

# Prise en compte des cordons naturels dans la prévention des aléas côtiers

Amélie ROCHE<sup>1</sup>, Florent TAUREAU<sup>1,4</sup>, Yann DENIAUD<sup>1</sup>, Loïc GOUGUET<sup>2</sup>, Ludovic BOCQUIER<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Direction technique Eau, mer et fleuves du Cerema - Technopôle Brest Iroise, 155, rue Pierre Bouguer, BP 5, 29280 PLOUZANE - Amelie.Roche@cerema.fr - Yann.Deniaud@cerema.fr

<sup>2</sup> Office National des Forêts - 15 boulevard L Bureau, CS 16237, 44262 NANTES Cedex 2 - loic.gouguet@onf.fr

<sup>3</sup> Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement des Pays de la Loire - 5 rue Françoise Giroud, CS 16326, 44263 NANTES Cedex 2 - Ludovic.Bocquier@developpement-durable.gouv.fr

<sup>4</sup> Université de Nantes – IGARUN - BP 81 227 - 44312 NANTES Cedex 3 - florent.taureau@univ-nantes.fr

**RÉSUMÉ.** – Certains cordons dunaires peuvent assurer un rôle de protection contre les aléas côtiers. Éléments modérateurs de l'aléa de recul du trait de côte, ils peuvent également influencer sur l'aléa de submersion marine, en assurant un certain niveau de protection, lorsqu'ils sont capables de contenir les sollicitations hydrauliques, ou en étant source d'un sur-aléa lié à des sur-vitesses lors de l'apparition de brèches. À partir de la bibliographie, cet article présente les spécificités de ces structures naturelles par rapport aux principes de gestion appliqués aux ouvrages côtiers et propose des critères techniques permettant de tenir compte de leurs spécificités dans les outils de prévention des risques : plans de prévention des risques littoraux et sécurité des ouvrages hydrauliques. En particulier, une typologie des cordons dunaires permet d'identifier ceux pouvant jouer un rôle dans le cadre de la caractérisation de l'aléa submersion marine ; une base de données sur les brèches historiques réalisée par le Cerema (ex-Cetmef) permet d'adapter les critères retenus pour les ouvrages aux cordons dunaires. Un cadre de gestion adaptée est enfin proposé pour ces structures afin de concilier autant que possible protection des populations et préservation de la biodiversité.

Mots-clés : Brèche, Cordon dunaire, Résilience, Aléas côtiers

## Dealing with natural dunes in coastal hazard management

**ABSTRACT.** – Coastal dunes can provide a protective role against coastal hazards. Moderating the coastal erosion hazard, they can also affect the coastal flooding hazard, ensuring one level of protection when their massiveness enables them to contain the hydraulic stresses, or sometimes increasing the hazard by greater speeds when breaching. From the literature, this article presents the characteristics of these natural structures with regard to management principles applied to hard coastal structures and provides technical criteria to take into account their specific aspects in coastal risk management tools: "coastal risk prevention plans" and safety assessment of hard hydraulic structures. In particular, coastal dune types were defined to identify structures that may play a role in the characterization of the coastal flooding hazard. A database of historical breaches made by Cerema (ex-Cetmef) assesses the adaptation of hard structure criteria to coastal dunes. A framework for coastal dunes management is finally proposed to reconcile as far as possible protecting people and preserving biodiversity.

Key-words: Breach, Coastal dune, Resiliency, Coastal hazards

## I. INTRODUCTION

La tempête Xynthia du 28 février 2010 a rappelé la sensibilité du territoire aux aléas côtiers, que sont le recul du trait de côte et la submersion marine (le 3<sup>ème</sup> aléa côtier, la migration dunaire, n'est pas traité dans cet article). Les structures côtières d'origine naturelle ou anthropique ont subi de nombreuses détériorations et défaillances, parfois de grande ampleur. En Vendée, c'est ainsi près de 83 km de cordons dunaires qui ont été endommagés, dont un quart a subi un recul supérieur à 10 m, et jusqu'à 35 m pour le cordon de la Belle-Henriette (Source : MEDDE). Sur le littoral de Vendée et de Charente-Maritime, c'est au total près de 200 kilomètres de digues de premier rang qui ont été détériorées (Source : MEDDE). Les effets de la tempête ont aussi illustré l'importance d'intégrer les mécanismes de

défaillance et les phénomènes de brèches de ces structures pour la caractérisation et la gestion des risques littoraux.

Si la prise en compte du comportement des ouvrages côtiers dans la gestion des risques est une préoccupation qui connaît des développements importants, en lien notamment avec l'évolution de la législation sur les ouvrages hydrauliques [MEDAD, 2007], celle des structures naturelles est une préoccupation plus récente. Certaines entités géomorphologiques du littoral, comme les cordons naturels, jouent en effet un rôle prépondérant dans la lutte contre les aléas côtiers [Sabatier *et al.*, 2008 ; Gouguet, 2011] mais restent difficiles à identifier et à prendre en compte dans les différents outils de prévention des risques. Les problématiques soulevées par l'expression de « dune-digue » [Gouguet, 2011], par rapport aux notions d'entretien et de responsabilité juridique, témoignent de ces difficultés.

À partir du cadre réglementaire en vigueur, cet article identifie les problématiques particulières propres à ces éléments naturels de protection et s'attache aux deux aspects particuliers que sont d'une part, l'identification et la caractérisation des cordons naturels ayant un rôle de protection contre les aléas côtiers, et d'autre part, les modalités pratiques de gestion à considérer pour ces structures dans le cadre de la prévention des risques. La gestion et l'aménagement des cordons à des fins de protection ne peuvent se faire aux dépens d'espaces naturels de grand intérêt pour la biodiversité, l'enjeu étant ici de concilier au mieux ces différents usages pour le bien-être des populations.

## II. SPÉCIFICITÉS DES CORDONS NATURELS DANS LE CADRE DE LA PRÉVENTION DES RISQUES LITTORAUX

### II.1. Les cordons naturels : un élément de protection dynamique

Les cordons naturels, qu'ils soient dunaires ou de galets, sont des entités géomorphologiques ou topographiques naturellement présentes sur le littoral et susceptibles d'atténuer les effets des aléas de submersion marine et de recul du trait de côte lorsqu'ils surviennent. Qu'ils aient été remodelés par l'homme ou non, leur évolution morphologique est dynamique et s'adapte en permanence aux forçages météorologiques et hydro-sédimentaires [MEDDM, 2010]. Cette adaptation continue s'effectue dans les trois dimensions par des modifications de hauteur, de largeur et de position. Elle est souvent dépendante de la morphologie initiale [Bruzzi, 1999 ; Claudino-Sales *et al.*, 2008 ; Sabatier *et al.*, 2008 ; Debaine et Robin, 2012 ; Houser, 2012]. Les rythmes d'évolution vont de l'événement tempétueux, à l'évolution séculaire en passant par le cycle saisonnier annuel d'engraissement et de démaigrissement (Figure 1).

Le cordon naturel est un composant du système « dune-plage » qu'il forme avec l'estran et l'avant-plage le précédant. Ce système rassemble la majeure partie du stock sédimentaire littoral et joue plusieurs rôles directs et indirects face aux aléas de recul du trait de côte et de submersion marine [Bruzzi, 1999 ; Claudino-Sales *et al.*, 2008 ; Gouguet, 2011], tels que : (i) la dissipation de l'énergie hydrodynamique à la côte, (ii) la participation à la résilience

du littoral grâce aux échanges sédimentaires internes au système (réalimentation en stock sableux de la plage après le passage de tempêtes puis reconstruction dunaire à partir de la plage), et (iii) la protection de zones basses en arrière-littoral contre la submersion marine.

La liberté des échanges sédimentaires entre les différentes parties du système dune-plage (cordon dunaire/haut de plage/estran-plage/avant-plage – Figure 1) est essentielle à sa pérennité. Tout élément anthropique pérenne positionné entre la plage et le cordon bordier perturbe ces échanges et diminue la capacité de résilience du système. À ce titre, tout cordon aménagé durablement par des ouvrages fixes ne pourra pas être considéré comme naturel mais se caractérisera par des degrés divers d'anthropisation allant du cordon perreyé au cordon entièrement urbanisé avec présence de voies de circulation et habitations.

### II.2. Problématiques soulevées pour leur prise en compte dans la prévention des risques littoraux

La prise en compte des cordons naturels comme éléments de protection, dans le cadre de la prévention des risques littoraux, présente de nombreuses interrogations propres à la nature, à l'évolution et aux comportements particuliers de ce type d'objet morphologique du littoral.

Sur le plan de l'aléa érosion, les cordons naturels constituent un stock mobilisable lors des événements hydrosédimentaires érosifs, qui pourra éventuellement se reconstituer naturellement dans des conditions de plus faible agitation. La caractérisation de l'aléa érosion dans ce contexte très évolutif implique donc d'étudier, à différentes échelles de temps et d'espace, la dynamique de cette entité morphologique.

Par ailleurs, si les cordons naturels, séparant des zones terrestres topographiques basses de la mer, peuvent protéger contre la submersion marine en limitant les entrées d'eau, en atténuant l'énergie des vagues et en servant de zone d'expansion potentielle des débits franchissants, ils peuvent également aggraver les phénomènes du fait des entrées d'eau générées par leur disparition brutale, partielle (brèche) ou totale (arasement) lors d'un événement tempétueux. Une des difficultés majeures réside dans l'identification et la prise en compte des points de faiblesse de ces structures naturelles en constante évolution. Au-delà des points bas topographiques, premières portes d'entrée de la submersion, une

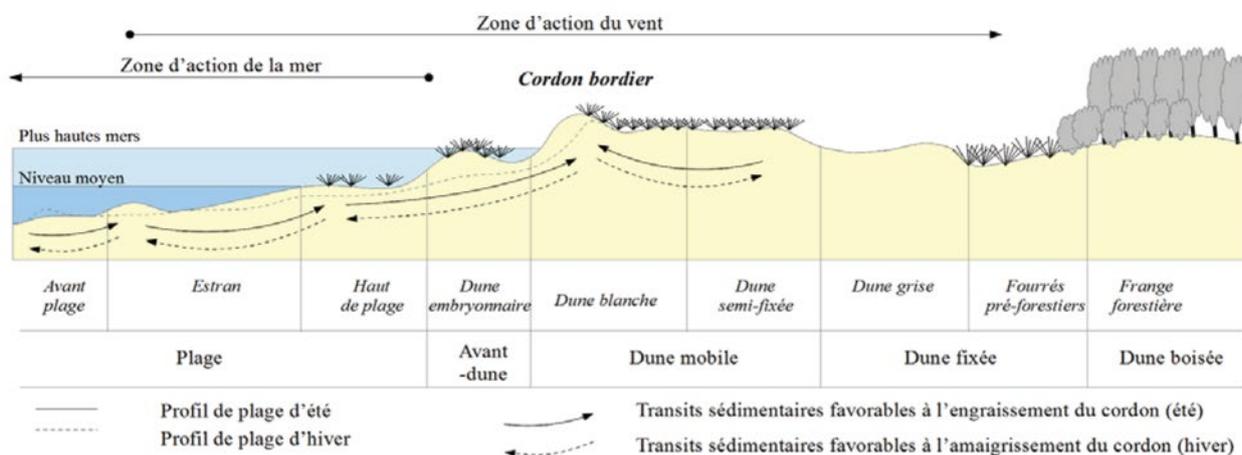


Figure 1 : Mobilité des sédiments au sein du système dune-plage et évolution du profil saisonnier.

réflexion doit ainsi être menée sur la prise en compte de l'évolution des volumes sédimentaires mobilisables lors des événements météo-marins tempétueux. Le comportement de ces éléments naturels de protection du littoral se caractérise donc par des relations très étroites entre les phénomènes d'érosion et de submersion, ce qui rend complexe la détermination de critères de ruines, de brèches ou d'arasement pour la cartographie de l'aléa submersion.

Au-delà des cartographies d'aléas, l'intégration de structures naturelles, telles que des cordons dunaires, comme élément de protection au sein d'un système d'endiguement impliquerait, pour garantir la sécurité des personnes, la définition d'un cadre de gestion et de suivi adaptés à ces entités à grande variabilité spatiale et temporelle. Enfin, les modes d'intervention permettant de maintenir ou d'améliorer leur rôle de protection doivent également tenir compte des aspects écologiques de ces milieux naturels, et s'appuyer sur des techniques adaptées telles que des méthodes de rechargements, de reprofilage et d'ingénierie écologique.

### III. CARACTÉRISATION DES CORDONS DUNAIRE ASSURANT UN RÔLE DE PROTECTION

#### III.1. Identifier les cordons dunaires assurant un rôle de protection contre la submersion marine

Pour caractériser l'action des cordons dunaires vis-à-vis de l'aléa de submersion marine, il est nécessaire de discriminer, au sein de cette famille d'éléments du « milieu naturel », ceux pouvant être considérés comme assurant un rôle de protection contre la submersion marine. Pour ceux-ci, il s'agit ensuite d'évaluer la criticité de leur rôle de protection, laquelle mérite une réflexion approfondie dans le cadre de la prévention des risques, notamment pour déterminer le comportement à prendre en compte vis-à-vis de l'événement de référence de submersion marine des plans de prévention des risques littoraux (PPRL) [MATE&METL, 1997 ; MEDDTL, 2011 ; MEDDE, 2013] et pour la gestion courante ou en période de crise.

Pour être considéré comme « élément de protection contre l'aléa submersion marine », il faut a minima que le cordon dunaire constitue un obstacle à l'écoulement entre la mer et une zone topographiquement basse dont l'altimétrie est inférieure aux niveaux marins de référence [Ramont, 2010]. Ainsi, quelles que soient leurs caractéristiques morphologiques, l'identification des cordons dunaires ayant un rôle de protection contre la submersion marine repose sur la présence conjointe :

- d'un cordon dunaire, dont l'existence est préalablement connue (par exemple le patrimoine de dunes domaniales géré par l'ONF) ou déterminée après analyse d'une couche d'information géographique telle que la « formation sableuse » de la BD-Charm-50 du BRGM (comme dans le cadre du programme Liteau III-Multidune [Debaine *et al.*, 2012]) ;
- et d'une zone basse, dont les contours peuvent être obtenus en première approche par la superposition d'un niveau marin de référence à la topographie.

#### III.2. Caractériser l'état du cordon et sa résilience

##### III.2.1. Critères de caractérisation de l'état d'un cordon dunaire

Afin d'analyser le niveau de protection assuré par le cordon dunaire, il est nécessaire de caractériser son état,

essentiellement sur la base de critères morphologiques, et sa capacité de résilience vis-à-vis d'un événement extrême. Différents critères objectifs, plus ou moins complexes, obtenus à partir de données LiDAR, satellitaires et aériennes, ont été proposés dans la littérature pour caractériser le milieu dunaire [Ramont, 2010 ; Gouguet, 2011 ; Debaine *et al.*, 2012] reposant sur :

- la topographie du système dune-plage : altitude moyenne du cordon, volume de sable, largeur de dune blanche,
- la morphologie du massif dunaire : pente du front dunaire, entropie (homogénéité du massif), présence de cuvettes de déflation actives, présence de rides et pics, ratio entre largeur de dune blanche et largeur de dune grise,
- la caractérisation du système dune-plage et du massif dunaire : type de contact dune-plage, présence de défenses côtières, taux de recouvrement végétal, piézométrie au niveau du contact dune-plage,
- l'évolution tendancielle du milieu : évolution historique du trait de côte.

D'autres critères proposés par Debaine *et al.* [2012] pour caractériser le « faciès » des dunes et la « naturalité » ou degré d'artificialisation du système peuvent également compléter l'analyse de résilience du système. La fragmentation du milieu dunaire, liée à son artificialisation ou à son entropie, peut en effet induire une rupture de la continuité écologique et fragiliser l'écosystème [Houser, 2012] ; il s'agit donc également d'un critère de stabilité/vulnérabilité du cordon.

La littérature fait également ressortir les liens entre état du milieu et sollicitations de tempêtes ou d'ouragans, notamment au travers de paramètres hydrodynamiques (houles, niveaux d'eau), atmosphériques (vents, trajectoire de la tempête) [Bruzzi, 1999 ; Ruiz de Alegria-Arzaburu et Masselink, 2010] ou morphologiques (orientation du trait de côte par rapport aux forçages, transport sédimentaire longitudinal, tendance érosive du trait de côte) [Ruiz de Alegria-Arzaburu et Masselink, 2010 ; Maspataud, 2011 ; Houser, 2012] pouvant expliquer la résistance ou non du cordon. Enfin, certains mettent en avant des critères de répétitivité des sollicitations (intensité et durée des événements, laps de temps entre 2 tempêtes, etc.) pouvant expliquer la moindre capacité de résilience du cordon et une plus grande fragilité [Claudino-Sales *et al.*, 2008 ; Houser, 2012].

Debaine et Robin [2012] proposent un système de notation basé sur les classes de valeur obtenues pour chacun des paramètres cités ci-dessus, appliqués à la côte ouest de Noirmoutier, qui permet de conclure sur le niveau de service rendu par l'écosystème vis-à-vis de la protection contre la submersion marine, l'érosion côtière et la déflation éolienne. Enfin, face à un territoire très vulnérable aux surcotes de tempêtes, les Hollandais ont développé une méthode d'évaluation de la résistance de leurs cordons dunaires basée sur la modélisation d'une érosion de tempête de fréquence inférieure à  $10^{-4}$  (TAW, 1984). Cette méthode est couplée à la prise en compte d'incertitudes (sur la modélisation, la durée de sollicitation, le profil initial), de la tendance globale à l'érosion et du transit sédimentaire longitudinal ; une marge de sécurité de « profil minimal » est également intégrée pour assurer la capacité de résilience du cordon.

Ces méthodes restent relativement complexes à mettre en œuvre et nécessitent de nombreuses données. Leur application se justifie pleinement sur des cordons dont la sensibilité nécessite un travail approfondi. Pour identifier ces cordons, une première approche simplifiée est proposée.

### III.2.2. Approche simplifiée

Trois configurations générales de cordon dunaire (Figure 2), voire de massif dunaire, sont retenues pour décrire l'environnement naturel dans la notice méthodologique « Préconisations pour le recensement des ouvrages et structures de protection contre les aléas côtiers » [Roche, 2011] :

- une forme « érodée », qui correspond à une dune basse (le cordon bordier est bas ou a disparu) : dans ce cas, les zones basses d'arrière-pays ne sont quasiment plus protégées des submersions ;
- une forme triangulaire, qui caractérise une dune relativement étroite (rapport entre hauteur et largeur basale) et dont la stabilité est relative, pouvant être mise en cause lors de phases d'érosion marine ;
- une forme trapézoïdale, qui traduit un stock sédimentaire important, hérité d'une sédimentation passée, et qui a pu être remodelé par l'homme pour lui attribuer un profil aérodynamique.

Si chaque type de cordon peut assurer un rôle de protection contre les submersions, leur efficacité sera bien différente en fonction de leur largeur et de leur forme à la cote et au-dessus du niveau marin de référence. D'après les configurations présentées en Figure 2, un cordon de forme triangulaire représente conceptuellement un objet de danger potentiel bien plus important qu'un cordon de forme trapézoïdale, du fait d'une plus faible capacité de résilience aux phénomènes naturels. Il est toutefois difficile d'établir des critères précis de forme (pente, volume, largeurs...) permettant de conclure directement sur leur capacité de résilience. Le continuum et le caractère évolutif de ces morphologies naturelles sont des difficultés majeures dans l'établissement d'une classification [Claudino-Sales *et al.*, 2008 ; Houser, 2012], particulièrement en l'absence de recensement récent et exhaustif des cordons dunaires et de leur morphologie, et d'analyse de leur évolution. Aussi, une étude est actuellement menée sur les cordons gérés par l'ONF pour établir des critères et permettre une classification des cordons dunaires « sensibles » à la submersion marine. La largeur de ces cordons au droit du niveau marin centennal (SHOM-Cetmef, 2012) et du niveau marin centennal + 1 m sera évaluée à partir de données de type LiDAR. Les points bas et cheminement potentiels de l'eau seront également identifiés pour aboutir à une priorisation des cordons sensibles à suivre.

## IV. PRINCIPES DE COMPORTEMENT DES CORDONS DUNAIRES EN CAS D'ÉVÉNEMENT EXTRÊME ET CADRE DE GESTION ADAPTÉE

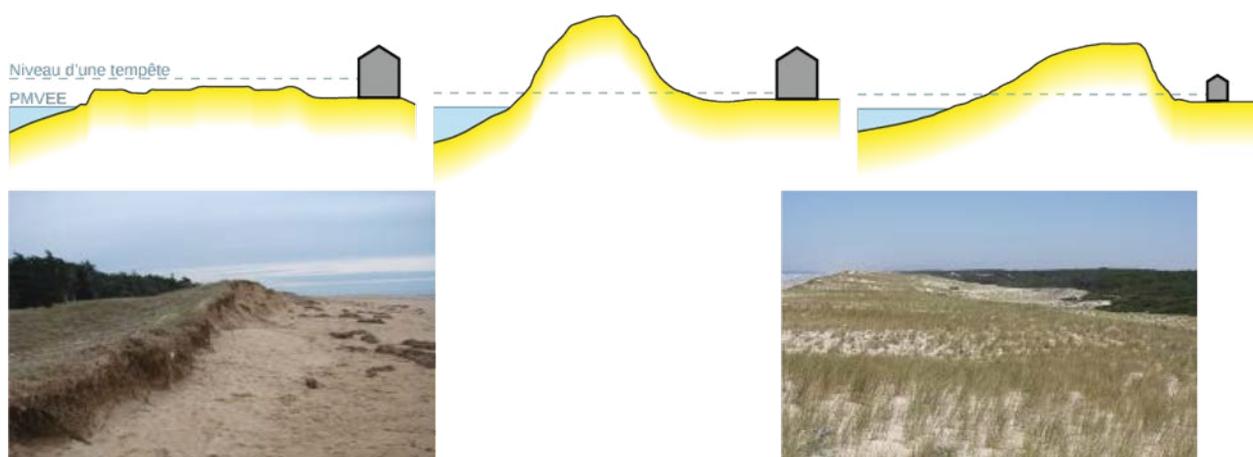
### IV.1. Hypothèses de comportement des cordons dunaires face à un événement extrême

Malgré les difficultés à établir des règles générales, les configurations de cordons dunaires présentées au paragraphe III-2.2 permettent d'ébaucher, selon une approche empirique, une réflexion et une discussion sur les modalités de prise en compte de leurs spécificités dans le cadre de la caractérisation de l'aléa submersion marine.

L'effet hydraulique d'un cordon dunaire érodé ne subsistant qu'à l'état de relique (dune basse, Figure 2), et laissant place à une morphologie aplanie, sera comparable à celui d'un élément topographique qui n'introduit pas de véritable obstacle à l'écoulement. Les processus érosifs qu'il subira en conditions extrêmes de surverse produiront certainement des ravinnements conséquents, mais ceux-ci ne semblent pas pouvoir se comparer à des processus de brèches. Le sur-aléa éventuellement induit par ce type d'éléments naturels ne peut provenir que de l'accélération des écoulements sur la pente menant à la zone basse adjacente. Une prise en compte de ce type de cordons sous forme d'élément topographique semble justifiée.

Pour les cordons dunaires de forme triangulaire et trapézoïdale qui présentent des altitudes permettant d'écarter les phénomènes de surverse, l'apparition d'une brèche sera essentiellement dépendante des processus érosifs et de leur capacité à re-mobiliser et évacuer le stock sédimentaire nécessaire pour traverser le massif. Dans cette configuration, et au-delà d'une certaine amplitude, l'apparition de brèches dans les massifs de forme trapézoïdale apparaît peu envisageable. Ces éléments pourraient donc être considérés comme des morphologies résistantes pour un événement de submersion, mais leur capacité de résistance devra néanmoins être réévaluée au regard de leur résilience vis-à-vis d'un régime de tempêtes successives.

Pour les autres cas, et notamment les cordons de forme triangulaire ou les cordons présentant des points de faiblesse (par exemple une ouverture pour un accès à la plage), la définition des conditions de brèche pourra s'appuyer sur une analyse et une modélisation des stocks sédimentaires présents,



**Figure 2 :** Typologie des cordons dunaires (d'après [Roche, 2011]) : forme érodée (à gauche) avec un exemple de cordon dunaire où le cordon bordier a disparu et où l'érosion marine attaque la dune grise, à Saint-Jean de Monts, Vendée (Photo : ONF) ; forme triangulaire (au centre) ; et forme trapézoïdale (à droite) avec un exemple de large dune remodelée par l'homme à partir du 19<sup>ème</sup> siècle, à Hourtin, Gironde (Photo : ONF).

de leurs évolutions et de leur capacité de re-mobilisation lors des événements de référence. Il conviendra alors de s'intéresser aux relations entre la taille du cordon et la durée, l'intensité et la répétitivité de l'événement qu'il est susceptible de subir [Bruzzi, 1999 ; Claudino-Sales *et al.*, 2008 ; Houser, 2012] ; cette analyse pourra s'appuyer sur la classification des régimes de sollicitation de Sallenger [2000], dépendante de la hauteur de dune et des valeurs de run-up et run-down. Cette analyse devra être confrontée à l'analyse des événements historiques connus et devra être directement liée aux travaux de caractérisation de l'aléa de recul du trait de côte.

#### IV.2. Phénomènes de brèches dans les cordons dunaires

Afin d'étudier et de proposer des caractéristiques de brèches pour des ouvrages et des structures naturelles de défense côtières, une base de données bibliographiques sur les phénomènes de brèches maritimes historiques a été produite au Cerema (ex-Cetmef). Remontant jusqu'en 1941, la base recense actuellement 184 brèches en France métropole, tous types de structure confondus, et décrit chaque entité selon trois groupes de paramètres : la brèche (localisation, géométrie...), la structure (type, forme, dimensions...) et l'événement météo-marin initiateur (hauteur significative, trajectoire de la tempête...). L'exploitation de cette « BD-Brèches » montre des variations de longueur de brèches selon le type de structure (Tableau 1). Ainsi, la taille moyenne d'une brèche dans un ouvrage est d'environ 80 mètres linéaires, alors qu'elle approche les 180 mètres pour les cordons dunaires (Taureau, 2013). Cette moyenne est cohérente avec les observations récentes qui ont été effectuées après la tempête Xynthia. Lors de cet événement, le cordon de la Belle-Henriette, situé au nord de la commune de la Faute-sur-Mer, a rompu à plusieurs endroits, et notamment en une brèche de 170 mètres (Source : MEDDE). Ces résultats restent à nuancer, les données historiques présentant une grande variabilité de précision selon le type de structure, la date de la brèche et le secteur géographique concerné. Par exemple de multiples brèches sur plusieurs centaines de mètres peuvent être décrites et considérées comme une unique brèche dans la source historique, ce qui semble être plus souvent le cas pour les cordons dunaires que pour les ouvrages. Dans le cas des cordons dunaires, ces premiers résultats sont de nature à moduler à la hausse les longueurs de brèche par défaut considérées par la circulaire relative à la prise en compte du risque de submersion marine dans les PPRL [MEDDTL, 2011].

#### IV.3. Propositions d'un cadre de gestion adaptée conciliant préservation des milieux et sécurité des ouvrages hydrauliques

La présence d'un espace de mobilité suffisant des cordons naturels, dans la continuité des mouvements sédimentaires en

cours depuis la dernière période glaciaire, est une garantie de leur stabilité : autant que possible, laisser un espace suffisant pour que le cordon puisse reculer sur lui-même permet d'assurer sa résilience et sa capacité à protéger une zone basse à un certain niveau de sécurité [Ramont, 2010]. Le maintien d'une capacité de protection impose donc de ne pas tenter de figer le cordon, mais bien au contraire de prévoir un espace suffisant pour sa mobilité naturelle. L'approche permettant de concilier préservation du milieu naturel et sécurité des personnes et des biens peut s'inspirer des principes généraux de gestion des ouvrages hydrauliques [MEDAD, 2007] en les adaptant aux modalités pratiques de gestion des cordons naturels. En effet, il peut sembler intéressant, dans le cadre de la prévention des risques de submersion marine, de disposer régulièrement d'informations concernant l'état du cordon, et éventuellement d'indices permettant d'estimer un niveau de sécurité assuré par le cordon. Ces informations pourraient s'avérer précieuses pour la définition de plans communaux de sauvegarde, l'alerte et la gestion de crise et à plus long terme, l'amélioration et la justification des hypothèses de défaillance pour l'élaboration des PPRL.

Cela suppose de définir des missions qui seraient confiées à des gestionnaires en charge du suivi et de la protection du milieu naturel. Pour des cordons protégeant des enjeux importants, ces missions pourraient comprendre a minima un suivi de l'état du milieu, à partir d'indicateurs topographiques, morphologiques et biologiques (biodiversité, recouvrement végétal, etc.), et s'étendre à des interventions de type « travaux de réhabilitation du milieu » grâce à des techniques respectueuses de l'environnement (rechargements, plantations, etc.), à l'émission de rapports d'état du milieu et d'alerte sur des points de vigilance, de la gestion de crise et de la capitalisation des informations relatives au suivi du milieu (par l'établissement de « dossiers du milieu » récapitulatifs des résultats du suivi, des interventions réalisées et des indices d'état). Ces missions pourraient être prescrites dans le cadre du PPR à un gestionnaire qui en accepterait le principe ou alors émaner de l'application d'une politique nationale forte, en lien avec la gestion du trait de côte [MEDDE, 2012] ou la gestion des risques.

## V. CONCLUSIONS

Certains cordons naturels peuvent assurer un rôle de protection contre les aléas côtiers. Le stock sédimentaire qu'ils représentent avec le système dune-plage leur permet de dissiper une grande partie de l'énergie des vagues qu'il est nécessaire de prendre en compte dans le cadre de la caractérisation de l'aléa de submersion marine. Cependant, leur efficacité étant éminemment variable dans l'espace et dans le temps, un certain nombre d'hypothèses techniques doit être pris dans le cadre de l'élaboration des PPRL. Ayant

Tableau 1 : Évaluation des longueurs moyennes de brèche dans les ouvrages côtiers et les cordons dunaires français identifiées dans la base de données « BD-Brèches » réalisée par le Cetmef à partir de la bibliographie depuis 1941.

	Nombre total de brèches recensées	Nombre de longueurs de brèche exactes	Taille moyenne des brèches (m)	Taille médiane des brèches (m)	Nombre de brèches par classe de longueur		
					0-10 m	10-100 m	100-1000 m
Ouvrages	117	37	78	30	61 (52,1 %)	45 (38,5 %)	11 (9,4 %)
Cordons dunaires	43	24	177	125	7 (16,3 %)	20 (41,5 %)	16 (32,2 %)

un caractère naturel, l'état de ces structures dépend de leurs caractéristiques intrinsèques (topographie, morphologie, faciès, entropie...), mais également de celles du milieu environnant (état du contact dune-plage, artificialisation, tendance érosive, intensité du transport sédimentaire longitudinal, etc.) et des sollicitations en cas de tempête (intensité, durée, fréquence et état du cordon préalablement à la sollicitation). La vulnérabilité du cordon naturel vis-à-vis d'un événement de référence ou extrême résulte donc de l'ensemble de ces paramètres que seul un suivi fiable et sur le long terme peut permettre de caractériser.

La gestion de ces cordons dans le cadre de la prévention des risques se doit d'être intégratrice de problématiques liées à leur caractère naturel, garant d'un service rendu lié à la biodiversité et à la résilience du système. Sur le long terme, la protection de ces espaces semble la seule option réellement soutenable, du point de vue patrimonial et financier, pour garantir la protection des populations. Concilier prévention des risques et protection de la biodiversité oblige à réfléchir à de nouveaux modes de gestion, notamment en développant les autres piliers de la prévention des risques que sont la sensibilisation des populations aux risques, le développement de systèmes de suivi, de surveillance et d'alerte. Souhaiter le suivi de ces éléments naturels implique cependant de leur conférer un statut particulier et d'identifier des gestionnaires.

Cet article visait principalement les cordons naturels ; il reste maintenant non seulement à approfondir les connaissances de ces cordons vis-à-vis des aléas côtiers, submersion marine et recul du trait de côte, à travers notamment les retours d'expérience et les informations historiques, mais également d'y intégrer les lidos et autres structures naturelles non abordées ici, et surtout les cordons artificialisés, qui cristallisent l'ensemble des problématiques soulevées. Les hypothèses de résistance et de caractérisation de l'état des cordons dunaires présentées dans cet article seront testées au travers d'une méthodologie appliquée dans un premier temps au patrimoine de cordons gérés par l'ONF, et en fonction des résultats obtenus, étendue à l'ensemble des cordons naturels français. Par ailleurs, des propositions pourraient être émises à l'issue de ces travaux pour aller vers une meilleure caractérisation couplée des aléas de recul du trait de côte et de submersion marine, les deux étant intimement liés ; les problématiques soulevées par la prise en compte des cordons dunaires vis-à-vis de l'aléa de submersion l'illustrent.

## VI. REFERENCES

- BRUZZI C. (1999) — Tempêtes morphologiques et ouvrages de défense côtière : le cas du littoral oriental du delta du Rhône. *Revue de géographie de Lyon*. **74** (1) : 27-33
- CLAUDINO-SALES V., WANG P., HORWITZ M. H. (2008) — Factors controlling the survival of coastal dunes during multiple hurricane impacts in 2004 and 2005: Santa Rosa barrier island, Florida. *Geomorphology*. **95** : 295-315
- DEBAINE F., ROBIN M. (2012) — A new GIS modelling of coastal dune protection services against physical coastal hazards. *Ocean & Coastal Management*. **63** : 43-54
- DEBAINE F., ROBIN M., ROZE F., FAVENNEC J., GOUGUET L., PRAT M.-C. (2012) — *Multidune : Aide à la gestion multifonctionnelle des dunes littorales atlantiques par l'évaluation cartographique de leur état de conservation. Rapport final. Programme Liteau III*
- GOUGUET L. (2011) — Les dunes domaniales jouant un rôle de digue en Centre Atlantique : un nouveau regard sur la gestion. *Les Rendez-vous techniques de l'ONF*. **31** : 3-9
- HOUSER C. (2013) — Alongshore variation in the morphology of coastal dunes: Implications for storm response. *Geomorphology*. **199** : 48-61
- MASPATAUD A. (2011) — Impacts des tempêtes sur la morphodynamique du profil côtier en milieu macrotidal. *Thèse de doctorat GEPO (Géoscience, Écologie, Paléontologie, Océanographie), Wimereux: Université du littoral Côte d'Opale*
- MINISTERE DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE ET DE L'ENVIRONNEMENT & MINISTERE DE L'EQUIPEMENT, DES TRANSPORTS ET DU LOGEMENT (1997) — *Plan de prévention des risques littoraux (PPR) - Guide méthodologique*. Paris: La Documentation Française
- MINISTERE DE L'ECOLOGIE, DU DEVELOPPEMENT ET DE L'AMENAGEMENT DURABLES. (2007) — Décret N°1735 du 11 décembre 2007 relatif à la sécurité des ouvrages hydrauliques et au comité technique permanent des barrages et des ouvrages hydrauliques et modifiant le code de l'environnement. *Journal officiel, n°289 du 13 décembre 2007*. [NOR: DEVO0751165D]. *Version consolidée au 01 janvier 2008* [<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000017641418>]
- MINISTERE DE L'ECOLOGIE, DU DEVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ENERGIE (2012) — *Stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte. Vers la relocalisation des activités et des biens*
- MINISTERE DE L'ECOLOGIE, DU DEVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ENERGIE (2013) — *Guide méthodologique : Plan de prévention des risques littoraux*. [[http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/guide-ppr\\_l\\_decembre\\_2013.pdf](http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/guide-ppr_l_decembre_2013.pdf)]
- MINISTERE DE L'ECOLOGIE DU DEVELOPPEMENT DURABLE, DES TRANSPORTS ET DU LOGEMENT. (2011) — Circulaire du 27 juillet 2011 relative à la prise en compte du risque de submersion marine dans les plans de prévention des risques naturels littoraux. *Bulletin Officiel*. **2011(5)**
- MINISTERE DE L'ECOLOGIE, DE L'ENERGIE, DU DEVELOPPEMENT DURABLE ET DE LA MER. (2010) — *La gestion du trait de côte. Savoir faire*. Paris: QUAE. [ISBN : 978-2-7592-0360-4]
- RAMONT N. (2010) — Étude de caractérisation du service de protection du cordon dunaire domanial face au risque de submersion marine. *Mémoire de Master 2 Cartographie et Gestion de l'Environnement*. Nantes: Université de Nantes / Institut de Géographie et d'Aménagement Régional de l'Université de Nantes
- ROCHE A. (2011) — Préconisations pour le recensement des ouvrages et structures de défense contre les aléas côtiers – Notice méthodologique. *Les Outils. CETMEF*
- RUIZ DE ALEGRIA-ARZABURU A., MASSELINK G. (2010) — Storm response and beach rotation on a gravel beach, Slapton Sands, U.K. *Marine Geology*. **278** (1-4) : 77-99
- SABATIER F., HEURTEFEUX H., HANOT B. (2008) — Dépôts d'overwash et tempêtes à moyen terme sur deux lidos méditerranéens. *Xèmes Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil*. **10** : 477-486
- SALLENGER A. H. JR (2000) — Storm impact scale for barrier islands. *Journal of Coastal Research*. **3** (16) : 890-895
- SHOM-CETMEF (2012) — *Statistiques des niveaux marins extrêmes des côtes de France (Manche et Atlantique)*. [ISBN : 978-2-11-128331-2]
- TAUREAU F. (2013) — La BD-Brèches : la base de données historique sur les brèches dans les structures de protection côtière. *Mémoire de Master 2 Cartographie des espaces à risques – Nantes: Université de Nantes / Institut de Géographie et d'Aménagement Régional de l'Université de Nantes*
- TECHNICAL ADVISORY COMMITTEE ON WATER DEFENCES / TAW (1984) — *Guide to assessment of the safety of dunes as a sea defense*. Gouda, The Netherlands: Centre for Civil engineering Research and Codes (CUR)