

L'ATELIER EUCC-FRANCE A NOIRMOUTIER : LA PROBLEMATIQUE

Jean Favennec

Sur la côte atlantique, la gestion « traditionnelle » des dunes (19^{ème} et 20^{ème} siècles) visait à soustraire les terres de l'« invasion » des sables : fixation des parties internes par boisement et contrôle de la mobilité des dunes bordières... Le rôle des dunes en matière de modération de l'érosion marine et de limitation des risques de submersion n'était pas au centre des préoccupations des organismes en charge des dunes. Cette mission particulière n'était pas confiée à l'Office national des forêts, gestionnaire des dunes domaniales...

Cependant dans les années 1990/2000, le rôle des dunes (en étroite interaction avec les plages) en matière de gestion et de prévention des risques d'érosion marine et de submersion est de plus en plus mis en exergue... C'est notamment le regretté Roland Paskoff, éminent géographe et pédagogue, qui a expliqué avec constance que le degré d'érosion d'un secteur de côte sableuse est étroitement lié au « budget sédimentaire » du système plage/dune concerné...

Pour répondre aux attentes particulières de certaines communautés, des réflexions sectorielles sont engagées, par exemple sur les dunes de Luzérone, au nord-ouest de Noirmoutier (Voir article « Lorsque la dune devient digue, l'exemple de Noirmoutier » par L. Gougnet dans la revue de l'ONF *Rendez vous techniques* n° 17 de l'été 2007)...

Après le traumatisme de la tempête Xynthia en février 2010, un intense débat est ouvert sur les modes de gestion des côtes, et particulièrement sur les règles en matière d'urbanisme. Certaines pistes qui pouvaient paraître théoriques, ou d'application lointaine, deviennent d'actualité, des zones urbanisées en zone à risque sont supprimées...

Cette prise de conscience relance le débat, dans des directions parfois contradictoires : validation des principes du « repli stratégique », mais aussi demandes de renforcement des défenses dures dans les zones menacées à court terme. Ces contradictions sont en partie liées aux différentes échelles temporelles et spatiales de l'analyse des uns et des autres ; le poids des actions historiques de conquête et de défense est aussi déterminant. Dans certains cas, la mise en œuvre d'un repli des enjeux à moyen terme n'exclut pas des travaux immédiats de défense, mais il est toujours nécessaire d'intégrer ces différentes échéances dans les plans d'action.

La gestion des risques côtiers doit aussi être replacée dans un contexte de « changement global » qui aujourd'hui n'est plus discuté. Un consensus se dégage sur une augmentation du niveau de la mer de l'ordre de un mètre à l'horizon 2100, facteur qui viendra augmenter les risques dans les secteurs déjà fragiles.

Ces différents éléments de contexte imposent une profonde réflexion sur les aménagements littoraux, dans tous les domaines : devenir des zones urbanisées en zone à risque, nouvel urbanisme, mode d'organisation de l'accueil du public, conservation des habitats prenant en compte leur degré de mobilité, gestion des digues et des dunes...

Au cours de cet atelier le débat sera centré sur les dunes, en vue de répondre au mieux aux diverses attentes sociales : contrôle de la mobilité des sables, conservation de milieux originaux et rares, maintien d'un cadre propice au développement touristique, mitigation des risques érosion marine et submersion...

Ce dernier rôle des dunes a été récemment porté à l'avant-scène, et cité dans divers cadres : le « Grenelle de la mer », le Plan national de submersion rapide (PNSR) de février 2011 qui vise en priorité la sécurité des personnes et prévoit la labellisation de Programmes d'action pour la prévention des risques d'inondation intégrant les risques de submersion (PAPI), le rapport Cousin de novembre 2011 « Propositions pour une stratégie nationale du trait de côte, du recul stratégique et de défense contre la mer, partagée entre l'Etat et les collectivités territoriales »...

Ce dernier rapport constitue la base de la stratégie nationale validée en février 2012 par le Ministère de l'écologie par le document de « Stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte, vers la relocalisation des activités et des biens ». C'est dans ce nouveau cadre, qui précise que les cordons dunaires « contribuent à limiter l'impact de l'érosion côtière... », que doit être examiné le rôle des dunes littorales...

L'île de Noirmoutier présente un échantillon très varié de types de dunes : des cordons de différentes largeurs qui précèdent des zones basses avec ou sans enjeux urbains, des dunes en érosion et des dunes en accrétion... C'est un lieu idéal pour débattre et expérimenter sur le thème qui est au centre de cet atelier : comment vivre avec les risques d'érosion et de submersion ?

Au cours de cette rencontre seront abordés divers modes de gestion des dunes, différentes méthodes d'analyse et de cartographie des systèmes dunaires sous leurs aspects géomorphologique et végétal, en replaçant cet environnement dans sa dynamique à court moyen et long terme...

Les divers plans d'aménagement du territoire de la Communauté de Communes de l'île de Noirmoutier seront un important fil conducteur de notre cheminement : un PPRL et un PAPI y sont en effet en cours d'élaboration.

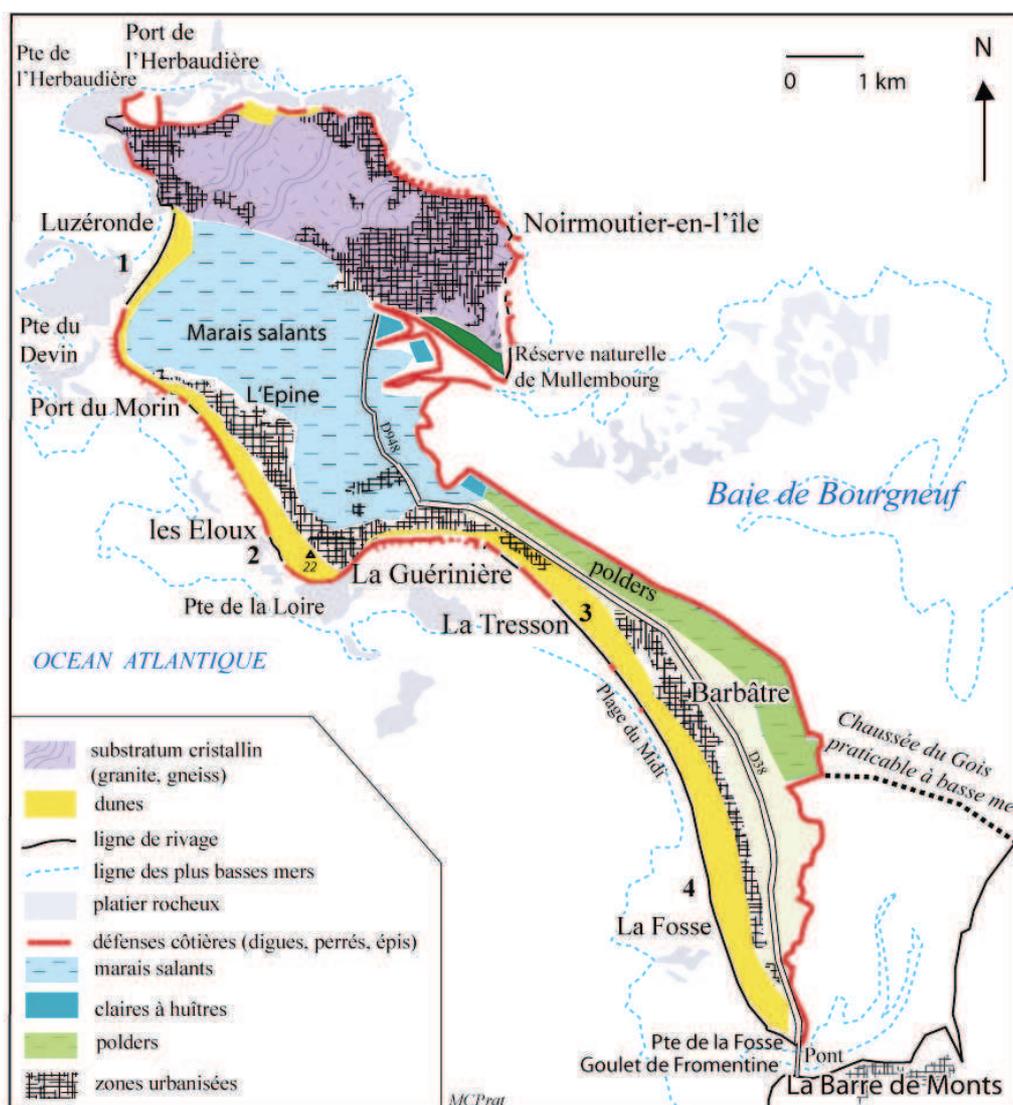
Les attentes sociétales seront également prises en compte. La participation des diverses parties prenantes, dans un débat ouvert et apaisé, est la clé de voûte de cet atelier organisé par EUCC-France qui vise à partager l'expérience des uns et des autres, pour favoriser une gestion raisonnable des littoraux.

L'ILE DE NOIRMOUTIER (VENDEE)

PRESENTATION GENERALE

Marie Claire Prat

Allongée selon un axe NO-SE sur 19 km, relativement étroite (1 à 6 km), l'île de Noirmoutier est séparée du continent par le Goulet de Fromentine. Si la côte occidentale s'ouvre vers l'ouest sur l'Atlantique, ses rivages au nord-est bordent une large baie peu profonde, la baie de Bourgneuf. Le régime des marées est ici macrotidal avec des marées semi-diurnes et un marnage moyen de 4 m. A marée basse, l'île est reliée au continent par la chaussée du Gois, accumulation de sable formée à la rencontre des courants de flot qui contournent l'île par le nord et par le sud. Progressivement exhaussée, elle est aujourd'hui située aux alentours du 0 NGF. Depuis le XIX^e siècle, une route submersible a été construite sur cette chaussée qui n'émerge que durant 4 h en morte eau et 5 h en vive eau. Un pont, ouvert en 1971, permet de relier en permanence l'île à la côte vendéenne (carte ci-dessous : les chiffres 1, 2, 3, 4 indiquent les arrêts successifs lors de la journée de terrain).



La situation de l'île explique son climat tempéré océanique (12,8°C de moyenne annuelle, 639 mm de précipitations) mais l'ensoleillement est élevé (2100 h/an). Les vents de secteur ouest à sud-ouest dominant en hiver et les vents de secteur ouest à nord-ouest en été, mais les vents de nord-est ne sont pas négligeables (24,2%). Les vents les plus forts (supérieurs à 8m/s soit force 5 Beaufort) représentent 8,1% (source Météo France) dont la grande majorité (86,4%) sont de secteur sud-ouest à nord-ouest. Les tempêtes les plus fréquentes et les plus fortes viennent du sud-ouest.

L'île de Noirmoutier est basse (alt.max : 22 m au lieu-dit la Loire) et très exposée aux tempêtes comme aux surcotes marines d'autant plus que les deux tiers de la superficie sont en dessous du niveau des hautes mers de vives eaux. Ce sont les rivages tournés vers le nord-ouest, l'ouest et le sud-ouest qui sont les plus exposés en raison des vents et des houles dominants. La conjonction d'une forte dépression, d'un coefficient de marée élevé et de vents violents, peut entraîner des surcotes qui peuvent atteindre un mètre.

L'histoire de la formation de l'île explique **les grands ensembles du paysage** noirmoutrin (voir carte ci-dessus) :

-le nord de l'île (anciennement l'île d'Her) correspond au **noyau cristallin de l'Herbaudière** (granite et gneiss) qui se termine par une côte rocheuse basse, prolongée sur l'estran par des platiers rocheux. Les pointes rocheuses servent d'ancrage à des cordons dunaires bas et étroits.

-au sud de Noirmoutier-en-l'île, les plateaux de calcaire éocène émergés lors de la régression würmienne sont en grande partie masqués par le colmatage flandrien (le bri). Celui-ci est formé de minéraux argileux et de fines particules de quartz, feldspath, calcite et dolomie. Entre Noirmoutier-en-l'île et La Guérinière, une zone située en dessous du niveau des plus hautes mers de vives eaux a été transformée en **marais salants** drainés par des étiers et communiquant avec la mer par le chenal d'accès au port de Noirmoutier.

- à l'ouest, l'île est essentiellement bordée de **côtes sableuses**. Un cordon littoral se développe depuis l'Herbaudière où il est ancré sur les gneiss de Luzeronde jusqu'à La Fosse. Il s'appuie sur les pointes rocheuses cristallines au nord et les platiers calcaires plus au sud. Progressivement formé lors de la transgression flandrienne par la remontée des sables depuis la plateforme continentale, il est modelé en dunes qui culminent à 22 m.

On y distingue plusieurs ensembles, les pointes rocheuses constituant les limites naturelles de 3 cellules hydrosédimentaires :

- **le cordon dunaire de Luzeronde**, entre la pointe de l'Herbaudière et la Pointe du Devin, se développe sur 4 km et ferme à l'ouest les marais salants. Il est étroit (60 à 400 m), peu élevé (3-4 m), et a été renforcé par une digue et deux épis.

-**le cordon dunaire de l'Epine**, large de 700 à 1200 m, s'allonge sur 4,5 km entre la pointe du Devin et la pointe de la Loire. Son altitude augmente de 3 m à 22 m au lieu-dit : la Loire.

-Vers le sud, **une flèche littorale** se développe sur 12 km, limitant des polders ou des marais salants au niveau de la Guérinière. Ancré au nord sur la pointe de la Loire et plus au sud sur les platiers rocheux, large de 500 à 1000 m, ce cordon littoral porte des dunes basses (de 10 m à 15 m). Dans le passé, cette flèche littorale limitait les estrans vaseux situés plus à l'est et qui ont été conquis par les hommes (polders).

-les **polders** utilisés pour les cultures s'étendent à l'est de ces dunes. Couvrant une superficie de 7 km², ils sont situés à environ 3 m en dessous du niveau des plus hautes mers de vives eaux et sont protégés au nord-est par les digues qui bordent la baie de Bourgneuf. Mais cette côte orientale, bien qu'abritée des houles du large, peut être menacée (surcotes, vents du nord-est).

L'histoire de Noirmoutier est jalonnée par les grands épisodes de lutte contre l'érosion marine, la submersion des terres ou l'ensablement. La conquête des terres par les habitants de l'île a commencé dès le VII^e siècle, avec la mise en valeur des marais humides grâce à des travaux de drainage, de protection par des digues, et à l'aménagement de marais salants.

A partir du XVII^e siècle, de nouvelles terres ont été gagnées sur la mer grâce aux techniques flamandes. Au XVIII^e siècle et dans la première moitié du XIX^e siècle, des travaux de défense ont été réalisés pour assurer la protection des zones basses utilisées par les hommes pour l'agriculture ou la saliculture. Des digues ont été édifiées progressivement de sorte que le rivage oriental de l'île de Noirmoutier est en grande partie artificiel.

Depuis la fin du Moyen Age, le mouvement des sables et le déplacement des dunes vers l'intérieur des terres ont constitué des menaces pour les villages installés au pied du versant oriental des dunes, à la limite des polders. Les témoignages sont nombreux sur les terres ensablées des hameaux de l'Epine dès le XVI^e siècle, sur les maisons des Eloux, de l'Epine, de la Guérinière, ou de Barbâtre recouvertes par le sable. En 1763, un hameau et un moulin ont été ensevelis au nord de Barbâtre. En 1810, le village des Eloux a dû être reporté vers l'est. Cette période du XV^e au XIX^e siècle qui correspond au Petit Age glaciaire, a été marquée par une activité dépressionnaire plus importante sur l'Atlantique avec des vents dominants d'ouest. La dégradation des dunes par le piétinement des bestiaux et les coupes de végétaux ont également facilité la remobilisation des sables par le vent.

Les décrets de 1810 et 1820 avaient pour objectif la plantation de pins tout en interdisant les coupes de végétaux et l'utilisation des dunes comme terrain de parcours pour le bétail. Mais c'est seulement en 1858 que les Ponts et Chaussées entreprirent les travaux qui furent poursuivis par les Eaux et Forêts à partir de 1862. Malgré l'hostilité des habitants qui arrachaient les semis, les travaux de plantation aboutirent au développement des forêts sur les dunes de la façade atlantique (notamment le Bois des Eloux à L'Epine, la forêt de la Frandière à Barbâtre).

L'île de Noirmoutier reste exposée à plusieurs aléas : érosion marine, submersion, érosion éolienne. Les travaux d'endiguement ont artificialisé une grande partie du trait de côte oriental pour protéger les zones poldérisées. A l'ouest, l'érosion est active sur les plages exposées au sud-ouest. Les secteurs sensibles ont été protégés par des murs et/ou des épis et le linéaire artificialisé a encore augmenté au XX^e siècle d'autant que la pression urbaine s'est accentuée avec le développement du tourisme.

L'île est régulièrement menacée lors des tempêtes qui entraînent le recul du trait de côte, ouvrent des brèches dans les cordons dunaires ou dans les ouvrages de protection. En effet malgré la surveillance et les travaux d'entretien, les digues peuvent se rompre comme le 13 mars 1937 à La Tresson, partie la plus étroite de l'île (surcote d'1 m et 130 ha inondés) ou le 31 décembre 1978 (surcote de 0,70 m) avec l'ouverture d'une brèche dans la digue de Sébastopol et l'inondation du sud de l'île (500 ha).

Tous les tronçons du littoral noirmoutrin ne sont pas également touchés. Le littoral septentrional entre la pointe de l'Herbaudière et la pointe de la Gardette est exposé aux vents de nord-ouest et à l'érosion marine (0,40 m/an en moyenne selon l'étude des phénomènes d'érosion sur la côte vendéenne, DHI 2008).

De la pointe de l'Herbaudière au village de la Guérinière la volonté de stabiliser le trait de côte s'est traduit par de multiples ouvrages (digues, perrés et épis). La plage de Luzeronde entre la pointe de l'Herbaudière au nord et la pointe du Devin au sud est en accrétion dans sa partie septentrionale (+0,8 m/an) et en érosion au sud (-2m/an). En effet, au nord de la pointe du Devin, la dérive littorale résultante porte vers le nord et le transit est estimé au maximum à 10 000 m³/an. (DHI 2008).

La pointe du Devin a été protégée par un perré et dix épis tandis qu'en arrière du perré une digue de terre a été construite au début du XIX^e siècle.

Plus au sud, les quelques secteurs non stabilisés sont en recul (0,6 à 1,9 m/an comme la plage St Jean de la Martinière et la plage des Eloux). Entre la pointe du Devin et la pointe de la Loire, la dérive littorale porte majoritairement vers le sud avec une capacité maximale de transport de 20 000 m³/an (DHI 2008).

Au-delà de la pointe de la Loire, les plages de l'anse de La Guérinière sont protégées par de nombreux ouvrages. Plus au sud, on passe progressivement de l'érosion à la stabilité. Les platiers rocheux au large de la côte ouest assurent une protection contre les actions des houles océaniques. Mais le stock sableux est limité en raison même de l'importance de ces platiers. Au niveau de la plage du Midi à Barbâtre, la résultante du transit sédimentaire serait nulle (DHI 2008).

De La Tresson à la pointe de la Fosse la côte est plus sauvage avec toutefois un linéaire de 100 m (autour de la cale à bateau) enroché au droit du village du Midi depuis 1980, et de nouveaux ouvrages (enrochements) ont été implantés récemment. Vers le sud, on passe progressivement à une côte en accrétion jusqu'à La Fosse. L'avancée à la pointe de La Fosse est en moyenne de 8,4 m/an. La capacité de transit est au maximum de 25 000m³/an vers le sud (DHI 2008)

Les enjeux

L'île de Noirmoutier compte près de 10 000 habitants permanents (196 habitants/km²) et la population y augmente au même rythme que sur le reste du littoral atlantique essentiellement grâce à des soldes migratoires positifs. A partir des années 1950, la pression urbaine s'est accentuée avec l'essor d'un tourisme de masse et plus encore à partir de l'ouverture du pont en 1971. L'urbanisation s'est développée de manière linéaire le long de l'axe de communication reliant les villages (D38) et ensuite vers la côte (pôles urbains de l'Herbaudière, l'Epine, La Guérinière, Barbâtre et la Fosse). Près de 60% des logements sont des résidences secondaires et la population est décuplée pendant la saison estivale.

Les activités économiques principales sont liées à la mer et au tourisme. Les activités portuaires concernent le port de l'Herbaudière (port de pêche moderne et plaisance), le port du Morin (plaisance), le port de Noirmoutier (le port traditionnel, surtout utilisé pour le tourisme). Les activités traditionnelles demeurent : la saliculture dans la partie nord de l'île, la conchyliculture, et dans une moindre mesure l'agriculture (surface agricole utile : 16,7% de la superficie de l'île) avec la culture de la pomme de terre (la Bonnotte de Noirmoutier) et l'élevage.

Le patrimoine naturel est riche en raison d'une grande diversité naturelle. Les zones humides notamment occupent sur l'île de Noirmoutier une superficie importante (30%) avec les marais (marais salants, marais doux), les claires ostréicoles, les prairies humides. Les ZNIEFF représentent près du tiers de la superficie de l'île (31,3%), et 43,3% sont dans un site Natura 2000 avec des sites d'intérêt communautaire selon la directive Habitats et en zone de protection spéciale (ZPS Directive Oiseaux). Depuis 1994, une réserve naturelle (48 ha) protège au nord les marais de Mullenbourg. Le Conservatoire du littoral possède 0,9% de la superficie de l'île.

LA PROTECTION FACE A LA MER DANS L'ILE DE NOIRMOUTIER

Fanny Collier

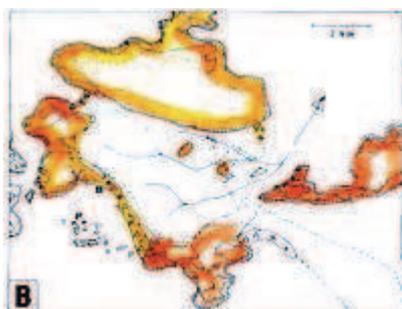
Une stratégie historique

L'île de Noirmoutier est une île située sur la façade atlantique, au sein de la Région des Pays de la Loire, dans le nord-ouest du département de la Vendée. Elle est bordée par l'Océan Atlantique sur sa façade ouest et par la Baie de Bourgneuf à l'est. Elle est reliée au continent par un pont construit en 1970/71.

Née de l'imbrication de la terre et de mer, l'île s'est constituée récemment, au cours des derniers millénaires grâce aux phénomènes naturels et elle a été consolidée par le travail et les conquêtes de l'Homme sur le milieu naturel.



Il est possible de reconstituer l'évolution de la forme de l'île d'après les recherches de Paul Bernier, professeur à l'Université de Lyon. L'île s'étirait alors en forme de C, ouvert vers l'Est autour d'une vasière très abritée de la haute mer par les rochers de l'Herbaudière, du Devin, des Bœufs, des Peignes et de la Loire. A marée basse, on devait avoir un paysage comparable à celui qui est actuellement offert de part et d'autre de la route du Gois.

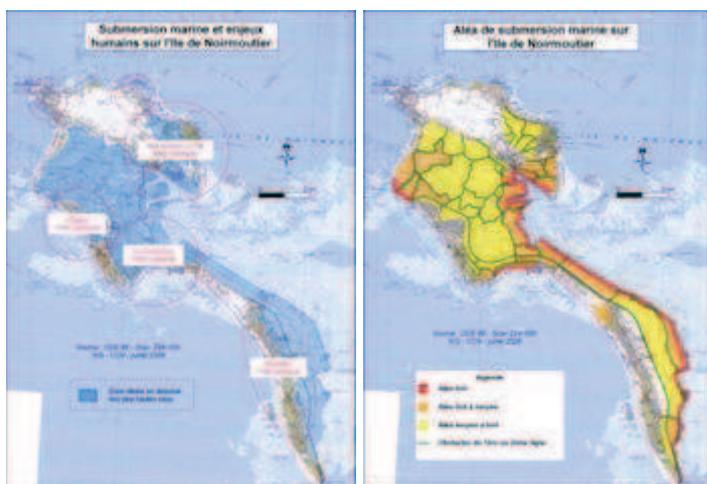


Le niveau marin s'élève progressivement. Des cordons littoraux commencent à se créer entre l'île principale et les plateaux rocheux environnants. Ainsi prennent forme les cordons dunaires de Luzay et de l'Epine, alors que la dune de la Tresson prend juste naissance. La vasière se colmate toujours lentement et les étiers commencent à se former.



Sous l'effet de l'érosion, les dunes de la façade Ouest reculent jusqu'à leur emplacement actuel. En même temps, elles s'étirent vers le sud et forme la fameuse «queue de comète» de Barbâtre. La vasière se colmate de plus en plus et se compacte pour donner le «bri» cette glaise bleue que l'on trouve partout sous le marais actuel. Au cours du Moyen-Age et des siècles suivants l'île va fortement dépendre de l'intervention de l'homme qui construit le trait de côte en particulier le long de la Baie de Bourgneuf. A partir du XVIIIe siècle commencent les grandes conquêtes qui durent jusqu'en 1850, date de création du polder de Sébastopol.

Aujourd'hui, l'île de Noirmoutier présente un long linéaire de cordons dunaires, qui sur 25 km constituent la seule protection face à l'Océan. Derrière ce cordon, s'étendent les marais sur 2/3 de la superficie de l'île et sous le niveau des plus hautes eaux. Ils sont endigués sur 23 km. La partie nord, ancrée sur le socle cristallin est moins fragile. Elle présente cependant un certain nombre de dunes peu élevées qui protègent les secteurs des Sableaux, de la Clère, du Vieil et de la Linière.



L'élévation du niveau moyen de la mer est un phénomène qui s'accélère : l'île de Noirmoutier n'échappe pas à cette règle. Le niveau de la mer s'élève à Noirmoutier comme ailleurs depuis 4000 ans : de l'ordre de 2 mm par an pour les années à venir, avec une probable accélération dans les prochaines décennies et il est pris en compte dans les programmes de travaux futurs ou dans la gestion du trait de côte.

Les risques de surcotes sont identifiés et le phénomène Xynthia a permis d'affiner les connaissances sur les secteurs à surveiller.

L'île de Noirmoutier dispose d'une structure légitime, responsable et compétente

C'est en 1978, lors de la dernière grande inondation à Barbâtre que la solidarité intercommunale s'est scellée autour de la stratégie de protection face à la mer. Le SIVOM s'est alors doté de cette compétence dans ses statuts. Il est devenu District puis Communauté de communes.

- La collectivité s'est portée maître d'ouvrage des travaux de mise en sécurité des populations et des biens face à la mer.
- Elle s'est rendue propriétaire ou gestionnaire de la presque totalité des ouvrages à la mer.
- Elle consacre 44 % de son budget d'investissement à la protection face à la mer.
- Elle s'appuie sur la solidarité du Département, de la Région, de l'État, voire de l'Europe pour assurer cette mission d'intérêt pour la sécurité civile : protéger les hommes et les biens face à la mer.

La Communauté de communes de l'Ile de Noirmoutier assure :

- la surveillance des côtes: création de l'Observatoire du Littoral et traduction de ces données en termes cartographiques sur une base SIG (Système d'Information Géographique), surveillance des digues classées ISC (ISC, ouvrages ayant un Intérêt pour la Sécurité Civile).
- la prévention des risques : mise en place d'un dispositif de surveillance et d'alerte sous astreinte, couplage avec les PCS, identification des risques de surcotes...
- l'entretien des ouvrages, surveillance en cas d'alerte météo et après tempêtes.
 - entretien de prévention sur la base des constats de surveillance.
 - Intervention d'urgence par la mise en place d'un marché permettant l'exécution rapide de travaux d'urgence.
- les études : études techniques, juridiques, réglementaires préalables e et nécessaires aux travaux
- les travaux neufs : ouvrages longitudinaux, épis, perrés, enrochements...
- la protection des cordons dunaires :
 - sur les dunes communautaires (protection contre l'érosion de la mer, la mise en défend, la protection éolienne).
 - sur les dunes domaniales, la Communauté de Communes de l'Ile de Noirmoutier participe en collaboration étroite avec l'ONF et à une hauteur non négligeable aux travaux de protection.
 - Pour l'accueil du public, elle finance l'aménagement d'accès aux plages à travers les propriétés domaniales et la mise en place d'une signalétique explicative aux abords des sites sensibles.



Système défensif

Cordon dunaire
 Zone en dessous du niveau de la mer
 Ouvrages de protection



Dune de l'Hommée, déc 2007

Elle s'appuie sur une stratégie réfléchie

Jusqu'en 2010, la Communauté de Communes engageait ses travaux selon une programmation pluriannuelle du type « contrat de Plan État/Région » permettant de bénéficier de plans de financement privilégiés limitant son autofinancement à 20 ou 30%.

Suite à la tempête du 28 février 2010, l'État a modifié son mode d'intervention qui passe maintenant par des filières différentes selon la nature des travaux ou actions :

- les PAPI : programmes d'actions de protection des inondations examinés au niveau national par la Commission Mixte Inondations CMI (*Pour l'Île de Noirmoutier, PAPI d'intention approuvé le 12 juillet 2011, PAPI complet présenté le 13 avril 2012*),
- Les dossiers PSR (travaux hors rehausse),
- les dossiers relatifs à la gestion du trait de côte validés par les Commissions Régionales de Gestion du Trait de Côte.

Pour son PAPI 2012/2017, la Communauté de Communes a retenu les objectifs suivants :

- s'inscrire dans la poursuite de la stratégie historique,
- examiner la stratégie à la lumière des enjeux (études ACB),
- répondre aux nouveaux défis dus au changement climatique,
- appliquer le principe de précaution (observation, prévision, prévention, protection),
- renforcer la culture du risque.

Sur les parties dunaires, les priorités seront définies en fonction du niveau de service du cordon dunaire au regard des enjeux protégés. Les travaux viseront à préserver l'intégrité paysagère, patrimoniale et environnementale de l'île tout en assurant une protection durable des enjeux humains et économiques situés en arrière dune.

Le PAPI constitue l'opportunité de consolider le partenariat CCN/ONF par la poursuite de convention de gestion et de mise en œuvre de protections douces.



Paul Fattal, Marc Robin, Martin Paillart, Mohamed Maanan, Denis Mercier, Christine Lamberts et Stéphane Costa

Effets des tempêtes sur une plage aménagée et à forte protection côtière : la plage des Éloux (côte de Noirmoutier, Vendée, France)

L'île de Noirmoutier, de par sa situation, est très exposée aux tempêtes (Gautier, 1972, 1979). En raison des considérables enjeux de nature et de société caractérisant le milieu insulaire, le suivi de l'impact des tempêtes revêt ici une dimension essentielle et justifie l'actuelle mise en place d'un Plan de Prévention des Risques d'Inondation. Globalement, l'intensité des impacts des tempêtes sur les plages sableuses dépend de facteurs physiques et socio-économiques (Battiau-Queney *et al.*, 2003 ; Regnauld *et al.*, 2004). Ces événements extrêmes, favorisés par l'effet des changements climatiques (Wakelin *et al.*, 2003), se produisent lors du passage d'une forte perturbation atmosphérique responsable de l'apparition de vents violents d'afflux qui poussent la masse d'eau vers les côtes, ce qui, combiné aux houles, entraîne la formation de surcotes. Celles-ci deviennent extrêmes lorsqu'il y a coïncidence avec une marée haute et un fort coefficient de marée (Bouligand et Pirazzoli, 1999 ; Pirazzoli *et al.*, 2006 ; Pirazzoli *et al.*, 2007 ; Caspar *et al.*, 2007).

Le 10 mars 2008, une tempête de cette nature a frappé les côtes du Nord-Ouest de la France. L'île de Noirmoutier au sud de l'estuaire de la Loire, n'est pas épargnée par cet épisode atmosphérique de forte intensité, même si celui-ci n'est pas exceptionnel pour cet espace insulaire. En effet, les rafales n'ont pas dépassé les 95 km/h alors qu'elles ont dépassé les 100 km/h à plusieurs reprises depuis les années 1960, allant jusqu'à 135 km/h lors de la tempête des 12 et 13 septembre 1993 (Tonnerre, 2001). Les secteurs de l'île qui ont été affectés par cette tempête sont en majorité en érosion et sont dotés de fortes défenses contre la mer (CCN, 2000).

Caractéristiques de la zone d'étude

CADRE MORPHOLOGIQUE GÉNÉRAL

L'île de Noirmoutier s'est progressivement formée depuis la fin de la dernière période froide du Pléistocène. La présence d'une plateforme calcaire reposant sur un socle cristallin affleurant dans la partie nord de l'île a permis le piégeage des sables en provenance de la Loire ou de la plateforme continentale (Morzadec-Kerfourn, 1995). Cette plateforme d'érosion littorale se manifeste par des points hauts depuis les écueils les plus à l'ouest (les Bœufs au large de la pointe du Devin) jusqu'aux écueils les plus à l'est (la Vendette) et depuis le nord (les Pères) jusqu'au sud (la Fosse) (fig. 1). Depuis 4 000 ans, la translation de la couverture sédimentaire s'est effectuée depuis l'ouest (recouvrant alors les Bœufs 4 km à l'ouest de l'emplacement actuel du cordon dunaire des Éloux) vers l'est, découvrant successivement les divers pointements rocheux (Ters, 1961). La situation actuelle correspond à un cordon ancré sur le récif du Devin au nord et le récif de la Loire au sud.

L'île de Noirmoutier est une île basse (altitude maximum de 22 m) de 20 km de longueur pour 6 km de largeur maximale dont les 2/3 de la surface sont situés sous le niveau des pleines-mers de vive-eau (fig. 1).

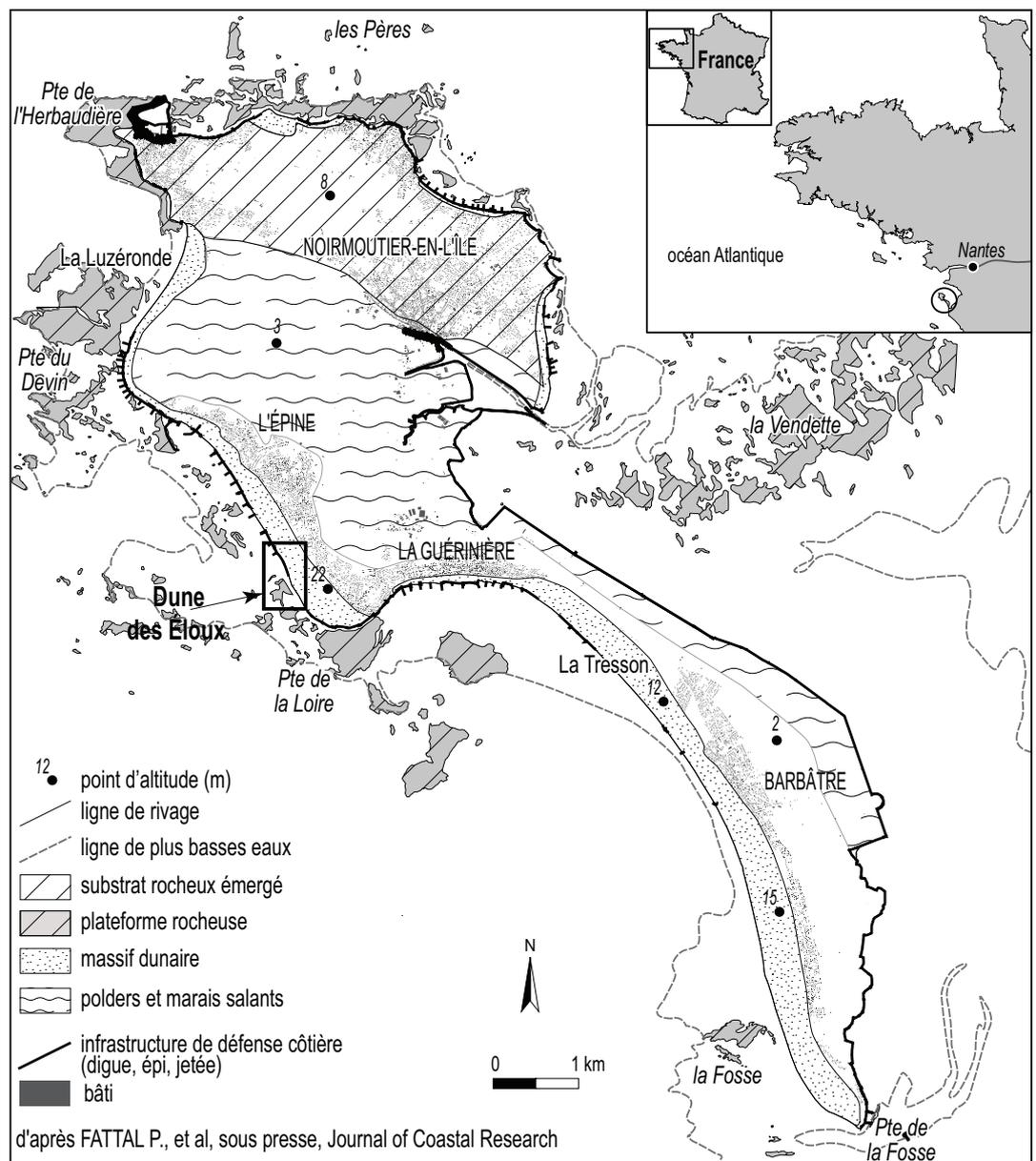


Figure 1 : La zone d'étude
Study area

La zone infralittorale est faiblement pentue : l'isobathe -5 m (cote marine) est située en moyenne à 3 km au large vers l'ouest ce qui lui confère une pente inférieure à 0,16 %. Côté baie de Bourgneuf à l'est, du fait de la position d'abri, la pente infralittorale est encore plus faible. La côte occidentale de l'île est subdivisée en 3 cellules hydrosédimentaires encadrées successivement par les pointes de L'Herbaudière, du Devin, de la Loire et le goulet de Fromentine (pointe de la Fosse) (DHI, 2008). De L'Herbaudière au Devin s'étend la cellule de Luzéronde ; du Devin à la pointe de la Loire se situe celle des Éloux qui fait l'objet de cette évaluation ; de la pointe de la Loire à la pointe de la Fosse au sud se développe la cellule de La Guérinière/Barbâtre. L'orientation générale moyenne de ces 3 segments côtiers varie : de l'ordre de 210° pour Luzéronde, elle est de 157° pour les Éloux, et de 160° pour Barbâtre.

Le segment des Éloux s'étend sur 4,5 km de long sur la commune de l'Épine. Il est bordé à l'arrière par un massif dunaire qui s'élargit sur près de 500 m et culmine à 22 m. Ce secteur est fortement protégé (photo 1). La dérive littorale dominante résiduelle attestée par le piégeage des sédiments par les épis se fait du nord vers le sud. Le transit sédimentaire longitudinal moyen est évalué à 20 000 m³/an (DHI, 2008).

L'analyse granulométrique du sable de la plage montre qu'il est grossier et mal classé : médiane = 1, Sorting index = 2 – valeurs exprimées en Phi (Folk, 1966), dû en partie, comme nous le verrons ultérieurement, au fait qu'il y a eu des rechargements avec des sédiments hétérométriques en provenance de la pointe de la Fosse.

CARACTÉRISTIQUES MÉTÉO-MARINES GÉNÉRALES

De façon générale, à Noirmoutier, les vents de secteur nord-ouest dominant et représentent 26,2 % des occurrences. Viennent ensuite les vents de nord-est (24,2 %) et ceux de sud-ouest (22,6 %). Les vents de vitesses supérieures à 8 m/s (supérieurs à force 5 Beaufort) représentent globalement 8,1 % des observations. 86,4 % de ces vents proviennent du secteur sud-ouest à nord-ouest (Météo France, station de Noirmoutier-en-l'Île).

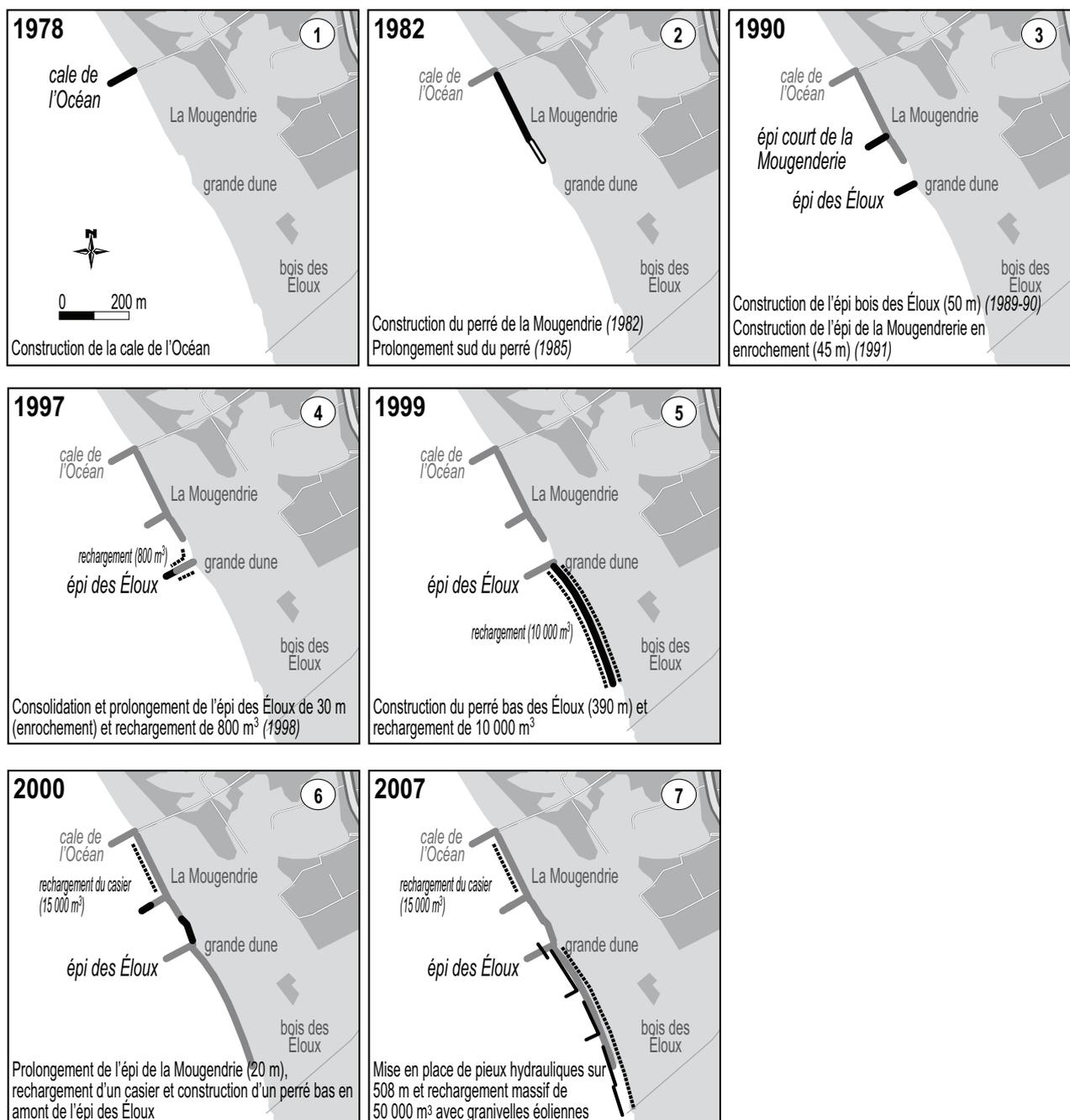
L'interprétation des données de houles fournies par la base de données de l'atlas numérique d'états de mer océanique et côtier (ANEMOC) du CETMEF permet de cerner leur caractéristique le long de la côte noirmoutrine : les houles les plus fréquentes (-40 %) ont une amplitude comprise entre 1,25 m et 2,5 m et proviennent du secteur ouest à nord-ouest. En revanche, les houles de plus forte amplitude (supérieures à 6 m) proviennent du secteur ouest à sud-ouest.



Photo 1 : Protections côtières dans le secteur des Éloux (2007)
Shoreline defence structures along Les Éloux beach

UN SECTEUR À IMPORTANTE PROTECTION CÔTIÈRE

Depuis plus d'un siècle, la côte ouest de Noirmoutier a été et est soumise à des phénomènes importants d'érosion du trait de côte conduisant les habitants de l'île à engager des actions de protection contre la mer, dès 1770 (au niveau du Devin). La plage des Éloux est, elle aussi, soumise à une érosion qui explique les nombreux aménagements de protection côtière (fig. 2).



Source : Martin PAILLART, CCN 2008

Figure 2 : Les aménagements de protection côtière dans le secteur des Éloux
Coastal defence structures along Les Éloux beach

En raison d'un recul local parfois important (4 m entre septembre 2004 et novembre 2004), la communauté de communes de l'île a entrepris plusieurs types de travaux.

En effet, entre décembre 2006 et avril 2007 un rechargement a été effectué et 51 000 m³ de sédiments en provenance de la pointe de la Fosse ont été ramenés sur la plage (fig. 1). Ce rechargement a par ailleurs été complété par de nouveaux apports réalisés entre octobre et novembre 2007, puis après la tempête de mars 2008 (tableau 1). Au total, le volume du rechargement est de l'ordre de 54 000 m³ et il ne compense que partiellement les pertes observées entre 1999 et 2007 qui ont été évaluées à plus de 100 000 m³ (CCN, 2008).

Par ailleurs, la communauté de communes de l'île a mis en place des ganivelles sur le massif dunaire reconstitué et reprofilé et, enfin, des pieux hydrauliques (février à juin 2007) ont été positionnés sur la plage. Ces deux derniers aménagements (photo 1) s'étendent sur une longueur de 500 m et sont tous deux destinés, à travers l'atténuation désirée de l'énergie des houles et du vent, à ralentir l'érosion éolienne et marine.

	Dates	Volumes rechargés (m3)
1	décembre 2006 à avril 2007	51 000
2	octobre 2007	570
3	novembre 2007	1 200
4	avril 2008	2 000
	total	54 770

Tableau 1 : Inventaires des rechargements récents de la plage des Éloux
Inventory of recent beach nourishment of Les Éloux beach

Méthodologie de suivi

La méthodologie repose sur l'exploitation classique de deux sources d'information : l'iconographie d'un côté et les levés de terrain de l'autre.

Une étude diachronique précise du trait de côte a d'abord été menée à l'aide de photographies aériennes couvrant une période de 56 ans étendue à une période de 174 ans en y ajoutant l'exploitation géométrique du cadastre napoléonien. Une base de données image a ainsi été constituée après numérisation et géoréférencement. La ligne de référence digitalisée est le contact dune/plage (Robin, 2002). La comparaison en 2D de ces lignes renseigne la dimension surfacique de l'évolution.

Dans un second temps, les levés de plage effectués saisonnièrement, depuis la fin des années 1990, lors des marées de vives-eaux, au moyen d'un DGPS (DGPS TRIMBLE 4400 et 4700 – précision de 1 cm en X, Y et 3 cm en Z) ont été exploités. Ces relevés d'environ 5 000 points permettent de produire des Modèles Numériques de Terrains comparables entre eux, et de calculer l'évolution volumétrique du bilan sédimentaire. Les bilans sédimentaires calculés pour les cellules hydrosédimentaires concernent des périodes comprises entre 1999 et 2009. Pour le secteur d'étude la période est comprise entre juin 2006 et mars 2009 (tableau 3). En effet, plusieurs campagnes ont été réalisées dans le cadre de l'observatoire du littoral de l'île de Noirmoutier (2006 : juin ; 2007 : avril, juin, septembre, décembre ; 2008 : mars, juin, septembre, décembre ; 2009 : mars). Enfin, un levé de l'avant plage a aussi été effectué en 2006 au droit des Eloux jusqu'à -5 m (cote marine).

Résultats

ÉVOLUTIONS SUR LE LONG TERME

Depuis 1832, on observe des reculs du rivage sur toute la façade exposée de l'île de Noirmoutier, jusqu'au droit de la commune de Barbâtre. De là et jusqu'à la pointe de la Fosse, le rivage gagne sur la mer (tableau 2). Ces reculs du rivage sont compris entre 100 et 150 m pour le secteur situé entre l'Épine et la pointe de la Loire et sont de l'ordre de 120 m pour la plage des Éloux (fig. 3). Au contraire, au sud de l'île, du fait du transfert latéral des sédiments, on observe une progradation de l'ordre de 130 m au droit de la commune de la Barbâtre atteignant 320 m à la pointe de la Fosse (Observatoire du littoral de l'île de Noirmoutier – communauté de communes de l'île que l'on nommera CCN, 2000).

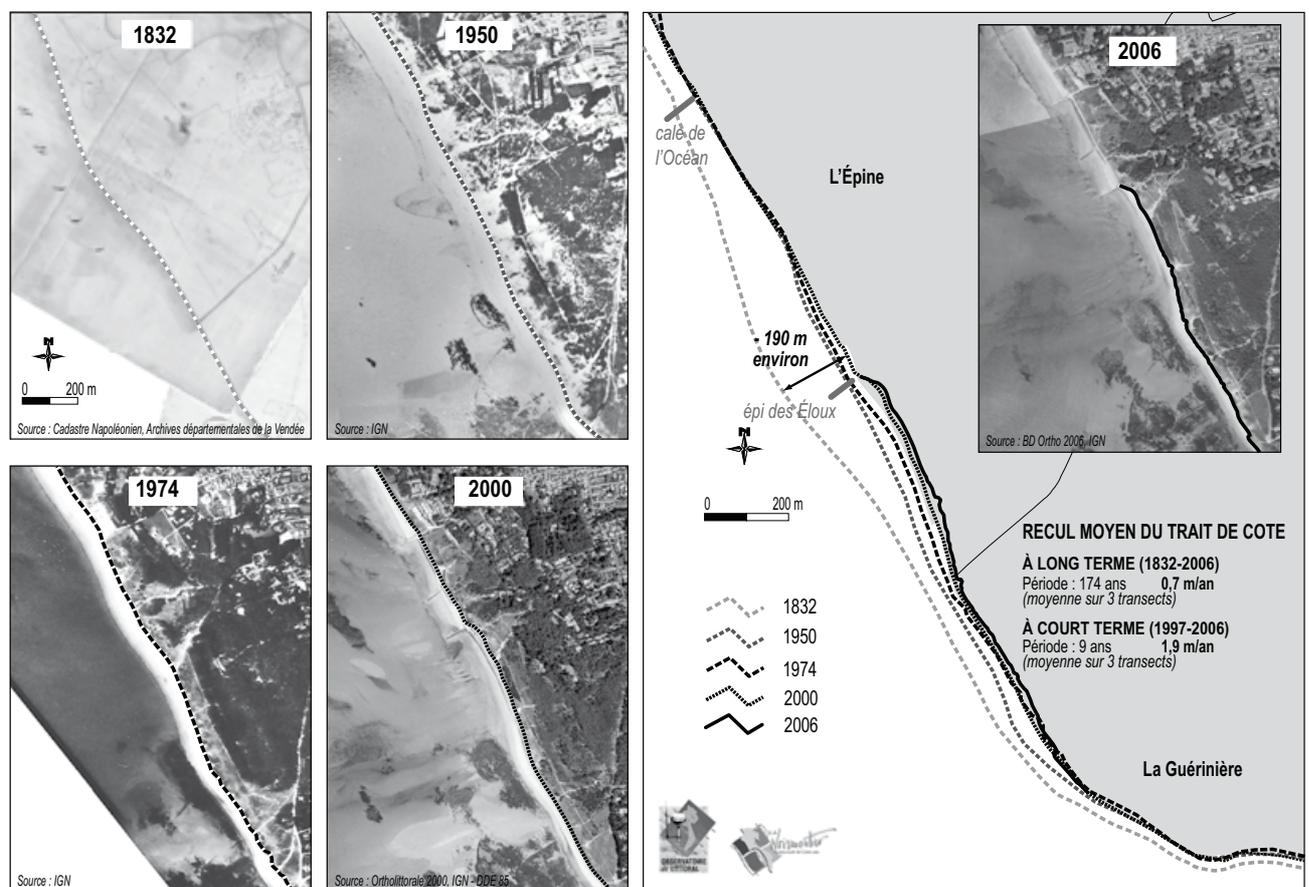


Figure 3 : Cinématique du trait de côte de la plage des Éloux depuis 1832 (zone encadrée sur la figure 1)
Shoreline change of the Eloux beach since 1832

Cette érosion récurrente au droit des Éloux a engendré comme réponse, la mise en place de toute une batterie de mesures de protections en « dur » ainsi que des rechargements de la plage et de la dune (fig. 2). La construction de la cale de l'océan en 1978 et la succession d'aménagements de protections (perrés, épis, etc.) n'ont toutefois pas empêché cette érosion. Le recul au niveau des Éloux est de l'ordre de 0,7 m/an entre 1832 et 2006. Il atteint 1,9 m/an entre 1999 et 2006. Dans ce secteur, le volume perdu (hors rechargements) entre octobre 1999 et le début de l'année 2007 est de 103 700 m³ (CCN, 2008).

Cellules hydrosédimentaires	Période 1999-2007	bilans sédimentaires en m ³
Pointe de L'Herbaudière/Pointe du Devin	plage de la Luzeronde	+17 400
Pointe du Devin/Pointe de la Loire	plage du Morin	+88 900
	plage de l'Épine	-68 500
	plage des Eloux	-103 700
Pointe de la Loire/Pointe de la Fosse	plage de la Guérinière	-700
	plage de la Tresson	+61 300
	Pointe de la Fosse	+100 000

Tableau 2 : Bilans sédimentaires par cellules hydrosédimentaires (source : CCN, 2008)
Sediment budget for each sediment cells

ÉVOLUTION SUR LES COURT ET MOYEN TERMES

Caractéristiques météo-marines pendant la tempête de mars 2008

La tempête du 10 mars 2008 s'est accompagnée de vents moyens de 70 km/h avec des rafales enregistrées à 95 km/h à la station de Noirmoutier-en-l'Île. Leur provenance était majoritairement de secteur sud-ouest (200° en moyenne le 10 mars avec des rafales notées à 210°, contre un vent moyen à 50 km/h le 11 mars de direction 280°, avec des rafales enregistrées à 72 km/h de direction 300°). Pendant cet épisode, la dérive littorale était orientée sud-nord, inverse donc à la direction résiduelle attestée par le piégeage des sédiments dans les ouvrages de protection (voir discussion). Cette dynamique hydrosédimentaire induite par la tempête n'a pas été particulièrement originale. En effet, M. Gautier (1972) a montré que lors des tempêtes ayant affecté la zone d'étude entre 1959 et 1967, les vents avaient soufflé dans 54 % des cas du quart sud-ouest, dans 33 % du quart nord-ouest et seulement dans 8,5 % et 4,5 % des quarts ouest et nord-est, alors que toute l'année ce sont plutôt les vents de nord-ouest qui dominent.

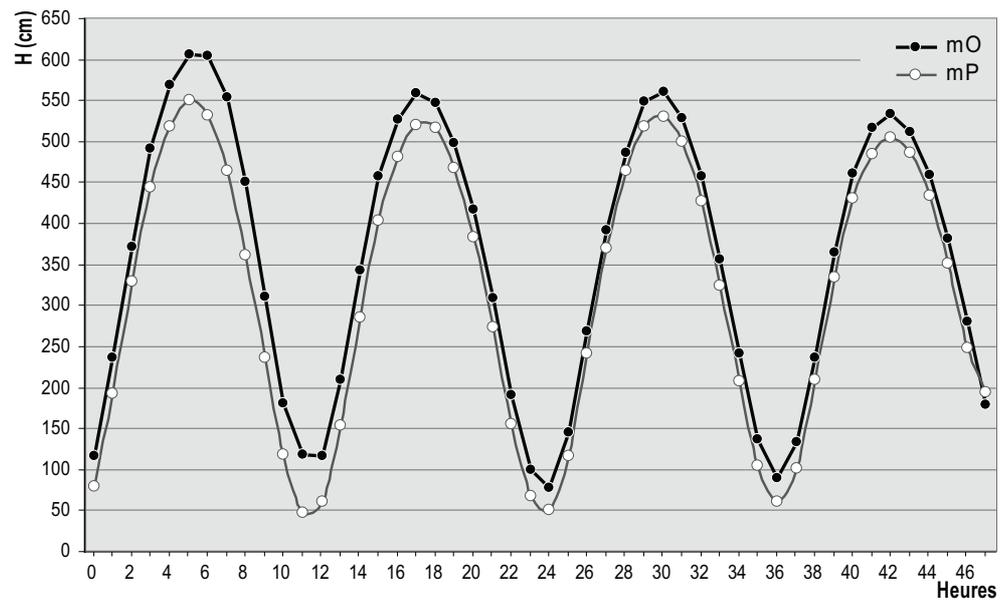
L'autre caractéristique de cet événement vient de la coïncidence entre de très forts coefficients de marée (106), une pleine mer prédite à + 5,5 m à 6 h 09 (UT+1) le 10 mars (fig. 4) et une pression barométrique qui a atteint son point le plus bas à 985 hPa entre 6 heures et 7 heures le 10 mars. Ces surcotes, se produisant durant l'hiver, principalement d'octobre à mars, deviennent géomorphologiquement actives dans les processus d'érosion du littoral (Sabatier *et al.*, 2009). La surcote barométrique enregistrée au port de Saint-Nazaire, a été de + 1,3 m (hauteurs d'eau 6,8 m, enregistrement SONEL), soit + 40 cm liée à la dépression barométrique, le reste étant la surcote dynamique liée au vent (il est à noter que l'effet de l'estuaire et du débit de la Loire est de nature à gonfler la surcote à Saint-Nazaire). De ce fait, la surcote mesurée aux Sables-d'Olonne a donc été moindre (hauteur d'eau à la même heure : + 6,05 m) (fig. 4)

On peut donc estimer que la surcote qui a dû se produire à 6 heures au niveau des Eloux devait être de l'ordre de celle des Sables-d'Olonne soit une hauteur d'eau d'environ 0,5 à 0,6 m au dessus de la hauteur d'eau prédite. Cette estimation ne tient pas compte de l'augmentation locale du plan d'eau (*wave set-up*), induit par le déferlement au niveau de la plage (Longuet-Higgins et Stewart, 1964; Svendsen, 1984; Greenwood et Osborne, 1990; Gourlay, 1992; Swift, 1993). Malheureusement, la bouée d'enregistrement des houles de l'île d'Yeu à 25 km au sud-ouest des Eloux n'a pas fonctionné durant la journée du 10 mars ce qui n'a pas permis une estimation plus précise de cette composante dans la surcote. Le dernier enregistrement de la bouée est du 9 mars 2008 à 18 heures : le H_{\max} était alors de 3,47 m pour une période de 8,9 s tandis que le $H_{1/3}$ était de 2,11 m avec une période de 8 secondes.

Au total, cette conjonction de paramètres susceptibles d'amplifier l'érosion, lors de cet épisode du 10 mars 2008, reste originale même si elle n'est pas *a priori* exceptionnelle. En effet, lors de la

Figure 4 : Hauteur d'eau prédite (mP) et hauteur d'eau observée (mO) dans le port des Sables-d'Olonne heure par heure (de 0h UT le 10 mars à 23 heures UT le 11 mars 2008)

Predicted water level (mP) and observed water level (mO) in the harbour of Les Sables-d'Olonne



tempête de fin décembre 1978 et début janvier 1979, les coefficients de marée avaient également atteint 102 (le 31) et 104 (le premier janvier) (Gautier, 1979).

Le bilan sédimentaire de la tempête de mars 2008 par rapport à un bilan à moyen terme

Entre décembre 2007, c'est-à-dire après le rechargement, et mars 2008, la plage a perdu près de 4 900 m³ dont une partie peut être imputée à la tempête du 10 mars 2008 (tableau 3 et fig. 6). En effet, après la tempête, les reculs du trait de côte ont été très importants au nord de la plage puisqu'ils ont été localement plus de 12 m (fig. 5). En comparaison, lors de la tempête de 2004 (novembre), le recul maximal a été, sur le même secteur, inférieur à 5 m. Il faut remonter à 2003, après la tempête de janvier, pour observer un recul aussi important du trait de côte : plus de 10 m entre l'arrière du perré des Éloux et les enrochements de la pointe de la Loire (CCN, 2004). Enfin, l'année 1999 est marquée par deux tempêtes, celles d'octobre et de décembre. Elles n'ont eu sur le secteur qu'un effet limité en raison de l'édification, en mars de la même année, d'un perré bas localisé au sud de l'épi des Éloux sur 390 m (aujourd'hui en grande partie disloqué). L'ouvrage a partiellement ralenti l'attaque de la dune qui n'a reculé que de 2 à 3 m.

Toutes les périodes étudiées, antérieures ou postérieures à la tempête montrent une érosion récurrente de la zone d'étude. Entre décembre 2007 (après le rechargement) et décembre 2008 (quelques mois après la tempête), le volume global des pertes sédimentaires sur la plage des Éloux est supérieur à 17 000 m³. L'érosion constatée autour de la tempête (voir plus haut) est aussi observée en dehors de cet épisode puisque entre mars 2008 et mars de l'année suivante, les volumes perdus sont supérieurs à 18 000 m³. De même, si l'on compare les périodes de décembre 2007-mars 2008 à celles de décembre 2008-mars 2009, on constate que les volumes perdus sont presque équivalents (569 m³ de différence), (fig. 6).

En revanche, si entre juin 2006 et mars 2008, la tendance est plutôt à l'accrétion (> 27 000 m³), ces résultats sont faussés par le rechargement de plus de 51 000 m³ qui a eu lieu entre décembre 2006 et avril 2007. En réalité, extrapolés, ces chiffres révèlent, pour la plage, une perte de plus de 20 000 m³.

Enfin, sur une période de trois années écoulées (entre juin 2006 et mars 2009) et un rechargement effectué, le bilan est positif, mais de seulement 8 700 m³, ce qui signifie qu'il y a eu une perte nette de plus de 45 000 m³ de sédiments.



Figure 5 : Variations de la position du pied de dune (entre juin 2006 et mars 2008)

Shift of dune / beach limit between June 2006 and March 2008

Les pertes enregistrées sur la plage des Éloux, entre 1999 et 2007, sont de loin les plus importantes de toute la façade ouest de l'île et sont supérieures à $100\,000\text{ m}^3$ (CCN, 2008). Plus au Nord du secteur d'étude, la plage de L'Épine enregistre, pour la même période, les secondes pertes les plus importantes avec des volumes proches de $69\,000\text{ m}^3$ (tableau 2).

Au total, si l'on procède à un bilan entre la pointe du Devin et la pointe de la Loire, pour une période allant de 1999 à 2007 et que l'on tienne compte des gains de la plage du Morin ($89\,000\text{ m}^3$), le volume globalement perdu est de l'ordre de $83\,000\text{ m}^3$ (CCN, 2008). Si l'on replace ce constat dans le contexte du plus long terme à la lumière des témoins géomorphologiques comme évoqués dans le cadre morphologique général (Ters, 1961), le glissement vers l'est du système dune/plage semble inéluctable et se fait par à-coups à la faveur (i) d'une érosion ordinaire ponctuée d'évènements pouvant l'accélérer lorsque les conditions météo-marines sont toutes favorables, ou (ii) d'évènements certes puissants mais où la combinaison des éléments n'est pas totalement favorable à l'expression d'un recul temporairement plus rapide, ce qui est le cas de la tempête de mars 2008.

Les cartes de cubatures réalisées entre avril 2007 et mars 2008 (après les travaux de mise en place des pieux) puis entre décembre 2007 et mars 2008 (avant-après tempête) (fig. 7 –

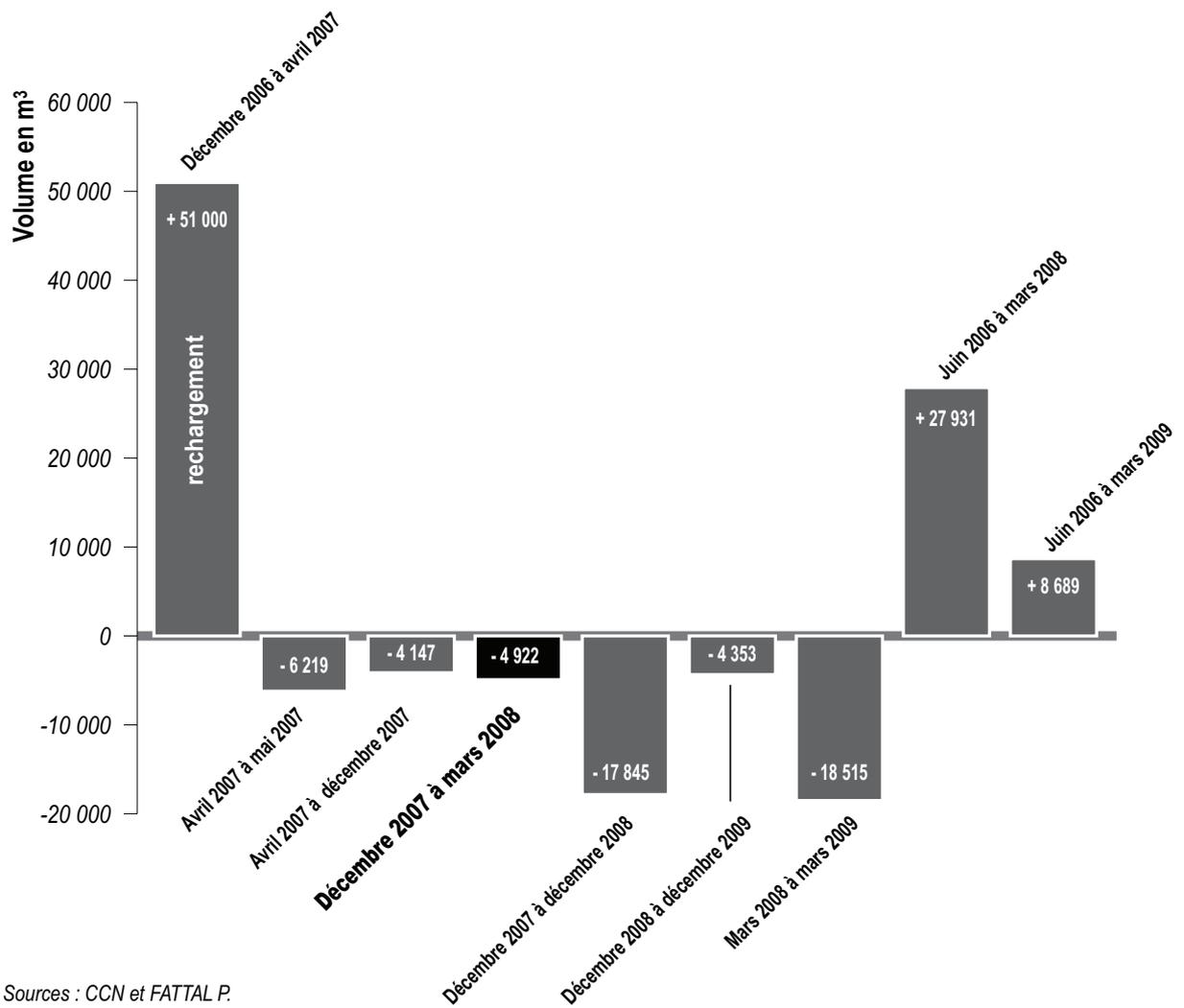


Figure 6 : Bilans sédimentaires pour le secteur des Éloux
Les Éloux beach and dune sediment budget

planche VI) montrent que c'est le haut de plage qui est principalement touché par l'érosion. Ces deux cartes sont aussi intéressantes car entre les deux périodes, 11 mois pour la première et 3 à 4 mois pour la seconde qui est un sous-ensemble de la première, on constate que les zones en accrétion ont migré vers le sud (approximativement 28 000 m³ selon la CCN, 2009) et cette observation est conforme au transit sédimentaire observé sur cette façade de l'île (Safege-Cetis, 2003 ; DHI, 2008).

Discussion

Au total, l'effet constaté de la tempête du 10 mars 2008 n'est pas proportionnel au potentiel morphogénique de cet évènement. En dépit de la conjonction de la tempête, des forts coefficients de marée enregistrés ce jour-là et de la coïncidence à l'heure près de la haute mer du matin avec la dépression barométrique maximale, trois éléments d'explications pourraient être avancés qui concourent à minimiser les effets morphogéniques. Ces éléments restent du domaine de l'interprétation en l'absence de mesures *in situ* avant et après tempête à la fois sur la plage et sur l'avant-plage. Le premier, tient au fait que dans le secteur et pour le jour considéré, la dérive a été inverse, due aux houles de sud-ouest exerçant probablement des transferts sédimentaires pou-

vant localement cicatrizer les formes affectées par la tendance générale aux transferts vers le sud. Cette dérive inverse à d'ailleurs été modélisée par le bureau d'études Safege-Cetis (2003) pour des houles incidentes de sud-ouest (2 m-8 s et 5 m-10 s). Un effet de compensation aurait pour résultante une minimisation des effets d'érosion constatés. En second lieu surtout, les sédiments piégés sur la plateforme d'abrasion de la pointe de la Loire, résultante des dérives générales, ont pu être partiellement remobilisés et redistribués sur le secteur des Éloux, concrétisant un apport sédimentaire minimisant l'effet érosif. Un levé topographique de la zone intertidale réalisé en 2006 montre l'existence d'un dépôt sédimentaire orienté ouest-est d'environ 800 m de long pour 200 m de large et d'une épaisseur moyenne de 0,5 m (soit environ 80 000 m³), doublé d'un second dépôt plus au sud (fig. 8 – **planche VII**). Ces dépôts, alimentés par les dérives générales pourraient servir, en cas d'inversion, à maintenir voire engraisser la plage vers le nord.

Enfin, et c'est ce qui rend complexe l'interprétation des résultats dans le secteur, la présence des nombreux ouvrages (épis, perré bas, pieux hydrauliques et ganivelles sur la dune) ont eux aussi probablement eu un effet réducteur de l'érosion. Ces divers éléments sont donc de nature à moduler l'effet de cette tempête.

Conclusion

L'analyse historique a permis la reconnaissance du système côtier dans son état naturel et le suivi de sa transformation en fonction des aménagements successifs. L'étude diachronique, basée sur les photographies aériennes des missions de 1950, 1974, 2000 et 2006 a permis la quantification de l'érosion linéaire sur une période de 56 ans. Il en ressort que pour la période de 1999 à 2006, le taux moyen de recul du trait de côte est de 1,9 m/an. L'érosion observée au moment de la tempête de mars 2008 n'est qu'un épisode parmi d'autres, dans un contexte plus général d'érosion chronique. Le secteur a bénéficié de conditions particulières le 10 mars 2008 avec des directions de vents et des houles associées qui ont généré une dérive inversée minimisant l'effet tempête et la tendance érosive naturelle de la plage. De plus, la présence de la résultante des dérives générales sur la plateforme avant-littorale sous la forme de stocks sédimentaires est probablement la clé de compréhension du fait que la tempête de mars 2008 n'a pas entraîné d'effets dévastateurs au niveau du secteur des Éloux.

Cependant, il faut rappeler que les pertes enregistrées sur la plage des Éloux restent malgré tout de loin les plus importantes de toute la façade ouest de l'île, puisqu'elles ont été supérieures à 100 000 m³ pour la période comprise entre 1999 et 2007. Ceci s'inscrit dans la suite logique d'un déplacement longitudinal plus général et sur le long terme du dispositif plage/dune vers l'est.

Remerciements

Cette recherche s'intègre dans le programme de recherche ANR n° ANR-06-VMC-009), VULSACO (VULnerability of SANDy COast systems to climatic and anthropic changes). Les auteurs remercient tous les organismes publics pour les données utilisées dans cet article (CETMEF, Météo-France SHOM et Communauté de Communes de l'Île de Noirmoutier).

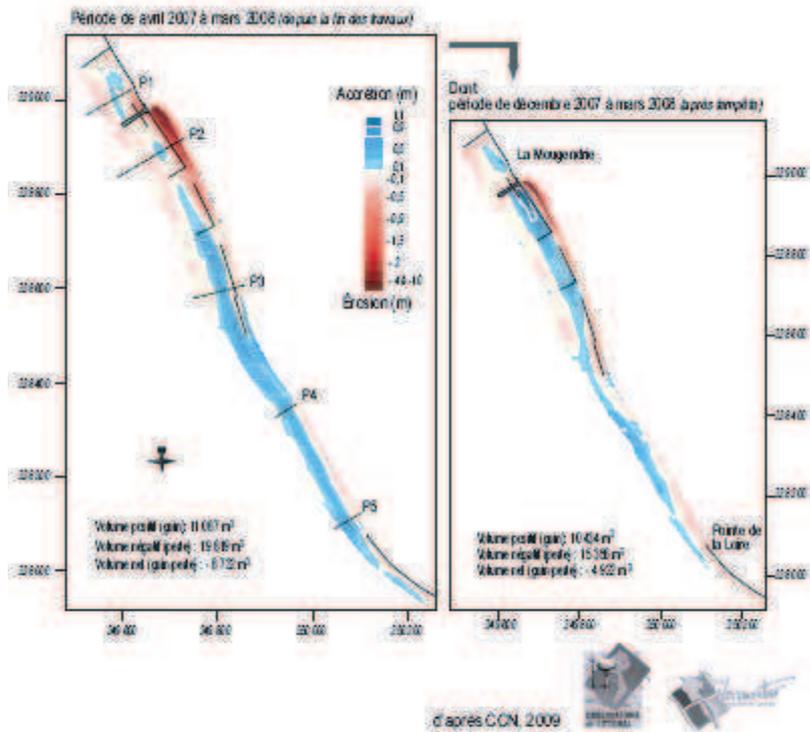


Figure 7 : Cubatures du site des Éloux avant-après tempête 2008
Les Éloux beach sediment budget before and after the 10 march 2008 storm

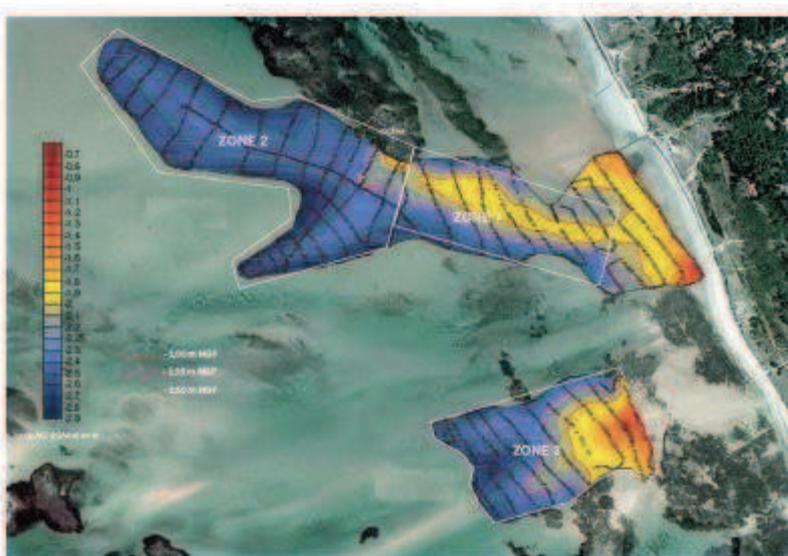


Figure 8 : Mise en évidence de dépôts sédimentaires en zone intertidale pouvant être remobilisés dans le contexte d'une tempête comme celle de mars 2008
Intertidal sand banks source likely to be solicited by major storms like March 2008 storm

PROJET ANR VMC 2006 : VULSACO

Vulnérabilité des plages sableuses face aux changements climatiques et pressions anthropiques

CADRE ET PARTENARIAT

Le projet VULSACO est un projet de recherche coordonné par le BRGM (D. Idier). Il associe le bureau d'étude BRLi, l'Association Sans But Lucratif SYMLOG, ainsi que les laboratoires mixtes (CNRS et universités) EPOC, LOG, IMAGES, Geosciences Montpellier, LEGI, et LETG. Le projet a été cofinancé par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) lors de l'appel à projet Vulnérabilité, Milieux et Climat (VMC2006). Ce projet a commencé en juin 2007 et s'est achevé en décembre 2010.

RESUME

1/ Evaluer la sensibilité des plages face aux changements climatiques et anthropiques, à échéance 2030

La dynamique de la zone littorale est directement dépendante des vagues et des courants. Ces facteurs hydrodynamiques sont directement liés à la dynamique du système océan-atmosphère, et donc à l'évolution du climat, aussi bien en termes de variabilité climatique que de changements climatiques. Ainsi, les systèmes côtiers devraient être fortement vulnérables aux changements climatiques. C'est dans ce contexte qu'a été réalisé le projet ANR VULSACO, portant sur la vulnérabilité des plages sableuses face aux changements climatiques et pressions anthropiques. Dans ce projet, il s'agissait d'une part d'identifier et d'estimer des indicateurs de vulnérabilité physique à l'érosion et à la submersion marine pour les côtes sableuses basses, de l'avant-plage à l'arrière-pays, face au changement climatique à échéance des années 2030. D'autre part, le rôle aggravant ou modérateur que peut avoir le facteur d'occupation humaine du littoral sur cette vulnérabilité a été étudié. Les échelles temporelles vont du court-terme (quelques jours) au moyen-terme (décennies). Le projet est basé sur l'étude de quatre plages sableuses métropolitaines, à savoir les plages du lido de Sète (34), du Truc Vert (33), de La Tresson (85) et de Dewulf (59). Ces sites sont caractérisés par des environnements hydrodynamiques et socio-économiques représentatifs des plages sableuses basses métropolitaines.

2- Collecter, Observer, mesurer, analyser, modéliser la vulnérabilité des plages sableuses

Une approche commune aux quatre sites a été adoptée. Tout d'abord les caractéristiques physiques, environnementales et socio-économiques de chaque site ont été identifiées. Ensuite, une analyse des données physiques passées, comme le trait de côte ou le volume de plage par exemple, a été réalisée pour identifier l'existence ou non de tendances ou corrélations entre la dynamique des plages et le climat. La vulnérabilité des sites par rapport aux changements climatiques possibles futurs a alors été estimée, en utilisant deux approches : la modélisation numérique morphodynamique et l'étude de la gouvernance. Des modèles numériques reproduisant les courants, les vagues et les évolutions topobathymétriques des plages ont été mis en place afin d'étudier le comportement physique du système pour le climat actuel et pour des scénarios « futurs ». L'analyse des prises de décision par les parties prenantes s'est appuyée sur des questionnaires, des interviews et des ateliers de mise en situation. Enfin, sur la base de la caractérisation des sites, des analyses de données passées, de la connaissance de chaque site et des résultats de modélisation, une revue des indicateurs existants a été faite dans la perspective d'une application sur les quatre sites pour estimer leur vulnérabilité à l'échelle d'un évènement et à moyen-terme. Ces éléments ont aussi été utilisés pour proposer de nouveaux indicateurs.

Résultats majeurs

Le projet conduit tout d'abord à une meilleure connaissance du comportement des plages aussi bien sur la base d'observations in-situ que par modélisation numérique. Ainsi, pour le site du Truc Vert, la

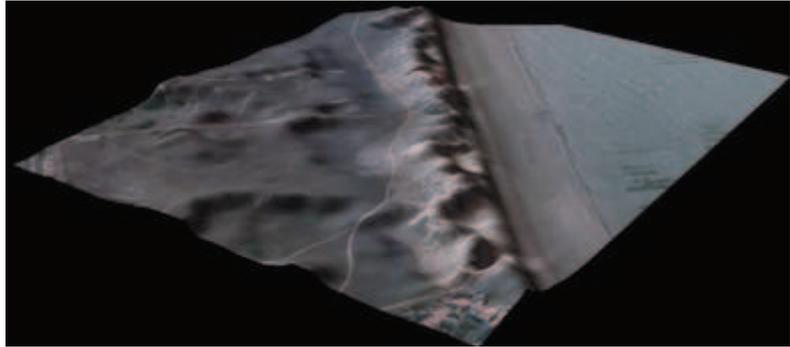


Figure 1 : site de La Tresson. Image Satellite et LIDAR (Communauté de Communes de l'île de Noirmoutier, levé LIDAR en 2008).

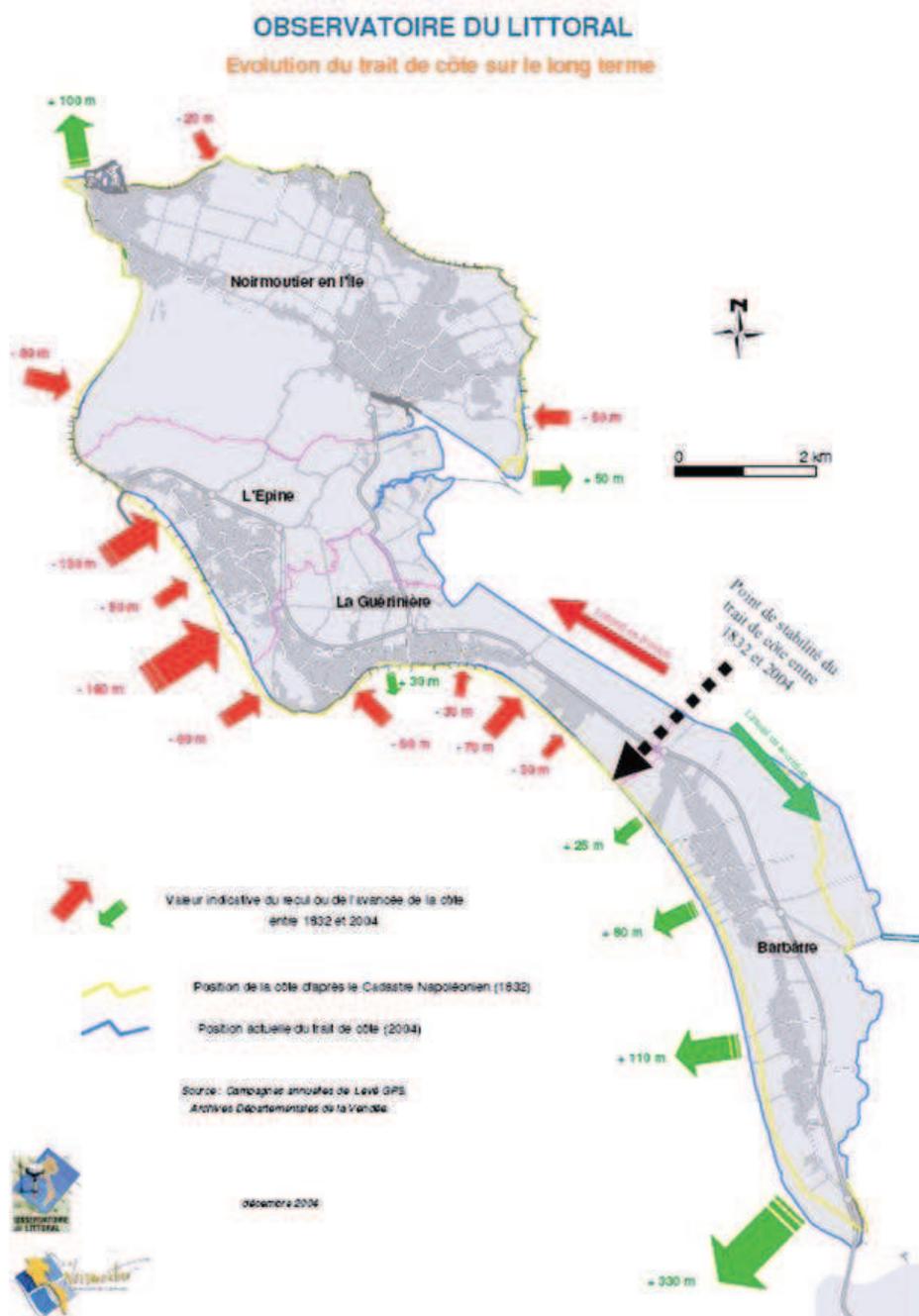


Figure 2 : Evolution du trait de côte sur le long terme

En termes de connaissance de la dynamique de la plage de la Tresson, on s'est efforcé de caractériser la dynamique à différentes échelles de temps :

- La plage se situe au point de stabilité long-terme autour duquel des zones d'érosion et accrétion sont observées (Figure 2),
- A une échelle cinquantennale, on note un recul général plus accentué au nord (33m au niveau du blockhaus entre 1950 et 2006), mais diminution du recul depuis une dizaine d'années,
- A l'échelle décennale, il y a une tendance à la stabilité voire ici ou là à l'engraissement (vrai pour l'avant-plage, la plage et le pied de dune en végétalisation),
- A l'échelle annuelle, voire saisonnière, il ne semble pas y avoir de réelle périodicité. La berme tend à engraisser en été et éroder un peu en hiver,
- A l'échelle événementielle, on note par exemple un recul net lors de tempête et cicatrisation rapide (e.g. : recul de 2 à 3 m lors de l'évènement Xynthia, en voie de cicatrisation après 3 mois)

Dans le cadre du projet, des mesures et modélisations hydro-sédimentaires ont aussi été effectuées. Ainsi, pour la première fois les courants, niveaux d'eau et vagues ont été mesurés au large de La Tresson permettant de mieux caractériser l'hydrodynamique.

Des modèles hydrodynamiques (MARS2DH, courants et niveaux d'eau ; SWAN, vagues) ont été mis en place et validés par rapport aux mesures disponibles. Ils ont été utilisés pour estimer par exemple la taille des grains maximale potentiellement mobilisables. La Figure 4 indique, par exemple pour une vive-eau moyenne, et des vagues modérées à fortes, la tailles maximale des grains potentiellement mis en mouvement. Pour le scénario à vagues modéré (Figure 4a), les courants et vagues sont trop faibles pour mettre en mouvement des sédiments non cohésifs (sables, gravier) dans la zone faisant face à La Tresson (côte SW de l'île). Par contre, sur le reste du littoral de l'île, ces courants et vagues sont suffisants pour mettre en mouvement des sables et gravier (Figure 4a). Pour le scénario à vagues fortes (Figure 4b), la mobilité est plus importante, avec des courants et vagues suffisants pour mettre en mouvements des sables, voire gravier tout autour de l'île. Globalement, une forte mobilité des sédiments (e.g. taille de grain mobilisable élevée) est observée au large de la Tresson. Ceci est en accord avec les observations de forte mobilité sédimentaire faites lors de la campagne de mesure courantométrique (visu plongeur et déplacement du courantomètre, en partie enseveli par des galets).

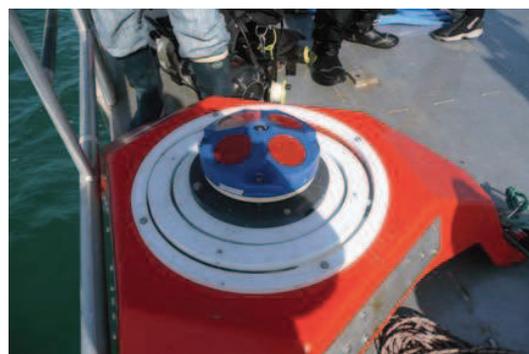
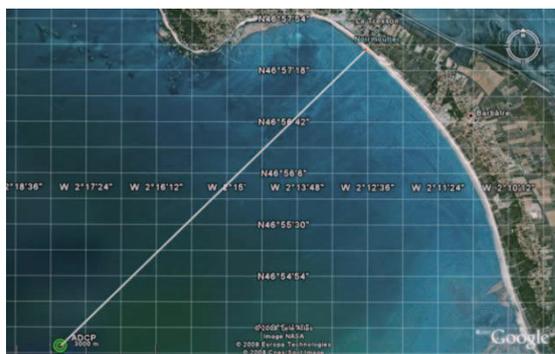


Figure 3 : Position de mouillage et photo du capteur hydrodynamique (ADCP) mouillé par le BRGM et la Communauté de Communes de l'île de Noirmoutier.

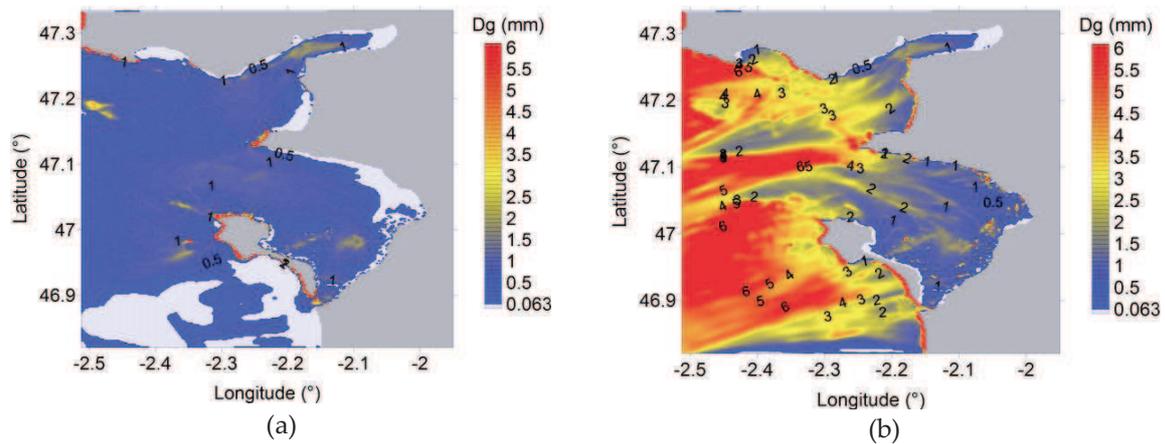


Figure 4 : Tailles grains maximales potentiellement mobilisables pour une vive eau-moyenne et les conditions de vagues au large (point Anemoc, coast 0843) suivantes : (a) $H_s=1\text{m}$, $T_m=9\text{s}$, $Dir=265^\circ\text{N}$, (b) $H_s=6\text{ m}$, $T_m=16\text{ s}$, $Dir=250^\circ\text{N}$. Pour plus de détails sur la méthode, voire Idier et al (2010). Attention : résultats valides uniquement pour les sédiments non cohésifs (gamme de valeurs non hachurées) et hors des zones de déferlement des vagues (i.e. en dehors d'une bande côtière de la centaine à quelques centaines de mètres, en fonction du scénario étudié).

L'analyse des représentations sociales (Poumadère et al, 2010 ; Bertoldo et Poumadère, 2010), réalisée pour trois des quatre sites d'étude, dont La Tresson, montre que le changement climatique est conçu par les parties prenantes (PP) de façon similaire à la majorité de la population. Elles intègrent néanmoins à leurs représentations du changement climatique des notions liées aux tempêtes et aux événements extrêmes. En effet, l'arbre maximum des éléments caractérisant le changement climatique (Figure 5), basé sur l'analyse de réponses à des questionnaires fournis aux PP, indique d'une part les éléments de la représentation sociale du changement climatique des PP, d'autre part les pourcentages de participants ayant établi un rapport entre les éléments. Aussi une analyse plus fine des questionnaires permet d'identifier, parmi les différents éléments, ceux qui sont en moyenne plus près en sens du Changement Climatique (éléments grisés de la Figure 5). Ces résultats sont parfaitement compatibles avec l'exposition accrue des habitants du littoral aux tempêtes, étant donné que la réalité vécue par les PP est appréhendée dans un niveau plus abstrait, c'est-à-dire, elle est « re-présentée ».

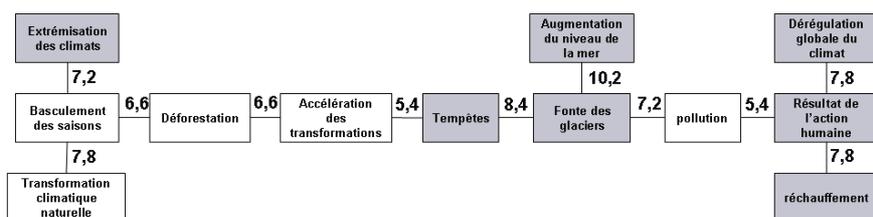


Figure 5 : Arbre maximum des éléments caractérisant le changement climatique (N=60), basé sur l'analyse des réponses au questionnaire « Similitude ». Les pourcentages de participants ayant établi chaque rapport entre les éléments est présenté entre chaque liaison.

Lors des ateliers de mise en situation des PP (Poumadère et al, 2010, 2011), les scénarios fictifs de tempête 2030 ont été perçus comme étant réalistes, pouvant même toucher l'affect de certains participants (carte satellite de Noirmoutier "coupée en deux" après la tempête fictive de 2030). Il est à noter que, même si l'atelier de La Tresson avait été décidé avant l'évènement Xynthia, il a effectivement eu lieu après cet évènement. Aussi, lors de la mise en situation des PP en 2030, nous nous sommes appuyés sur certains éléments liés à Xynthia pour construire les scénarios fictifs mais plausibles, tandis qu'on peut penser que la mémoire récente de cet évènement a sans doute joué lors de l'atelier. Les PP ont souligné que le cadre de l'atelier 2030 leur a permis de considérer et de discuter des enjeux dont tout le monde est conscient mais difficiles à aborder dans la situation réelle. La notion de recul stratégique paraît connue des PP et fait partie des options considérées. Un consensus devient

difficile dans l'atelier quand un enjeu spécifique (e.g. voie ferrée, lido de Sète; poldérisation, Noirmoutier) vient s'opposer à une option de recul qui paraît alors trop radicale. Les PP intègrent également une stratégie de communication, visant à rassurer les touristes sur la remise en état des plages après la tempête (Truc Vert). Bien qu'il était au centre des mises en situation, le changement climatique a été peu évoqué directement lors des discussions, l'attention étant surtout portée sur l'évènement de tempête exceptionnelle superposé aux tendances globales 2030 (augmentation du niveau marin faible).

En termes de vulnérabilité des sites d'étude, l'analyse bibliographique des indicateurs de vulnérabilité physique existants a permis d'identifier les facteurs importants à prendre en compte (Idier et al, 2010b). Sur cette base, des indicateurs ont été appliqués, dont celui de Coelho et al (2006) pour l'échelle long-terme (

Tableau 1). On note que, parmi les quatre sites étudiés, celui du lido de Sète serait le plus vulnérable et ceux du Truc Vert, dunes Dewulf et La Tresson les moins vulnérables. Cet indicateur de Coelho et al (2006) est basé sur des paramètres caractérisant la géologie/géomorphologie, le recul historique du trait de côte, l'influence marine et les actions anthropiques.

Si les résultats donnent globalement la hiérarchisation attendue entre les vulnérabilités des sites sur les échelles long-terme et événementielles, les limites de ces indicateurs, notamment pour des plages aux géomorphologies proches, ont pu être mises en évidence. Aussi, afin d'affiner ces indicateurs, les experts des sites ont identifié d'autres paramètres importants pour chaque site. Un indicateur long-terme, défini à partir de celui de Coelho (2006), a ainsi été proposé. Certains paramètres existants ont été étoffés (géologie, géomorphologie et action anthropique) et d'autres ont été rajoutés (disponible sédimentaire, direction des vagues, ...). Une fois ces paramètres identifiés (Figure 6), ils sont regroupés suivant les catégories d'influence suivantes : géologie/géomorphologie, influences marines, paramètres anthropiques aggravants, mesures de protection. Le paramètre d'érosion historique est également pris en compte, mais mis à part car sa valeur dépend de la gestion qui a été faite de la plage et n'est pas forcément représentative de la vulnérabilité intrinsèque de la plage. En séparant ainsi les groupes, on peut mieux se rendre compte des facteurs responsables de la vulnérabilité d'un site. Cette méthode peut ainsi faciliter la prise de décision pour mettre en place des mesures de protection. La Figure 7 montre les résultats obtenus avec ce nouvel indicateur, pour chacun des sites, permettant ainsi d'estimer la vulnérabilité relative du site de La Tresson parmi les 4 sites d'étude, ainsi que d'identifier les facteurs responsables de la vulnérabilité. Il s'agit maintenant d'appliquer ce travail à de nombreux autres sites afin de tester la robustesse des développements. La vulnérabilité socio-économique a aussi été intégrée dans des indicateurs (Fattal et al., 2010).

Indicateur 1		Indicateur 2		Indicateur 3	
Sete old	3.3	Sete old	4.0	Sete old	3.7
Sete new	2.9	Sete new	3.5	Sete new	3.2
Dunkerque	2.7	Dunkerque	3.0	Dunkerque	2.7
Noirmoutier	2.6	Noirmoutier	2.9	Noirmoutier	2.7
Truc Vert	2.7	Truc Vert	3.1	Truc Vert	2.8

Tableau 1 : Indicateurs de Coelho (2006) calculés avec les 3 pondérations proposées par Coelho et al (2006) (W1, W2, W3) puis normalisés. « Sète old » (resp. « new ») indique que le calcul a été fait pour le site du lido de Sète avant (resp. après) aménagement.

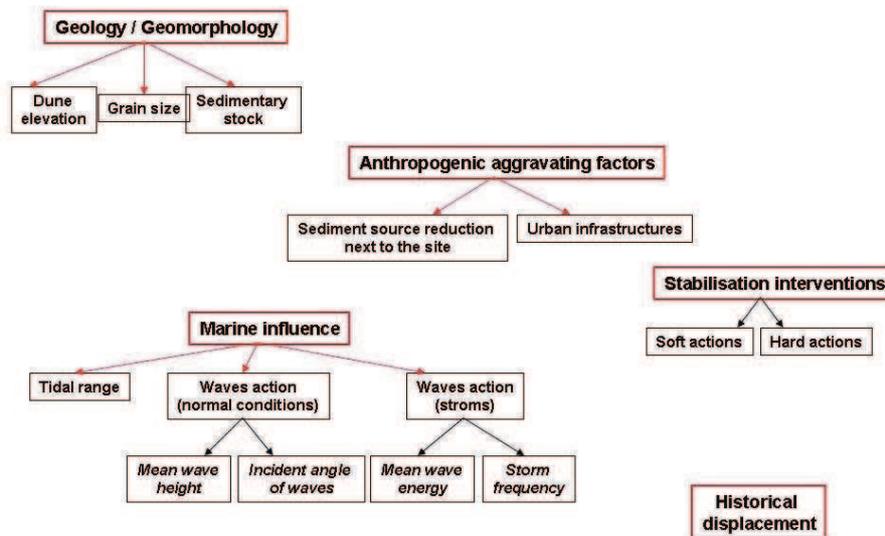


Figure 6 : Indicateur développé - Arbre hiérarchique avec les grandes catégories d'influence

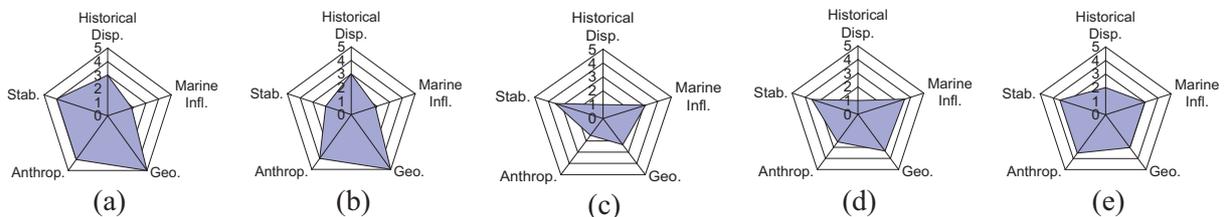


Figure 7 : Visualisation radar de l'indicateur de vulnérabilité développé dans le cadre du projet VULSACO (Idier et al, 2010b), pour les sites de : Sète old (a), Sète new (b), Truc Vert (c), La Tresson (d), Dewulf (e).

SELECTION DE PUBLICATIONS

Seules les publications soit générales, soit en rapport avec le site de La Tresson sont listées ici.

Revue à comité de lecture

Fattal P., Maanan M., Robin M., Tillier I., Rollo N., Pottier P., Coastal system vulnerability to oil spills pollution: Noirmoutier Island., Journal of coastal research, 26 5 879–887 West Palm Beach, Florida September 2010.

Fattal P., Robin M., Paillart M., Maanan M., Mercier D., Lamberts C. et Costa S. (2010) Bilan sédimentaire de la tempête du 10 mars 2008 sur un secteur protégé mais en érosion à Noirmoutier (Vendée, France) : le cas de la dune et de la plage des Éloux, Norois, 2010, 215, 101-114.

Idier D., Falqués A., Garnier R., Ruessink G.. Shoreline instability under low and shore-normal wave incidence, Journal of Geophysical Research - Earth Surface. 2011.

Le Cozannet G., Lecacheux S., Delvallée E., Desramaut N., Oliveros C., Pedreros R. (2010) Teleconnection Pattern influence on sea wave climate in the Bay of Biscay, Journal of Climate, in press.

Thiébot J., Idier D., Garnier R., Falqués A., Ruessink G., The influence of wave direction on the morphological response of a double sandbar system, Continental Shelf Research, 2012.

Communications (conférences)

Bertoldo, R.B.; Poumadère, M.; Idier, D.; Parisot, J.P.; Ruz, M.H.; Certain, R.; Bouchette, F.; Chateauminois, E.; Larroudé, P.; Robin, M., Vulnerabilidade de sistemas costeiros arenosos em face a mudanças climáticas e pressões humanas, X Congresso de Psicologia Ambiental. Lisbonne, Portugal. 18-30 Janvier 2009.

Bertoldo, R.B., Poumadère, M. Vulnerabilidade de sistemas costeiros face a mudança climática associada a acção humana, XI Congresso de Psicología Ambiental, Almeria, Espagne, 2011.

Idier, Poumadère, Vinchon, Romieu and Oliveros (2009) Vulnerability of sandy coasts to climate change and anthropic pressures: methodology and preliminary results, Geophysical Research Abstracts, Vol. 11, EGU General Assembly 2009.

Idier, D., Rohmer J., Turpin V. et Magnan A. (2010) A risk based approach for coastal risk assesment : development of an inverse methodology, Journées Impacts du Changement Climatique sur les Risques Côtiers, Orléans, 15-16 nov. 2010.

Idier, D., Parisot, J.P., Ruz, M.H., Certain, R., Bouchette, F., Chateauminois, E. , Larroude, P., Robin, M., Poumadère, M., (2008) Vulnérabilité de systèmes côtiers sableux face aux changements climatiques et pressions anthropiques, colloque Nouvelles approches sur les risques côtiers (Paris, 30-31 janvier 2008).

Larroude P. (2009) Vulnerability to Climatic Changes with a 2DH Modelling on Four French Beaches, Conf. ICE: Coasts, Marine Structures and Breakwaters'09, 2009.

Larroude P., Daou M. (2010) Comparison of sediment transport formulae with monthly 2DH simulation on a sandy beach and on a beach with non-eroded sea bed zone. Inter. Conf. Littoral 2010, London, 2010.

Larroude P. (2011) Climate change and indicator of vulnerability with a 2DH model on four French beaches, EGU-Vienna.

Larroude P., Idier D., Brivois O. (2011) Numerical simulation for indicator of vulnerability to climate change on four French beaches, 5th International Short Conference on Applied Coastal Research (SCACR).

Ouvrage et chapitre d'ouvrage

Larroude Ph et Maanan M.. Chapter : Coastal area hydrodynamic and morphodynamic numerical modelling. in Maanan M., Robin M. (eds) – Geomatic solutions for coastal environments, Nova Science Publishers, Inc, 2010.

Maanan M. and Robin M., .Geomatic solutions for coastal environments, Nova Science Publishers, Inc, 2010.

Rapports publics

Les rapports techniques suivants listés en tant que livrables de ce projet.

Chateauminois E., Parisot J.P. Rihouey D., Robin N., Crillon J., Robin M., Maanan M., Ruz M., Maspataud A., Hequette A, Idier D., Balouin Y., (2011) Projet VULSACO. Vulnérabilité de plages sableuses face au changement climatique et aux pressions anthropiques. Module 2.1 : Analyse des tendances. Rapport BRLi. Accès public : 01/01/2012.

Idier D., Bouchette F., Brivois O., Castelle B., Certain R., Chateauminois E., Delvallée E., Héquette A., Larroude P., Maanan M., Maspataud A., Parisot J.P., Pedreros R., Robin N., Romieu E., Ruz M., Thiébot J. (2010a) - Projet VULSACO. Vulnérabilité de plages sableuses face au changement climatique et aux pressions anthropiques. Module 3.2 : Modélisation de la dynamique actuelle et future des plages. Rapport final, BRGM/RP-58919-FR. Accès public : 01/01/2012.

Idier D., Lecacheux S., Romieu E., Fattal P. (2010b) – VULSACO. Vulnérabilité de plages sableuses face au changement climatique et aux pressions anthropiques. Module 3.3 : Indicateurs de vulnérabilité des plages. Rapport BRGM/RP-58920-FR. Accès public : 01/01/2012.

Le Cozannet G., O. Brivois, E. Delvallée, S. Lecacheux, D. Idier, C. Oliveros (2009) Projet VULSACO - Changements climatiques et scénarios de climats côtiers des sites Vulsaco, 2009. Module 2-2 : Scénarios de changements climatiques. Rapport final, BRGM/RP-57 305-FR.

Poumadère M., Bohn Bertoldo R., Balouin Y., Idier D., Mallet C., Robin M., Ruz M.H., Oliveros C. (2011) Projet VULSACO. Vulnérabilité de plages sableuses face au changement climatique et aux pressions anthropiques. Module 3.1 : Gouvernance des risques climatiques et vulnérabilité du littoral : méthodologie du scénario, de l'atelier de parties prenantes et des représentations sociales. Rapport SYMLOG. Accès public : 01/01/2012.

Vinchon C., Idier D., Balouin Y., Capo S., Castelle B., Chateauminois E., Certain R., Crillon J., Fattal P., Hequette A., Maanan M., Mallet C., Maspataud A., Oliveros C., Parisot J.P., Robin M., Ruz M., Thiebot J. (2008) Projet VULSACO. Vulnérabilité de plages sableuses face au changement climatique et aux pressions anthropiques. Module 1 : Caractérisation des sites. Rapport final, BRGM/RP-56618-FR. Accès public : 01/01/2012.

Les dunes domaniales jouant un rôle de digue en Centre-Atlantique : un nouveau regard sur la gestion

GOUQUET Loïc

Chargé de mission « milieux littoraux »

ONF 10 bis rue Sarrazin

BP 32027 44020 Nantes cedex 1

loic.gouquet@onf.fr

L'Office National des Forêts gère une grande partie du littoral métropolitain français : 510 km recouvrant 104 000 ha. La principale intervention de l'ONF, en métropole, concerne les dunes domaniales de la côte atlantique (320 km). La plus grande partie de ces dunes fut fixée par boisement à base de Pin maritime au XIX^{ème} siècle. Dans la même logique, l'ONF a pour mission première de contrôler la mobilité des dunes pour éviter les envahissements de l'arrière pays par le sable tels qu'on en a connu au cours des siècles derniers ; mission qui doit conjuguer aussi les multiples fonctions apparues depuis, sociales et écologiques notamment. Les récents évènements tempétueux (Xynthia, février 2010) ont brutalement mis en évidence un autre rôle important, exprimé depuis plusieurs années par les gestionnaires : celui que peuvent jouer les cordons dunaires dans la défense des zones côtières basses, en particulier face au risque de submersion.

Nous avons donc entrepris de localiser et caractériser précisément les dunes domaniales atlantiques susceptibles de jouer un rôle de protection déterminant envers des territoires bas exposés au risque de submersion, situation qu'on rencontre dans le secteur centre-atlantique, c'est-à-dire entre le sud Bretagne et l'estuaire de la Gironde. Cet inventaire permet aussi de proposer une stratégie de gestion adaptée.

Rapide historique des dunes du Centre-Atlantique

Les dunes du littoral atlantique se sont formées au cours de l'Holocène (après la dernière glaciation) : issus de l'érosion des massifs montagneux, des stocks de sédiments sableux transportés par les fleuves et qui s'étaient accumulés sur le plateau continental ont été mobilisés lors de la transgression flandrienne. Ce sable, progressivement « remonté » par la houle puis par le vent, a formé des plages et des dunes. Au cours du dernier millénaire, les massifs dunaires ont connu une période de forte mobilité due notamment à l'arrivée massive de sable et à la remise en mouvement de dunes anciennes lors du « petit âge glaciaire » (1450 – 1850), ce qui a alors façonné le littoral actuel. En particulier, les dunes ont isolé progressivement de la mer les grandes zones basses du littoral centre-atlantique colmatées par les alluvions (Golfes des Pictons, Baie de Bretagne...). C'est ainsi que se sont formés des marais de faible altitude, le Marais Poitevin, le Marais Breton...

Durant les périodes agitées, la totalité des dunes reculait vers l'est, au gré des vents dominants, mettant en péril les installations humaines. Entreprise dès la fin du XVIII^e siècle en Aquitaine, la fixation des dunes littorales par végétalisation fut généralisée par l'Etat à partir de 1817, initialement sous l'autorité de l'Administration des Ponts et Chaussées, puis à partir de 1862 sous celle de l'Administration des Eaux et Forêts. La puissance publique s'attribua les terrains dunaires jugés menaçants pour pallier l'incapacité de l'initiative privée à les stabiliser. Il en résulte en Centre-Atlantique deux types de propriétés domaniales : un foncier souvent « étroit », simple cordon de dunes donnant sur un arrière pays bas, et un

foncier « épais », constitué par des champs de dunes (désormais boisés) atteignant plusieurs kilomètres de profondeur par rapport au trait de côte.

L'objectif initial était de piéger le sable au plus près du rivage pour protéger l'arrière pays (villages et cultures) de l'ensablement, quitte à créer un nouveau cordon littoral à l'avant du précédent dans les cas de remontée sableuse massive ; on pouvait alors végétaliser et boiser les dunes internes dans des conditions d'abri relatif, ce qui fut fait avec succès. Vers le milieu du XX^e siècle, la situation sembla stabilisée et la pression des évolutions sociales (déprise agricole, essor touristique...) amena une multiplication des enjeux sur les côtes du Centre-Atlantique : infrastructures, urbanisation, etc.

L'illusion de stabilité, malgré les dégâts ponctuels de tempêtes, faisait oublier un peu vite qu'un rivage sableux est forcément mobile. Or, le stock sédimentaire s'amenuisant, il s'avéra peu à peu que, globalement, la houle ne ramenait plus assez de sable pour compenser les arrachements observés par gros temps : amaigrissement des plages, création de falaises vives en pied de dune et reprise des agressions éoliennes. Dans les cas critiques, la réaction des aménageurs a été de construire des ouvrages « en dur » pour protéger de l'érosion marine les équipements les plus exposés. Mais de ces défenses rigides sont souvent nés de nouveaux problèmes, car elles ont tendance à aggraver le déséquilibre sédimentaire sur les secteurs adjacents et à exacerber l'érosion en pied d'ouvrage.

Dans le même temps, l'observation des phénomènes conduisait dans les dunes domaniales à la notion de « contrôle souple » du cordon bordier, stock sableux flexible permettant en particulier d'amortir l'énergie marine. Il s'agit désormais de conserver ce stock au plus près de la mer pour conserver les échanges plage-dune et éviter (comme autrefois) que les perturbations frontales, relayées par le vent se transmettent vers l'intérieur.

La problématique nouvelle du risque de submersion

La gestion des dunes domaniales par l'ONF s'appuie sur une connaissance fine des situations locales et s'inscrit dans la logique des processus naturels : c'est pourquoi on parle de contrôle souple, centré depuis l'origine sur la lutte contre l'érosion éolienne. Avec les progrès de la connaissance des processus de la dynamique côtière et l'évolution des attentes de la société, les objectifs se sont élargis et la gestion s'est adaptée avec succès pour assurer la « multifonctionnalité » dévolue aux espaces dunaires :

- protection des forêts et de l'arrière pays contre l'ensablement (mission historique),
- stockage du sédiment au plus près de sa source (en lien avec ce qui précède et pour conserver les processus de dynamique naturelle plage-dune),
- préservation d'un paysage apprécié et attractif, facteur de développement touristique,
- conservation d'un patrimoine biologique et paysager rare et original, et d'écosystèmes fonctionnels et diversifiés,
- étude des processus dynamiques, observation et suivi des évolutions du milieu...

Reste que les phénomènes d'érosion marine qui se sont sensiblement accrus au cours des 20 dernières années conduisent à examiner plus en détail les rôles directs et indirects que jouent les dunes face à cette érosion, sur un littoral centre-atlantique particulièrement exposé, compte tenu de sa morphologie, au risque de submersion :

- amortissement souple de l'énergie marine ;

- soutien du budget sédimentaire (réalimentation de la plage après les tempêtes, ce qui contribue aussi à dissiper l'énergie des vagues et diminuer leur pouvoir d'érosion...),
- effet de « digue » naturelle vis-à-vis les arrières pays de basse altitude...

Dans le cadre de ses activités de gestion et des contacts avec les collectivités locales, l'ONF avait repéré depuis plusieurs années un aléa de submersion sur des zones côtières basses simplement précédées de cordons dunaires étroits. Dès 2005, il a engagé une réflexion pour caractériser les cordons dunaires domaniaux en position de « digue » naturelle, situation assez fréquente sur le continent en Vendée et dans les Iles de Noirmoutier, Ré et Oléron, d'en définir une typologie et d'en réexaminer le mode de gestion.

La tempête Xynthia du 28 février 2010 a agi comme un révélateur. Sa dépression barométrique particulièrement creuse (969 hPa) a généré des vents forts de plus de 140 km/h et une surcote marine (plus de 1,60m à La Rochelle), qui se sont ajoutés aux effets d'une pleine mer de fort coefficient (102). La conjonction d'un phénomène météorologique violent et d'un niveau de la mer très élevé (atteignant la cote de 4,506 mètres NGF) a provoqué la submersion du littoral du sud de la Vendée et du nord de la Charente-Maritime sur plusieurs milliers d'hectares, entraînant également le décès de 47 personnes piégées dans leur maison. Cependant le rôle de « dune digue » s'est clairement concrétisé, les dunes domaniales ayant dans le même temps protégé de nombreuses zones basses au prix, très logiquement, de leur propre fragilisation.

Cette confirmation très brutale des concepts issus de la réflexion et, plus généralement la prise de conscience du rôle que peuvent jouer certaines dunes domaniales dans la prévention du risque de submersion, exigent maintenant un diagnostic précis : caractériser les dunes concernées et les localiser, puis définir les mesures de gestion adaptées. Par ailleurs il faut aussi mobiliser des partenaires pour mettre en œuvre les programmes d'actions qui en découleront.

Le rôle de protection contre les submersions

Certains cordons ont joué et jouent donc encore actuellement un rôle de protection contre les submersions marines des plaines littorales basses. Par leur simple présence, ils forment une « digue naturelle flexible », même si le terme de digue fait référence à des ouvrages artificiels et à une législation particulière qui ne s'applique pas à ces milieux naturels.

Dans ce rôle de protection contre les submersions, la dune est en quelque sorte une digue naturelle flexible qui, contrairement à un ouvrage rigide, a l'avantage d'évoluer selon les phénomènes érosifs. Elle ajuste en permanence sa position et sa forme aux changements de la dynamique sédimentaire (contrairement à un ouvrage en dur qui s'oppose frontalement à l'énergie marine et qui de ce fait nécessite un entretien très important) et, si elle est suffisamment stable, offre donc aux zones basses de l'arrière une défense souple contre les fortes vagues. Ceci dit, toutes les dunes domaniales centre-atlantiques ne sont pas concernées.

En première approche, le concept de « dune-digue flexible » ne s'applique manifestement pas aux propriétés domaniales larges qui présentent un cordon bordier plus ou moins haut devant des champs de dunes plus ou moins élevés. L'aléa submersion, lorsqu'il existe (dépression arrière-dunaire, par exemple) est négligeable par rapport aux enjeux, et la gestion des cordons dunaires bordiers selon le principe du contrôle souple ne soulève pas de difficulté particulière

dans la mesure où on a de l'espace : en phase d'érosion marine on organise la translation du système vers l'arrière, en phase d'accrétion on aide à reconstituer les avant dunes, et en phase d'équilibre on laisse faire la dynamique éolienne.

Les propriétés domaniales étroites, en revanche, n'offrent pas les mêmes possibilités de translation. Elles peuvent précéder des terrains suffisamment élevés pour ne pas être exposés au risque de submersion. Mais on trouve souvent à l'arrière des zones basses, constituées principalement de marais ou occupées par des infrastructures à enjeu fort (routes, équipements...) : la dune domaniale joue alors de fait un rôle fondamental de protection contre les submersions marines, car seule sa présence fait obstacle aux attaques des vagues et aux surcotes liées aux tempêtes. Il faut toutefois, pour que la protection soit effective, que le cordon domanial ait une hauteur suffisante, supérieure aux niveaux marins extrêmes connus (ou modélisés), et que son assise (emprise au sol) lui permette de résister à l'érosion marine. Le gestionnaire va devoir contrôler les phénomènes éoliens pour conserver le stock de sable et maintenir autant que possible un profil aérodynamique qui limite les risques d'arrachement par le vent.

Caractérisation du service de protection contre les submersions

Pour approfondir rapidement la caractérisation du service de protection des dunes domaniales contre les submersions, l'ONF a diligenté en 2010 une approche géomatique, dans le cadre d'un master 2 Cartographie et Gestion de l'Environnement en lien avec l'IGARUN¹, afin de pouvoir ensuite hiérarchiser les zones d'intervention.

Dans un premier temps les propriétés domaniales de moins de 300 mètres de large ont été sélectionnées dans la zone géographique concernée (Bretagne, Pays de la Loire, Poitou-Charentes). Ensuite une série d'indicateurs d'état a été établie à partir de l'information numérique disponible pour pouvoir analyser le contexte topographique, historique, spatial et pour évaluer les enjeux de l'arrière pays.

Les 7 indicateurs (indices calculés issus de l'analyse des données) retenus intègrent les facteurs suivants :

- la topographie du site : hauteur moyenne du cordon dunaire bordier et altitude moyenne de l'arrière-pays (*Utilisation des données issues de la BD ALTI® de l'IGN*)
- la dynamique littorale (évolution du trait de côte) et l'aléa submersion marine. (*Étude de connaissance des phénomènes d'érosion sur le littoral vendéen – DHI – décembre 2007, numérisation du trait de côte (archives ONF), PPR érosion marine et carte ONF des impacts de la tempête Xynthia*)
- l'évaluation des enjeux : analyse de l'occupation du sol, dynamique communale et localisation des zones les plus sensibles aux inondations par submersion marine, d'après les données de prise en compte du risque dans les documents d'urbanisme et les études d'impact. (*Base de données CORINE Land Cover issue du SOeS, données INSEE, PPR, DDRM et études d'impacts (SOGREAH de 2001)*)

Après pondération, ces 7 indices entrent dans le calcul d'un indice global (**Itot**) d'évaluation du service de protection assuré par le cordon dunaire domanial, qui permet de comparer les différents sites.

¹ Institut de Géographie et d'Aménagement Régional de l'Université de Nantes – Nicolas Ramont – juillet 2010

Cet indice global permet le classement en 5 catégories en fonction de la qualité de service de protection rendu :

Itot < 1 : Dune non concernée. Malgré l'étroitesse de la propriété domaniale, le site d'étude ne représente pas un enjeu au regard du service de protection face au risque de submersion marine. Ce sont généralement des secteurs hors de toute urbanisation, assez élevés et suffisamment larges pour asseoir la stabilité du cordon dunaire, constitués essentiellement d'une dune boisée.

1 < Itot < 2 : Dune fragile. Propriété domaniale étroite correspondant le plus souvent à des zones assez naturelles avec peu d'urbanisation. Cependant, la faible altitude de l'arrière-pays entraîne une vulnérabilité potentielle du site d'étude au risque de submersion marine.

2 < Itot < 2,5 : Dune sensible. Zone à enjeu marqué. Le cordon dunaire, d'une hauteur généralement assez importante, assure le service de protection face au risque de submersion marine. Cependant il doit être attentivement surveillé et entretenu pour prévenir le risque d'une rupture pouvant entraîner la submersion des zones basses en arrière (parfois fortement urbanisées).

2,5 < Itot < 3 : Dune vulnérable. Etat d'alerte, le cordon de faible altitude (voire absent) est situé près d'une forte zone urbaine, ou d'un équipement, Pour assurer pleinement le service de protection, des travaux de consolidation sont à prévoir. Zone à surveiller en priorité.

Itot > 3 : Dune érodée. Etat critique, le service n'est plus assuré, la faible hauteur du cordon dunaire ne le permet plus. Zone prioritaire.

Un atlas des dunes digues flexibles

Le résultat de ce travail exploratoire a été formalisé par un atlas cartographique localisant la position des « dunes digues domaniales » et représentant l'indice d'évaluation global du service de protection assuré.

A l'issue de cette démarche géomatique, une vérification de terrain a permis de confirmer ou d'infirmer la localisation des zones les plus sensibles et de caractériser les formes rencontrées. Cette vérification était nécessaire pour compléter l'approche géomatique, du fait notamment :

- des degrés de précision hétérogènes des données de base pouvant générer des erreurs de classement,
- des problèmes d'échelle des différentes sources entraînant des localisations parfois approximatives,
- du caractère artificiel des indices proposés par des calculs informatiques, qu'il convenait de compléter par des critères plus directement opérationnels.

Cette analyse de terrain s'est faite selon des transects implantés sur les sites déterminés par l'analyse géomatique et par l'élaboration de profils de dunes géoréférencés (cf. figure 1 – Exemples de type de profil de l'atlas). Chaque profil est décrit dans une grille d'évaluation à l'aide de paramètres spécifiques permettant d'évaluer l'état du service de protection de la dune de défense :

- Paramètres morphologiques (hauteur de la crête de la dune, rapport base/hauteur)
- Paramètres géomorphologiques (organisation du contact plage/dune, nombre de faciès, densité des caoudeyres)

- Evaluation de la pression anthropique (nombre d'accès plage, surpiétinement)

La typologie

L'analyse des profils permet de caractériser les formes rencontrées et ainsi de préciser le classement réalisé lors de la phase géomatique en écartant les dunes de la première classe, dites « dunes non concernées ». On distingue donc :

Les dunes équilibrées (type I) : caractérisées par un profil « large » (> à 50 m) et un volume sédimentaire conséquent. Leur largeur garantit la stabilité du cordon face aux attaques mécaniques de la houle et des vagues de tempête (érosion marine et brèches de tempête) et permet à la dune d'assurer son rôle d'amortisseur de la houle. De même, leur hauteur permet d'assumer pleinement la fonction de barrière face à la montée exceptionnelle du niveau marin lors d'un événement climatique extrême (> à 8m). D'un point de vue écosystème, ces dunes présentent les différents faciès, de la dune blanche à la dune grise.

Les hauts cordons bordiers étroits (type II) il s'agit de dunes réduites à un étroit cordon dunaire bordier (parfois moins de 30 m de large comme sur l'Ile de Ré). La hauteur du cordon est importante, suffisamment pour faire obstacle à l'intrusion marine, mais l'organisation par le gestionnaire de la translation vers l'intérieur (pour pouvoir restaurer un profil adéquat après un événement violent) se heurte au contact immédiat avec les zones à protéger. La faible largeur de la propriété domaniale interdit donc toute possibilité de cinétique dunaire sans impact sur l'arrière pays, elle diminue également sa stabilité et augmente sa vulnérabilité aux attaques marines. Des événements tempétueux répétés risquent donc à long terme de supprimer la protection que ces cordons offrent.

On peut considérer qu'une dune de défense est de type II à partir du moment où elle n'est constituée que par un cordon bordier (correspondant le plus souvent à la seule dune blanche). Ce type de dune est le plus répandu sur le linéaire étroit étudié.

Les cordons sensibles (type III) : Le profil est caractérisé par un cordon dunaire bordier peu développé (souvent peu élevé) ou ayant disparu, qui devance une dépression ou une zone plane de basse altitude, champs de dunes ou marais. Ces secteurs sont critiques dans la mesure où l'eau de mer peut rapidement s'étaler dans la dépression d'arrière cordon en cas de brèche du cordon bordier fragile.

Le cordon dunaire est souvent très déstructuré, il ne reste qu'un résidu de dune.

D'une manière générale, ce sont ces dernières zones (type III) qui sont à prioriser dans une optique de gestion du service de protection. Mais un bon diagnostic doit aussi qualifier l'enjeu protégé pour chaque type de cordon (zone de marais, zone urbanisée, route publique, équipement collectif, milieu naturel...) pour hiérarchiser les secteurs d'intervention et programmer les actions à mener.

Les résultats

Sur les 145 kilomètres de dunes domaniales gérées par l'ONF en Centre-Atlantique, il y a 60 km de dunes étroites (foncier < 300 m de large) a priori concernées par la problématique de protection contre les submersions. En négligeant le cas marginal des dunes étroites bordant des terrains assez élevés pour ne pas risquer la submersion, on peut considérer que :

- 15 km sont des dunes stables, en bon état (type I), parfaitement aptes à protéger l'arrière pays plat contre la mer ;

- 21 km sont des dunes de défense (type II) dans un état satisfaisant pour remplir le service de protection mais dans des conditions de vulnérabilité aigüe face au risque de submersion marine, du fait du contact immédiat avec les enjeux à protéger ;
- 17 km correspondent à des dunes de défense (type II) en état d'alerte, où le service est provisoirement assuré mais peut vite être dégradé ;
- 7 km enfin sont des dunes en mauvais état (type III) qui risquent de ne pas assurer pleinement leur service de protection de l'arrière pays face au risque de submersion marine.

La gestion

Après le diagnostic vient la question de la remédiation pour que les dunes domaniales topographiquement impliquées dans la protection contre le risque de submersion marine puissent jouer pleinement ce rôle, désormais très attendu.

Il s'agit a priori de traiter les dunes de type III au droit des zones d'enjeux importants, et de concevoir l'entretien/restauration des dunes de type II (et III) après un épisode tempétueux. Les dunes de type I relèvent d'une gestion « normale » mais vigilante.

Dans ce cas bien particulier de gestion dunaire, les options couramment admises de laisser faire l'évolution naturelle ou de mettre en place un contrôle souple « ordinaire » ne sont pas applicables. Il reste les options qui consistent à organiser le repli stratégique (lorsque le niveau de risque est si haut qu'un dispositif de protection aurait un coût exorbitant à regard de la valeur des biens à protéger, la délocalisation des biens doit être envisagée) ou bien à maintenir le trait de côte en confortant ou érigeant des structures de défense côtière.

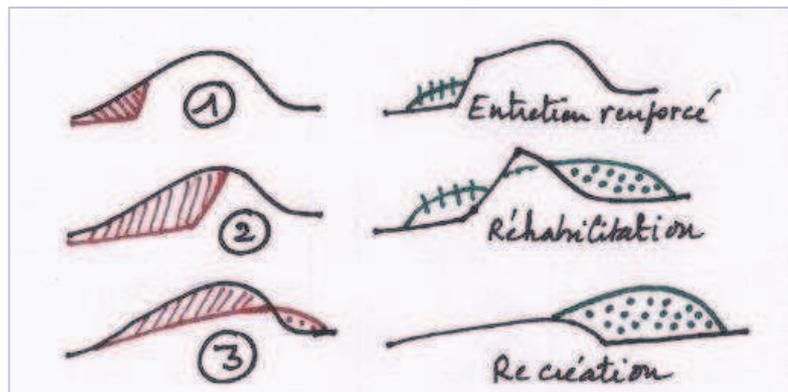
Cette dernière option peut en théorie se décliner en deux techniques, l'une « dure » (digue béton, empierrements...), hors de propos ici, et l'autre souple (confortement du cordon dunaire par rechargement en sable...).

En fonction de la situation, le confortement du cordon dunaire peut être réalisé selon plusieurs principes :

Cas 1 : L'érosion marine entaille une falaise qui ne remet pas en cause la stabilité de la dune : rechargement en sable en haut de plage.

Cas 2 : Très forte érosion marine qui supprime les capacités du cordon de dune à jouer le rôle de digue : rechargement sur le cordon existant (devant et/ou derrière).

Cas 3 : L'érosion marine érode le cordon en quasi-totalité : on s'interroge tout d'abord sur la présence éventuelle de cordons anciennement fixés en retrait du trait de côte, sur lesquels le dispositif peut s'appuyer : on maintient alors une zone de liberté pour le cordon bordier érodé, jusqu'à la première ligne topographique significative. Un rechargement peut aussi être effectué au niveau du versant interne (côté terrestre), ou pour conforter les cordons de deuxième ligne. Cela peut parfois passer par la nécessaire acquisition par la puissance publique de parcelles qui permettront une libre évolution du sable.



Bien entendu, de telles opérations doivent s'accompagner des mesures habituelles de gestion des milieux dunaires : canalisation de la fréquentation, information du public, végétalisation au besoin, contrôle de l'envol du sable...

La technique dite de rechargement est séduisante et efficace pour maintenir les différentes fonctionnalités des dunes domaniales, sans interrompre les échanges plage/dune. Elle nécessite toutefois une phase préalable importante d'études techniques et d'instruction réglementaire, concernant les aspects suivants :

- Choix de la zone de prélèvement (zone terrestre, zone maritime, distance de transport...),
- Caractéristiques granulométriques des sédiments (comparaison du sédiment d'emprunt avec le sédiment naturel en place,...),
- Définition du profil d'équilibre de la plage et de la profondeur limite d'action de la houle sur les sédiments,
- Estimation du volume à mettre en place (ni trop ni trop peu)
- Technique de mise en place possible (clappage, projection, rechargement terrestre...)
- Evaluation de la fréquence des rechargements d'entretien, des suivis topographiques à mettre en place,
- Coût de l'opération, y compris les entretiens ultérieurs, selon la durée de vie estimée par rapport à l'érosion marine.
- Aspect réglementaire de l'opération (Maîtrise d'ouvrage, Loi sur l'eau, intervention sur le DPM, compétences des collectivités locales...)
- Aspect financier (Subventions, financements...).

Il faudra veiller également à l'évolution du contexte juridique, car si la législation actuelle relative aux digues de défense ne s'applique pas aux dunes, elle est probablement sujette à évolution. Si tel était le cas, les obligations du propriétaire ETAT ou du gestionnaire ONF devraient être redéfinies (missions, financements...).

Des réalisations

La côte ouest de l'île de Noirmoutier est bordée, sur 19 km, de dunes qui jouent un rôle de « digue » naturelle face aux éventuelles intrusions marines.

De manière générale, du fait de la présence du socle rocheux peu profond au large de la côte Ouest de l'île de Noirmoutier, les transports sédimentaires y sont relativement faibles. Le cordon bordier se trouve donc peu alimenté en sable par la mer.

De la Pointe de l'Herbaudière à la Pointe du Devin, le cordon dunaire de Luzéronde (5 à 7 mètres d'altitude) s'étend sur une longueur de 4 km et sur une largeur variant de 400 mètres au Nord à 60 m au Sud. Il constitue une barrière naturelle qui protège toute la zone de marais.

A la suite de fortes tempêtes en 2002, qui avaient créé une falaise d'attaque marine, les gestionnaires ont décidé d'organiser le recul du cordon dunaire en exploitant le phénomène d'érosion éolienne, jusqu'à ce que la dune retrouve une bonne assise et un profil aérodynamique. Ainsi le stock de sable piégé hors d'atteinte de l'érosion marine ordinaire permet de remplir le rôle de dune digue.

Ce profil, avec un glacis externe suffisamment doux a été partiellement atteint naturellement en 2008, et des travaux ont été réalisés pour le compléter et le fixer : en lien avec la collectivité qui a pris en charge le contrôle de la fréquentation et le « retroussage » de plage (action de remonter le sable du bas de plage vers le pied de dune), l'ONF a procédé à un

remodelage de la dune qui a ensuite été couverte de branchages et plantée d'Oyat et de Chiendent des sables.

Devant la réussite des travaux engagés, un tronçon supplémentaire a été traité en 2009.

Conclusion

Quand des dunes précèdent un arrière pays peu élevé, elles constituent une barrière flexible et vivante qui sous certaines conditions préserve des risques de submersion marine. Ce rôle a été mis en évidence lors des tempêtes de février 2010 et doit maintenant s'intégrer dans une réflexion plus globale d'aménagement des territoires.

L'ONF, opérateur historique des dunes domaniales, a pris conscience de cette importance depuis plusieurs années, et apporte son expérience aux collectivités et à l'Etat dans le cadre de démarches intégrées et globales de compréhension des phénomènes naturels en jeu. Les effets futurs supposés du changement climatique (élévation du niveau des océans, accentuation de la fréquence et de la force des événements tempétueux...) sont des raisons supplémentaires pour l'ONF d'adapter la gestion de ces espaces naturels fragiles sur lesquels reposent des attentes toutes particulières de la société.

Dune équilibrée : Secteur de Luzéronde, sur l'Île de Noirmoutier (85)



Décembre 2005 : Le cordon étroit devant une zone de marais est soumis à l'érosion marine, il faut organiser la translation du sable grâce au vent. A cet endroit, le foncier domaniale permet la mobilité.



2009 : Les travaux de reprofilage, de couverture de branchage et de plantation ont permis de mettre hors d'atteinte de l'érosion marine le stock de sable en conservant les processus dynamiques

Les hauts cordons bordiers étroits



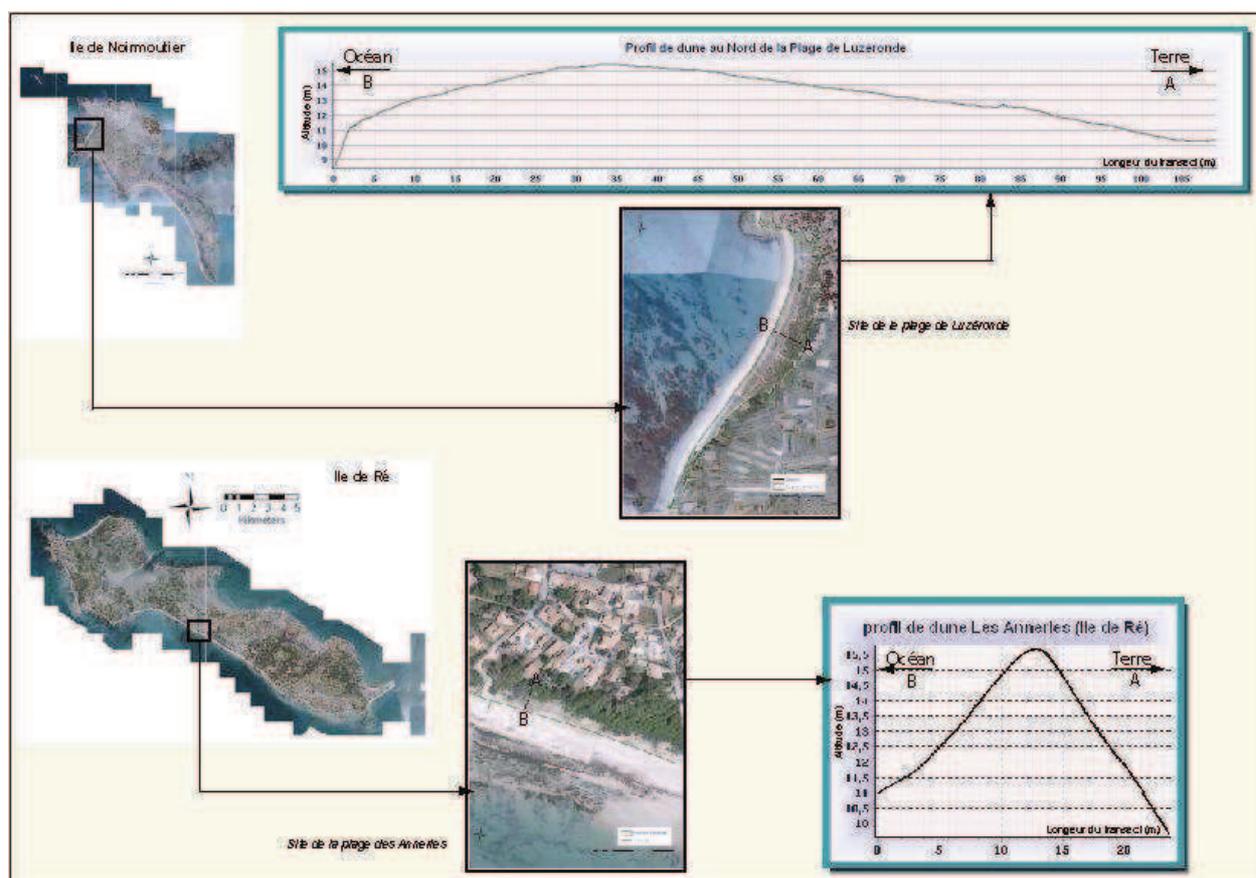
Les Anneries, commune de La Couarde en Ré (17) : le cordon bordier, étroit, est directement en contact avec l'urbanisation.

Les cordons sensibles



Devant l'hippodrome de Saint Jean de Monts, le cordon bordier a disparu, la mer a envahi l'arrière dune basse lors de la tempête Xynthia.

Figure 1 – Exemples de type de profils de l’atlas





Aide à la gestion multifonctionnelle des dunes littorales atlantiques par l'évaluation cartographiée de leur état de conservation

MULTIDUNE 2007-2011

Françoise DEBAINE (Université de Nantes, UMR 6554 LETG / GEOLITTOMER)

Membres de l'équipe :

Marc ROBIN (Université de Nantes, UMR 6554 LETG / GEOLITTOMER),

Françoise ROZÉ (Université de Rennes 1, UMR 6553 : ECOBIO)

Partenaires

Jean FAVENNEC et **Loïc GOUGUET** (Office National des Forêts)

Jade ISIDORE (Conservatoire des Espaces littoraux et des Rivages Lacustres)

Marie-Claire PRAT (EUCC France)

L'évaluation de l'état des milieux naturels et leur suivi sont actuellement au cœur de toutes les démarches visant à la gestion, la conservation et la protection des milieux naturels, qu'elles s'expriment au niveau local ou régional, national ou international et plus particulièrement, européen. Si des outils d'observation et de suivi existent, ils permettent rarement d'allier précision de la donnée et couverture exhaustive de l'objet analysé, d'intégrer le relevé ponctuel dans une analyse globale, de suivre un objet de façon quantifiée, homogène, régulière sur le plan spatial et temporel.

La mise au point d'un protocole d'analyse conduisant à un diagnostic de l'état des dunes littorales répond donc à une demande forte à différents niveaux de prise de décision et donc à différentes échelles spatiales. Demande forte des acteurs de la sphère foncière notamment le CELRL, et surtout des gestionnaires, à l'origine du partenariat avec l'ONF responsable de la gestion d'une grande partie des dunes littorales atlantiques. L'évaluation de l'état actuel des dunes maritimes est en effet une nécessité autant scientifique qu'appliquée. Nécessité pour les gestionnaires de disposer d'outils d'aide à la décision, fondés sur une estimation systématique, la plus objective et la plus fiable possible leur permettant d'évaluer la pertinence des choix d'action, de prévoir les effets des mesures de gestion engagées, d'améliorer ainsi les actions, la planification et les décisions futures. Au niveau national, cette recherche finalisée est aussi nécessaire au travail d'évaluation des habitats de la directive européenne « Habitats ».



Le programme « **Multidune** » propose une méthode de diagnostic opérationnelle et fiable d'évaluation cartographiée de l'état des dunes littorales atlantiques. Fondé sur la connaissance des processus de fonctionnement des mosaïques dunaires, la mise en évidence des facteurs qui régissent les changements dont ils font l'objet à différentes échelles temporelles -de la micro-perturbation au changement d'affectation-, le diagnostic couvre 2 des 3 principaux services écosystémiques rendus par les dunes littorales : Protection (protection des biens et des personnes contre le risque de submersion, modération de l'érosion marine, protection contre le risque d'ensablement), Conservation de la biodiversité (en termes d'espèces et en termes d'habitats) et enfin Service Culturel (-non traité dans ce programme-, les dunes littorales procurant des bénéfices esthétiques, récréatifs, touristiques).

Un **protocole** simple a été mis au point sur l'un des quatre sites-test sélectionnés (Noirmoutier) et est en cours de déploiement sur les autres sites du programme, l'objectif étant de mettre en évidence son applicabilité sur l'ensemble du littoral atlantique. Ce protocole intègre les démarches de terrain et le traitement de l'information géographique nécessaire à la construction de géoindicateurs pertinents, ce, dans un contexte de co-construction avec les gestionnaires.

L'évaluation du **service protection** est fondée sur l'analyse de variables discriminantes dérivées des données Lidar, aériennes et satellitaires. La combinaison de ces variables au sein d'unités d'observation spatialisées sous la forme de boîtes de 50 m de côté et de profondeur variable correspondant à l'enveloppe dunaire, permet la mise en évidence des niveaux de service offerts par le milieu dunaire observé face à l'érosion marine, la submersion potentielle lors des surcotes et l'éolisation des massifs.

Le **service biodiversité** est évalué à deux niveaux, l'écosystème dunaire dont on caractérise la diversité en termes d'habitats et de faciès de transition, et l'habitat, dont on évalue le niveau de perturbation et le risque de dégradation. Les formes d'usage et d'exploitation pouvant induire des perturbations susceptibles de réduire la biodiversité sont cartographiées selon une typologie préétablie et quantifiées, de même que les indicateurs de la dynamique de la végétation, qu'elle soit initiée par des processus naturels ou anthropiques.

Une base de données spatialisées rassemble de façon structurée l'ensemble des informations nécessaires : ces informations permettant l'évaluation sont extraites de données de télédétection, de bases de données disponibles et des données de terrain. Nous avons privilégié l'utilisation des données présentant une très haute résolution spatiale : la *BD Ortho de l'IGN*, visible et *IRC*, l'*Ortho Littorale 2000* (0,50 m), les couvertures de photographies aériennes IGN. Nous avons également eu recours à l'imagerie satellitaire Spot et aux données aéroportées Lidar. Des données vecteur IGN ont également été intégrées : *BD Topo* et *BD Parcellaire*. Les informations utiles sont extraites de ces images selon un protocole d'analyse orientée-objet.

Evaluation du Service Protection contre les aléas naturels

Le protocole a été appliqué sur le site de Noirmoutier et un soin particulier a été pris pour permettre la reproductibilité de la méthode d'une part et d'autre part le remplacement de chaque niveau de service dans un référentiel service plus large au niveau du littoral français (à partir d'un minimum et d'un maximum de service potentiel propre au site et propre à la façade atlantique de la France).

A- Service protection : principe général

Un résultat cartographié du service protection illustrant ce protocole est présenté ci-contre. Celui-ci se résume de la façon suivante : 10 variables sont dérivées des données LIDAR, satellitaires et aériennes (altitude moyenne, volume de sable, entropie, cuvettes de déflation actives, rides et pics, évolution du trait de côte depuis 50 ans, présence de défenses côtières, taux de recouvrement végétal, largeur de la dune blanche) ainsi que deux variables d'enjeux (distance urbanisation – trait de côte, surface urbanisées).

Ces variables sont intégrées dans les unités d'observation (boîtes) et mises en relation les unes avec les autres afin d'assurer, par leur densité de présence et la densité de la combinaison (occurrence) de variables, la bonne évaluation du niveau de service rendu.

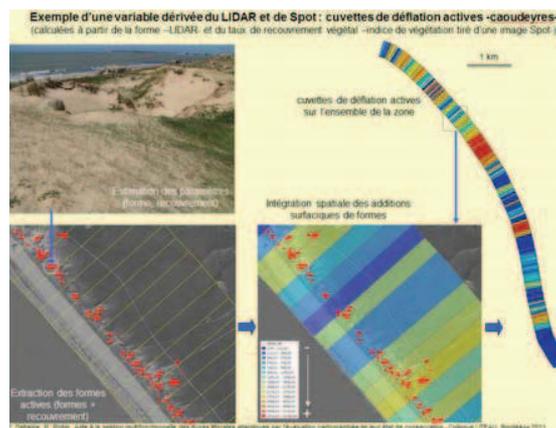
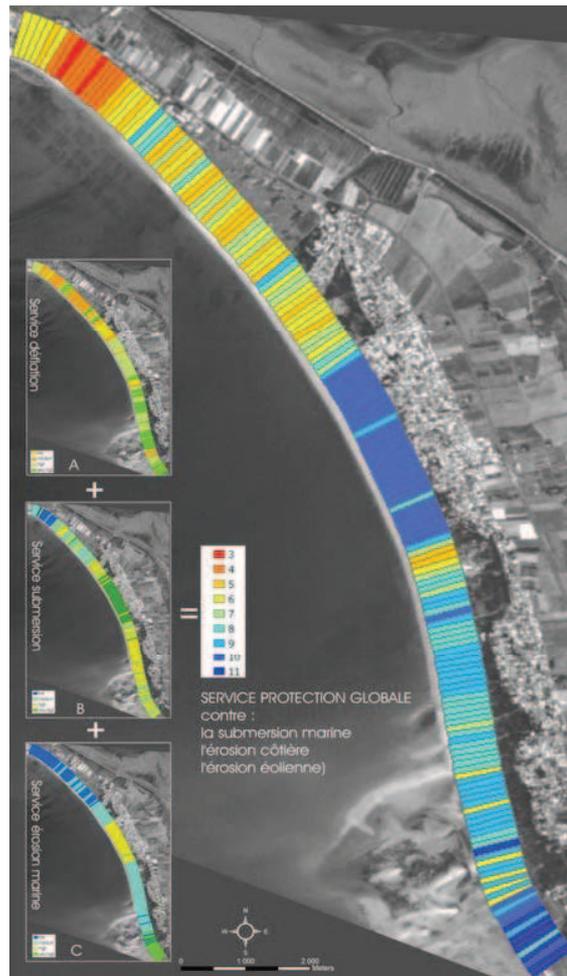
La démarche est entreprise pour les 3 services protection (érosion marine, déflation éolienne, submersion). L'addition de ces 3 services amène à l'identification d'un service protection global, mettant en évidence les unités et leur niveau de service. Cette approche offre une vision précise de l'état de chaque segment dunaire et est conçue à un premier niveau scalaire «global» opérationnel pour le gestionnaire. Le constat ainsi effectué sur cette partie de Noirmoutier (ci-contre) met en évidence la faiblesse de la partie nord de la flèche en regard des aléas potentiels pour des raisons de structure de la digue-dune (épaisseur faible, faible volume de sable, configuration topographique optimale face à la submersion, érosion chronique malgré des défenses côtières, enjeux très élevés). Le rouge signale ainsi une déficience de service tandis que le bleu signale un service assuré. Le dégradé de couleur correspond à la dégradation du service. L'intervention du gestionnaire est ainsi facilitée par cette vision synoptique de la déficience de service qui, mise en relation avec les degrés d'enjeux sociétaux, permet d'optimiser les interventions en les ciblant. Une fois identifiées les unités d'observation à risque, un zoom à une échelle fine (second niveau scalaire) est effectué pour cibler les formes responsables de la dégradation du service et adopter une stratégie de gestion afin d'en minimiser la portée.

B- Détail de la méthodologie du service protection : exemple des caoudeyres

La dimension, la densité et le degré de fonctionnalité de cette forme est un géoindicateur du degré d'éolisation du massif ainsi que du degré de fragilité en regard de l'érosion marine mais aussi un indicateur de la perméabilité du massif en regard de la submersion.

La dérivation des données LIDAR permet de cerner au plus près cette forme (dimension volumétrique), d'estimer la densité de caoudeyres au sein d'une unité d'observation (surface cumulée en m² de caoudeyres au sein d'une boîte) et d'évaluer son degré d'activité (taux de recouvrement végétal de la forme à partir d'un indice de végétation) –figure ci-contre.

Au niveau du gestionnaire, ce géoindicateur dans sa dimension spatiale permet ainsi deux niveaux d'intervention : a) à une échelle plus globale : une vision synoptique de la présence/absence des caoudeyres (densité) sur l'ensemble d'un massif dunaire de nature à attirer l'attention sur des secteurs fragiles ; b) à une échelle fine, au niveau de chaque forme : une aide au ciblage des caoudeyres à traiter selon le critère forme (volume et degré d'activité). Le croisement de ce géoindicateur avec d'autres permet de hiérarchiser les priorités d'intervention : par exemple, la proximité d'une caoudeyre avec le trait de côte ou encore la proximité rétro-littorale d'une zone à fort enjeu humain (urbanisation). Ce niveau de croisement repose sur la coïncidence spatiale des divers géoindicateurs pris en compte, ce qui est réalisé à l'intérieur des unités d'observation.

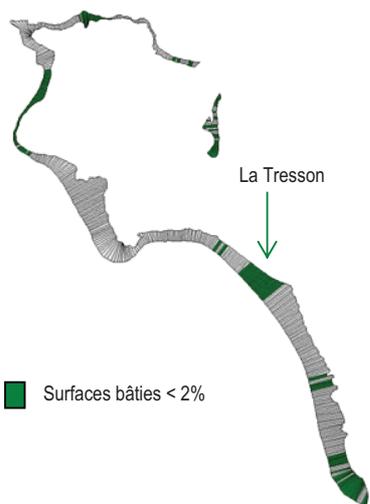
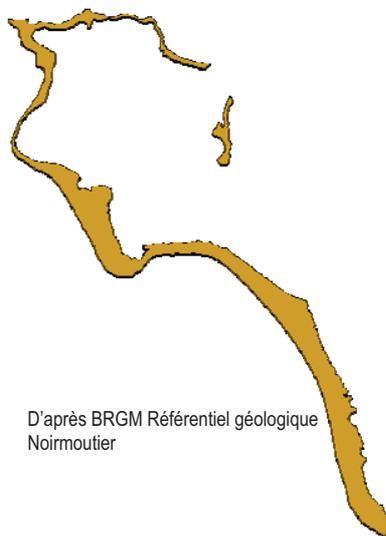


Evaluation du Service biodiversité

Soumises à des contraintes écologiques fortes, les dunes littorales présentent une biodiversité remarquable. Sur les quelques 400 taxons vasculaires exclusivement littoraux en France (environ 10% de la flore française totale) on peut considérer que quelques 150 espèces sont préférentiellement dunaires et quelques 60 le sont exclusivement. Sur ce nombre, plus d'une vingtaine sont rares, menacées ou en forte régression qu'il s'agisse de plantes endémiques ou non. Les dunes littorales sont à ce titre répertoriées dans le Manuel d'interprétation des habitats de l'Union européenne (version EUR27, en date du 04/03/2008) : 2110 Dunes mobiles embryonnaires, 2120, Dunes mobiles du cordon littoral à *Ammophila arenaria* (dunes blanches), 2130 Dunes côtières fixées à végétation herbacée (dunes grises), 2190 Dépressions humides intradunaires. Ces unités, présentant souvent elles-mêmes une certaine diversité sont « déclinées » en habitats élémentaires. Ce sont donc des habitats d'intérêt communautaire, prioritaire au sens de la Directive Habitats en ce qui concerne la dune fixée.

Un diagnostic à deux niveaux :

A. Niveau Ecosystème

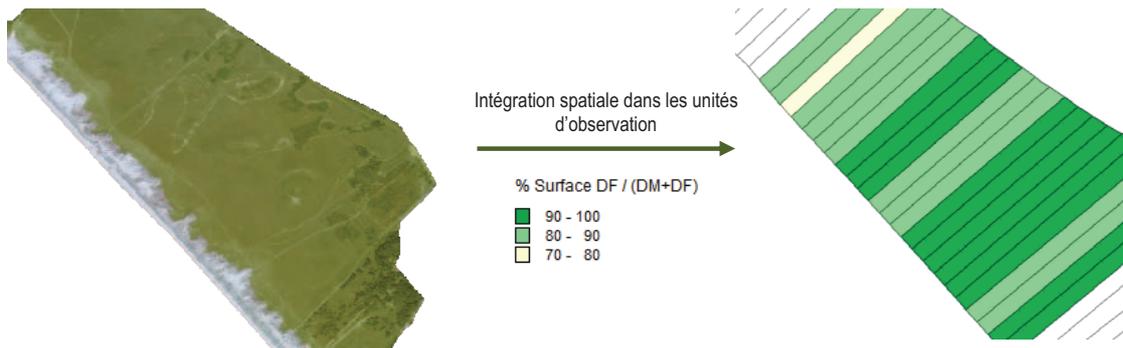


Les objectifs à long terme de la gestion visent donc également au maintien ou à la restauration de la biodiversité dunaire. Le diagnostic privilégie l'échelle d'intégration des caractères de la végétation qu'est **l'habitat**. Cependant l'évaluation doit également se situer à l'échelle de **l'écosystème**. Le **niveau écosystème**, qualifié de « grand type de milieu » dans le Manuel d'interprétation cité ci-dessus est un niveau de compréhension des processus, la diversité et la distribution spatiale des habitats étant conditionnées par la distribution des contraintes écologiques (en particulier, la salinité, le vent) sur l'ensemble du massif dunaire. Par ailleurs l'état de conservation d'un habitat est souvent sous la dépendance de facteurs prenant leur source dans les habitats voisins. Quelques exemples : a) certaines formes de perturbations affectant la dune fixée (saupoudrage, accumulations sableuses) trouvent leur origine dans des modifications de la morphologie de la dune mobile ; b) beaucoup de chemins au sein de la dune sont transversaux, reliant sa limite externe à la plage et c'est à cette échelle et en ces points extrêmes que des actions sont menées pour limiter leur impact sur la végétation de la dune fixée ; c) la prolifération des pins sur la dune fixée est due à la proximité d'une dune boisée.

L'écosystème est donc également un niveau pertinent en termes de gestion. Le diagnostic peut alors porter sur tout ou partie de l'écosystème. Par exemple le degré de naturalité ou du moins le caractère plus ou moins artificialisé du substrat dunaire peut être un critère de délimitation des unités sur lesquelles peut porter l'analyse.

Les caractères de l'écosystème dunaire cartographiés et suivis sont :

- Nombre des habitats (Diversité au niveau Habitat)
- Surface des habitats au sein de l'écosystème ; rapport surface Dune fixée / Dune Mobile + Dune Fixée (proportion de l'habitat prioritaire (exemple ci-après avec intégration spatiale du rapport $DF/(DM+DF)$ dans les unités d'observation)
- Changements (T -> T+ n) de la surface des habitats (Dynamique du système – trajectoire)



Cartographie des habitats Dune fixée (en vert) – Dune mobile (en blanc)

Surface des habitats au sein de l'écosystème

A ce niveau, l'observation et le suivi portent également sur les **faciès de transition** qui sont des indicateurs de la dynamique du système. On peut en caractériser trois :

- **Facès de transition au sein de la dune mobile** : marqué par les « moquettes » à Fétuque (*Festuca juncifolia*) et Gaillet (*Galium arenarium*). Ces prairies clairsemées, identifiables sur le terrain, et qui marquent les secteurs à mobilité plus réduite, ne peuvent être différenciées sur les images car leur physionomie n'est pas suffisamment différente des autres groupements de dune mobile.
- **Facès de transition entre la dune mobile et la dune fixée** : le contact entre les deux ensembles peut être marqué par une zone de transit sableux plus ou moins important : du simple saupoudrage à de véritables accumulations. C'est une zone à surveiller puisqu'elle traduit l'existence de formes de déflation dans la dune mobile et délimite sur le plan de la végétation des états potentiellement différents (impact du recouvrement sur la végétation de dune fixée).
- **Transition entre Dune fixée et Dune boisée (ourlet pré-forestier)** : passage entre la pelouse de dune fixée et la forêt par enrichissement en espèces ligneuses, développement d'une strate arbustive (fourrés).

B. Niveau habitat

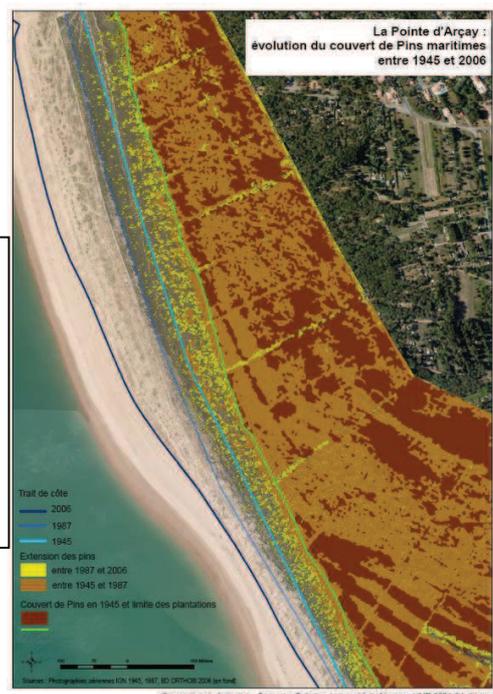
Au niveau de l'**habitat**, le diagnostic porte sur les caractères de la végétation. L'objectif est à ce niveau également de mettre en évidence, de caractériser le risque, d'alerter et d'offrir une aide à la décision (non intervention ou intervention, surveillance, entretien, action de restauration) fondée sur une évaluation du risque. Ce risque peut être un changement d'affectation, l'artificialisation du substrat conduisant à la perte de tout ou partie de l'habitat par exemple, une perte en termes de naturalité, une banalisation ou une simplification de l'habitat (perte de la richesse et de l'originalité floristique).

L'évaluation place l'habitat observé par rapport à une référence acceptée pour trois variables :

- Structure verticale de la végétation (strates)
- Structure horizontale (recouvrement végétal)
- Structure floristique (plantes caractéristiques)

	Progression surfaces couvertes par les pins m ² /an
Période 1945-1987 (42 ans)	642
Période 1987-2006 (19 ans)	1210.5

Cartographie du couvert de pins maritimes sur la dune grise de l'un des sites – test, la Pointe d'Arçay (La Faute-sur-Mer, 85) à partir de la photographie aérienne de 2006 (BD Ortho IGN) et étude diachronique de l'évolution de l'enrésinement depuis 1945 à partir de photographies aériennes anciennes, numérisées puis corrigées en géométrie. Ce document ainsi que les données dérivées de la cartographie sont intégrés au Plan de Gestion élaboré par l'ONF, gestionnaire de la Réserve de chasse et de faune sauvage de la Pointe d'Arçay.

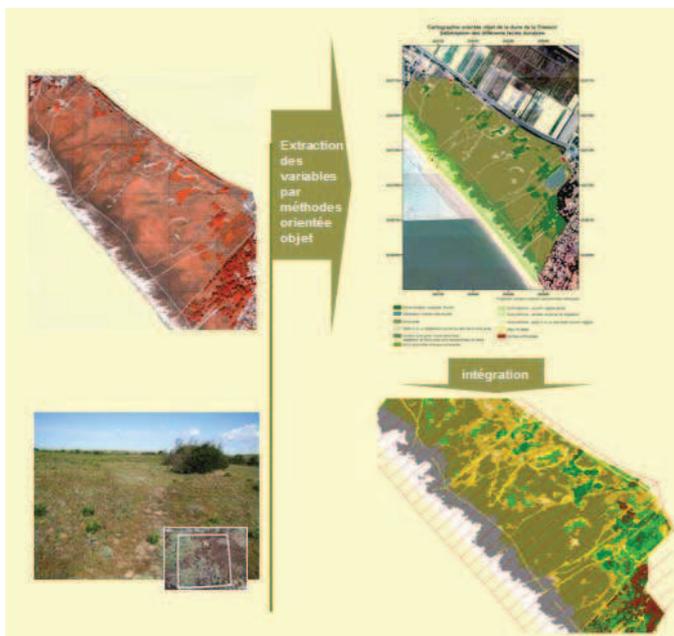


Le protocole méthodologique s'attache donc à cartographier les modalités de ces variables qui doivent être surveillées (analyse diachronique) :

- Structure verticale de la végétation
 - Recouvrement des espèces ligneuses en Dune fixée
 - Type ligneux (arbres – arbustes / feuillus – résineux / plantation – spontané)
- Structure horizontale
 - % couvert végétal
 - % surfaces artificialisées (Bâti – routes – parkings / Campings – terrains de sport / Aires de stationnement sauvage / Terrains militaires / Dépôts sauvages / autres)
 - % sol à nu ou végétation clairsemée
 - Fragmentation du couvert végétal (Dune fixée)
- Composition floristique
 - Plantes caractéristiques
 - Couverture de mousses et lichens (indicateurs de stabilité)
 - Espèces exotiques envahissantes
 - Espèces rares / protégées

L'analyse de la variable composition floristique est réalisée à partir des relevés de terrain. Ces données sont confrontées avec les informations images ce qui permet d'établir des correspondances fiables au niveau des habitats. Mais les images classiques, multispectrales, n'ont pas une résolution spectrale suffisante pour permettre la différenciation des espèces dominantes au sein des formations herbacées. Cette restriction ne remet pas en cause le diagnostic puisque l'idée est d'intégrer les données de terrain dans le protocole pour un état des lieux et de suivre par télédétection les perturbations qui affectent le système. La mise en évidence de secteurs perturbés doit amener à un suivi de la végétation dans ces secteurs par des relevés pour voir si la perturbation affecte ou non la composition floristique.

Cependant il nous paraît intéressant de chercher à affiner la télédétection de certains couverts végétaux en particuliers des biomarqueurs de l'état de conservation, par exemple la couverture bryolichénique. Nous avons donc entrepris l'exploitation de données hyperspectrales. Il est à noter que le programme n'avait pas prévu l'utilisation de ce type de données mais leur disponibilité sur le site de Noirmoutier lui confère une entrée scientifique supplémentaire dans le registre de l'observation. L'analyse est en cours et fera l'objet d'une publication ultérieure.



L'observation de ces variables, l'analyse spatialement quantifiée de leurs modalités par rapport à une référence permet de caractériser et de localiser précisément les changements (dynamique naturelle ou formes d'usage ou d'exploitation pouvant induire des perturbations et conduire à un état dégradé) qui s'opèrent sur un site et ainsi d'orienter les choix d'action en matière de gestion. L'intégration des ces informations au niveau des unités d'observation conduit à un diagnostic d'état du site et permet des comparaisons entre sites d'un même massif ou entre massifs dunaires.

Biblio : F. Debaine et al. 2011 : Aide à la gestion multifonctionnelle des dunes littorales atlantiques par l'évaluation cartographiée de leur état de conservation, colloque LITEAU, Bordeaux 2011.
 F. Debaine and M. Robin, 2012, A new GIS modelling of coastal dune protection services against physical coastal hazards, *Ocean and Coastal Management* (sous presse).

GESTION ECOLOGIQUE DES DUNES

Françoise Rozé, Université de Nantes

A partir d'une analyse de la végétation du site de La Tresson par des méthodes écologiques les enjeux de la gestion des dunes seront évoqués et quelques références écologiques seront discutées afin d'aider les gestionnaires dans leurs actions.

I Analyse du paysage dunaire de La Tresson

1) Approche habitats

Il est aisé d'observer les différents éléments de la dune. L'ensemble correspond à des habitats N2000 : végétation de dunes embryonnaires, végétation de dunes mobiles, végétation de dunes fixées et ourlet pré-forestiers.

Si la dune embryonnaire et la dune mobile sont homogènes et linéaires il n'en va pas de même pour la dune fixée qui se présente sous forme de mosaïques. La cartographie des habitats doit être un document fondateur pour le gestionnaire mais l'échelle est souvent choisie sur des critères administratifs. Il est nécessaire sur un site de distinguer les mosaïques qui traduisent l'histoire du site et de ses modifications ainsi que son potentiel dynamique. Chaque élément cartographié doit faire l'objet d'une analyse phytosociologique complète.

Il existe un groupement végétal de transition, bien identifiable sur des photos aériennes, entre la dune mobile et la dune fixée. A ce niveau, des mosaïques commencent à se mettre en place mais l'ensemble est linéaire et supporte un fort saupoudrage de sable (photo1).



Photo1 : de la dune de transition à la dune mobile

2) Approche dynamique

L'édification de la dune mobile se fait grâce à un petit nombre d'espèces « ingénieur », Chiendent et surtout Oyat, très performantes par leur système racinaire, leur résistance aux conditions du littoral et très résilientes en cas d'ensablement par leurs stolons.

La diversité et la richesse biologiques augmentent au niveau de la dune de transition pour encore se renforcer dans la dune fixée. L'analyse des mosaïques végétales a été réalisée à La Tresson par une méthode phyto-écologique (relevés de végétation couplés à des indicateurs de milieu sur des carrés d'un mètre de côté). Elle met en évidence outre une végétation de transition dominée par la Fétuque et le Gaillet des sables, 3 variantes distinctes au fonctionnement et à la dynamique différentes au sein de la dune fixée (fig1):

- a) Une variante à Immortelle : végétation progressive sur un système jeune avec une bonne résistance à l'ensablement (des phénomènes de facilitation ont pu être mis en évidence à ce niveau).
- b) Une variante à mousses (*Tortula ruraliformis*) qui peut correspondre à un ralentissement dans la dynamique de la végétation, ces communautés ont une forte capacité à couvrir le sol rapidement mais

seraient à l'origine de blocage de la succession du fait des traits biologiques des mousses (sphagnol - phénol très toxique-, processus de décomposition...). Elles ont une faible résistance aux perturbations tant naturelles qu'anthropiques (saupoudrage, grattages...) (Jun 2005).

c) Une variante à Raisin de mer système plus mature mais pouvant aussi bien faire suite à la première variante après un peu de transformation du sol ou à la deuxième après micro perturbations (niches de régénération).

Figure 1: dynamique de la végétation des dunes fixées

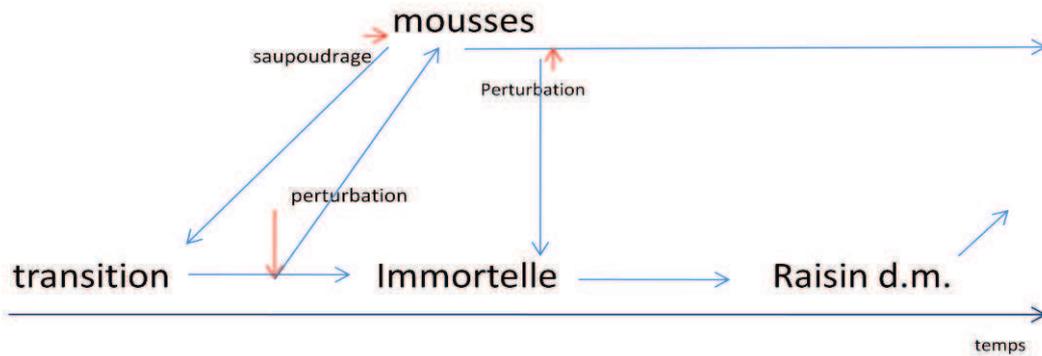


Photo 2 : la dune fixée de La Tresson

Ces processus sont liés à une très grande mobilité des graines.

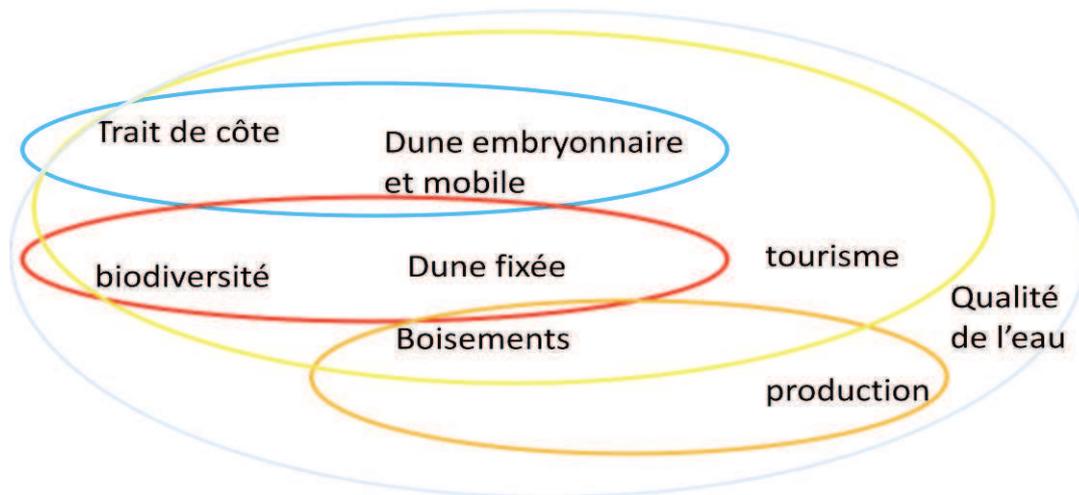
La connaissance des processus dynamiques est imparfaite, en absence de compétition au niveau de la dune de transition beaucoup d'espèces ont des chances de survivre et de faire évoluer la succession dans la limite de systèmes très pauvres. Le facteur limitant pour le passage à l'ourlet pré-forestier est le sol qui reste très peu évolué.

II Référence

1) Gestion des dunes au fil du temps

La gestion des dunes est passée depuis le XIX^e siècle, de préoccupations à l'échelle du paysage (protection globale du littoral, trait de côte), à une gestion différenciée à l'échelle des habitats voire des faciès (Fig2). L'attente de production de bois est devenue beaucoup plus faible alors que croissait l'intérêt pour la sauvegarde de la biodiversité ou le maintien du trait de côte.

Figure 2: les enjeux actuels de la gestion des dunes



La dune de La Tresson se situe dans un secteur très touristique. Le front de dune permet une résistance en termes de trait de côte et les boisements sont peu représentés.

La dune grise fixée occupe la majeure partie du massif et c'est l'habitat dont la conservation est prioritaire. Quels sont les éléments qui peuvent alerter le gestionnaire ou indicateurs de risque de perte de biodiversité ?

L'établissement d'un système de référence pour un paysage repose sur une hiérarchie des enjeux à l'échelle des sites. Il en va de même si un transfert d'échelle est réalisé à l'échelle d'un des habitats. Il peut être utile de se poser un certain nombre de questions.

2) Au niveau du paysage

Doit-on compter les habitats ? Le nombre d'habitats peut être un élément de référence mais aussi leur diversité et leur état de conservation. La dynamique et les interactions entre les différents éléments peuvent également être prises en compte.

A l'échelle du paysage le transect semble un outil de référence et d'évaluation très pertinent et les données existent mais les questions sont les suivantes :

Doit-on se référer à un transect local ou à un optimum régional ? Quel est le bon endroit où placer un transect de référence local ? Celui qui est le plus long ? Celui qui est le plus diversifié ? Le plus riche en faciès ? Le moins perturbé ? Comment intégrer les changements de références (Clewel et Aronson 2009).

Comment coupler avec une vision cartographique ? En fait les grands enjeux peuvent peut-être être cartographiés : à un endroit la priorité peut être donnée au trait de côte et à un autre à la biodiversité.

La question que se pose le gestionnaire est souvent d'évaluer la capacité d'accueil afin de ne pas la dépasser et de respecter la réglementation. Comment équilibrer ? Les choix sont-ils nombreux ? Le paysage n'est pas indépendant du reste (zones humides, embruns, sables, attraction)...

3) Au niveau du cordon mobile

La mobilité du sable (épaisseur du cordon) est à déterminer en fonction des menaces d'agressivité des vagues et du risque pour les habitations ou pour d'autres milieux naturels... La fixation des dunes a laissé la place à un contrôle souple (Favennec 2002) visant à moduler les processus sans les interrompre.

Les outils existent, du barbelé des hollandais au simple suivi des phénomènes naturels en passant par les ganivelles.

La biodiversité est un plus, en terme de valeur de ces habitats, mais ne doit pas nécessairement orienter les choix car quand le cordon est entretenu, ces espèces à forte dispersion ne sont pas menacées (*Eryngyum maritimum*).

4) Au niveau de la dune grise

Les surfaces globales d'habitats référencés constituent l'indicateur réglementaire mais la connaissance du fonctionnement est ce qui permet de bien gérer le système! Quelle place doivent avoir les espèces patrimoniales ? Viser un maximum d'espèces ne présente pas vraiment d'intérêt, mais cependant théoriquement plus un système est riche, plus il est résistant et plus il est résilient. Certaines communautés et surtout leur assemblage représentent un patrimoine. L'analyse des variantes des habitats s'avère complexe. Les mosaïques sont le plus souvent les marques de perturbations. Les mousses permettent de cicatriser rapidement derrière une perturbation car elles ont un très fort pouvoir de dispersion et colonisation mais elles peuvent aussi bloquer la succession.

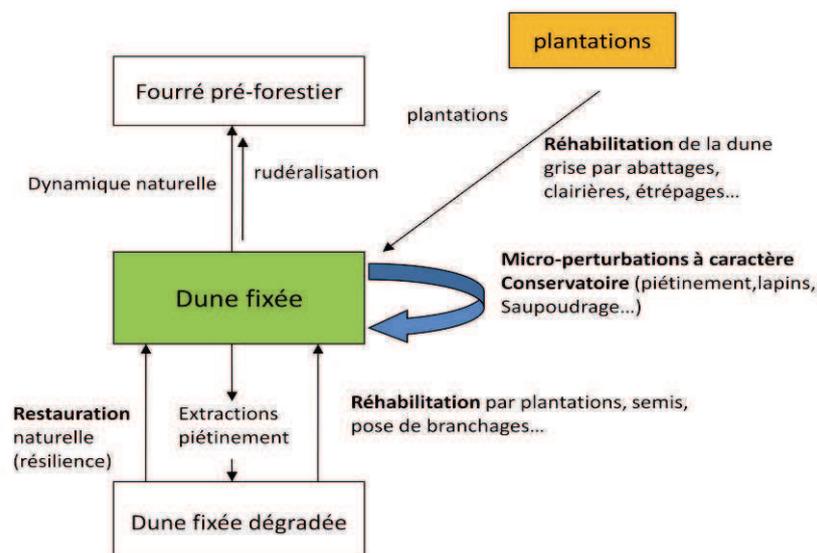
La capacité de résilience aux perturbations est-elle accrue par la présence d'un grand nombre de faciès dans les dunes grises? Ou bien est-ce grave d'avoir une homogénéisation par la dominance d'une variante ? A La Tresson les anciennes cultures ou des matériaux exogènes entrent une diversité de ce type, est-ce à conserver pour autant? Si l'ancienne mise en culture doit, à mon avis, ne faire l'objet que d'un suivi, les matériaux exogènes sont plus gênants. On sait accélérer la restauration, comment limiter la dynamique ?

III Quelques éléments de gestion

1) Tenir compte de la dynamique naturelle et de l'action de l'homme dans le passé.

En fait c'est un système de perturbations (fig 3) qui doit être géré sur du long terme afin de maintenir un système oligotrophe dans un contexte de stress climatique. La grande difficulté de la gestion des dunes vient du fait que la dune grise évolue naturellement vers un boisement. Historiquement, sur des critères économiques, cette dynamique a été stimulée par la plantation de Pin, il est clair qu'il faut cesser de planter mais doit on intervenir sur une dynamique naturelle ? Doit-on restaurer un état antérieur au XIX^e siècle ? Doit-on augmenter la surface des habitats prioritaires dune fixée dans le sens de la directive habitats?

Figure 3: Dynamique et gestion des dunes fixées



2) Les outils d'évaluation sont peu élaborés.

Ils résident sur des évaluations multicritères qui n'éliminent pas totalement la subjectivité. De nombreux travaux récapitulent les actions négatives mais la difficulté réside dans l'évaluation des seuils de tolérance. Pour évaluer l'état d'un habitat dans un endroit donné, la typologie

phytosociologique des habitats peut être complétée par un certain nombre de critères qui se réfèrent à la présence de dégradations d'origine anthropique ou naturelle (tableau 1).

Type de dégradation	Dégradation (les % se réfèrent à la surface totale de l'unité cartographiée)		
	forte	moyenne à faible	néant
Eutrophisation (présence d'espèces nitrophiles indiquant l'eutrophisation des milieux comme <i>Urtica dioica</i> , <i>Lagurus ovatus</i> , ...)	2 (recouvrement nitrophiles > 20%)	1 (recouvrement nitrophiles 5 à 20%)	0
Surfréquentation (mise à nu du substrat suite à une surfréquentation des milieux (piétinement ou circulation))	2 (destruction du tapis végétal > 20%)	1 (destruction du tapis végétal 5 à 20%)	0
Erosion (érosion du substrat, naturelle ou entraînée par la surfréquentation du site)	2 (érosion marquée)	1 (début d'érosion)	0
Embossaillement (présence d'espèces indiquant l'embossaillement des milieux comme <i>Fabius sp.</i> , <i>Pteridium aquilinum</i> , ...)	2 (recouvrement ronces (etc.) > 20%) modification végétation	1 (recouvrement ronces (etc.) 5 à 20%) légère modification végétation	0
Remblais (artificialisation du substrat, souvent accompagnée par le développement d'espèces nitrophiles)	2 (occupant une surface > 20%)	2 (occupant une surface de 5 à 20%)	
Aménagements (présence d'aménagements divers (jetées, entiers, parkings, ...))	2 (influençant fortement le milieu)	1 (influençant faiblement le milieu)	0
Surexploitation (dégradation des milieux suite à une exploitation agricole ou forestière trop importante)	2 (menant à la destruction de l'habitat)	1 (portant atteinte à l'état de conservation de l'habitat)	0
Invasives	2 (espèces abondantes sur le site et dans le paysage)	1 (espèces présentes sur le site)	0
Espèces introduites	2 Plantations denses	1 (plantations claires)	0

Tableau 1: évaluation des dégradations

Les transects fournissent des suivis mais la synthèse de ces suivis est difficile et devra être organisée.

3) Les retours d'expériences sont en général encourageants.

Malgré la faiblesse des recherches et des outils d'évaluation, il faut aussi oser quelques actions de restauration ! Le retour des actions est en général très bon (protection des habitats, recréation de mares ...). Il faut remarquer que les échecs sont très rares ! Seule l'éradication des invasives pose problème. Deux exemples ont été choisis :

- la restauration de zones humides

Elle est très intéressante en terme de biodiversité ainsi que par rapport au cycle de l'eau.

- abattages des Pins

Plus l'intervention est précoce dans la succession, meilleure elle est. Plus les conditions de milieu ont été transformées, plus l'effort de restauration sera important. Il faut jouer avec les conditions de milieu, le microclimat, et le sol. Les habitats de dune grise nécessitent une forte pression climatique donc c'est sur la limite frontale des boisements qu'il faut agir prioritairement. Le diagnostic écologique (diagnostic paysage pour prévoir la recolonisation) avant restauration est nécessaire pour ajuster le niveau d'intervention. Ne pas empiler les perturbations mais rétablir rapidement des contraintes fortes du milieu climat et sol. Lorsque la lisière forestière est naturelle la question ne se pose pas vraiment mais le plus souvent les pinèdes ont été plantées et cela a modifié les limites

naturelles. Il faut privilégier les abattages progressifs, augmenter les coupes d'éclaircies plutôt que des coupes à blanc cela permet d'augmenter la résistance aux invasives.

4) Le taux de perturbations favorables ou tolérables doit être évalué.

La menace de plantes invasive est souvent évoquée sur les dunes, elle dépend souvent plus d'un contexte général (vente, usages de ces plantes) que de la gestion de la dune ! L'action nationale et régionale est à encourager mais à l'échelle d'un site la meilleure recette est le bon état écologique dans le sens d'un minimum de perturbations. C'est sans doute ce qui en fait une réelle question sur les dunes où les perturbations naturelles sont souhaitées (déplacement de sable, édification...).

Les perturbations liées à la fréquentation des sites ont été souvent prises en compte dans la gestion des dunes. Les cheminements piétons sont régulés par l'organisation des stationnements, si les passages perpendiculaires au front de dune sont à éviter, les seuils de fréquentations à l'arrière dune sont très différents. A ce niveau ce sont certaines activités comme le vélo, la moto qui sont néfastes plutôt qu'un piétinement modéré.

5) Trames littorales ?

Les discussions sur les trames vertes portent principalement sur une nature ordinaire. Pour les dunes, de toute évidence, la conservation est inscrite dans la réglementation même si dans la pratique elle n'est pas toujours efficace. Quelle faune serait concernée par d'éventuels corridors strictement dunes? Par contre il est certainement intéressant de relier ces systèmes à d'autres milieux naturels.

CLEWELL A.F. and ARONSON J.2009- ecological restoration. Principles, values and structure of an emerging profession *soc for ecol rest international*.217p.

FAVENNEC J 2002- *connaissance et gestion durable des dunes de la côte atlantique* dossiers forestiers 394p

JUN R. -2005-Les mousses et les lichens des dunes grises atlantiques : caractéristiques structurales, dynamiques et typologie fonctionnelle des communautés. Thèse université de Rennes182p.

LEMAUVIEL S. et ROZE F. - 2003 - Response of three plant communities to trampling in a sand dune system in Brittany (France), *Environmental management*, 31, 2, 227-235.

LES MASSIFS DUNAIRES NATURA 2000

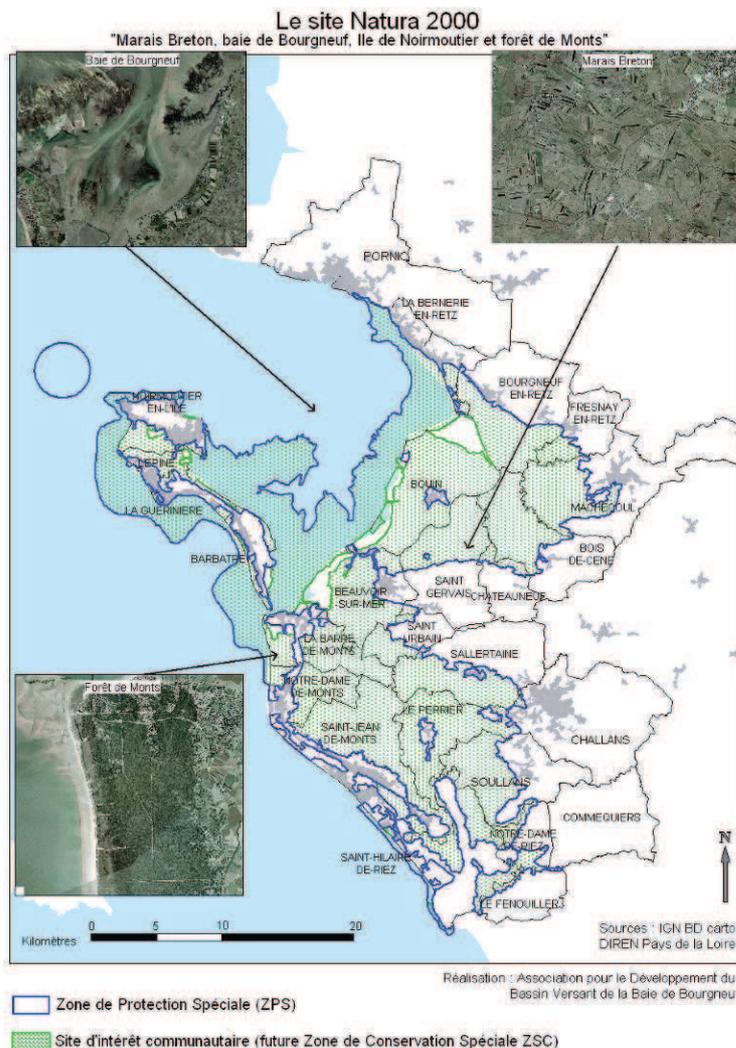
Julie Ayçaguer

Les massifs dunaires du site Natura2000 « Marais breton, Baie de Bourgneuf, île de Noirmoutier et forêt de Monts » sont une succession d'habitats remarquables, très importants pour la nidification de nombreux oiseaux dans une zone où la pression touristique est forte.

La zone Habitats (SIC) compte 53 300 ha :

- 35 000 ha de marais et lagunes (29 000 ha de prairies subhalophiles, thermoatlantiques, des lagunes, mares et fossés, roselières...),
- 8 000 ha de dunes et forêts (de la dune embryonnaire à la dune boisée),
- 10 000 ha d'estran (dont la vasière de la baie de Bourgneuf).

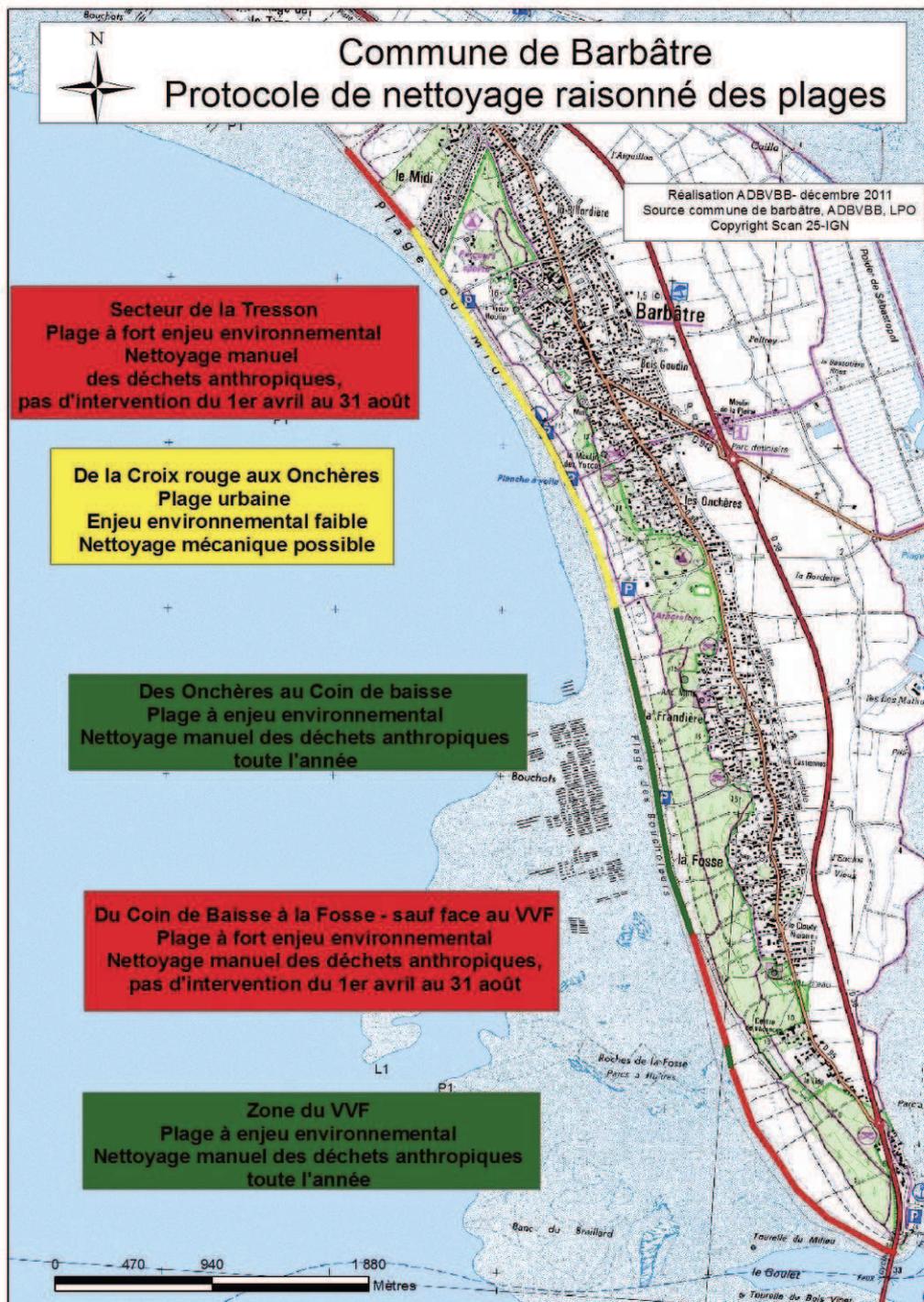
La zone Oiseaux (ZPS) compte 57 000 ha et comprend la zone Habitats, des polders et des espaces dunaires et boisés remarquables. La Baie de Bourgneuf accueille en hiver 40 000 oiseaux (Bernaches cravants, limicoles...) et le Marais breton est le 1^{er} site de nidification du vanneau huppé, du Chevalier gambette et de la Barge à queue noire.



La préservation des habitats du cordon dunaire tout en conciliant l'accueil du public a été ciblée comme un enjeu fort par les Documents d'Objectifs « Habitats » et « Oiseaux » du site Natura 2000.

Un contrat Natura 2000 a ainsi été signé en 2005 avec l'ONF pour préserver le milieu dunaire et organiser l'accueil du public sur Barbâtre. L'ONF a posé des dispositifs anti-pénétration pour guider le public dans la forêt et ainsi éviter la création de nombreux chemins d'accès « sauvages » dans la dune. 450 m de chemins ont ainsi été supprimés dans la dune grise.

Adapter le nettoyage des plages suivant les enjeux (écologiques ou touristiques) en encourageant le nettoyage manuel des déchets anthropiques est aussi un objectif prioritaire des DOCOB. Suite aux diagnostics écologiques des plages, 5 des 10 communes littorales du site se sont engagées dans un contrat Natura 2000 « nettoyage raisonné des plages » dont Barbâtre et Noirmoutier en l'île.



La mise en défens du haut de plage est souvent réalisée pour préserver l'habitat des laisses de mer et la dune embryonnaire du piétinement. Ainsi, certains secteurs ne sont pas nettoyés en saison (du 1^{er} avril au 31 août) pour favoriser la nidification du Gravelot à collier interrompu dont les effectifs sont en forte régression sur le littoral atlantique.



Gravelot à collier interrompu. Crédit photo : Matthieu Vaslin, LPO

Des panneaux de sensibilisation aux entrées de plage complètent le dispositif.



Les premiers résultats sont encourageants avec le retour de l'Euphorbe peplis et l'augmentation des effectifs de Gravelot à collier interrompu.

Enfin, le DOCOB prévoit de sensibiliser et d'informer les usagers des massifs dunaires et des plages pour prévenir les actes de dégradation. Une exposition et des plaquettes ont été réalisées pour sensibiliser le grand public à l'écosystème plage, au rôle des laisses de mer et à l'intérêt du nettoyage manuel.

La politique de l'État en faveur de la gestion intégrée du trait de côte et la prévention des risques littoraux.

Ludovic Bocquier
Chargé de mission Risques naturels, DREAL Pays de la Loire

La tempête Xynthia a révélé cruellement les limites du système français de gestion des risques littoraux :

- faible culture du risque en France et particulièrement sur le littoral,
- faible intégration de la prévention des risques littoraux dans l'aménagement du territoire,
- difficulté d'approbation des PPR littoraux,
- état des systèmes de protection préoccupant associé à la fragilité des maîtrises d'ouvrage locales.

Il est proposé de présenter, à travers cet article, les principaux outils récemment mis en place par l'Etat en faveur d'une gestion intégrée du trait de côte et d'une gestion effective du risque inondation/submersion marine. Il s'agit principalement :

- du plan submersion rapide mis en place suite à la tempête Xynthia,
- de la stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte, officialisée le 2 mars 2012, dans le prolongement du Grenelle de la mer.
- de l'appel à projet PAPI, reconduit en 2011, et préfigurant la déclinaison de la directive inondation.

La mise en place de ces outils a fait l'objet d'une large concertation ; leur mise en œuvre est nécessairement partenariale, entre l'État, les collectivités, et plus globalement l'ensemble des acteurs du littoral.

Le Plan Submersions Rapides

Annoncé immédiatement après les événements dramatiques de 2010, le plan « digues » a fait l'objet d'une large concertation et a été validé en conseil des Ministres en février 2011 sous la forme du Plan Submersions Rapides (PSR) qui propose un ensemble d'actions prioritaires pour la sécurité des personnes exposées au risque de submersions rapides. Ces actions s'articulent autour de 4 axes :

- **le renforcement de la culture du risque.**
- **la maîtrise de l'urbanisation et l'adaptation du bâti ;**

Le plan prévoit notamment l'obligation d'approuver, dans un délai maximal de 3 ans, les PPR littoraux prioritaires. La liste de ces PPR prioritaires a été publiée, par circulaire, le 2 août 2011. 30 communes sont concernées dans la région des Pays de la Loire.

- **l'amélioration des systèmes de surveillance, de prévision, de vigilance et d'alerte ;**

C'est notamment dans ce cadre qu'a été mise en place la vigilance nationale vague submersion le 3 octobre 2011.

- **la fiabilité des ouvrages et des systèmes de protection**

La mise en œuvre du PSR s'appuie sur la mobilisation du Fonds de Prévention des Risques Naturels Majeurs (dit fonds Barnier). Dans ce cadre, l'Etat a prévu de mobiliser 500 millions d'euros jusqu'à 2016 pour assurer le financement des travaux de confortement des systèmes de protection contre les submersions marines et les crues rapides. La mobilisation de ce fonds extra-budgétaire sur une période donnée et validée par le Gouvernement assure une garantie de financement pour les porteurs de projet. Elle repose sur un principe de labellisation des projets visant à **garantir la qualité, la pertinence et la pérennité des travaux financés.**

Il s'agit là d'un effort conséquent qui assure de la lisibilité pour les collectivités et qui s'inscrit désormais dans une politique publique de l'État, à travers un pilotage national du plan.

Tout projet visant à augmenter le niveau de protection d'un ouvrage doit s'inscrire dans le cadre d'un PAPI.

La stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte

Suite au Grenelle de la Mer, Alain COUSIN, député de la Manche a le 2 novembre dernier remis au Gouvernement son rapport sur la gestion du trait de côte, le recul stratégique et la défense contre la mer. L'ensemble des orientations proposées dans ce rapport a été repris dans la stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte, officialisée le 2 mars 2012 par le gouvernement. Cette stratégie constitue une feuille de route qui engage l'État et les collectivités pour une meilleure prise en compte de l'érosion côtière dans les politiques publiques.

Cette stratégie nationale pose un certain nombre de principes communs et de recommandations stratégiques. Elle réaffirme notamment le principe que le trait de côte est naturellement mobile et qu'il ne peut et ne doit pas être fixé partout, et que les ouvrages artificialisant le trait de côte ne doivent être envisagées que dans l'objectif de protéger des secteurs à très fort enjeu (densément urbanisés ou d'intérêt stratégique national). Cette stratégie sera mise en œuvre à travers un premier plan d'actions 2012-2015 qui s'articule autour de quatre axes :

1. Développer l'observation du trait de côte et identifier les territoires à risque érosion pour hiérarchiser l'action publique :

- Création d'un réseau d'observation et de suivi de l'évolution du trait de côte à l'échelle nationale, en s'appuyant sur les acteurs locaux ;
- Réalisation dès 2013 d'une cartographie nationale de l'érosion côtière et identification des territoires à fort risque érosion.

2. Élaborer des stratégies de gestion de l'érosion côtière entre les acteurs publics et privés :

- Mise en place de stratégies locales des risques érosion dans les territoires concernés avec l'adoption de mesures cohérentes d'urbanisme, de préservation des espaces naturels et de prévention des risques ;
- Meilleure utilisation des outils d'urbanisme et de prévention des risques : prise en compte explicite dans les plans locaux d'urbanisme (PLU) et les schémas de cohérence territoriale (SCOT) du phénomène d'érosion côtière ;
- Évolution des modalités de gestion du domaine public maritime : délivrance des autorisations d'occupation du domaine public maritime en tenant compte systématiquement de l'impact des aménagements sur l'évolution du trait de côte ;
- Élaboration d'un plan de sensibilisation des populations aux risques littoraux. Il s'agit notamment de développer une véritable « culture du risque » chez les populations littorales.

3. Favoriser la relocalisation des activités et des biens situés dans des zones à haut risque, tout en maintenant le dynamisme des territoires :

- Lancement, auprès des collectivités locales intéressées, d'un appel à projets sur la « relocalisation » des activités dans les territoires fortement menacés par les risques littoraux. Son objectif est d'encourager, lorsque c'est nécessaire, la mise en œuvre de démarches pilotes de relocalisation des activités et des biens.

4. Préciser les principes de financement pour la gestion du trait de côte, en identifiant ce qui est du ressort de l'État et des collectivités locales.

L'appel à projet PAPI (Programmes d'actions de prévention contre les inondations) et la déclinaison de la directive inondation.

Les programmes d'actions pour la prévention des risques d'inondation sont des outils de mise en œuvre de la politique de prévention des risques naturels d'inondation qui complètent les dispositifs réglementaires existants (comme les plans de prévention des risques naturels d'inondations). Mis en place depuis 2003, ils contractualisent des engagements de l'État et des collectivités territoriales pour réaliser des programmes d'études et/ou de travaux de prévention des risques liés aux inondations avec une approche globale de prévention à l'échelle du bassin de risque. Développer l'information sur les risques d'inondation et faire émerger une véritable conscience du risque constituent d'autres objectifs des PAPI.

Le ministère du Développement durable a décidé, en 2009, de rénover le dispositif des PAPI, de l'élargir au champ des submersions marines, et de permettre ainsi d'assurer la transition avec la mise en œuvre de la directive européenne 2007/60/CE du 23 octobre 2007 relative à l'évaluation et à la gestion des risques d'inondation. La mise en œuvre de cette directive, transposée en droit français dans le cadre de la loi Grenelle 2, doit aboutir d'ici 2015 à l'élaboration de plans de gestion des risques d'inondation (PGRI) à l'échelle des grands districts hydrographiques et de stratégies locales destinées à réduire les conséquences dommageables des inondations au sein des territoires à risque important d'inondation. Ces territoires à risque important doivent être identifiés d'ici fin 2012. À partir de 2015, le dispositif d'appel à projets PAPI sera

intégré au dispositif de mise en oeuvre des PGRI. Ce nouvel appel à projets PAPI s'inscrit dans une démarche de partenariat entre État et collectivités territoriales dans le respect des prérogatives de chacun.

Ces programmes d'action reposent sur un diagnostic précis du territoire (aléas, enjeux, risques), la définition d'une stratégie globale et soutenable, et la mise en œuvre d'un programme d'actions équilibré autour des différents axes de la gestion du risque (aménagement, vigilance, gestion de crise, protection,...).

Un dispositif de labellisation vise à garantir la cohérence et la pertinence des projets, notamment à l'appui d'analyse socio-économique pour les investissements les plus importants.

...vers une déclinaison locale et partenariale de ces dispositifs

Le 9 mars 2012, l'Etat, le conseil régional des Pays de la Loire, le conseil général de la Vendée et le conseil général de la Loire Atlantique ont signé une convention partenariale pour la gestion durable du littoral. Cette convention régionale, établie pour la période 2012-2016, s'inscrit dans le prolongement d'un partenariat régional pré-existant, et vise à décliner localement et de manière coordonnée ces stratégies et outils nationaux en faveur d'une gestion durable du trait de côte et de la prévention du risque de submersion marine sur le littoral régional.

Elle instaure la mise en place d'une commission régionale chargée d'orienter et coordonner l'action des partenaires pour la gestion durable du littoral ; cette commission aura notamment en charge la labellisation de certains projets « PSR ».

A travers cette convention régionale, les partenaires se donnent pour objectifs la mise en place, d'ici 2014, d'une stratégie régionale pour la gestion durable du littoral, l'amélioration et le partage des données de connaissance du littoral, la mise en place d'un dispositif simplifié et coordonné (guichet unique) pour le financement des opérations de gestion du trait de côte et de prévention des submersions marines.