS.

- Les deux flèches étudiées apparaissent de façon synchrone, entre la fin du XVII^e et le début du XVIII^e siècle, période centrale de la crise climatique du Petit Âge Glaciaire (PAG).
- Après leur apparition, les deux flèches évoluent différemment. La flèche d'Arcay en Vendée s'allonge progressivement parallèlement au trait de côte, allongement encore en cours ; la flèche de Saint-Germain en Normandie acquiert une morphologie proche de celle d'aujourd'hui en l'espace d'une cinquantaine d'années. Ces deux modes d'évolution sont enregistrés au travers d'une architecture interne singulière pour chaque flèche.
- Le forçage climatique est le facteur de contrôle dominant de l'évolution des flèches, en lien avec la variabilité climatique de l'océan nord-atlantique. Le rôle de cette variabilité climatique globale a pu être mis en évidence à plusieurs échelles, au cours du dernier millénaire pour la flèche normande dont les prémices de la construction sont associées à la crise climatique précédant le PAG. Au cours des derniers siècles pour les deux flèches dont l'apparition est associée au PAG ; depuis le XIX^e siècle pour la flèche d'Arcay dont la variabilité pluri-décennale à centennale de la vitesse d'allongement est contrôlée par les fluctuations des modes de circulations atmosphériques du domaine Atlantique nord.
- Le rôle de la marée est mineur en Vendée en dépit du caractère macrotidal du site. La dynamique tidale contrôle cependant la migration des chenaux estuariens dont certains peuvent déterminer la position des brèches (érosion en arrière de la flèche). En Normandie, le rôle de la marée peut être considéré comme majeur : la soudaineté de la construction de la flèche pendant les conditions tempétueuses du PAG ne peut s'expliquer que par des apports sédimentaires massifs. Les très vastes estrans sableux de marée soumis aux forts vents du PAG ont fourni ces apports.
- Les dommages que les événements majeurs historiques ont occasionné dans les régions littorales des deux flèches sont difficilement corrélables avec des conditions météo-marines réelles, soulignant le poids du contexte socio-politique dans la gestion du littoral.

partie 1.2 : projets 2012 (2) Recompositions et représentations des territoires littoraux dans le temps et dans l'espace

Les connaissances acquises au cours du projet BLiNiS ont été et vont être transmises grâce à plusieurs actions.

- Les principaux résultats ont déjà été présentés à des congrès scientifiques (congrès français de sédimentologie 2013, 2015 ; Tidalites 2015, séminaire annuel du ROLNP 2015, etc.).
- Plusieurs articles ont été soumis ou sont en cours de rédaction pour publication des revues scientifiques internationales.

Poirier et al. (2017). Decadal changes in North Atlantic atmospheric circulation patterns recorded by sand spits since 1800 AD. *Geomorphology*, 281, 1-12 (sur l'évolution de la flèche d'Arçay depuis le XVIII^e siècle, incluant une comparaison avec d'autres flèches sur les côtes est et ouest atlantiques).

- *Poirier et al.* Climate control on late Holocene high-energy sedimentation along coasts of the northeastern Atlantic Ocean. Publication soumise à *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* en avril 2017 (en attente de retour des reviews).
- *Fruergaard et al.* Morphology, stratigraphy and architecture of a hypertidal recurved barrier spit, NW France: Indication for sudden increased littoral drift during the Little Ice Age. Article soumis à *Sedimentary Geology* en mai 2017 (en attente de retour des reviews).
- *Tessier et al.* Sandspit evolution in macrotidal settings. A comparative study (article toujours en cours de rédaction pour une soumission à *Sedimentary Geology* d'ici fin 2017). Cette synthèse a fait l'objet de la présentation à la conférence internationale Tidalites 2015 et à la 25^e réunion des sciences de la Terre en octobre 2016.
- *Chaumillon et al.* Sur la récurrence des brèches et l'héritage des morphologies antérieures sur leur localisation (en cours de rédaction).
- *Noël et al.* Sur les résultats de l'étude historique en Normandie. Article en cours de rédaction (en cours de rédaction).

En termes de valorisation opérationnelle, plusieurs actions ont et vont être réalisées.

En premier lieu, de nombreuses présentations pour le grand public ont été réalisées, notamment sur les études des archives historiques par Suzanne Noël. Deux conférences ont également été données lors de l'escale à La Rochelle et à Caen du Train des messagers du climat dans le cadre de la tenue de la COP21.

Parallèlement à ces actions de « vulgarisation » nous avons prévu lorsque les résultats seront en grande partie publiés, que des panneaux d'explications soient installés sur site. La conception et l'installation de ces panneaux ont été réalisées en étroite concertation avec le Conservatoire du Littoral (contact : Sandrine Vasseur sur l'antenne de Caen) et autres organismes (ONF, LPO ; contact avec le conservateur de la réserve de la Belle Henriette). La pose des panneaux sera associée à des interventions de type « conférences grand public » que nous voulons organiser sous l'égide des collectivités (mairies notamment). Ces conférences, adaptées à chacun des deux sites étudiés, permettront de présenter le projet BLiNiS, les résultats principaux acquis, et les panneaux et leur contenu. Ce dernier visera en particulier à montrer le caractère très évolutif du littoral à différentes échelles de temps.

Sur le site normand nous insisterons sur la soudaineté de la construction de la flèche, en lien avec le climat du Petit Âge Glaciaire, et sur l'aspect historique qui permettra d'aborder la question de la vulnérabilité.

Sur le site vendéen, les panneaux montreront comment la flèche a évolué depuis le début du XVIII^e siècle, et où son extrémité se trouvait successivement. Par ailleurs, les résultats démontrant que les brèches tendent à se produire toujours aux mêmes endroits seront clairement illustrés et cela notamment pour expliquer la stratégie d'adaptation de la réserve de la Belle Henriette en cours de discussion aujourd'hui.

PROJET DESSINE-MOI UN SYSTÈME MER-TERRE

Fabienne Kervarec, ACTeon
Charlotte Michel, Usages et Territoire
Brice Trouillet, université de Nantes

CONTEXTE ET OBJECTIFS

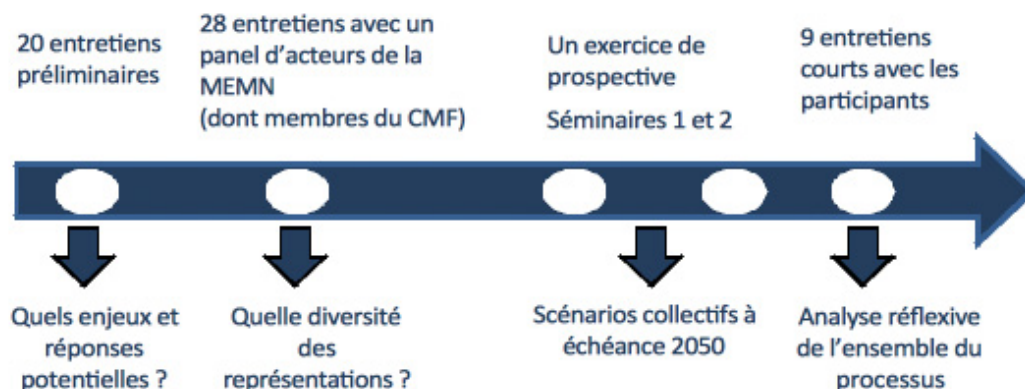
Les nombreux processus de planification et stratégies « mer », « terre » ou « littoraux » s'entrecroisent autour d'échelles spatiales et temporelles différentes et chacun aborde une partie plus ou moins « globalisante » de la relation entre activités anthropiques et écosystèmes. Ceci soulève des questions d'appréhension et de représentation partagée par les acteurs de ces systèmes mer-littoral-terre complexes et multidimensionnels. Trop peu croisées, les représentations individuelles pourraient freiner l'élaboration de visions co-construites et stratégies partagées, limiter les synergies entre processus élaborés d'une manière indépendante pour chaque composante du système mer-littoral-terre, et remettre en cause l'efficacité de l'action publique dans ce domaine. Dans ce contexte, les principaux objectifs du projet sont les suivants :

- appréhender la diversité des représentations des acteurs du système mer-terre ;
- mener un exercice exploratoire de prospective pour l'ensemble du système mer-terre ; étudier les changements potentiels des représentations résultant de cet exercice ;
- développer et appliquer des méthodes et outils spécifiques d'appui à la démarche ;
- dégager des enseignements opérationnels dans la perspective de stratégies d'intervention co-construites sur l'espace mer-terre.

RÉSULTATS

Le projet s'inscrit à la fois dans le champ du soutien aux politiques publiques et dans une approche participative. L'implication des acteurs de la façade Manche Est – Mer du Nord, notamment de membres du conseil maritime de façade au sein comité de pilotage du projet, mais aussi en tant que participants aux entretiens et aux séminaires de prospective permet d'assurer l'articulation entre recherche et monde de la décision. La *figure 28* met en lien les principales questions soulevées par le projet et les étapes de consultation des acteurs.

Figure 28 : le projet « Dessine-moi... » : principales étapes et consultations des acteurs



partie 1.2 : projets 2012 (2) Recompositions et représentations des territoires littoraux dans le temps et dans l'espace

La méthodologie retenue s'est articulée autour de trois phases principales.

Dans un **premier temps**, afin de préparer la phase exploratoire, les outils de recueil et d'analyse et l'approche prospective ont fait l'objet d'un travail approfondi. Ce travail s'est fondé sur une revue de littérature, sur une vingtaine d'entretiens auprès d'acteurs de l'espace mer-terre en France (métropole), puis sur une analyse des outils mobilisables pour apprécier les représentations socio-spatiales.

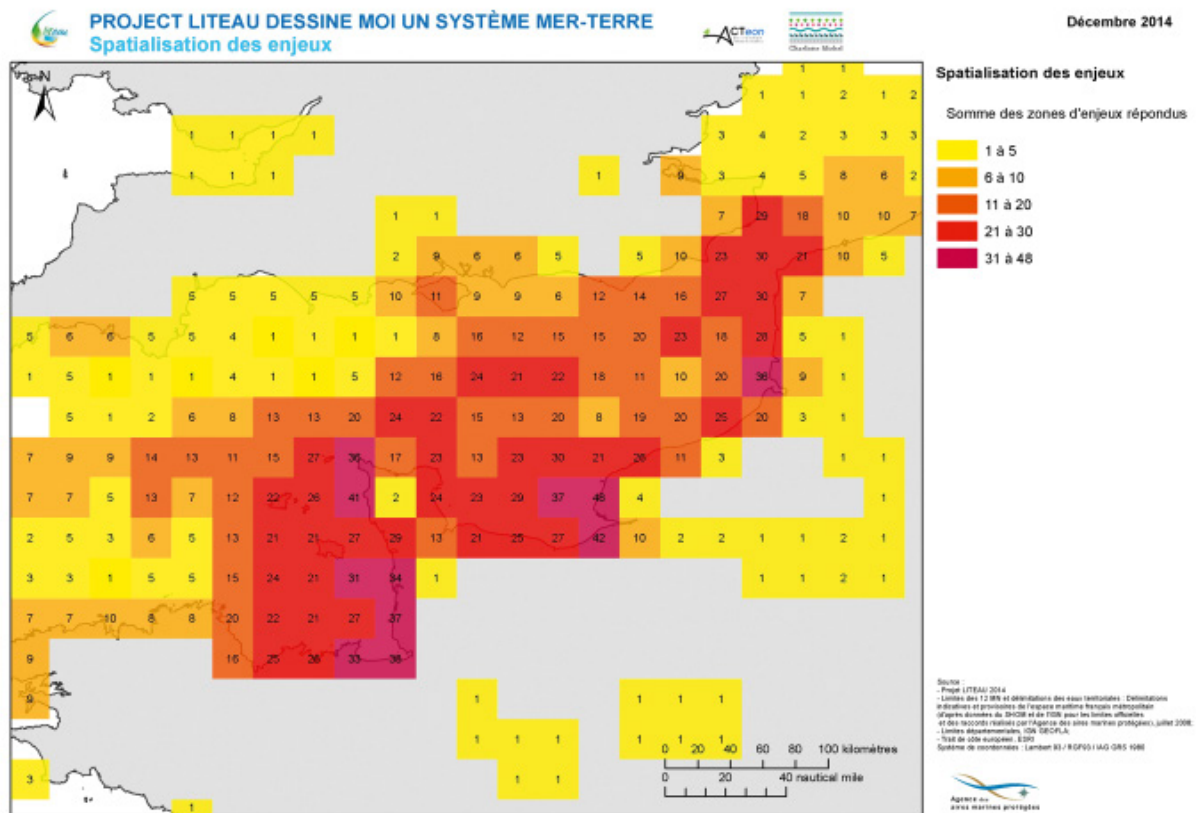
Au cours de la **deuxième phase**, cœur du projet, le travail exploratoire mené sur la façade Manche Est – Mer du Nord a consisté parallèlement : (1) à identifier les représentations des acteurs du système mer-terre et en étudier l'évolution et ; (2) à élaborer et mettre en œuvre l'exercice de prospective.

Afin de recueillir les **représentations socio-spatiales**, des entretiens semi-directifs ont combiné trois outils, selon une logique en entonnoir : (1) la carte mentale, produisant une représentation libre de l'espace correspondant aux activités

de l'interviewé ; (2) l'association libre d'idées, association de termes à partir de la carte mentale ; (3) la carte d'enjeu, représentation de « zones à enjeux » sur un fond cartographique. Ces entretiens ont été menés auprès d'un panel diversifié d'une vingtaine d'acteurs de la façade.

Le matériau recueilli a permis de construire des « profils d'acteurs », à partir des messages clés des entretiens, des perspectives adoptées et des objets mentionnés par les personnes interviewées. L'approche visait à expliciter différentes manières d'appréhender l'espace et le système mer-terre et à en tirer les implications dans le cadre des processus décisionnels associés à cet espace. Ce travail sur les profils a été complété par une analyse et un traitement cartographique des cartes d'enjeu, à partir d'agrégations globales puis thématiques des cartes d'enjeu (figure 29) ; par une analyse des échelles retenues dans les cartes mentales et dans les cartes d'enjeu et enfin, par une analyse thématique des termes ressortant de l'exercice d'association libre d'idées.

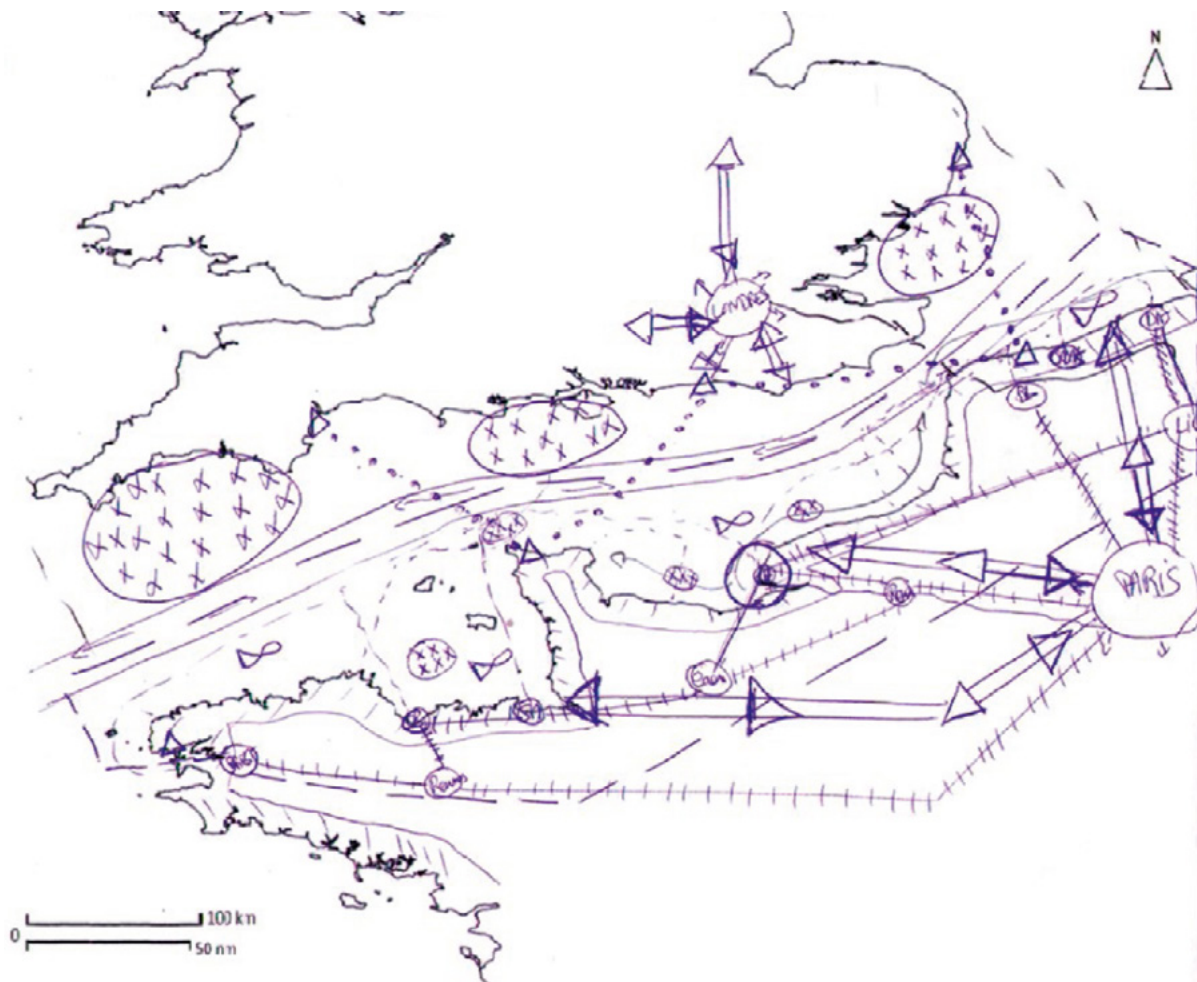
Figure 29 : somme des zones d'enjeu identifiées en entretiens individuels



L'exercice de prospective a été mis en œuvre au cours de deux séminaires. Lors du premier séminaire, les acteurs participant ont construit collectivement des scénarios répondant à la question suivante (également co-construite) : « Comment gérer de façon soutenable les échanges et les activités humaines dans un espace mer-terre ouvert sur le monde et ses dynamiques (changements climatiques...) ? ».

Les participants ont été invités à identifier des changements futurs possibles, en distinguant les tendances lourdes et les incertitudes critiques, sur lesquelles plusieurs hypothèses d'évolution ont été énoncées pour construire les scénarios exploratoires. Trois scénarios ont été déclinés, chacun sous la forme d'un récit, d'une frise chronologique et d'une carte (figure 30).

Figure 30 : carte collective illustrant l'un des scénarios exploratoires



partie 1.2 : projets 2012 (2) Recompositions et représentations des territoires littoraux dans le temps et dans l'espace

Le second séminaire a permis aux acteurs de débattre des scénarios, de discuter d'un scénario souhaitable et d'identifier des possibles leviers d'actions. Deux mois après l'exercice de prospective, des entretiens avec les personnes ayant participé aux étapes précédentes ont été menés afin d'échanger à nouveau sur leur perception des enjeux de l'espace Manche.

Au cours de la **troisième phase**, une analyse comparative des productions individuelles et collectives a été développée autour de deux axes clefs : (1) d'une part, l'appréhension des enjeux d'interface et des liens mer-terre ; (2) d'autre part, la place de la nature dans les représentations, à partir d'une analyse des termes mobilisés à la fois dans les matériaux individuels et collectifs recueillis. Enfin, une journée avec les acteurs impliqués dans la démarche a permis de présenter et discuter des résultats provisoires du projet et d'échanger sur la transférabilité de l'exercice dans d'autres contextes.

Représentations socio-spatiales et prospective

L'analyse des représentations a confirmé la diversité des perspectives mais aussi une réelle hybridation des approches de l'espace mer-terre par les acteurs. Le rôle de l'activité professionnelle est réel mais pas unique dans la construction des représentations qui se construisent sous diverses influences du vécu des acteurs. Certains acteurs ont pu être identifiés comme des « facilitateurs », pouvant jouer un rôle comme créateur potentiel de liens entre les perspectives (un effet passerelle), dans le contexte de processus concerté et plus globalement de temps d'échanges. Les entretiens « post-prospective » auprès des participants ont montré les intérêts de l'exercice de prospective pour améliorer la connaissance de chacun sur les enjeux de l'espace Manche, les leviers et points de blocage possibles pour aller vers un avenir souhaitable. L'exercice a permis d'élargir l'échelle spatiale et temporelle considérée par les acteurs, grâce notamment à la diversité d'acteurs impliqués.

Les paragraphes suivants présentent plus globalement les constats et les recommandations dégagés comme enseignements du projet.

Les constats

- 1 – Des éléments de « nature », la colonne d'eau et le cadre de vie qui ne viennent pas (ou peu) spontanément au fil de l'exercice de prospective. Les scénarios écrits dans l'exercice de prospective et les débats qui ont suivi sur les éléments de convergence et de divergence se sont beaucoup focalisés sur les enjeux d'organisation des usages en mer et sur les enjeux de gouvernance.
- 2 – La construction de visions intégrées de la Manche, avec des acteurs sectoriels, toutefois sans vision partagée des solutions aux enjeux de gestion. Les scénarios construits collectivement traduisent des visions intégrées produites par des participants « sectoriels » (ou perçus comme tels au départ).

- 3 – *Des scénarios de prospective peu précis : en travaillant sur des données schématiques, on favorise les discussions politiques/visions stratégiques.*
- 4 – La question de la mémoire soulevée au fil du projet : dans les entretiens, au cours des séminaires et comme élément clef d'analyse (rapport au temps dans les représentations).
- 5 – *Un exercice de prospective qui fait ressortir de nouvelles questions.* Certaines problématiques sont davantage ressorties durant les séminaires que durant les échanges individuels préalables. Il s'agit par exemple : du poids des métropoles, des enjeux de construction d'un projet à l'échelle transmanche et de la gouvernance régionale avec les nations voisines.
- 6 – *La richesse des expériences individuelles au-delà de la posture institutionnelle...* L'approche développée à la fois dans les entretiens initiaux et lors de l'exercice de prospective a encouragé les acteurs à s'exprimer pleinement, en prenant en compte non seulement leur vécu professionnel et leur posture institutionnelle, mais aussi leur rapport personnel à l'espace « Mer-Terre ».

CONCLUSION

- 1 – *Être vigilant sur la présence des non-humains, colonne d'eau, cadre de vie...* Si les acteurs souhaitent rétablir une sorte d'équilibre entre les humains et les non-humains, il y aurait intérêt à amener dans la méthode de travail des règles du jeu spécifiques en ce sens. Ces recommandations sont aussi valables au sein des éléments humains pour mettre en scène davantage la mer comme cadre de vie, et les dimensions sensibles (esthétiques, culturelles, liens immatériels) entre les hommes et la mer et son littoral.
- 2 – *Au-delà des résultats de l'exercice, évaluer le processus.* Au-delà des scénarios produits en eux-mêmes, c'est le processus, en tant que créateur de lien notamment, qui doit être évalué. Les indicateurs mobilisés pour évaluer le processus pourront concerner la diversité des acteurs mobilisés, l'approche intégrée sur les scénarios produits, mais aussi le ressenti des participants eux-mêmes en particulier sur les rapprochements éventuels ou les croisements de regards entre eux, et sur les évolutions des visions mobilisables après les séminaires, lorsque le quotidien prend le dessus.
- 3 – *Ne pas s'engager dans un plan trop ambitieux.* Il s'agit de mettre l'accent sur les outils permettant d'accompagner la formation et le développement de la dynamique collective, tout en répondant aux objectifs formels de planification.
- 4 – *L'importance de s'accorder sur convergences/divergences.* L'exercice dessine-moi a montré que les visions du souhaitable d'un groupe d'acteurs ne convergeaient pas à 100 % après deux séminaires de réflexion commune. In fine, il apparaît très intéressant de travailler non seulement sur les convergences mais aussi sur les divergences pour nourrir les prochaines étapes de la gouvernance sur ce territoire : anticiper et mieux gérer les conflits, être à

partie 1.2 : projets 2012 (2) Recompositions et représentations des territoires littoraux dans le temps et dans l'espace

l'écoute de différentes hiérarchisation des priorités et de nouveaux liens gagnant-gagnant, imaginer d'autres logiques de mise en valeur de la mer...

5 – *Zoner « tard » et flou, dans une approche de gestion adaptative.* Les scénarios produits ont conduit à des discussions et à une réflexion partagée sur le zonage, qui doit intervenir « quand on ne peut pas faire autrement ».

6 – *Intérêt d'un regard historique et multi-échelles.* Une vision de long terme, stratégique, est indispensable pour connaître les divergences, dépasser les conflits et s'entendre sur des objectifs partagés.

Les liens avec des acteurs intervenant sur la zone côtière et marine ont été réguliers, via bien sûr le comité de pilotage (qui comprend notamment cinq membres du CMF de la façade MEMN) mais aussi via les échanges avec l'AAMP et la DIRM, ainsi qu'à travers la participation d'acteurs aux activités du projet et par la participation de l'équipe de recherche à divers événements tels que les Assises de la mer (séminaire de Boulogne), le forum de la Manche (projet

CAMIS), le *Coastal Marine Forum* (Plymouth) et le forum TransManche (PEGASEAS). Outre les comités de pilotage et les séminaires internes au projet, plusieurs temps ont permis de présenter et échanger sur les résultats du projet auprès d'acteurs de la façade, notamment à la Commission permanente du Conseil maritime de façade Manche Est - Mer du Nord.

Par ailleurs, un guide opérationnel communiquant a été rédigé (<http://www.dirm-memn.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/2015-11-Dessine-moi-Retour-d-experience-WEB-VF.pdf>). Il s'adresse à l'ensemble des acteurs concernés par les politiques de gestion des espaces mer-terre à différentes échelles, en particulier les représentants de services de l'État, d'organismes publics ou de collectivités territoriales.

La valorisation scientifique a été menée par des communications et articles présentés lors de colloques nationaux et internationaux, dans le champ des sciences sociales et humaines (9 communications et articles présentés).

SOLTER

QUELLES SOLIDARITÉS TERRITORIALES ET QUELLES STRATÉGIES POUR LA RÉSILIENCE DU LITTORAL À LA SUBMERSION MARINE ?

Hélène Rey-Valette¹, Camille André², Yann Balouin³, Cécile Bazart¹, Catherine Bernier Boissard⁴, Valérie Clément¹, Nicole Lautredou-Audouy¹, Laurent Montel⁵, Régis Morvan⁵, Julie Rosaz¹, Bénédicte Rulleau⁶, Paul Sauboua², Marc Willinger¹

¹ UMR LAMETA, faculté d'Économie, Montpellier

² EID Méditerranée, Montpellier

³ BRGM, Direction régionale Languedoc-Roussillon, Montpellier

⁴ UMR ARTDEV, Montpellier

⁵ DREAL Languedoc-Roussillon, Montpellier

⁶ CEARC, université de Versailles - Saint-Quentin-en-Yvelines et Irstea Bordeaux

CONTEXTE ET OBJECTIF

Le projet SOLTER visait à explorer les conditions d'acceptabilité et de mise en œuvre des politiques de relocalisation des biens et des activités préconisée comme mesure d'adaptation face à l'accroissement des risques de submersion générés par la montée du niveau de la mer engendrée par le changement climatique. Il s'agit d'une recherche pluridisciplinaire menée selon une logique de recherche action avec plusieurs niveaux d'interactions et de partenariats¹ et un site pilote constitué des six communes littorales du Scot du Biterrois.

RÉSULTATS

Analyse des perceptions individuelles du risque de submersion et des solidarités

L'analyse des perceptions du risque de submersion et des solidarités territoriales s'est faite à travers des enquêtes auprès de 258 résidents permanents, couplées à des expérimentations avec incitations réelles menées dans deux communes littorales (122 enquêtés) et trois communes de l'arrière-pays (136 enquêtés) situées respectivement à 15, 29 et 40 kilomètres du littoral (*figure 31*). Ces enquêtes visaient aussi à éclairer les gestionnaires sur les questions de justice et d'équité sous-jacentes (Clément *et al.*, 2015).

Ces enquêtes ont permis de montrer que les trois quarts (72 %) des enquêtés sont conscients de l'impact du changement climatique sur la violence des tempêtes, en particulier ceux habitant sur le littoral. Par contre seulement

25 % connaissent le mécanisme de financement des catastrophes naturelles (fonds Barnier) et 54 % seulement des habitants du littoral savent que leur commune dispose d'un plan de prévention des risques. Enfin on note que les deux tiers des enquêtés (66 %) n'ont aucun souvenir de tempête violente et seulement 12 % ont vécu une expérience de submersion dans leur logement (dont les trois quarts avec des dégâts négligeables). Par rapport à l'intérêt d'anticiper, les élus (52 %) comme les habitants (55 %) sont près de la moitié à penser qu'il faut intervenir dans les dixans contrairement aux parties prenantes qui sont pour les trois quarts (76 %) de cet avis².

Concernant les solidarités territoriales pour mettre en place et financer les projets d'adaptation notre hypothèse était qu'elles étaient décroissantes en fonction de l'éloignement du littoral. Elles ont donc été étudiées selon un gradient géographique croissant des communes littorales vers l'arrière-pays, et pour les communes littorales, à partir des cartes d'aléa du BRGM (Magnier, 2013), pour distinguer les résidents exposés (pour qui la solidarité est une forme d'assurance), et ceux non exposés. Le recours à l'économie expérimentale (à partir d'une variante du « jeu de solidarité » de Selten et Ockenfels, (1998) qui mesure l'intensité des préférences solidaires des individus selon qu'ils sont ou non exposés à un risque³) a permis de révéler une forte propension à la solidarité avec 80 % des participants qui ont contribué à un fonds commun et une contribution moyenne de 45 % de leur dotation. À l'échelle des communes littorales, s'agissant d'une forme d'auto assurance, bien évidemment les participants exposés contribuent plus (4,98 € en moyenne) mais la différence avec les non-exposés est faible (4,07 € en moyenne). Par contre globalement, conformément à notre hypothèse, on observe une contribution décroissante en fonction de la distance à la côte (4,74 € en moyenne pour les communes littorales et Béziers contre 3,80 € pour celles de l'arrière-pays).

On observe une forte solidarité ex-ante par rapport à la mutualisation des financements, à la fois pour les équipements publics et les biens privés (*tableau 1*).

¹ Un groupe de travail actif réunissant trois chercheurs, la DREAL-LR (responsable des risques) et le Syndicat mixte de la baie de Somme (directrice de l'aménagement) et un groupe plus large instituant un partenariat étroit entre six chercheurs, le SCOT du Biterrois (directrice et responsable aménagement), la DREAL (Direction des risques et Direction de l'aménagement) et le CG 34 (chargés de mission responsables de la gestion du trait de côte). Par ailleurs des relations de partenariat plus large ont été établies dans le cadre d'entretiens et de sept ateliers de travail principalement à l'échelle locale (Scot du Biterrois et commune d'Ault) et régionale qui ont mobilisé 226 personnes au total dont 60 % d'agents ou élus de collectivités.

² Les enquêtes auprès des parties prenantes et des élus ont été effectuées par boîtier électronique lors de l'atelier participatif du 21 mai 2015 (31 parties prenantes) et de la restitution au comité syndical du SCOT le 7 juillet 2015 (30 élus).

³ Les participants, structurés par groupe de six personnes dont trois exposés au risque de perdre leur dotation, devaient utiliser leur dotation individuelle (10 €) pour contribuer ou non à la protection des membres exposés.

partie 1.2 : projets 2012 (2) Recompositions et représentations des territoires littoraux dans le temps et dans l'espace

Figure 31 : distribution et caractéristiques des communes enquêtées

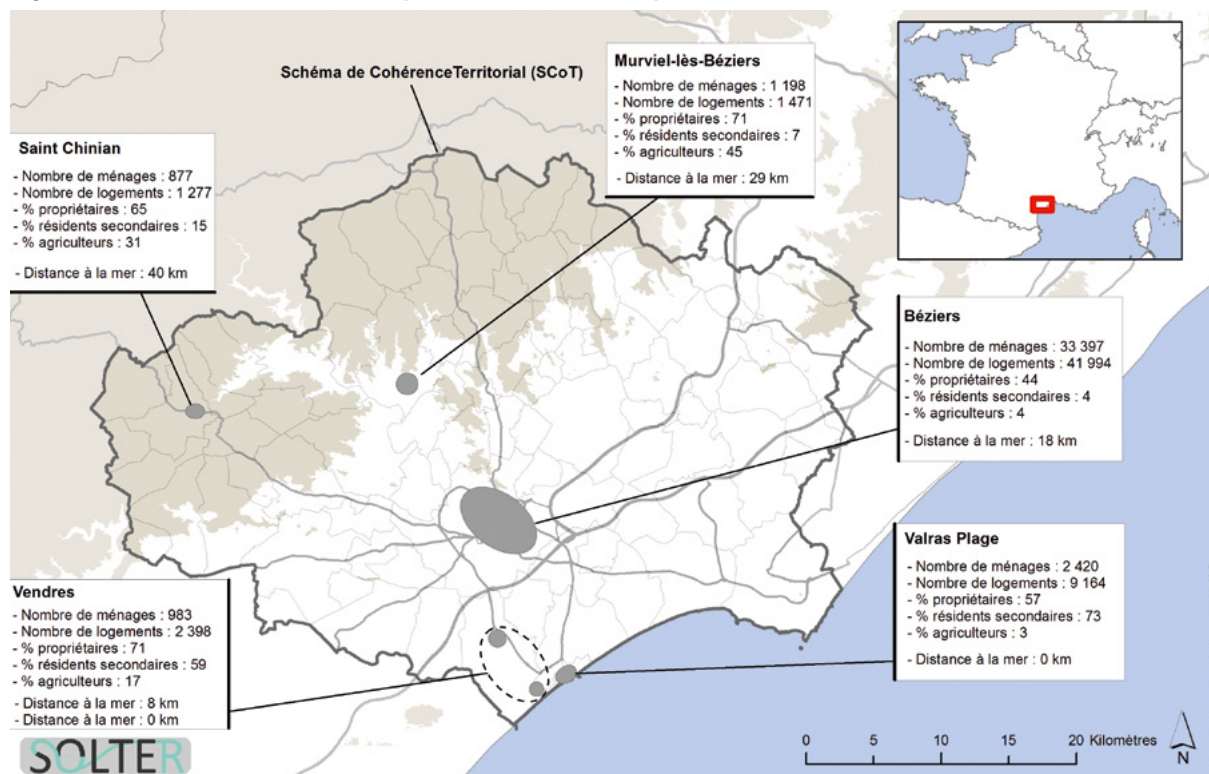


Tableau 1 : mode de financement des relocalisations jugé le plus juste

En %

	Biens public	Biens privés
Solidarité nationale (impôts nationaux ou taxe spécifique)	51	45
Solidarité régionale (impôts régionaux ou taxe spécifique)	19	16
Pas de solidarité	29	37
Dont augmentation des taxes de séjour (c'est le tourisme qui profite le plus des plages)	24	18
Dont impôts locaux (Seuls les habitants des communes littorales sont concernés)	5	7
Dont pas financement public : c'est aux individus de s'assurer avec une assurance privée	-	12
Non réponse	1	2

La solidarité ex-post, étudiée à travers les critères d'indemnisation jugés les plus justes (tableau 2), s'exprimer par un traitement préférentiel vis-à-vis des résidents principaux (30 % des enquêtés) tandis que l'indemnisation au prix du marché qui obtient un score similaire (29 %) privilégie le

respect des droits de propriété sans logique de solidarité. Si le principe de responsabilité est peu choisi, il est cependant perçu comme légitime pour 63 % des élus, 69 % des enquêtés et 81 % des parties prenantes

partie 1.2 : projets 2012 (2) Reconstitutions et représentations des territoires littoraux dans le temps et dans l'espace

Tableau 2 : critères jugés les plus justes pour l'indemnisation des personnes relocalisées

En %

Prix de marché du bien : toutes les personnes doivent être indemnisées selon le même pourcentage de la valeur de marché de leur bien	29	Principe libertarien de respect des droits de propriété
Date d'achat : les propriétaires qui sont là depuis longtemps doivent être plus indemnisés car ils sont plus attachés à leur habitation	10	Principe libertarien de priorité aux premiers arrivés
Nature des habitations : les résidences principales doivent avoir une indemnisation supérieure aux résidences secondaires	30	Principe Rawlsien : traitement préférentiel en fonction des besoins (niveau de revenu ou type d'habitation)
Revenu du propriétaire au profit de ceux qui sont les plus défavorisés en termes de revenu	12	
Date d'achat : les nouveaux propriétaires informés des risques au moment de l'achat doivent avoir une indemnisation inférieure	14	Principe de responsabilité
Autre et non réponse	5	-

Plus généralement pour la mise en œuvre des politiques de relocalisation les choix de critères fondant ces opérations témoignent d'un avis très partagé des enquêtes entre les différentes options.

Tableau 3 : critères jugés les plus justes pour la mise en œuvre des relocalisations

En %

Efficacité : le plus grand bénéfice collectif par euro dépensé	29
Solidarité face à un risque qui n'affectera que quelques-uns	22
Responsabilité lors de l'achat : les individus informés lors de l'achat sont responsables	26
Équité il faut tenir compte des individus les plus défavorisés en termes de revenu	21

Analyse de la solidarité collective entre les communes

Une grille analytique de solidarité collective entre communes a été élaborée en transposant la distinction de Durkheim entre

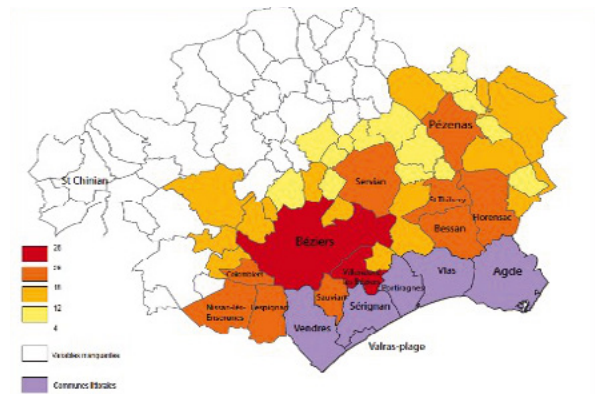
la solidarité mécanique (logique de similitude) et organique (lien d'interdépendance) aux types de proximités identifiées par l'économie de la proximité (Torre et Zuindeau, 2009), c'est-à-dire l'adhésion à des valeurs communes de la proximité institutionnelle et la coordination des comportements de la proximité organisée. Quelques indicateurs ont été choisis pour rendre compte des similitudes et des coordinations dans le domaine économique et institutionnel (*tableau 4*). Les solidarités écologiques ont été appréhendées en fonction des logiques d'interaction de Mathevet *et al.* (2010) selon qu'elles relèvent de similitudes (relations fonctionnelles pour l'intégrité et l'identité des territoires, continuités nécessaires à la cohésion écologique) ou de complémentarités (liens entre sites, mobilité des espèces (habitat, dynamique des populations, changement des aires de répartition). Le croisement des thématiques conduit à une carte de synthèse (*figure 32*) des ressemblances et des complémentarités établie à partir de la moyenne non pondérée des indicateurs, qui témoigne d'un gradient géographique décroissant et d'un pôle fort autour de Béziers.

Tableau 4 : indicateurs de ressemblance et de complémentarité entre communes

	Indicateurs de ressemblance	Indicateurs de complémentarité
Solidarité économique	Produit de la taxe d'habitation en 2010 Capacité d'accueil des communes (campings, hôtels, résidences secondaires)	Nombre d'équipements communs (sports, loisirs, culture, établissements scolaires) Lien domicile-travail avec le littoral Indicateur d'emplois en 2009
Solidarité institutionnelle	Potentiel financier par habitant (2010) Proportion résidences secondaires et principales	Appartenant à un périmètre institutionnel des communes littorales (SAGE, EPCI, TRI, SIVOM) Existence d'une fiscalité commune
Solidarité face au risque d'inondation	Taux de logements concernés par le risque d'inondation par cours d'eau	Appartenance au TRI de Béziers
Solidarité écologique	Partage avec les communes littorales d'espaces naturels à enjeux	Répartition sur le territoire des trames de milieux naturels (Trame Verte et Bleue) Gestion partagée de sites à très forts enjeux : Natura 2000 (Directive Habitats)

partie 1.2 : projets 2012 (2) Recompositions et représentations des territoires littoraux dans le temps et dans l'espace

Figure 32 : solidarités territoriales en fonction des ressemblances et des complémentarités



CONCLUSION

Définition d'un protocole de mise en œuvre des relocalisations (André *et al.*, 2014)

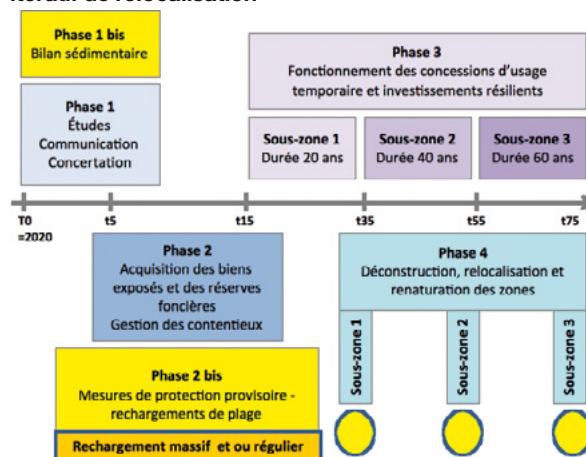
Il est primordial d'appréhender les relocalisations comme des projets intégrés de recomposition territoriale, nécessitant de coordonner et planifier différents modules, et devant être réalisés dans l'intérêt général. Cette approche intégrée introduit plusieurs principes d'action.

- L'exigence de penser de façon conjointe à l'échelle d'un territoire des actions de protection, de mitigation et de relocalisation pour les secteurs particulièrement vulnérables.
- Le besoin de définir l'échéance à partir de laquelle l'exposition au risque sera socialement non supportable (en termes de sécurité des personnes et de récurrence des dommages) et de s'appuyer sur la cartographie des aléas pour délimiter les zones exposées en fonction du temps.
- L'impératif de penser la mise en œuvre de façon progressive en intégrant un important volet de concertation et de sensibilisation, et en définissant de nouvelles formes d'occupation temporaire.
- Le besoin d'identifier des sources de financement et de raisonner selon une logique économique, en termes de recettes et de coûts évités, pour justifier l'intérêt collectif de ces opérations.
- La nécessité d'un portage politique fort et durable, accompagné de la définition d'une gouvernance adaptée à ces programmes de très long terme.

Il s'agit de s'inscrire dans le long terme, tout en pensant dès le départ le projet de façon dynamique. Pour ce faire le protocole propose à partir des prévisions de l'évolution des aléas de distinguer plusieurs sous-zones, en fonction de leur exposition dans le temps (par exemple trois zones à l'horizon de 20, 40 et 60 ans), mais en les définissant dès l'initiation du projet (t0). Pour faciliter les recompositions spatiales le projet SOLTER propose la mise en place de zones intermédiaires dans les plans de prévention des risques littoraux, dites « zones oranges » accompagnées de prescriptions spécifiques (urbanisation, temporaire et résiliente). Ainsi le

dispositif de relocalisation peut être mis en œuvre en plusieurs étapes suivant la figure 33.

Figure 33 : protocole de mise en œuvre d'un processus itératif de relocalisation



Pour réduire la charge des acquisitions et proposer une approche progressive facilitant l'adhésion des populations, le projet SOLTER propose de mettre en place deux mécanismes de rachat des biens.

- Le démembrement de propriété avec une acquisition uniquement de la nue-propriété avec un usufruit à durée fixe, c'est-à-dire que les propriétaires sont indemnisés d'une partie de la valeur des biens mais peuvent occuper ces biens gratuitement jusqu'à l'échéance définie.
- Des concessions d'occupation temporaire, qui correspondent à l'acquisition de la totalité du bien accompagnée d'une concession d'occupation temporaire (pour des particuliers et des promoteurs) pour laquelle les occupants (ancien ou nouveaux) payent une redevance qui contribue au remboursement des annuités des crédits liés à l'acquisition des biens.

La planification de l'opération est conçue à partir d'une cartographie de l'évolution de l'exposition. De façon à se prévenir d'un événement extrême avant l'échéance, les conventions d'usufruit et d'AOT doivent contenir une clause spécifique « de sauvegarde », pour que les biens soient démolis à partir d'un degré d'endommagement, ou de la durée restant avant l'échéance. Dans ce cas les indemnités pourraient être financées en partie par les indemnités d'assurance sous réserve que la réglementation n'oblige plus à reconstruire les biens à l'identique. Le faible nombre d'expérimentations ne permettant pas de bénéficier de retours d'expériences, l'évaluation de ces protocoles a été faite, hors frais financiers, sur la base d'un compte prévisionnel pour un quartier de trente maisons individuelles, soit un coût de 22 M€, essentiellement lié aux acquisitions (90 %). On note une réduction substantielle de ce coût qui n'est plus que de 29 % du total pour le démembrement de propriété et de 26 % pour concessions d'occupation temporaire.

partie 1.2 : projets 2012 (2) Recompositions et représentations des territoires littoraux dans le temps et dans l'espace

Application de la logique du protocole au site pilote : comment s'adapter en gardant l'attractivité du littoral sur un territoire recomposé ?

Un atelier collectif à l'échelle des six communes littorales du SCOT du Biterrois a permis de tester l'intérêt des acteurs pour le protocole proposé. L'intérêt des solutions proposées par le projet SOLTER est souligné mais en notant la difficulté d'organisation de ce type de montage institutionnel, l'absence de moyens des collectivités et l'importance des contraintes d'attachement des habitants du moins tant que le marché immobilier ne baisse pas. Les solutions innovantes impliquent des efforts de gouvernance car la mise en place de projets communs est plus complexe à planifier et à gérer. Il a été souligné que les contraintes passées (zone inondable, Natura 2000) constituent aujourd'hui des atouts pour l'éco tourisme et le bien-être des populations. Les discussions ont fait apparaître quelques principes devant régir l'adaptation du territoire.

- Densifier et restructurer l'accueil sur les communes rétro-littorales.
- Mener une politique de relocalisation de proximité avec des zones de replis pas trop éloignées du littoral (5 km max) ou d'un aménagement structurant.
- Avoir une mobilité bien pensée pour faciliter l'accès à la mer en diversifiant les modes d'accès (voiture, navette électrique, petit train, vélo, fluvial...).

- Mettre en place des aménagements ludiques en mer pour accroître l'attractivité.
- Prendre en compte le déclin futur de l'intérêt pour les résidences secondaires (besoins de mobilité, lien à la propriété et fiscalité).
- Réfléchir à des modalités d'adaptation pour vivre avec le risque.
- Inventer de nouvelles formes architecturales résilientes et mobiles.

Élaboration d'un dispositif d'évaluation de la fréquentation des plages

Face aux perspectives de renforcement des risques côtiers, un outil automatique de comptage des utilisateurs des plages a été développé (Balouin *et al.*, 2014) pour mieux comprendre les usages et favoriser l'élaboration de plans stratégiques d'aménagement et de développement soutenable du tourisme. Cet outil permet un suivi de la fréquentation sur l'année, mais aussi en fonction des heures de la journée, des jours de la semaine, des saisons et des conditions météorologiques. Il permet aussi d'observer la spatialisation des usagers sur la plage et de calculer les surfaces utilisées (4 m² par usager contre 9 m² si on se rapporte à la largeur totale de la plage). Son application à la partie Nord-Est du Lido de Sète permet d'estimer la fréquentation à 1 million de personnes (pour 2 200 mètres de plage).

Bibliographie

- **André C., Sauboua P., Rey-Valette H., Schauner G.**, 2015. Acceptabilité et mise en œuvre des politiques de relocalisation face aux risques littoraux : perspectives issues d'une recherche en partenariat, VertigO – la revue électronique en sciences de l'environnement, Volume 15 Numéro 1 mai 2015, mis en ligne le 20 mai 2015,
- **Balouin Y., Rey-Valette H., Picard P.A.**, 2014. Automatic Assessment and Analysis of Beach Attendance using video images at the lido of Sète Beach, France. *Ocean & Coastal Management*, 102, 144-122.
- **Clément V., Rey-Valette H., Rulleau B.**, 2015. Perceptions on equity and responsibility in coastal zone policies. *Ecological Economics*, 119, 284-291.
- **Magnier A.**, 2013. Cartographie de l'aléa submersion marine dans le golfe du Lion. Etude de deux sites pilotes du projet SOLTER. Rapport Master Pro Gestion des catastrophes et des risques naturels. Département de Géographie, Université Paul Valéry, Montpellier, 86 p.
- **Mathevet R., Thompson J., Delanoë O., Cheylan M., Gil-Fourrier C., Bonnin M.**, 2010. La solidarité écologique : un nouveau concept pour la gestion intégrée des parcs nationaux et des territoires. *Natures Sciences Sociétés* 18(4), 424-433.
- **Selten R., Ockenfels A.**, 1998. An experimental solidarity game. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 34, 517-539.
- **Torre A., Zuindeau B.**, 2009. Les apports de l'économie de la proximité aux approches environnementales : inventaires et perspectives. *Natures, Sciences, Sociétés*, 17, 349-360.

partie 2

Observation et recherche en appui aux politiques du littoral et de la mer

Synthèse du colloque de Brest
(14 et 15 janvier 2016)

Yves Hénocque, vice-président du conseil scientifique du programme LITEAU



Le colloque LITEAU, qui s'est tenu à Brest en janvier 2016, avait pour principal objectif de promouvoir les échanges autour des relations évolutives entre dynamiques et dispositifs d'observation de la mer et du littoral, et la recherche multidisciplinaire, en appui aux politiques publiques et aux gestionnaires publics et privés. Au cours d'une table-ronde, l'accent a été mis sur les nouveaux modes de production des connaissances, tels les programmes faisant appel aux sciences participatives où tout un chacun peut devenir partie prenante.

Les débats étaient organisés selon quatre sessions thématiques et une table-ronde conclusive :

- l'observation de la mer, point de départ d'un processus de recherche multidisciplinaire en appui aux politiques publiques ;
- générer et organiser des bases de données – L'enjeu des big data dans les champs de recherche mer et littoral ;
- conception et exploitation des observatoires et des systèmes d'observation intégrée de la mer et du littoral ;
- co-production de la recherche et sciences participatives.

Les présentations sont disponibles sur le site : <http://www1.LITEAU.net/index.php/agenda/colloque-LITEAU-janvier-2016-a-brest>

Un résumé est également disponible sur le site : http://www1.LITEAU.net/uploads/publication/Thema_Observation_de_la_mer_et_du_littoral.pdf

OBSERVER LA MER ET LE LITTORAL

Observation et réseaux pérennes (plusieurs décennies) axés sur l'état du milieu et de la ressource

Les réseaux pérennes dits de « surveillance » (monitoring) étaient déjà nombreux sur les côtes françaises, avant même que la DCSMM n'existe.

Certains existent déjà depuis 25 ans (REPHY ou observation du phytoplancton y compris les espèces toxiques) et, grâce à l'implication de la recherche, permettent de dégager certaines tendances sur les différentes façades du littoral, au même titre que les séries à long terme menées par les observatoires des sciences de l'univers (OSU/CNRS/Universités). Bien que non présentés, on pourrait en dire tout autant des réseaux tels que RNO/ROCCH (contaminants) et REMI (microbiologie). Afin de répondre aux exigences de la DCSMM en matière de « bon état écologique », le REPHY est désormais scindé en deux réseaux intimement liés : le REPHY Observation (recherche) et le REPHY Surveillance (application de la DCSMM et de la DCE).

D'autres sont plus récents et davantage liés à la ressource et aux performances de production. C'est le cas du réseau national d'observation conchylicoles RESCO, mis en œuvre dans le contexte de crise que connaît l'ostréiculture de nos jours. À travers des mesures pérennes dans le temps et l'espace, il s'agit d'observer les fluctuations environnementales et leur lien avec le cycle de vie des huîtres dans leurs écosystèmes. À partir de là, et vis-à-vis des producteurs parties prenantes, on cherche à savoir comment évoluent les performances conchylicoles (survie/croissance inter-bassins) dans l'espace et dans le temps, et les principaux facteurs qui sont à la source de ces changements. Le RESCO est en fait issu d'un réseau plus ancien appelé REMORA à partir duquel

on a essayé d'optimiser (par réduction) le nombre de sites, d'augmenter par contre la fréquence des suivis et du nombre de lots concernés, et enfin d'instrumentaliser les sites en commençant par l'enregistrement des paramètres température/salinité en continu. RESCO est ainsi à la croisée des chemins entre professionnels (suivi des performances), scientifiques (analyse des variations interannuelles et intersites), et services de l'État (aide à la décision en cas de crises). Les indicateurs en jeu sont d'ordre environnemental, physiologique, et zoo-sanitaire, exigeant ainsi une coopération étroite entre divers intervenants scientifiques et opérationnels sur le terrain (activités de surveillance). Outre les producteurs, qui en sont les premiers bénéficiaires, ce type d'observation très dépendante des apports des bassins versants, nécessite de travailler en coopération étroite avec les Agences de l'eau dans la mise en œuvre des SDAGEs littoraux.

Observation et réseaux régionaux ou de façades, plus récents, axés sur la relation entre activités/perceptions maritimes et relation homme/nature

Autre réseau résolument tourné vers l'observation des activités maritimes en lien avec la qualité du milieu marin : l'observatoire socio-économique des usages en mer sur la façade méditerranéenne française. Cette création ne s'est pas faite à l'initiative de scientifiques, mais d'un établissement public, en l'occurrence l'Agence de l'eau RMC pour : (i) répondre aux enjeux visés par le SDAGE et les directives européennes ; (ii) pouvoir apporter des informations factuelles aux élus et gestionnaires de milieu sur la socio-économie du littoral et de la mer ; (iii) éviter la dispersion d'études ponctuelles non comparables entre elles ; (iv) et tenter une première analyse coût/bénéfice. Cet observatoire a été initié par l'agence de l'eau et s'appuie sur des travaux menés en partenariat avec la communauté scientifique (IRSN, Université de Versailles/CEARC). Ces travaux ont permis de structurer le réseau lui-même, en commençant par des études de sensibilité/vulnérabilité puis en regardant le degré de dépendance des activités maritimes en relation avec la qualité et la proximité du milieu marin.

L'évaluation monétaire de ces activités est soit liée à leur chiffre d'affaires (secteur par secteur) soit établie selon la méthode du « consentement à payer » (toute activité de loisir hors structures commerciales). Une carte de « sensibilité économique » par secteur et par unité de gestion a ainsi pu être établie en relation avec le chiffre d'affaires des activités en mer (neuf indicateurs sélectionnés) et l'effort financier consenti pour la gestion et la protection de chacun de ces espaces côtier et maritime. L'unité de gestion utilisée dans cet observatoire correspond aux zones homogènes des SDAGE des bassins Rhône-Méditerranée et Corse (équivalent

sur le littoral des bassins versants des rivières). Une analyse de la relation entre les « coûts investis dans les politiques de gestion et de protection du milieu marin par rapport aux bénéfices économiques générés par les activités en mer en lien avec la qualité du milieu » a ainsi pu être initiée.

Un autre observatoire, axé sur les activités de recherche, sur les liens homme/nature est l'Observatoire Hommes-Milieux « Littoral Méditerranéen », l'un des dix observatoires Hommes-Milieux du CNRS (Labex DRIHM) orientés vers la recherche interdisciplinaire sur des sujets sciences et société. Il s'agit en fait de réseaux de laboratoires qui, en Méditerranée, se sont rapprochés pour répondre aux questions posées par l'urbanisation et l'artificialisation des milieux, tous sensibles au développement d'approches intégrées en matière de gestion de la mer et du littoral. Comment concilier la conservation des milieux avec la valorisation des ressources ? Sur quatre sites sélectionnés selon leur gradient d'urbanisation, les questions posées ont trait à l'installation d'AMPs voisines d'une agglomération, le tourisme durable, les modèles d'aménagement, ou encore la réhabilitation des milieux. C'est sur la base de ces sujets que le réseau finance des projets de recherche, ainsi que des thèses et des post-docs. Ces projets ne se font pas individuellement, mais font l'objet d'ateliers inter-projets et de rencontres avec les autres acteurs du littoral. Toutes les données issues de ces projets sont regroupées et, standardisées, mises en ligne sous forme de catalogue de données. Différentes modalités d'implication des acteurs du littoral existent : adhésion au réseau (Parc national des Calanques, Conservatoire du littoral, ville de Marseille, etc.), participation aux études, co-construction de projet (Suez Environnement, Agence des aires marines protégées, etc.), ou encore, en sens inverse, la participation de chercheurs aux organes de gouvernance (CS Parc national des Calanques, CS Opération récifs du Prado, etc.). En conclusion, il s'agit d'un observatoire orienté recherche qui fait de l'observation de la mer et du littoral un point de départ pour un processus d'échanges interdisciplinaires ouvert aux utilisateurs et gestionnaires de la mer et du littoral en facilitant l'accès et l'utilisation effective des données.

On a vu que l'observatoire socio-économique Méditerranée utilisait les « zones homogènes » comme unité de gestion tout au long du linéaire côtier méditerranéen français. Du point de vue de la recherche (GIS HomMer), se pose la question de la définition de ces espaces côtiers et maritimes sous leurs trois dimensions dès lors que l'on est en mer. Ces espaces maritimes ou « unités spatiales marines » visent à intégrer l'information scientifique de la surface jusqu'au fond des océans, sachant qu'en pleine mer il n'y a pas de frontière nette entre deux systèmes mais des « gradients » de changements traversés par des signaux comme c'est le cas pour le son qui se propage très loin.

Au niveau horizontal, pas de frontière non plus, mais des discontinuités physiques et donc biologiques existent. Dès lors que l'on veut faire de l'intégration des données en vertical et en horizontal, la question de la représentation géographique se pose. Le chevauchement des différentes zones ainsi représentées peut conduire à la construction d'« unités

paysagères en mer » (*oceanscape*), nouvelles représentations susceptibles de venir en aide à la mise en œuvre des politiques publiques selon plusieurs échelles, et ainsi pouvant traduire l'hétérogénéité à grande échelle et s'adapter aux questions posées.

Il s'agit ainsi de croiser les diverses informations (horizontales et verticales) qui ensemble caractérisent chaque « unité paysagère en mer » où connaissances des scientifiques et savoirs des marins se recoupent. Sous cette unité paysagère physiquement perçue par l'œil dans son horizontalité, il s'agit de s'approprier aussi la colonne d'eau et prendre en compte ce qui s'y passe (effets des émissions sonores émises par les systèmes de production basés sur les énergies renouvelables ; vie marine, etc.). Dans l'avenir, le développement de telles représentations pourraient être fort utile en matière de gestion d'espaces maritimes définis tels que les Parcs naturels marins.

Observation et réseau de surveillance du trait de côte : une question socio-économique majeure à fort impact politique

Les unités paysagères « côtière » sont très dépendantes de l'évolution du trait de côte, toujours en mouvement. La Stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte a notamment pour objectif de développer l'observation du trait de côte et d'identifier les territoires à risque (érosion), et a besoin pour cela de : (i) mettre en place un réseau d'observation et de suivi articulé régionalement ; (ii) d'établir une cartographie de vulnérabilité sur la base de ces observations. Dans ce contexte, le rôle du Cerema (Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement) est de définir un indicateur national d'érosion côtière rendant compte des évolutions passées sur de longues périodes et qui puisse être représenté sous forme d'un ensemble de cartes (atlas cartographique au 1:100 000) sur toute la métropole (2015) ainsi que la Corse et les DOM (2016). Y figureront également tous les ouvrages côtiers recensés à ce jour. Il s'agit donc de capitaliser les données déjà acquises et de les mettre à disposition sous forme de fascicules nationaux et locaux (dix pour la métropole, dix pour l'ultramarin, coréalisés par des comités de rédaction locaux) et sur le site Internet « Géolittoral ». Cette capitalisation devra se faire en continu en mettant en réseau national les observatoires locaux/régionaux du trait de côte, créant ainsi des synergies utiles entre collectivités, services de l'État, et société civile. Ce réseau aura trois fonctions essentielles : la gestion de la donnée jusqu'à sa diffusion, la mutualisation des compétences et des moyens, la formation et l'éducation.

L'évolution du trait de côte est directement dépendante des variations du niveau de la mer aux niveaux global et régional, ses effets vont être amplifiés ou atténués par les mouvements verticaux locaux du sol (subsidence). Tel est l'objet des recherches du projet CECILE (ANR-CEP) dans différentes parties du monde, particulièrement là où ces mouvements verticaux sont actifs (delta du Nil, Manille, Dakar, etc.), avec une question centrale : « Peut-on déjà observer des effets de l'élévation du niveau de la mer dans le recul du trait

de côte ? » (submersions marines, érosion et recul du trait de côte, intrusions salines). En fait, pour un même taux d'élévation du niveau de la mer, on peut observer des pertes et des gains de terres, comme c'est le cas des îles et particulièrement des atolls (îles de la Société, Polynésie française), bien que sur un total de 83 atolls en Polynésie française, seuls quatre aient été étudiés. Ces observations, complétées par une analyse approfondie de la base de données côtières européenne « EuroSION », permettent de conclure au rôle majeur joué par les facteurs locaux (notamment les sites affectés par des mouvements verticaux importants du sol) et de dire qu'il est encore trop tôt pour faire un lien direct entre l'élévation actuelle globale du niveau de la mer et le recul toujours localisé du trait de côte. En matière de futurs plus lointains, le projet a travaillé sur une modélisation décennale et centennale de l'évolution du niveau marin en lien avec les bilans sédimentaires et les différents profils de vulnérabilité côtière. On a ainsi, sur le thème du trait de côte, un bon exemple de développement parallèle de l'observation (sous forme de réseau national) et de la recherche en termes de mise en équation des tendances globales et régionales dont les effets s'expriment localement sur le terrain.

Conclusion

« *Mieux on comprend, mieux on observe... mieux on observe, mieux on comprend* ». Cette inter-relation entre activités pérennes d'observation (surveillance en réponse au cadre réglementaire ; observatoires à l'initiative de la recherche) et activités de recherche (sous forme également d'observatoires) intégrés et/ou de projets spécifiques) est non seulement omniprésente, mais est de plus en plus recherchée dans le but de répondre mieux et plus vite aux questions sociétales portées par les politiques publiques. De ce fait, les observatoires (terme générique), dans lesquels la relation homme-milieu devient plus évidente, s'appuient eux-mêmes sur des réseaux pluridisciplinaires (et donc de plus en plus interinstitutionnels comme les SOERE d'AllEnvi) et pluri-acteurs (scientifiques, services de l'Etat, gestionnaires, associations, professionnels, élus, usagers, etc.). On n'hésite plus à parler aujourd'hui de socio-écosystème dont la compréhension nécessite des observations à très long terme, mais qui doivent pouvoir être partagées avec tous (valorisation/accessibilité des données). On a ainsi affaire à des observatoires qui se positionnent clairement en accompagnement des questions sociétales face aux changements environnementaux et de leurs conséquences sur leur vie quotidienne. Dans ce sens, il est essentiel de développer des indicateurs opérationnels permettant de mieux appréhender dans le temps et dans l'espace l'évolution de ces socio-écosystèmes.

Cette tendance globale ne doit pas faire oublier toutes les difficultés de mise en œuvre :

- moyens humains et financiers dont le développement d'initiatives locales et régionales dans un contexte budgétaire national qui oblige à la mutualisation des moyens ;

- articulation toujours difficile entre systèmes peu compatibles ;
- trop faible coopération entre organismes scientifiques ;
- trop faible apport des sciences humaines ;
- et enfin, difficulté de maintenir les observations sur le long terme (supérieur à 10 ans), avec des systèmes d'observation qui s'arrêtent trop souvent avant la décennie.

Face à toutes ces difficultés, c'est dans chacun des territoires côtiers et maritimes que l'intégration pourra s'opérer pleinement, en s'attachant notamment à valoriser les données déjà existantes, et à renforcer la communication entre les différents usagers.

GÉNÉRER ET ORGANISER LES BASES DE DONNÉES

Les politiques maritimes intégrées, gros consommateurs de données

Une politique maritime intégrée comme celle de l'Union européenne couvre un certain nombre de politiques transversales dont celle de la croissance bleue, des connaissances du milieu marin, de planification et de surveillance des espaces maritimes, d'où la nécessité de développer une gestion durable intégrée basée sur l'approche écosystémique, ce qui implique la prise en compte de systèmes complexes interconnectés spatialement et temporellement : biodiversité et fonction des écosystèmes ; hydrogéo-diversité et dynamique océanique ; société et économie. Tous ces compartiments ou systèmes nécessitent le développement d'indicateurs : indicateurs « nature » (BIOS+PHYSIS) issus de la DCE/DCSMM qui, pour la DCSMM, incluent aussi les indicateurs d'impacts et de réponse (SOCIO-ECO). Ces indicateurs seront ensuite agrégés selon le modèle DPSIR (Forces motrices-Pression-Impact-Etat-Réponses). Par rapport au volume énorme de données qui va être produit, il y a nécessité de développer des outils de bancarisation et d'analyse de la donnée qui soient performants, de l'analyse descriptive, en passant par le diagnostic, le prédictif, jusqu'à l'analyse décisionnelle. L'avantage d'un tel système par rapport à la capacité du cerveau humain est sa capacité en termes de volume (grand volume de données), de variété (données structurées, semi-structurées, non structurées), de vélocité (actualisation et analyse en temps réel), et de véracité (fiabilité et prévisibilité inhérente aux sources de données).

Grâce à un tel système, il devient possible d'avoir une approche inductive (rapprochement de données entre lesquelles des relations n'étaient pas présumées) et de passer à une gestion « dynamique » (en temps réel, au-delà de la gestion adaptative) en développant des algorithmes prédictifs. Du côté des gestionnaires, ils auront à disposition des jeux de cartes interactives ainsi que des services de visualisation (visualisation intuitive et des sorties de modèles intégrés et des couches SIG correspondantes). Une telle approche Big Data nécessite de créer de nouvelles formes de partenariat entre les fournisseurs de données, les utilisateurs de la donnée et les acteurs/institutions qui stockent la donnée, ce qui suppose de lever nombre de verrous dont les cadres

juridiques (propriété intellectuelle, sécurité de la donnée, libertés individuelles, confidentialité) et la technologie (harmonisation des données non structurées, modèles intégrés...).

Rationalisation des systèmes nationaux

La gestion des Big Dat s'appuie sur l'exploitation de systèmes distribués (rapportages DCE et DCSMM), ce qui implique nécessairement l'interopérabilité des systèmes d'information comme le montre l'expérience présentée entre le SIE (système d'information sur l'eau) et le SINP (système d'information sur la nature et les paysages). En matière de diffusion des données environnementales et d'information du public, les cadres réglementaires européens existent avec les directives AARHUS et INSPIRE.

Le SIE a été créé en application de la directive cadre sur l'eau (DCE) avec un référentiel technique comprenant : un schéma national des données sur l'eau (SNDE) et des documents techniques annexes. Sous coordination technique nationale de l'Onema et notamment l'aide du groupe de coordination interbassins, les retours d'expérience sont plutôt positifs en termes de robustesse du système et de son interopérabilité, quoique son architecture technique ait été difficile à mettre en œuvre, rendant la diffusion et la valorisation des données plutôt lentes avec donc une visibilité assez faible.

Le SINP est un système de suivi de la biodiversité. Il est techniquement complexe mais garde un accès simple à l'information. Son architecture évolutive lui a permis de s'interconnecter avec d'autres systèmes en offrant de multiples services.

À la lumière de l'expérience de ces deux systèmes, quelques préconisations sont proposées : (i) travailler de façon itérative, par assemblage, plutôt que viser dès le départ une architecture technique complexe avec un nombre d'intervenants pléthorique ; (ii) s'appuyer sur l'existant tel que les systèmes SIE et SINP ; (iii) développer de manière logique, selon les normes établies type INSPIRE et enfin ; (iv) faire en sorte que le producteur de données reste au cœur du système.

Autre banque de données nationale, le système d'information Quadrige de l'Ifremer. Créé au départ pour regrouper un certain nombre de réseaux nationaux (RNO, REPHY, REMI...) et régionaux (ARCHYD, SRN, RHLN, RSL, REBENT...), Quadrige a dû se préparer à l'arrivée de la DCE (2000) et ses obligations réglementaires en se modernisant (nouvelles données, gestion des données cartographiques, etc.), et en abritant dès 2008 le Système d'information national de référence pour la surveillance des eaux littorales, lui-même faisant partie du SNDE (dont il est question plus haut) et contribuant aux travaux du SANDRE.

Aujourd'hui, Quadrige est donc devenu un outil national (métropole et DOMs) offrant des données sur la physico-chimie, le pelagos, le benthos, et les ressources aquacoles (principalement la conchyliculture). Il adapte ses produits grâce aux retours des comités d'utilisateurs, bien que des progrès restent à accomplir (interfaces de saisie, cycle de vie des données, outils cartographiques, outils d'extraction). Du

côté milieux tropicaux (DOMs), une nouvelle interface Corail a été développée, la BD Récif, avec référentiel taxinomique, exports standardisés (notamment avec SINP), et saisie en local en « mode déconnecté ».

À l'heure de la DCSMM et des nouvelles technologies, le projet Quadrige 3 (sur trois ans, coût : 500 kEuros) va consister à : (i) faire évoluer les applications de saisie thématique ; (ii) modifier le modèle de données ; (iii) opérer une refonte cartographique ; (iv) développer un référentiel taxinomique commun ; (v) développer de nouveaux outils de gestion des référentiels et de qualification.

L'outil cartographique au cœur des observatoires

À l'exemple du projet Quadrige 3, les produits de transfert et de mise à disposition des données passent par des plateformes cartographiques comme c'est le cas de MEDTRIX, une plateforme en ligne au service des experts du milieu marin. Créée par Andromède Océanologie, en partenariat avec l'Agence de l'eau RMC, elle propose de nombreuses données issues de sources variées sur la surveillance des eaux côtières en Méditerranée (qualité des eaux côtières, observatoires, informations géographiques, bathymétrie, analyse écologique, pressions, photographies, rapports d'étude, etc.). Ainsi, depuis 2013, la plateforme cartographique MEDTRIX met à disposition les résultats de différents réseaux de surveillance du milieu marin côtier en Méditerranée française (15 réseaux/projets) selon trois grandes thématiques : cartographie des habitats, pressions anthropiques, volet biologie (état écologique). L'accès est gratuit pour tous les utilisateurs avec divers menus et outils d'utilisation simple. Des réseaux tels que RECOR (suivi des assemblages coralligènes) ou TEMPO (suivi des herbiers de Posidonie) permettent de rendre compte de l'État (habitats et communautés associées), alors que d'autres tels que IMPACT (Modélisation des pressions anthropiques côtières) fournissent les modèles locaux d'évaluation d'une dizaine de pressions anthropiques (urbanisation, aménagements littoraux, mouillages, érosion côtière, etc.), aboutissant à la représentation des impacts cumulés sur les côtes de Méditerranée française. Le système fournit également des cartes de vulnérabilité des habitats (pressions anthropiques et habitats) à fine échelle (cartographie des seuils de régression/rupture de l'herbier de Posidonie par rapport aux diverses pressions et de manière cumulée). MEDTRIX a ainsi permis de regrouper et d'intégrer des données de sources très diverses débouchant sur des cartes de synthèse inédites : évolution de la distribution des herbiers de Posidonie en région PACA depuis 1924 ; surface réelle en 3D occupée par le coralligène sur la façade méditerranéenne française ; cartographie continue des habitats marins en 2D sur l'ensemble de la Méditerranée française.

En termes de perspectives, le système prévoit d'accueillir d'autres réseaux ou projets pour venir enrichir la base de données de surveillance écologique du milieu marin, d'élargir l'étendue géographique aux trois façades, de personnaliser l'utilisation de la plateforme en permettant la création de sa

propre carte à partir des données disponibles, et enfin d'enrichir les cartes d'habitats des projets DONIA et DONIA Expert avec des données sur la réglementation pour des applications d'aide au mouillage pour les plaisanciers.

Observation spatiale et développement d'algorithmes appropriés

GLOBCOAST (ANR Blanc), inscrit dans le cadre des programmes internationaux tels que le LOICZ (*Land-Ocean Interaction in the Coastal Zone*), a pour objectif d'évaluer et analyser l'évolution saisonnière, interannuelle et décennale des eaux côtières globales en termes de composition biogéochimique à partir des observations satellites de la couleur de l'océan (complétées par des mesures in situ et par la modélisation). Pour faire face à un jeu de données hétérogènes et particulièrement conséquent, le système se doit de mettre en place une métrique commune appropriée. Cela inclut le développement des algorithmes pour la couleur de l'eau avec ses corrections atmosphériques (utilisation du réseau *Aerosol Robot Network for ocean color*, AERONET-OC) et bio-optiques (chlorophylle, matières en suspension). Avec de tels traitements, la couverture spatio-temporelle augmente considérablement par rapport à celle issue de traitements standards, et une climatologie globale peut maintenant être produite sur la base de dix ans de données. On observe des variations spatio-temporelles très variées aboutissant à des zones très contrastées et la mise en évidence de *hot spots* à l'échelle globale (golfe du Venezuela, lac Maracaibo, delta du Mekong). Dans le cas du delta du Mekong, on observe une décroissance (matière particulaire en suspension, MPS) de 5 % par an (50 % sur une période dix ans) au niveau de la zone du pro-delta, décroissance responsable d'une forte érosion évaluée à cinq mètres par an. En fait, la cause de cette décroissance ne revient pas tant aux forçages océanographiques, mais aux déficits d'apports du Mékong (barrages et extraction de sédiments) avec une décroissance de la MPS beaucoup plus prononcée en période estivale (fort débit) qu'en période hivernale (faible débit). Les paramètres océanographiques (vent, vagues) n'ont quant à eux pas évolué sur cette période.

Ainsi, le suivi de paramètres optiques et biogéochimiques à partir de l'observation spatiale, combiné avec des paramètres de forçages physiques, le tout intégré dans une métrique appropriée, permet d'acquérir des informations pertinentes sur la part respective des causes anthropiques et naturelles sur l'évolution des milieux côtiers.

Quel encadrement juridique des données ?

Avec les questions de rapprochement et d'interopérabilité des systèmes, la propriété de la donnée est devenue un sujet majeur. En fait, la donnée est un objet à la croisée de plusieurs domaines législatifs : l'environnement, la réutilisation des données publiques, la surveillance maritime, la propriété intellectuelle, les données personnelles, les données liées à un secteur donné (pêche), et demain les données qu'on

utilisera dans le cadre de la planification stratégique maritime. L'Union européenne en fait un enjeu politique avec des objectifs croisés de promotion (production, accès, diffusion, partage, réutilisation) et de protection (propriété intellectuelle, données personnelles, etc.) pour contribuer aux instruments transversaux comme c'est le cas de la politique maritime intégrée. La production de nouvelles données s'impose dans le cadre de la mise en œuvre des directives environnement (DCE, DCSMM, directive Habitat, réseau Natura 2000), mais également de la réglementation visant la surveillance d'activités maritimes (pêche, transport maritime). En matière de recherche scientifique, les règlements H2020 affirment le droit à la propriété intellectuelle sur les résultats tout en garantissant l'accès ouvert aux données. Concernant le partage des données, plusieurs fondements juridiques existent (accès du public à l'information environnementale, Directive INSPIRE, réutilisation des informations du secteur public), auxquels est venue dernièrement s'ajouter la directive sur la planification des espaces maritimes. Il existe cependant une séparation physique et la nécessité de créer des portails entre données se rapportant au milieu marin (EMODnet) et données issues des activités de surveillance (CISE).

En conclusion, l'environnement juridique s'adapte à la fluidité accrue des données, mais sans oublier que ces dernières représenteront toujours un quadruple enjeu : de connaissance, de surveillance (contrôle), économique, et de démocratie.

Conclusion

Cinq grands thèmes se dégagent de cette session : (i) l'interopérabilité des systèmes ; (ii) la place et les liens entretenus avec les producteurs de données ; (iii) l'importance grandissante des données sur les usages ; (iv) les questions de qualification, de propriété et de publication des données ; (v) celles liées à l'archivage et la pérennisation des banques de données.

Interopérabilité

- Du fait de la diversité des traitements (données) et des échelles (locale, régionale, nationale, internationale), il est réaliste de travailler par couches successives.
- Les questions d'interopérabilité sont avant tout d'ordre sémantique, le technique n'intervenant qu'une fois qu'un langage commun a été arrêté. À ce titre, le niveau d'interopérabilité se pose par rapport aux utilisateurs finaux qui sont visés.
- Il y a un gros travail d'homogénéisation des formats au type norme Iso à faire.
- Quelle que soit l'ampleur du système, la gestion des données à la base doit rester au plus proche des producteurs.

Place et liens avec les producteurs de données

- La centralisation n'est pas nécessairement utile, garder les expertises là où elles sont.
- Le contrôle de l'usage des données doit être développé sous forme de licences (comme cela existe déjà) bien que cela

ne suffise pas en cas de large diffusion des données.

- Il est important que les producteurs de données s'insèrent dans les réseaux spécialisés, qu'ils puissent être consultés en tant que tels, et systématiquement disposés de DOI pour les citations.
- Les conditions de diffusion doivent également s'inscrire dans le cadre réglementaire européen (propriété intellectuelle, confidentialité, développements innovants, etc.).
- Dans le cas d'études financées par les fonds publics, des conventions doivent préciser les conditions d'accessibilité aux données.

Priorité donnée à la valorisation par les usages (Big Data)

- Les exemples donnés montrent que les banques de données se structurent rapidement, que ce soit aux niveaux national ou régional.
- Le concept et la construction de plateformes permettant de combiner des données hétérogènes en réponse aux besoins des usagers (y compris scientifiques) se répandent et au niveau national et au niveau des façades maritimes, en phase avec le développement des politiques maritimes intégrées.
- Il devient urgent de développer le métier des sciences de la donnée combinant les connaissances en statistique, informatique, construction d'algorithmes, gestion des données, etc.
- En parallèle, le traitement des données ne peut se faire sans un rapprochement avec les experts dans chacun des domaines concernés.

Qualification, propriété, publication des données

- L'incertitude doit être associée à toute donnée (code qualité).
- Toute série de données doit pouvoir suivre un protocole (métadonnées).
- La meilleure des validations qualitatives des données est celle du retour d'usage qui en est fait.

Archivage et pérennité

- La structuration d'infrastructures nationales doit permettre de partager aux niveaux national et international des données volumineuses (DCSMM), et pour ce faire de pouvoir les transmettre (traitement d'images satellites).
- L'archivage sur le très long terme reste problématique (pérennisation des moyens humain et financiers).
- L'archivage doit être considéré comme la préservation d'un patrimoine.

CONCEPTION/EXPLOITATION DES SYSTÈMES D'OBSERVATION

Observation régionale de la ressource : AMP et Bon état environnemental

Comme on l'a vu, les systèmes d'observation côtière s'orientent de plus en plus vers les usagers pour l'aide à la

gestion des ressources qui les concernent. C'est le cas de l'Observatoire du Parc national du Banc d'Arguin en matière de suivi des dynamiques halieutiques (pratiques et zones de pêche). En fait le terme d'observatoire recouvre plusieurs activités telles que la capitalisation et la diffusion des connaissances, un outil cartographique de zonage de l'espace (réglementation), et une grille d'indicateurs d'efficacité de la gestion du parc. L'observatoire a été conçu et évolue selon un processus de co-construction entre pêcheurs Imraguen (artisanaux), enquêteurs du parc, et scientifiques.

En termes d'outils d'observation, les images satellites ont joué un rôle déterminant pour l'identification de la forme et de l'extension des zones de pêche. Cependant, un très gros travail de terrain a été nécessaire pour harmoniser les appellations des zones de pêche qui, chez chaque groupe de pêcheurs, peuvent prendre des noms différents (toponymie). Il a donc fallu négocier et harmoniser la base de données (enquêtes/données spatiales/géo-référencement) pour parvenir à un zonage fin et multi-usage du parc. Les déplacements des zones de pêche au cours des années montrent une tendance à la diversification de ces dernières, reflet du passage d'une pêche vivrière à une pêche commerciale répondant à la demande des marchés local et international.

Autre réseau régional consacré aux populations de poissons et à leur recrutement en Méditerranée occidentale, le réseau RESPIRE soutenu par l'Agence de l'eau RMC (à nouveau !) dans le cadre d'un des descripteurs de la Directive cadre stratégie pour le milieu marin (DCSMM) et du Plan d'action milieu marin (PAMM) de la Méditerranée occidentale. Ce réseau focalise son observation sur les ports (23 ports) sur des périodicités courtes (deux fois par mois). L'observation fait appel à l'usage d'habitat artificiel pour les comptages à vue, et à la capture de post-larves en mer avec un engin de pêche spécialisé. Les paramètres relevés sont la diversité, l'abondance, la taille, et la répartition dans les différents habitats artificiels du port. De la même manière que MEDTRIX (*voir plus haut*), l'objectif final est de permettre la diffusion des données traitées vers le grand public, les écoles, les associations, etc. À partir des différents paramètres mesurés, l'idée est d'arriver à développer un indicateur d'état biologique pour faire du réseau un véritable outil opérationnel d'aide à la décision. De manière complémentaire, un des récents projets LITEAU (ROC-CONNECT) sur l'optimisation de l'observation pour la recherche sur la conservation des espèces, souligne l'importance des modèles (validés par les observations) pour projeter à grande échelle et dans le temps les effets des changements globaux dont le changement climatique.

Observation du milieu : trajectoires et impact des politiques publiques

De l'observation de la ressource, on passe à celle du milieu, en l'occurrence le milieu lagunaire de l'étang de Thau. L'observation est ici au service de la recherche, mais également des acteurs et décideurs, pour pouvoir apprécier et comprendre les effets des actions de restauration. La

lagune de Thau est un cas d'étude intéressant, aux activités multiples (10 % de la conchyliculture nationale, pêche, thermalisme, tourisme) et donc aux pressions multiples, mais qui de ce fait a multiplié les efforts de gestion depuis les années 90 pour parvenir aujourd'hui à un contrat de gestion intégrée regroupant toutes les initiatives de lutte contre les pollutions et de restauration du milieu lagunaire. Ainsi, malgré une hausse de 46 % de la population depuis les années 70, les apports de phosphore ont été réduits de 75 % grâce à l'assainissement. Cette diminution drastique a permis de diminuer le risque d'eutrophisation et les observations systématiques menées de 2001 à 2013 sur 28 stations, permettent de retracer la trajectoire des mécanismes en jeu dans cette restauration du milieu. L'autre facteur déterminant est celui lié aux conditions météorologiques qui jouent toujours un rôle de déclencheur des crises dystrophiques. On note avec intérêt qu'il y a une évolution des conditions de survenue des malaïgues (vent faible, haute température) qui pourrait laisser penser à une augmentation de la résilience de la lagune. Les autres séries d'observation concernent les macrophytes, avec une dominance des herbiers de 1950 à 1990, suivie d'une dominance des algues rouges (1990-2014). Grâce à toutes ces observations, on a aujourd'hui connaissance des trajectoires d'évolution du système lagunaire dans son ensemble, de sa réponse vis-à-vis des politiques mises en œuvre il y a maintenant plus de trente ans. Au-delà de l'écosystème lagunaire, la question qui se pose à présent est celle de l'équilibre du socio-écosystème en vertu de ses changements multiples. Un nouveau projet, 'Conciliation', a ainsi pour objectif d'analyser l'influence de différents scénarios de gestion (définis avec les usagers et gestionnaires) sur les principales fonctions (alimentation, habitat) et les principaux usages (conchyliculture, pêche, tourisme) soutenus par la lagune de Thau, dans un contexte de durabilité.

Vers une observation et surveillance automatisée en 3D

On l'a déjà vu, la surveillance a besoin de la recherche et de la technologie et vice-versa. Le projet IBISCUS (ANR-ECOTECH) en donne un bon exemple en matière de développement d'indicateurs biologiques et chimiques de contaminations urbaines. Ce projet, ou plutôt cette suite de projets de recherche (FUI, ANR, ADEME, DGCIS, FP7...), ont permis de développer un fluorimètre submersible miniaturisé pour l'acquisition en temps réel et à haute fréquence de mesures de concentrations dans la matière organique dissoute (MOD). Le site choisit est celui de la baie de Marseille, récepteur direct des apports d'une grande agglomération méditerranéenne, avec un élargissement régional en suivant le panache des apports du Rhône. On a affaire à de l'observation intégrée dans tous les sens du terme : technologique (AUV, collecteurs, capteurs in situ...), s'articulant sur plusieurs programmes de recherche (MISTRALS, ECOTECH, FP-ENV...), aux services labellisés (SOMLIT, MOOSE), et aux nombreux partenaires nationaux, régionaux et locaux (ville de Marseille). Les mesures faites

dans la baie de Marseille ont permis de mettre en évidence le Tryptophane (dans la matière organique dissoute) comme marqueur d'activités microbiologiques (eaux usées), mais aussi d'activité phytoplanctonique. L'intérêt d'un tel dispositif d'observation est qu'il permet de faire de l'acquisition haute fréquence de paramètres biogéochimiques descripteurs de la matière organique dissoute (MOD) et des contaminations auxquelles cette dernière est liée. On peut ainsi très rapidement faire des mesures d'impact de la remise en suspension du sédiment, des pluies, localement et à méso-échelle (tourbillon) à partir de la mesure de la MOD, dont certains composants sont de bons indicateurs de contamination. On a donc un dispositif d'observation qui dès à présent peut être utilisé et généralisé dans le cadre des activités de surveillance.

Observation en océanographie côtière : plateforme multi-services et interactive

Pour ce qui est de la ressource ou de l'extension de la contamination, les conditions océanographiques côtières sont déterminantes. Un des organismes qui a la tâche de développer des outils dans ce domaine est le SHOM (Service hydrographique et océanographique de la marine). C'est ainsi qu'entre autres choses, ce dernier créait avec l'Ifremer et d'autres le service Mercator Océan en soutien à la modélisation mondiale et hauturière. Plus récemment, le SHOM et ses partenaires ont développé des modèles régionaux HYCOM (continuité hauturier/côtier) très similaires aux productions PREVIMER de l'Ifremer. Toutes les prévisions océanographiques côtières du SHOM sont visualisables et téléchargeables sur datashom.fr, et sont superposables à d'autres produits tels que cartes marines, Litto3D, cartes Sedim, etc. Parmi les produits régionaux, le projet MerSure (2015-2020) a été lancé dans le cadre du CPER Etat-Région Bretagne avec plusieurs partenaires dont le Pôle Mer Bretagne Atlantique. Il s'agit de créer une plateforme dynamique de prévisions océanographiques côtières (ce que fait exactement PREVIMER...) avec démonstrateur de services en ligne innovants (développement de la plateforme datashom.fr), un réseau d'utilisateurs (portail web collaboratif), et la future intégration des modèles CROCO 3D. Le volet 4 du projet portera sur la formation et le transfert de savoir-faire et de technologies vers les PME et l'UBO. Une approche propre à la région Bretagne, mais qui pourrait être ensuite étendue aux autres régions littorales.

Intégration et articulation des initiatives

Les quelques exemples qui précèdent montrent que les exemples d'observatoire et de mise en réseaux sont légions, orientés recherche ou surveillance. Mais ils ne sont pas nécessairement articulés entre eux alors que la mer et le littoral sont des zones d'interface soumises à des pressions (anthropiques et naturelles) à des échelles spatiales et temporelles multiples. Dans ce qui va suivre, on va retrouver bon nombre de réseaux et d'observatoires présentés dans les différentes sessions.

Côté CNRS, l'observation des systèmes naturels est au cœur des recherches sur le fonctionnement et la modélisation des processus naturels. Trois outils lui sont dédiés : les Observatoires des sciences de l'Univers (OSU), le Corps national des astronomes et physiciens (CNAP), et les Services nationaux d'observation (SNO). Tous contribuent à la progression des connaissances, mais aussi à la surveillance des phénomènes et des milieux naturels. Au lendemain du Grenelle de l'Environnement (2010), a été créée l'Alliance nationale pour la recherche en environnement (AllEnvi) pour insuffler plus de cohérence dans l'ensemble des dispositifs et infrastructures de recherche, toutes organisations confondues. Les politiques de rapprochement opérées par AllEnvi concernent : (i) les systèmes d'observation et d'expérimentation au long terme pour la recherche en environnement (SOERE) ou la mise en réseau des observatoires des différents sites ; (ii) les infrastructures de recherche sur l'environnement ou observer, expérimenter et modéliser pour développer une vision systémique et intégrative (scénarios à court/moyen/long terme).

Le réseau DYNALIT (dynamiques du littoral et trait de côte) est donné comme un exemple de SOERE. C'est un réseau d'observation recherche qui s'attache à répondre à un certain nombre de questions scientifiques en matière d'hydrodynamique, de transport sédimentaire et de morphodynamique. L'intérêt est bien sûr de coupler ces approches (hydro-morpho-dynamiques) sous la forme de modèles à partir des observations satellitaires et de terrain. Derrière ces observations, c'est un vaste réseau d'intervenants entre universités (22), d'OSU (10), et d'UMR (16). Le réseau d'observation comprend en tout 26 sites ateliers dont les procédures sont unifiées (cycle de vie de la donnée), de la création des données, en passant par leur traitement et leur analyse, jusqu'à la bancaisation, l'interopérabilité et la mise à disposition des données. Un tel réseau de réseaux nécessite une gouvernance stratégique (comité d'utilisateurs, comité de pilotage) et un mécanisme opérationnel piloté par un bureau et un coordinateur exécutif.

Du côté de l'Ifremer, deux exemples d'observatoires opérationnels sont donnés : HOSEA (*High frequency observation network for the environment in coastal SEAs*) et REPHY (présenté en session 1). Ils ont tous les deux vocation nationale et font appel à de multiples partenaires.

En termes d'infrastructure, la nouvelle structure ILICO (Infrastructure de recherche littorale et côtière) œuvre pour une recherche environnementale soutenue par les technologies d'observation. Il s'agit de : (i) créer un lieu (virtuel) de rencontre et d'échange d'expertises intégrées ; (ii) mettre en cohérence des services d'observation recherche ; (iii) mutualiser les efforts et les moyens sur des problématiques transversales (interopérabilité des données ; formation par la recherche ; valorisation des résultats, etc.), une manière de coordonner un peu plus les stratégies de recherche mises en œuvre par les différents organismes ; (iv) acquérir une meilleure visibilité aux échelles européenne et internationale. Les thèmes scientifiques et les réseaux existants concernés par cet effort d'intégration au service de la gestion sont : trait de

côte et morpho-dynamique du littoral (DYNALIT) ; niveau de la mer (SONEL-ROSAME) ; distribution et qualité des eaux littorales (SOMLIT, HOSEA) ; suivi intégré multidisciplinaire Méditerranée (MOOSE) ; phytoplancton (REPHY) ; écosystèmes coralliens tropicaux (IA-CORAIL) ; températures de surface océan Pacifique (REEFTEMPS). Bon nombre de ces réseaux ont été décrits précédemment. L'intégration de ces données se fera sous la forme d'un pôle de données océan constitué d'un portail multi-thématique. La forme de gouvernance prévue, avec un champ plus étendu, sera très similaire à la structure mise en place pour le réseau de réseaux DYNALIT.

Le dernier exemple donné en matière d'intégration des systèmes d'observation pour la recherche est le projet européen JERICO-NEXT (H2020) qui fait suite à JERICO (FP7). Ce dernier a à son actif : (i) la réalisation d'un état de l'art des systèmes d'observation côtière ; (ii) la définition de bonnes pratiques en matière d'utilisation des supports et capteurs ; (iii) l'harmonisation des flux de données (SeaDataNet ; MyOcean) ; (iv) le développement de nouvelles technologies d'observation. Le nouveau JERICO-NEXT (34 partenaires) vise l'organisation d'une infrastructure européenne harmonisée intégrant les observations côtières de nature physique, chimique et biologique. Il s'agira notamment de mieux appréhender les relations entre données physiques et biologiques pour parvenir à une meilleure caractérisation de la santé de l'écosystème et des pressions exercées sur la biodiversité marine. À ce sujet, le système contribuera au suivi de plusieurs descripteurs de la DCSMM : conditions hydrographiques (D7), macro-déchets (D10) et espèces invasives (D2). En première approche, trois zones d'étude à large échelle sont proposées : Sud-Est du golfe de Gascogne, Méditerranée et German Bight.

Conclusion

« *Mieux on observe, mieux on comprend et... mieux on gère* ».

La session 3 a permis de montrer combien les observatoires et les systèmes d'observation des systèmes littoraux et marins peuvent être divers dans leur conception souvent liée à un contexte et en réponse à une demande, qu'elle soit régionale, nationale ou européenne (AMPs, DCSMM, etc.), ce qui n'exclut pas de larges recouvrements entre eux et une complémentarité certaine, mais pas nécessairement une mise en valeur, tant les systèmes diffèrent (nature, collecte et archivage des données, échelles couvertes, organisme gestionnaire, financements). Même s'ils sont susceptibles d'enseignements pour être plus tard répliqués, certains réseaux locaux de suivi des effets des politiques publiques gardent une légitimité locale forte du fait qu'ils s'inscrivent dans un dispositif de gestion très structuré (parc du Banc d'Arguin, lagune de Thau).

À plus grande échelle (littoral méditerranéen français), certains réseaux ont été mis en place par les gestionnaires eux-mêmes (Agence de l'eau RMC, réseau RESPIRE) et répondent à un objectif de gestion très précis (façade méditerranéenne pour RESPIRE en lien avec le descripteur

D3, Espèces exploitées de la DCSMM).

Pour remédier à cela, le CNRS comme l'Ifremer ont montré, à travers des exemples concrets et pour faire face à un contexte budgétaire contraint, l'effort en cours pour structurer entre elles les infrastructures d'observation et parvenir à des systèmes d'intégration des données (physiques, chimiques, biologiques) pour la recherche et en aide à la gestion des milieux côtiers. L'idée de plateforme multiservices et interactive revient souvent (MERSUR, DYNALIT, ILICO...) en insistant sur l'interopérabilité des systèmes. Plus en amont, ces efforts d'intégration jouent aussi sur le développement de nouvelles technologies (supports et capteurs, comme dans le cas du projet ANR IBISCUS).

Dans le même sens, on assiste à la mise en place de labellisation des réseaux pour une meilleure visibilité aux yeux des décideurs, gestionnaires et du public.

Les territoires et échelles d'observation (local au global, BF à HF), tout comme les termes utilisés pour aborder les observatoires et leurs observations, sont donc très variés, mais on ne voit nulle part mention de l'approche écosystème, de la prise en compte du fonctionnement et des services que représentent les entités écosystémiques (quelle que soit leur échelle). Les exemples qui en font mention implicitement sont ceux qui sont bien délimités dans l'espace du fait de la configuration de ce dernier (banc d'Arguin, lagune de Tau). Par contre, on ne trouve aucun exemple à l'échelle des mers régionales si ce n'est la Méditerranée, les territoires outremer quant à eux restent très peu couverts.

Il semble aussi que la considération observation, plutôt liée aux travaux de recherche, l'emporte sur tout ce qui est réseau de surveillance, pourtant aussi susceptibles d'alimenter la recherche (REPHY), les deux approches ayant l'objectif ultime commun d'observer pour mieux gérer les territoires littoraux et marins. Pour malgré tout bien séparer les genres, tout le monde s'accorde à dire que la surveillance opérationnelle est de l'observation, mais se réfère à des seuils et/ou des normes fixées par la réglementation. En fait, il apparaît que les équipes concernées sont suffisamment matures aujourd'hui pour échanger et travailler ensemble à faire le lien entre recherche et opérationnel, mais il faut qu'elles soient soutenues institutionnellement et financièrement dans ce sens.

COPRODUCTION ET SCIENCES PARTICIPATIVES

Sciences participatives et biodiversité marine et côtière

BioLit est un des plus importants programmes de sciences participatives sur la biodiversité du littoral. Il a démarré en 2010 pour contribuer à répondre à des besoins de capitalisation de données brutes à large échelle spatio-temporelle, d'amélioration des connaissances du patrimoine naturel côtier, de mise en place d'indicateurs de qualité des habitats, et enfin de sensibilisation du public. Sur le plan participatif, il se compose à ce jour de six thématiques de suivi réalisables sur tout le littoral métropolitain. Sur le plan scientifique, il comprend notamment, sous forme d'étude, le suivi des algues

brunes et des bigorneaux (Atlantique, Manche et Mer du Nord) comme indicateur potentiel de la qualité globale des milieux littoraux. Pour ce faire, trois types de protocole se combinent : un protocole tout public (présence/absence ; association algues brunes/bigorneaux), un protocole accompagné (données d'abondance, compétition interspécifique, couverture algale), et un protocole expert (qui reprend le protocole accompagné). Grâce à ce dispositif multi-acteurs (250 informateurs en 2014), le réseau a déjà enregistré les premières tendances à partir de données validées depuis juillet 2012. Dans un tel réseau multi-acteurs, l'animation est évidemment primordiale : faire connaître, former et/ou donner les moyens de participer, fidéliser en rendant compte et en donnant ainsi le sentiment que le collecteur de données, quel qu'il soit, n'agit pas isolément mais appartient à une communauté. Dans ce but, de nombreux guides (dont un guide d'identification des espèces), brochures, protocoles ont été développés et largement distribués en utilisant tous les médias à disposition. Le développement sociologique de BioLit fait à présent l'objet d'un projet (2015-2017) soutenu par la Fondation de France : identification des publics participants, analyse des leviers/freins de participation, production d'argumentaire ciblé.

Toujours en lien avec la biodiversité marine et côtière, mais plus à l'état de projet, InGéoVom (2015-2016) soutenu par la Fondation de France et l'AAMP, a pour but d'analyser la production, la circulation et l'usage de l'information issue des sciences participatives, d'identifier qui en sont les acteurs, et d'examiner les éventuels blocages et les perspectives. À la suite d'une enquête (questionnaires), il apparaît que les programmes de sciences participatives dans le domaine de la biodiversité sont nombreux en France métropolitaine (29) et nettement moins en outre-mer (sept sur l'ensemble des territoires). Les organismes porteurs sont très souvent des associations naturalistes et/ou environnementales. De manière générale, les premiers constats sont les suivants : (i) les programmes de sciences participatives vont augmentant en nombre, mais avec une grande hétérogénéité des objectifs et des moyens ; (ii) les contributeurs collecteurs ont un profil variable et ne bénéficient pas tous d'une formation préalable ; (iii) le numérique est de plus en plus mis à contribution comme support à la promotion des activités d'observation et comme moyen facile et plaisant pour les contributeurs ; (iv) à l'hétérogénéité spatiale et temporelle s'ajoute une diffusion et une mutualisation de l'information produite non systématique. La phase finale de ce projet consiste à présent à étudier la faisabilité de mise en contexte de la production de ces informations diverses dans les procédures et dispositifs existants (open data, directive Inspire, co-existence d'une information institutionnelle et institutionnelle).

Sciences participatives et observation de la qualité des eaux

En lien avec la biodiversité (BioLit), autre exemple de démarche participative : le réseau ECOFLUX de suivi des nutriments (nitrate, phosphate et silicate) le long des côtes du Finistère

(Bretagne) par prélèvements (hebdomadaires) et analyse des eaux de surface en aval des rivières débouchant sur le littoral. Les résultats et la diffusion des données sont disponibles sur le site dédié d'ECOFLUX, dans le cadre de l'IUEM (Institut universitaire européen de la mer) et de l'UBO. Les classes d'école sont parmi les destinataires privilégiés des résultats avec plus de 150 d'entre elles sensibilisées depuis la création du réseau (1998). Grâce à ses publications (publications grand public, publications scientifiques), le réseau est de mieux en mieux connu et a fait l'objet de 250 demandes de données depuis qu'il existe. Ses données ont notamment été utilisées dans le cadre du développement du plan interministériel de lutte contre les algues vertes et de son évaluation sur les trois territoires concernés dans le Finistère. Ce réseau est également inscrit dans les réseaux d'observation régionale (bassin versant) en protocole avec la Région Bretagne et la DREAL. Là également, réseau multi-acteurs, mais avec tout un processus qualité de traitement, validation, bancarisation et diffusion des données. Depuis maintenant plus de 16 ans, le réseau a ainsi permis de dégager des tendances (à l'aide de la modélisation) en termes d'influence directe/indirecte des forçages sur la variabilité des éléments nutritifs à différentes échelles de temps (saisonniers, annuelles, interannuelles) et sur l'ensemble d'un territoire (département Finistère dans ce cas), sachant que l'impact des éléments nutritifs sur les eaux littorales se détermine essentiellement par la mesure des flux et non par leur concentration dans la colonne d'eau à un instant t.

Une réflexion est en cours pour étendre la démarche ECOFLUX sur l'ensemble de la région Bretagne (en relation avec SDAGE/SAGEs) avec trois piliers, pédagogique, scientifique, et d'aide à la gestion.

La présentation du réseau Phenomer nous fait passer de l'observation de la biodiversité intertidale et de l'évolution des nutriments dans les cours d'eau, à la répartition et biodiversité des efflorescences algales. En complément des réseaux de surveillance existants et des campagnes océanographiques, le réseau Phenomer cible l'observation des eaux colorées visibles pour pouvoir ainsi multiplier les points d'observation en structurant un réseau intégré entre scientifiques et grand public (partenariat). Le réseau a été lancé en 2013 en Bretagne et étendu au département de Loire-Atlantique en 2014. Les informations sur la présence d'eaux colorées sont transmises par téléphone par application Smartphone ou sur formulaire disponible sur le site, et les prélèvements d'eau (identification des espèces) sont effectués soit par des scientifiques ou des volontaires pour être transmis au labo d'analyse le plus proche. Le réseau a ainsi permis de : (i) mieux apprécier l'étendue des eaux colorées rouges provoquées par *Noctiluca scintillans* en Bretagne sud (phénologie des efflorescences) ; (ii) confirmer la sensibilité de la zone baie de Vilaine/estuaire de la Loire aux efflorescences de *Lepidodinium chlorophorum* (fréquence et récurrence des événements) ; (iii) détecter de nouveaux blooms de deux espèces de micro-algues nuisibles (biogéographie des espèces). En termes de constat, il est clair que le signalement des citoyens ne suffit pas ; il faut absolument que cela soit complété par des prélèvements faits

par des collecteurs scientifiques ou volontaires (formés et organisés). Outre un renforcement à court terme, il est prévu de progressivement étendre l'approche à l'ensemble des côtes métropolitaines françaises, et dans le même temps repenser le portage du projet (associatifs/scientifiques) dans un but de pérennisation financière.

L'observation des habitats et la contribution des plongeurs

Autre sujet de suivi : les habitats, et plus particulièrement les habitats coralligènes de la Méditerranée. C'est l'objectif du réseau CIGESMED, en lien avec le diagnostic et le suivi du bon état environnemental (DCSMM/Approche Ecosystème) en Méditerranée. Il s'agit ici d'un projet SeasEra (EU FP7 ERANET) entre organismes scientifiques européens (France et Grèce) impliquant les plongeurs amateurs qui sont nombreux en Méditerranée. Ceux-ci reçoivent une formation préalable pour procéder à l'observation dans le temps et la cartographie des habitats coralligènes et des pressions qu'ils subissent. Des questionnaires et des fiches descriptives d'espèces et d'autres paramètres descriptifs de l'habitat sont actuellement testés et distribués sur un ensemble de sites pilotes.

Sciences participatives et droit coutumier

Un bon exemple de réseau participatif nous est donné pour l'outre-mer : le suivi de l'érosion côtière à Ouvéa (îles Loyauté, Nouvelle-Calédonie), un sujet de tout premier ordre pour les petites îles du Pacifique sud. Ouvéa est une île éminemment vulnérable aux forçages météo-marins (cyclones, tsunamis, coups d'Ouest) et à l'érosion côtière, tout cela dans un contexte coutumier. Les zones dites à risque concernent plus de 40 % de la population, 68 % des zones classées pour la protection de l'environnement et 90 % des structures touristiques. Dans certaines zones, le trait de côte a ainsi reculé de 40 mètres en cinquante ans, les aménagements n'ayant souvent fait qu'empirer la situation. Si l'on veut parler de sciences participatives à Ouvéa, il est essentiel de prendre en compte la coutume et le fonctionnement des dynamiques socio-territoriales. Cela correspond à un long processus qui commence par la connaissance des enjeux et du contexte coutumier, se poursuit par la sensibilisation (écoles, événements, mairie) et la concertation, le recueil des savoirs locaux (cartographie participative, entretiens, visites terrain), et enfin une première campagne de mesure de l'évolution du trait de côte (depuis 2015). Le public touché est de tous ordres et, par l'appropriation de la problématique, commence soit, à s'interroger sur la localisation de ses futurs projets fonciers dans les zones basses, ou passe à la destruction d'aménagements perturbant le transit littoral. De manière générale se dégage une volonté politique de développer les tribus vers les plateaux plutôt que dans les parties basses de l'île. Les volontaires et désignés par la coutume sont formés aux différentes techniques de mesure pour pouvoir finalement en adopter une plus particulièrement adaptée aux conditions locales (ici, l'utilisation d'un cadre). Le réseau est devenu ainsi

un outil de liaison entre des acteurs qui ne communiquent pas nécessairement entre eux. C'est également un support d'activités diverses (sensibilisation, information, éducation), avec une veille scientifique pérenne sur les terrains étudiés. En bref, c'est un outil au service de la gestion intégrée de l'île. En perspective, le but est de transformer ce réseau encore informel en observatoire pérenne qui puisse être intégré aux réseaux nationaux et internationaux (SOERE, ALERT) et être ainsi labellisé.

Conclusion

L'échange sur les sciences participatives dans le cadre de l'observation environnementale révèle une activité déjà fortement pratiquée entre « sachant » et « non sachant », avec une réelle contribution aux réseaux institutionnels nationaux depuis déjà plusieurs années pour certains d'entre eux. Parmi ces derniers, on peut distinguer deux catégories de réseau : ceux qui utilisent et mettent en avant des volontaires « avertis » comme les plongeurs, et ceux qui font du réseau un outil non seulement d'observation mais également d'ouverture sur des questions de société telles que la relocalisation en réaction

au recul du trait de côte. Chez tous, on constate un important travail d'animation qui consiste à sensibiliser, former, valider la donnée, et la rendre aux contributeurs pour qu'ils s'approprient de plus en plus la problématique sur laquelle ils interviennent.

Il y a cet effort d'appropriation d'un côté, et la nécessité de valider scientifiquement les protocoles et la production de données. Pour les animateurs, cela implique d'être familiers avec la rigueur scientifique tout en ayant une bonne connaissance du milieu socio-économique et des comportements ou des postures de chaque groupe socioprofessionnel.

L'animateur/scientifique devient un « passeur » qui se préoccupe de mobiliser tous les savoirs (y compris la mémoire des territoires) et qui, dans ce sens, doit pouvoir compter sur l'apport des sciences sociales (sciences participatives) dans les échanges, les négociations et les adaptations qu'il doit en permanence mettre en œuvre.

Dans ce sens, il s'agit de « permettre au plus grand nombre de participer à la science et à la science de bénéficier du plus grand nombre » (citation BioLit).



conclusion

Connaître pour agir Pour un développement équilibré des espaces littoraux et maritimes



Cet ouvrage a pour ambition de montrer très concrètement la diversité des activités et thématiques couvertes dans le cadre de LITEAU, programme de recherche finalisée impliquant tour à tour ou ensemble, les acteurs de la recherche, de l'administration, des collectivités, et des populations ou groupes locaux. Ceci conduit LITEAU à intégrer la complexité nécessairement liée à la mise en œuvre des politiques publiques, en termes de méthodologies, de bases de données intégrées et interopérables, ou encore en termes de mobilisation des parties prenantes (professionnels, habitants, citoyens) selon une démarche d'apprentissage collectif.

Le premier thème porte sur les écosystèmes estuariens et côtiers peu profonds situés aux interfaces entre les écosystèmes continentaux et marins du large, dépendants à la fois des apports amont dont ceux en sels nutritifs et des apports marins dont les intrusions marines de salinité.

Malgré des problématiques différentes, les trois projets ont démontré la nécessité d'avoir une bonne connaissance de la biologie et de l'écologie des espèces prises une à une, du couplage des approches de l'observation, de l'expérimentation et de la modélisation dans la compréhension des écosystèmes côtiers. Cette approche n'a pas été la seule affaire des spécialistes, mais a souvent été menée sous forme de co-construction de scénarios validés par l'ensemble des parties prenantes. Nous retrouvons bien là une des particularités de « l'esprit LITEAU » : faire se rencontrer des scientifiques, des acteurs et des décideurs du littoral et des systèmes côtiers.

Le deuxième thème porte sur les recompositions et représentations des territoires littoraux dans le temps et dans l'espace. Les projets concernés ont illustré, par la reconstitution du passé et des exercices de prospective, la diversité des représentations et la nécessité de co-construire des représentations communes quant aux trajectoires d'évolution et de résilience des littoraux. Comme le rappelle la stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte, il est impératif d'intégrer le caractère évolutif de ces territoires, conséquence de la mobilité naturelle du trait de côte.

Enfin, le colloque de Brest (janvier 2016) a permis de faire un important état des lieux et d'aborder de nombreuses questions liées à l'observation de la mer et du littoral. Il visait plus précisément à examiner le renouvellement des modes de production de connaissances, et en particulier, les relations évolutives et complexes entre les dynamiques de l'observation de la mer et du littoral et la recherche.

Déjà, dans l'ouvrage LITEAU publié en mars 2015, l'observation et les divers équipements et services qui la sous-tendent avaient été identifiés comme une des priorités de recherche. Ainsi, et par exemple, un besoin de suivi des espèces natives et non-natives a été identifié pour une bonne compréhension du fonctionnement des écosystèmes littoraux et pour leurs préservations. Des besoins de diversification des moyens de collecte des données, de davantage d'intégration, de diffusion et d'utilisation des données par les gestionnaires ont été soulignés, avec une nécessaire interopérabilité des différents dispositifs de mesure et un besoin d'intégration des données produites par les sciences participatives. Un lien est à faire entre observation pour la recherche et surveillance en soutien aux politiques publiques et activités économiques. De nombreux dispositifs existent déjà, d'autres sont peut-être encore à inventer ou à compléter, en fonction des besoins de suivi et de rapportage des différentes politiques.

Dans tous les cas, il est important que ces systèmes d'observation soient co-construits par la communauté de recherche dans son ensemble, en y incluant les dimensions des sciences humaines et sociales, qu'ils s'appuient, dans toute la mesure du possible, sur la mobilisation des acteurs locaux, notamment au travers des sciences participatives et qu'ils prennent bien en compte les besoins spécifiques de données pour la recherche. Tout ce que nous réunissons aujourd'hui déjà et réunirons dans l'avenir à travers les dispositifs d'observation, c'est autant de données fiables sur lesquelles la recherche pourra s'appuyer. En effet, dans le domaine de l'océan et du littoral, nous savons tous qu'une partie significative des progrès scientifiques repose sur les données d'observation. Et la participation des acteurs est un élément clé pour une meilleure acceptation des résultats de recherche par la société civile, notamment en ce qui concerne les travaux sur les risques littoraux de submersion ou d'inondation.

annexe 1

**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
- Jean-Claude DAUVIN, professeur, université de Caen Basse-Normandie (écologie littorale) – vice-président du conseil scientifique
- Yves HENOCQUE, Ifremer (gestion intégrée, gouvernance) – vice-président du conseil scientifique
- Geneviève BARNAUD, Muséum national d'Histoire naturelle (écologie des zones humides)
- Philippe BOËT, directeur de recherche, Irstea (écologie estuarienne)
- Louis BRIGAND, professeur, université de Bretagne occidentale (géographie)
- Philippe CUGIER, Ifremer (modélisation des écosystèmes marins côtiers)
- 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, ichtyologie)
- 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)
- 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)

MEMBRES DU COMITÉ D'ORIENTATION

Le comité d'orientation est présidé par le chef du service de la recherche du ministère de la Transition énergétique et solidaire

- Ministère de la Transition énergétique et solidaire
 - 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
 - Délégation à la mer et au littoral
 - Directions interrégionales de la mer (un représentant)
 - Directions régionales de l'environnement, de l'aménagement et du logement (un représentant)
- 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)
- Fédération des parcs naturels régionaux
- Région Bretagne
- GIP Littoral Aquitain
- Association nationale des élus du littoral
- Fondation de France
- Fondation Total
- Pôle mer PACA
- Président(e) du Conseil scientifique du programme LITEAU

annexe 2

Appels à propositions de recherche et projets du programme LITEAU 2003-2016



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 de la Transition écologique et solidaire.

APPELS À PROPOSITIONS DE RECHERCHE DE 2003 À 2007 (OBJET DE LA PUBLICATION DE MARS 2015)

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 Lefebvre (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 – APPEL À PROPOSITIONS DE RECHERCHE 2009 (OBJET DE LA PUBLICATION DE DÉCEMBRE 2015)

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 marines 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 Tatoni (université de la Méditerranée, IMBE) et Lidwine Le Mire-Pécheux (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 (IDDR).
- 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 dépollérisation ?
Coordinateurs : Lydie Goeldner-Gianella (université Paris 1), Frédéric Bertrand (université Paris 4).

APPEL À PROPOSITIONS DE RECHERCHE 2012 (OBJET DE LA PRÉSENTE PUBLICATION)

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 Âge Glaciaire à nos jours : une aide à l'évaluation de la vulnérabilité des zones côtières.
Coordinatrice : Bernadette Tessier (université de Caen, M2C).

Conditions générales d'utilisation

Toute reproduction ou représentation intégrale ou partielle, par quelque procédé que ce soit, des pages publiées dans le présent ouvrage, faite sans l'autorisation de l'éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (3, rue Hautefeuille — 75006 Paris), est illicite et constitue une contrefaçon. Seules sont autorisées, d'une part, les reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective, et, d'autre part, les analyses et courtes citations justifiées par le caractère scientifique ou d'information de l'œuvre dans laquelle elles sont incorporées (loi du 1^{er} juillet 1992 — art. L.122-4 et L.122-5 et Code pénal art. 425).

Dépôt légal : mai 2018
ISSN : 2552-2272

Directrice de la publication : Laurence Monnoyer-Smith
Maquettage et réalisation : Chromatiques, Paris



Le programme de recherche LITEAU soutient depuis 1998 des recherches finalisées en appui aux politiques publiques pour le développement durable de la mer et des littoraux.

Le présent ouvrage détaille les résultats de six projets de recherche (2012-2016) qui éclairent deux grandes problématiques :

- la compréhension des processus physiques influençant la structure spatiale des espèces marines à la gestion des aires marines protégées ;
- les recompositions et représentations des territoires littoraux dans le temps et dans l'espace.

Il présente également la synthèse du colloque de Brest (14 et 15 janvier 2016) qui a porté sur l'observation et la recherche en appui aux politiques publiques du littoral et de la mer.

Ce document de synthèse destiné aux chercheurs comme aux gestionnaires permet de faire apparaître la valeur ajoutée très particulière d'un programme comme LITEAU dans le double contexte d'un fort renouvellement des champs de recherche sur l'espace littoral et le monde maritime et d'intenses mouvements de recomposition de la science et de la gouvernance territoriale du littoral et de la mer.

Pour un développement équilibré des espaces littoraux et maritimes

Connaître pour agir,
enseignements du
programme de recherche
Liteau 2012-2016



Commissariat général au développement durable

Direction de la recherche et de l'innovation
Service de la recherche
Tour Séquoia
92055 La Défense cedex
Courriel : dri.cgdd@developpement-durable.gouv.fr

www.ecologie-solidaire.gouv.fr

