



Approche de la gestion des cordons littoraux : Mise au point et application d'un indice d'érosion (Zone des Pertuis Charentais, France)

Jonathan Musereau

► To cite this version:

Jonathan Musereau. Approche de la gestion des cordons littoraux : Mise au point et application d'un indice d'érosion (Zone des Pertuis Charentais, France). Sciences de l'Homme et Société. Université Rennes 2, 2009. Français. <tel-00422116>

HAL Id: tel-00422116

<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00422116>

Submitted on 5 Oct 2009

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

SOUS LE SCEAU DE L'UNIVERSITÉ EUROPÉENNE DE BRETAGNE

UNIVERSITÉ RENNES 2

Ecole Doctorale - Humanités et Sciences de l'Homme

Laboratoire COSTEL – UMR 6554 LETG – CAREN

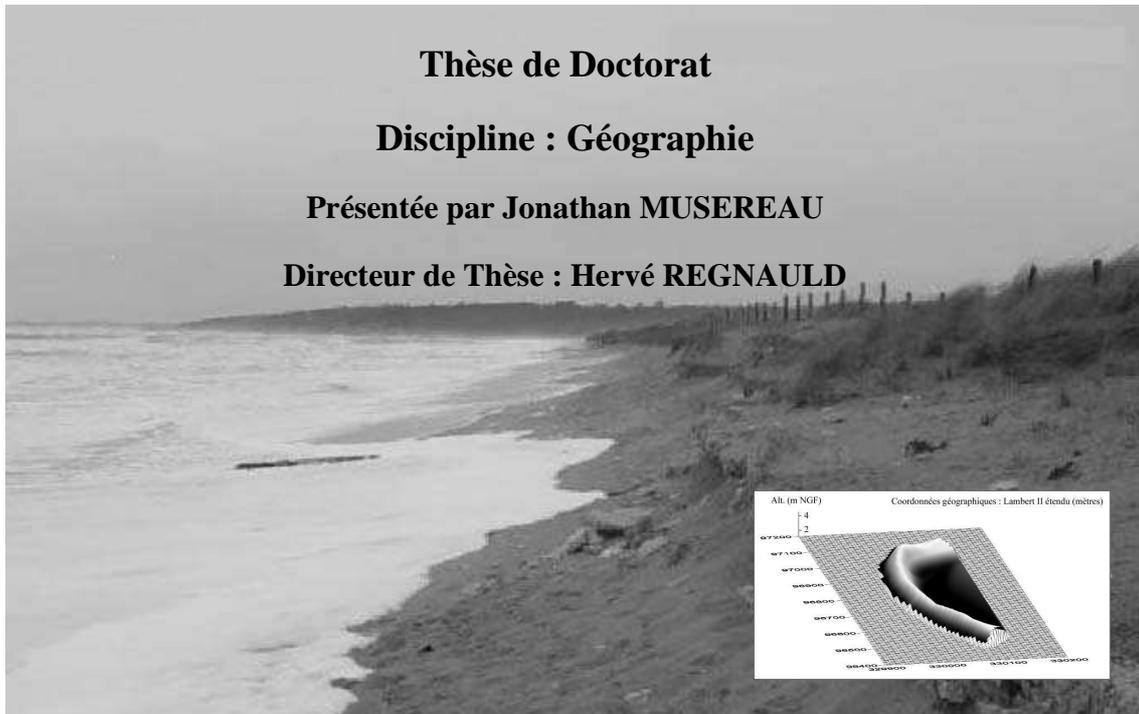
**Approche de la gestion des cordons littoraux :
Mise au point et application d'un indice d'érosion
(Zone des Pertuis Charentais, France)**

Thèse de Doctorat

Discipline : Géographie

Présentée par Jonathan MUSEREAU

Directeur de Thèse : Hervé REGNAULD



Soutenu le 15 septembre 2009

Jury :

- S. COSTA**, Professeur, Université de Caen (rapporteur)
- C. MEUR-FEREC**, Professeur, Université de Bretagne Occidentale (rapporteur)
- D. MENIER**, Maître de Conférence, Université de Bretagne Sud
- O. PLANCHON**, Chargé de recherche au CNRS, Université de Rennes 2
- H. REGNAULD**, Professeur, Université de Rennes 2

Remerciements

Les noms se bousculent lorsque je pense à tous ceux qui à un moment ou un autre ont contribué à enrichir ce travail. Tout d'abord je tiens à remercier chaleureusement les personnes qui m'ont accompagné pendant cette thèse. Je pense bien sûr à Hervé Regnaud, mon directeur, qui m'a donné l'opportunité d'effectuer cette thèse et a su me faire profiter de ses conseils, de sa compétence et de son enthousiasme. Je suis par ailleurs très reconnaissant pour l'aide précieuse apportée par Olivier Planchon, climatologue attitré du COSTEL, qui a su faire preuve d'une très grande disponibilité et avec qui j'ai toujours eu d'agréables échanges autour des phénomènes climatiques.

Je remercie aussi vivement Jean-Pierre Marchand, Professeur de Géographie à l'Université de Rennes 2, qui m'a donné goût à la recherche et à la rigueur méthodologique lorsque je réalisais mon premier mémoire. Mes remerciements vont aussi à tous les doctorants du laboratoire COSTEL, les échanges fructueux concernant les enseignements que nous avons en commun et les moments de convivialité que nous avons partagés lors des colloques. En réalité, c'est toute l'équipe COSTEL que je voudrais remercier, son ambiance de travail et ses apéros. D'autres universitaires (non « Costeliens ») m'ont également aiguillé, même si cela a parfois conduit à d'âpres discussions : S. Dauchez, S. Costa, C. Meur-Férec, M. H. Ruz, S. Suanez, V. Duvat-Magnan, les nombreux doctorants qui participent à la vie de l'UMR 6554, ou encore nos homologues de Dunkerque.

Je tiens également à remercier les différents acteurs rencontrés sur le terrain, avec qui j'espère aller plus loin dans la démarche : les associations, et plus particulièrement les membres d'IODDE ; les élus, en particulier P. Moquay (maire de Saint-Pierre d'Oléron) et M. Vallet (maire de Marennes et président du Pays de Marennes-Oléron) ; tous les riverains croisés au bord de l'eau, qu'il m'est bien évidemment impossible de citer tant ils sont nombreux.

Et puis, comment ne pas remercier mes plus fervents soutiens. Je pense bien sûr à mes parents, qui n'ont jamais rechigné à faire des photos sur le terrain quand je n'étais pas disponible, mais aussi à Danièle, pour sa relecture d'une attention sans égale, et surtout à Florence, pour sa patience à toute épreuve.

Enfin, pour l'anecdote, je tenais à remercier les événements qui, d'une certaine manière, ont contribué à ce que ce travail puisse être mené à son terme (*Martin, Johanna, Klaus, Quinten* et les autres...).

Approche de la gestion des cordons littoraux : mise au point et application d'un indice d'érosion (Zone des Pertuis Charentais, France)

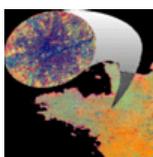
En morphodynamique littorale, les environnements côtiers sont habituellement traités comme des milieux naturels où les interventions humaines sont susceptibles de perturber leur équilibre. Dans ce travail de recherche, une approche différente est adoptée. Il s'agit de décrire des comportements morphosédimentaires en supposant a priori que certaines morphogènes sont (au moins partiellement) d'origine anthropique. Trois sites représentatifs ont été sélectionnés dans la Zone des Pertuis Charentais : la lagune de La Belle-Henriette, la dune de Saint-Trojan et la plage de Marennes. Sur ces sites, les interactions du passé entre les processus naturels et anthropiques ont résulté sur une progression historique du trait de côte. L'évolution actuelle des conditions environnementales y est perçue comme une contrainte forte, car elle induit d'importants phénomènes d'érosion, notamment lors des tempêtes. Les responsables locaux de l'aménagement du littoral s'interrogent sur la pertinence des méthodes qui leur sont proposées pour prévoir ces phénomènes. Leurs critiques ne portent pas sur la scientificité des modèles mais sur leur mise en pratique. Pour répondre à cette demande sociale en prédiction du dommage, une nouvelle méthode est proposée. Il s'agit d'employer un modèle de comportement pour construire un indice d'érosion localement défini et facile à mettre en oeuvre. Cette méthode est d'abord validée a posteriori à partir de mesures archivées depuis le début de l'année 2003 et à partir du cas de l'ouragan du 27 décembre 1999. Elle est ensuite validée a priori en tant qu'outil de prédiction à l'occasion de plusieurs tempêtes récentes.

Mots clés : anthropisation littorale, érosion marine, tempête, vulnérabilité, modélisation

Management of coastal barriers in "la Zone des Pertuis Charentais" (France): Developing of an erosion index

Many coastal morphodynamics studies assume that environments are natural and that natural equilibriums are sometimes modified by human interventions, and are therefore studied as such. In this Ph D., a different approach is developed, namely the description of behaviours of "artificial" coastal features forced by actual climatic conditions. In "la Zone des Pertuis Charentais", three sites, where past interactions between natural and anthropogenic processes resulted on a historical seaward progression of the coastline, were selected: the lagoon of La Belle-Henriette, the coastal dune of Saint-Trojan and the beach of Marennes. On these sites, present environmental evolution induces strong erosion, notably during storms events. Local coastal managers call out to the relevancy of methods used for the prediction of such hazards, because of their practical limitations. To answer this social demand, a simple formulated storm index, locally tuned and freely implemented, was developed. The method has been tested using an archive dataset (from 1999 to 2009) and proved to be successful for predicting erosion events (numerous cases in the recent years).

Keywords: coastal anthropization, marine erosion, storm, vulnerability, modelling



Thèse de Doctorat de Géographie : Jonathan Musereau

UNIVERSITÉ RENNES 2

Ecole Doctorale - Humanités et Sciences de l'Homme

Laboratoire COSTEL – UMR 6554 LETG – CAREN



AVANT-PROPOS

Le texte qui suit se revendique d'un travail de recherche appliquée. Pourquoi, d'emblée, cette justification sur l'applicabilité du travail de recherche doit-elle être faite puisqu'il s'agit d'une thèse de géographie, que le géographe, par essence, a pour vocation à analyser, fournir un diagnostic (faisabilité, coûts, impact sur l'environnement...) et qu'il vise au final à proposer des solutions concrètes ?

Parce que la géographie est devenue multiple, qu'une segmentation s'est opérée au sein de ce domaine scientifique, avec au moins trois branches principales (géographie physique, géographie humaine et géographie régionale) à partir desquelles de nombreux bourgeons sont apparus à la frontière d'autres sciences, qu'elles soient physiques ou sociales. Cette évolution des paradigmes est désormais largement consommée et mène parfois à des incompréhensions majeures entre les « géographes ».

Une discussion passionnante au cours d'un colloque de « géographes sociologues » m'a permis de mieux comprendre ce clivage. Unique géographe de la branche « physicienne » dans la salle, le terme de « réflexivité » m'interpelle car il semble implicitement connu de tous et repris dans chaque intervention. Pour la branche des « géomorphologues littoralistes », ce terme décrit le caractère d'une plage en fonction de sa pente et l'effet que cela induit sur le déferlement des vagues. Pour les « anthropologues » avec qui je converse, il s'agit de présenter les résultats d'un examen approfondi sur leur propre démarche scientifique, une manière de faire empruntée à la sociologie (sous l'impulsion de David Bloor ou encore Pierre Bourdieu). N'étant pas de la même branche, il est *a priori* normal que nous ne donnions pas le même sens aux mots. Le débat se conclut avec cette phrase : « *il n'y a pas UNE mais DES géographies, nous sommes d'accord* ». De retour à Rennes, dans mon laboratoire, j'éprouve le besoin de partager cette expérience avec mes « congénères » géographes physiciens, qui ont pourtant une toute autre définition de la réflexivité : « *c'est un peu comme la réflectance, le rapport de l'énergie réfléchie sur l'énergie émise ou quelque chose comme ça* ». Cette sorte d'identification des courants par le vocabulaire (que les géographes empruntent allègrement aux autres sciences) ne serait pas qu'une question de branches, mais se subdiviserait formellement jusqu'à l'échelle de la feuille.

Mais alors, sur quelle feuille suis-je en train de rédiger cette thèse ? Il s'agit avant tout d'un travail de géomorphologue, littoraliste. Mais il est également question de tempêtes et de statistiques à ce sujet, c'est donc en partie un travail de climatologue. D'un certain côté, parler d'hydrodynamisme, c'est un peu faire de l'hydrologie (marine), de l'océanographie. Et puis l'aspect social, ou plus précisément « sociétal », est aussi abordé à travers les références à la culture locale des peuplements qui ont investi mon terrain d'étude. On y trouve même un débat sur les politiques publiques en matière de gestion du littoral : géographie politique aussi !? Géomorphologie, climatologie, hydrologie, océanographie, géographie sociale, voire culturelle... la définition de ma feuille (de route à l'évidence) est devenue un problème épineux. Dès lors, pour ne pas s'y perdre, il faut bien se raccrocher à autre chose qu'une branche, à quelque chose de plus général, un tronc commun à tous les géographes. Pourquoi ? Parce que le but est bien de faire une thèse de géographie.

L'élément commun, ou du moins que l'on attribue traditionnellement comme étant le propre de la science géographique, c'est l'Espace, la spatialisation. Son outil favori, c'est la carte. Autrement dit, quelque soit sa branche, sa feuille ou même son bourgeon pour qui voudrait créer son propre courant de géographie, il n'y a pas d'analyse géographique sans référence à l'espace et donc sans carte. Oui mais voilà, l'évolution des paradigmes dépasse les frontières, même celles que les géographes se sont fixées pour la pratique de leur science. N'en déplaise aux puristes, les travaux (de géographe) sans cartes, cela existe. Cela ne veut pas dire que leurs auteurs réfutent la notion même d'Espace. Simplement, l'évolution des problématiques suppose qu'il puisse désormais exister des objets d'étude qui soient impossibles à cartographier. Dans l'exemple de cette thèse, la question serait de cartographier les conditions de survenue d'une tempête à impact (érosion). Si la tempête se déplace dans l'atmosphère et qu'elle finit par impacter le littoral, les conditions de survenue de l'aléa « érosion marine » sont, elles, bien plus délicates à faire figurer sur une carte. Il existe donc des objets d'étude que l'on peut qualifier d'immatériels, qui n'évoluent pas forcément sur un support physiquement défini, même s'ils peuvent y laisser leur trace. Cette dichotomie peut aller plus loin. Ainsi par exemple, les jeux de simulation de vie sur le Net se développent considérablement. Derrière cet engouement se cache des raisons psychosociales que de plus en plus de spécialistes tentent de décrypter, et qu'un géographe aurait bien du mal à comprendre. Toutefois, dans leur vie virtuelle, les joueurs peuvent à leur aise se balader en montagne, à la plage, en ville etc... Est-ce là la possibilité de faire pousser une nouvelle branche au sein de notre discipline, la Géographie de l'Espace Virtuel ?

Si la notion d'Espace n'est plus totalement en mesure de réunir l'ensemble des géographes, quelle autre spécificité leur permet de se distinguer des domaines scientifiques qu'ils vont croiser (et dont ils vont se nourrir) ? Même si certains de ses membres (les « physiciens ») abordent bien souvent des notions propres aux sciences dites « dures » ou « exactes », la Géographie fait partie des sciences sociales, au même titre que la Sociologie ou l'Economie. En ce sens, qu'il soit ancré dans un espace délimité dans le réel ou bien sujet à étudier des objets beaucoup plus difficiles à cerner selon une logique de spatialisation, ce domaine scientifique aurait, semble-t-il, pour vocation première de traiter des questions de société. A vrai dire, les faits montrent sur ce point également qu'une distanciation peut s'opérer entre la définition générique du terme « Géographie » (la science qui étudie l'espace des sociétés) et sa pratique.

Je prendrai volontairement l'exemple d'une thèse soutenue dans la même université que la mienne (au département de Géographie de Rennes), dans le même laboratoire (COSTEL), qui fait lui-même partir d'une UMR dont le principal axe de recherche s'intitule « Interactions Nature/Société », avec le même directeur de recherche (H. Regnauld) et avec un objet d'étude particulièrement proche du mien. Elle s'intitule : « *Vents et tempêtes sur le littoral de l'ouest de la France : variabilité, variations et conséquences morphologiques* » (L. Lemasson, 1998). On y retrouve de nombreux concepts que l'on attribuerait volontiers à un géographe d'inspiration multi-ramifiée, une sorte de « climato-morpho-litto-logue » en voie d'accomplir sa métamorphose transdisciplinaire. Par contre, comme l'indique son titre (et confirme d'ailleurs son contenu), il n'est pas fait référence à un problème de société dans ce travail, si ce n'est implicitement, en terme de risque éventuel pour les populations littorales.

Une géographie sans espace matériel, admettons. Mais une géographie sans société, est-ce possible ? Là aussi, le débat est intense. Après tout, étudier des formes de relief, être géomorphologue en somme, n'implique pas nécessairement qu'il faille intégrer le facteur anthropique, même si cette thématique peut s'avérer passionnante (cf. les travaux de R. Neboît par exemple). Au contraire, nombre de géographes de formation sont devenus des géomorphologues, des océanographes ou des climatologues à part entière. En d'autres termes, au fil de leur parcours, ils sont parvenus à changer d'arbre. Pour les inconvertibles, ceux qui désirent rester attachés à leurs « racines » de géographe, éviter soigneusement toute référence à la société pourrait s'avérer être un non-sens.

« Lorsque le gaz de la mer du Nord ou de Sibérie remplace le bois de la forêt voisine, que la vache de l'étable se nourrit de soja brésilien, que deviennent les discours sur le conditionnement naturel ? » [P. Claval, 2001 : *Épistémologie de la géographie*. Paris, Nathan]. Certes, remettre en question la naturalité complique le problème (l'humain n'entre que très rarement dans les critères d'une modélisation quantitative), mais pas inutilement. A l'heure où la question du Réchauffement Climatique est (presque !) unanimement considérée comme ayant une origine anthropique, comment ne pas prendre en compte l'aspect humain des événements dits « naturels ». Ce débat est peut-être encore plus vif que celui qui oppose les fervents défenseurs d'un espace géographique à ceux qui voudraient le dépasser (ou s'en affranchir peut-être ?). Il en résulte une sorte de redécoupage des branches de la géographie d'aujourd'hui, un tronçonnage qui sépare les partisans d'un espace donné de ceux qui considèrent qu'il n'est qu'un produit.

« J'ai dû accepter un titre de thèse qui se référait aux risques naturels alors que le contenu poussait à contester la validité absolue de cette expression. L'argument était, une fois de plus, que tout le monde comprendra... et il fallut faire avec. » [P. Pigeon, 2008 ; http://www.cafe-geo.net/article.php3?id_article=1230].

Tout le monde comprendra... P. Pigeon a soutenu sa thèse sur les risques naturels en 1991 mais n'a eu de cesse depuis de défendre un point de vue selon lequel les risques « naturels » ne sont pas obligatoirement consubstantiels des événements (naturels) qui en sont à l'origine, qu'ils peuvent avoir une part d'anthropisme. Sans aller jusqu'à considérer que l'espace géographique ne se définit qu'en terme de production sociale, mais en pointant du doigt les interactions qui découlent des rapports Société/Milieu, il cherche à redonner du sens à la fonction du géographe. Ce long débat de fond l'amènera à revenir récemment sur les contradictions et les implicites liés à la nature en géographie (*Op. cit.*, 2008). Dans son argumentaire, il insiste sur un point crucial à propos du travail de géographe : « Une fois de plus, les géographes disposent de cet avantage essentiel : pouvoir démontrer l'intérêt de leur approche à partir des travaux de terrain, et du caractère potentiellement applicable de leurs études. ». Ainsi, qu'il soit matériel ou (plus ou moins) immatériel, qu'il soit proche ou distant, qu'il soit petit ou grand, qu'il soit ancien ou récent, qu'il soit simple ou complexe, qu'il soit naturel ou social, le géographe aborde toujours son terrain avec l'idée d'y appliquer quelque chose. C'est dans cet état d'esprit que je m'appête à vous présenter le travail qui suit.

Table des Matières

INTRODUCTION GENERALE.....	11
CHAPITRE I : PROBLEMATIQUE GENERALE ET POSTURE EPISTEMOLOGIQUE	19
<i>I. 1 Enjeux de la thèse.....</i>	<i>21</i>
I. 1. 1 Participer à l'essor d'une certaine conception de la Géographie des Risques	21
I. 1. 2 Répondre à une demande sociale croissante en prédiction du dommage	25
<i>I. 2 La modélisation prédictive d'un aléa composite ou l'illusion des chiffres.....</i>	<i>34</i>
I. 2. 1 Qu'est-ce qu'un aléa composite ?	34
I. 2. 2 Par définition, un modèle ne peut pas tout prévoir.....	36
I. 2. 3 L'insuffisance des réseaux d'observation : un problème récurrent	40
<i>I. 3 Les limites théoriques et pratiques de l'approche analytique</i>	<i>42</i>
I. 3. 1 Des concepts critiquables et déjà critiqués.....	42
I. 3. 2 N'assiste-t-on pas actuellement à une dérive modélisatrice ?	46
<i>I. 4 Indices de tempête et indices d'érosion, état de l'art.....</i>	<i>48</i>
<i>I. 4 Synthèse</i>	<i>50</i>
CHAPITRE II : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE.....	52
<i>II. 1 Localisation générale.....</i>	<i>53</i>
<i>II. 2 Cadre géologique et contexte sédimentaire.....</i>	<i>54</i>
II. 2. 1 Esquisse géologique de la Zone des Pertuis Charentais.....	54
II. 2. 2 Nature des sédiments de surface	57
<i>II. 3 Evolution morphosedimentaire du littoral charentais.....</i>	<i>58</i>
II. 3. 1 Description des Pertuis Charentais.....	58
II. 3. 2 Les formations sableuses du Quaternaire.....	60
II. 3. 3 Eléments de paléogéographie.....	61
<i>II. 4 Les agents dynamiques</i>	<i>63</i>
II. 4. 1 Vents et tempêtes dans le Golfe de Gascogne.....	63
II. 4. 2. Houles, vagues et effets de la dérive littorale.....	72
II. 4. 3 Marégraphie et niveaux d'eau extrêmes	75
II. 5. 1 La lagune de La Belle-Henriette	78
II. 5. 2 La dune de Saint-Trojan.....	80
II. 5. 3 La plage de Marennes	81
CHAPITRE III : PRESENTATION HISTORIQUE DES SITES ATELIERS	82

III. 1 Matériel et méthode	84
III. 1. 1 Principe et objectif de l'historique.....	84
III. 1. 2 Cartes anciennes et photographies aériennes	88
III. 1. 3 Archives climatiques	91
III. 1. 4 Recensement (non exhaustif) des aménagements du littoral	91
III. 2 La lagune de La Belle-Henriette.....	92
III. 2. 1 La Faute-sur-Mer : 100 ans de lutte contre l'érosion marine.....	92
III. 2. 2 La fermeture de la lagune et ses conséquences sur la dynamique littorale	98
III. 2 La dune de Saint-Trojan et la plage de Vert-Bois	101
III. 2. 1 Le temps des palissades.....	101
III. 2. 2 « Elle a même emporté le parking ! ».....	109
III. 3 De la plage de Marennes à Marennes-Plage.....	118
III. 3. 1 Chronique d'une pénurie provoquée.....	118
III. 3. 2 Il faut donner l'impression que la mer rentre dans la commune	121
III. 5 Synthèse	126
III. 5. 1 La Belle-Henriette	126
III. 5. 2 Saint-Trojan.....	128
III. 5. 3 Marennes-Plage	131
III. 5. 4 Bilan général.....	133
CHAPITRE IV : MISE AU POINT ET APPLICATION D'UN INDICE D'EROSION	134
IV. 1 Suivi de la morphodynamique des cordons littoraux.....	136
IV. 1. 1 Matériel et méthode.....	136
IV. 1. 2 Bilan du suivi à La Belle-Henriette	142
IV. 1. 3 Bilan du suivi à Vert-Bois	145
IV. 1. 4 Bilan du suivi à Marennes-Plage.....	148
IV. 1. 5 Synthèse	151
IV. 2 Formalisation d'un modèle de franchissement de seuil.....	155
VI. 2. 1 Phénomènes de « rupture » observés sur le terrain.....	155
IV. 2. 2 Conception d'un indice pour la prévision des aléas météo-marins.....	160
IV. 3 Calage du modèle pour la prédiction de l'impact morphologique des tempêtes.....	166
IV. 3. 1 Ajustements locaux	166
IV. 3. 2 Validation <i>a posteriori</i>	169
IV. 4 Exemples de prédiction	170
IV. 4. 1 Les premiers tests (tempête du 10 mars 2008)	170
IV. 4. 2 Novembre 2008.....	174
IV. 4. 3 Décembre 2008.....	178
IV. 4. 4 Janvier 2009	182
IV. 4. 5 Février 2009	187

<i>IV. 5 Développements et perspectives de l'outil</i>	193
IV. 5. 1 Un modèle à affiner	193
IV. 5. 2 La résilience des plages : un paramètre très difficile à quantifier.....	197
IV. 5. 3 Vers une échelle de risques à destination des collectivités.....	202
<i>IV. 6 Synthèse</i>	204
CHAPITRE V : ENJEUX D'AMENAGEMENT ET GOUVERNANCE DU LITTORAL.....	208
<i>V. 1 Seuil morphologique ou seuil social ?</i>	210
<i>V. 2 L'avenir des sites ateliers : projection à moyen terme</i>	214
V. 2. 1 Lagune de La Belle-Henriette.....	214
V. 2. 2 Plage de Vert-Bois.....	218
V. 2. 3. Marennes-Plage	221
<i>V. 3 Retour sur une expérience de GIZC</i>	225
V. 3. 1 Le concept de Gestion Intégrée des Zones Côtières	225
V. 3. 2 La GIZC au Pays de Marennes-Oléron, premier bilan	229
V. 3. 3 Les limites de la GIZC à travers son expérimentation locale	237
V. 3. 4 Quelques propositions pour relancer le projet du PMO.....	244
CONCLUSION GENERALE.....	248
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	253
ANNEXES.....	281

INTRODUCTION GENERALE

Au sujet de la « tempête du siècle »

« Une nouvelle dépression se creuse actuellement sur le proche Atlantique et abordera le golfe de Gascogne en fin d'après-midi. Elle se décalera rapidement dans la nuit vers l'est en longeant le 45^{ème}, déplaçant la tempête des côtes atlantiques vers la Méditerranée. Le vent, d'abord au secteur Ouest, tournera rapidement au Nord-Ouest et c'est à ce moment qu'il sera le plus fort. Des rafales entre 100 et 130 km/h sont attendues sur l'ensemble des régions concernées par l'alarme. Des pointes jusqu'à 150 km/h sont même possibles par endroits. Les vents moyens seront également soutenus entre 60 et 80 km/h, même à l'intérieur des terres. »

Ce bulletin, émis par Météo-France, en date du 26 décembre 1999, décrit un système cyclonique que l'on nommera 24 h plus tard « La Tempête du Siècle » (quotidien *Le Sud-Ouest* datant du 29/12/1999). Les côtes atlantiques françaises sont en effet durement touchées, en particulier la Charente-Maritime, où l'on dénombre 13 morts.

L'île d'Oléron est meurtrie. Dans la commune de Grand-Village par exemple, huit maisons sur dix sont partiellement ou totalement détruites. Pascal Proust, capitaine du port de Boyardville, raconte sa journée du 27 décembre dans un numéro spécial du *Journal des Propriétaires* (gazette oléronnaise) datant de janvier 2000 et titré à cette occasion « Le Cataclysme »:

“ Dès 10h, le baromètre s'est mis à descendre. Il a perdu 4 à 5 Hpa par heure jusqu'à 19h15 où il était à 975 Hpa. Je n'avais jamais vu cela. Jusqu'à 15h, les vents Sud-Est ont fléchi. Puis ils ont tourné Sud-Ouest. Vers 17h, premières rafales, 50 puis 80 nœuds. Le port restait accessible, on a commencé à réparer (...) Peu après 18h, la situation devient réellement difficile : le clapotis dans le port atteint 30-40 cm de haut. On ne peut plus rien faire : les chaises et les tables des restaurants nous arrivent sur la tête (...) A partir de 20h, le port déborde vers le Sud (...) Le vent tourne Ouest vers 21h. Le clapot monte alors à 1 m mais surtout les vagues entrent par le Sud, tapent dans la digue et rebondissent les unes contre les autres... Le port devient une énorme lessiveuse...”

Au-delà des destructions en milieu urbain, des nombreux échouages (parfois même dans les bassins portuaires censés servir d'abris) et du sinistre généralisé pour la profession ostréicole, c'est plus spécifiquement l'image de la dégradation de l'ensemble de la frange littorale, en particulier sur les côtes sableuses, qui marque durablement les esprits : « *On n'avait jamais vu cela !* ». Selon l'ONF (Office National des Forêts), la destruction des forêts

domaniales des Saumonards et de Saint-Trojan (Figure 1) est estimée à plus de 1000 ha, ce qui représente près de la moitié de leur surface totale. L'érosion de la dune de Saint-Trojan est spectaculaire. Le recul du trait de côte atteint plusieurs mètres et se compte localement en dizaines de mètres. L'été suivant, l'étonnement et les superlatifs sont encore présents dans les discussions entre les autochtones et les estivants, qui se délectent avec passion à chaque nouveau témoignage. De nombreux visiteurs viennent alors baguenauder dans la dune pour contempler les stigmates de l'ouragan. Une plage attire toutes les attentions, celle de Vert-Bois (Figure 1). Le parking où l'on s'impatiente traditionnellement à trouver un stationnement n'est plus là. La tempête n'a pas fait que manger le sable, comme toutes les autres tempêtes ; cette fois, elle a commencé à attaquer le bitume.

Ce récit relatif à la « tempête du siècle » demande cependant à être relativisé. Il s'agit bien sûr d'un événement tout à fait exceptionnel, en particulier pour cette région. Mais une tempête de cette intensité n'est pas un fait unique au niveau national. Douze ans auparavant, la Bretagne essuyait un ouragan d'une intensité comparable. Les rafales maximales enregistrées durant les tempêtes d'octobre 1987 et de décembre 1999 sont respectivement de 220 km/h à la pointe de Penmarc'h, dans le Finistère, et de 198 km/h au sémaphore de Chassiron, sur l'île d'Oléron (source : Météo-France). En terme de pression atmosphérique, la tempête de 1987 n'a pas d'égal en France depuis le début des mesures systématiques, avec une valeur record de 948 Hpa (station de Brest), soit près de 30 unités de moins qu'en 1999 (source : Météo-France).

S'agit-il d'ailleurs de la tempête la plus intense que les Charentais aient vécue ? Si cet événement peut effectivement être qualifié de « tempête du siècle » selon les statistiques locales, d'autres catastrophes liées aux vents violents ont déjà malmené ce département par le passé. L'exemple de la nuit du 14 au 15 février 1957 illustre parfaitement l'éphémérité de l'aléa météorologique dans le souvenir collectif. La météo garde en deux lignes le fait dans ses statistiques et ses records homologués : « rafales de 155 km/h à Cognac » (Météo-France). Pourtant les dégâts engendrés par cette tempête d'antan étaient tout aussi considérables et même comparables à ceux que l'on a observés en décembre 1999 : à Charron, une dizaine d'embarcations ont été transportées jusqu'à 700 mètres à l'intérieur des terres ; les bouchots de l'anse de l'Aiguillon ont été détruits ; Châtelailon, Ronce-les-Bains, Marennes, Port-des-Barques ont été ravagés ; les digues de Loix-en-Ré ont été rompues (archives privées de Patrice Simon, Rochelais). Autre démenti, le « drame de Vert-Bois » (la destruction du parking côtier) n'est pas dû uniquement au seul ouragan du 27 décembre 1999. Outre une

conception peu adaptée à son environnement (l'ancienne route longeait un rivage meuble), ce sont bien plusieurs coups de vent qui sont à l'origine de la destruction de cette infrastructure, qui débute en réalité deux mois avant l'ouragan de décembre (Annexe 1a). Durant deux nuits, celles des 23 et 24 octobre, la conjonction entre de forts coefficients de marée et des vents tempétueux avait engendré un recul de 6 m. Les premières destructions ont donc été observées avant la catastrophe de décembre, dès le début de l'automne.

Les stigmates de cette tempête centennale sont-ils encore visibles aujourd'hui ? A-t-elle vraiment « *changé à jamais* » le paysage d'Oléron comme la plupart des curieux l'affirmaient au lendemain de la catastrophe ?

Ces questions font appel à deux notions essentielles : le dommage engendré par l'aléa météo-marin et la capacité du milieu naturel à cicatriser. L'exemple de la tempête de 1999 est particulièrement pertinent pour enrichir une réflexion autour de ces concepts. Il s'agit d'un événement contemporain d'une très forte magnitude. De nombreuses données quantitatives sont disponibles à ce sujet, avec un recul suffisant pour en examiner la durabilité des impacts (une dizaine d'années environ). Cet impact peut-être appréhendé par le recul de la dune. A Saint-Trojan par exemple, celui-ci a atteint plusieurs mètres en une seule journée et environ 18 m sur l'ensemble du dernier trimestre de l'année 1999 (M.-C. Prat, 2001). Cela correspond à une sorte de paroxysme. Au cours des relevés effectués pour cette étude, des phases de retrait beaucoup plus modérées, mais toujours significatives, ont pu à nouveau être observées et mesurées. En tendance, ce littoral connaît donc une érosion profonde et durable, dont la tempête de 1999 n'est qu'un épisode marquant. D'un point de vue paysager, les traces de brûlure faites par le sel sont encore visibles en certains endroits du massif forestier (Annexe 1b). Cependant, les efforts menés par l'ONF pour la replantation de la forêt de pins sont à souligner. Les parcelles encore intégralement sinistrées sont de plus en plus rares et les chablis ont tous été rapidement retirés pour des questions de sécurité publique. Seules les différences de hauteur et de teinte des appareils végétaux marquent une distinction entre les « survivants » et la nouvelle pinède. Côté plage, aucun marqueur physique ne nous permettrait aujourd'hui d'affirmer qu'une tempête aussi violente a bien eu lieu à cette époque. Le cordon dunaire n'est plus taillé en falaise comme il a pu l'être durant les quelques mois qui ont suivi l'ouragan (Annexe 1c) ; celle-ci atteignait alors plusieurs mètres de haut. Par sa mobilité intrinsèque, sa résilience, la dune littorale de Saint-Trojan a, en quelque sorte, presque totalement cicatrisé.

L'érosion du littoral : un véritable enjeu de société...

Dans un contexte mondial de changement climatique, de littoralisation du peuplement (C. Small *et al.*, 2000), voire de surpeuplement local dans les régions touristiques¹, de changement climatique à l'échelle mondiale, de hausse du niveau marin et, plus localement, de pénurie de sédiment, les risques liés à l'érosion du littoral se sont récemment accrus. L'étude de ces phénomènes et des problématiques qui en découlent est devenue un véritable enjeu de société, qui dépasse largement les frontières mais a également la particularité de se manifester localement et brutalement, sous la forme de crises ponctuelles.

Le présent travail de recherche, de portée locale dans sa phase expérimentale, participe d'un effort de compréhension vis-à-vis de ces phénomènes. Il s'inscrit résolument dans une démarche de géomorphologie appliquée. Son but est la recherche d'un moyen de prédiction du dommage occasionné par les aléas littoraux. Il prend pour cadre la Zone des Pertuis Charentais. En raison de la nature variée des environnements côtiers, dans cette zone, les activités humaines liées au littoral sont nombreuses et imbriquées (Annexe 2) : la pêche et la conchyliculture, la plaisance, les diverses activités nautiques et balnéaires, l'extraction de matériaux... La multiplication des enjeux liée à l'occupation humaine des espaces proches du littoral charentais y détermine également des dispositifs de défense des côtes contre l'érosion et pour la gestion des stocks sédimentaires (Annexe 3).

... un défi pour la recherche

Face à l'échec des aménagements qu'ils ont récemment implantés, alors qu'ils sont pourtant basés sur le principe d'une défense dite « douce » et en complète rupture avec le « bétonnage des côtes » qui a prévalu durant les années 1970 et 1980, les aménageurs du littoral charentais, comme d'autres, s'interrogent actuellement sur la pertinence des méthodes qui leur sont proposées pour étudier les territoires dont on leur a confié la gestion. Leurs critiques ne portent pas sur la scientificité des modèles mais essentiellement sur leur mise en pratique (R. Billé, 2006 ; C. Vogel *et al.*, 2007). Pour eux, ce qui importe avant tout, c'est de pouvoir anticiper l'événement susceptible de mettre en péril « leur » littoral.

¹ Exemple d'Oléron : la densité de la population y supérieure de 50 % à la moyenne nationale ; son taux de croissance dépasse 20 % entre 1990 et 1999 ; dans certaines communes, le rapport entre la capacité d'accueil et la population principale peut aller d'1 à 10 (source : INSEE)

En morphodynamique côtière, les travaux de recherche, même pour les plus récents, sont pour la plupart orientés vers la description des impacts des aléas sur l'environnement littoral (exemples récents parmi d'autres : R. A. Morton et H. A. Sallenger, 2003 ; H. Regnaud *et al.*, 2004a) ou la modélisation analytique des processus qui en sont à l'origine (idem : C. Malvarez et J. A. G. Cooper, 2000 ; A. Héquette *et al.*, 2001 ; P. Ruggiero *et al.*, 2001 ; M. Sedrati et E. J. Anthony, 2007). En raison de la complexité des processus induits par ces phénomènes extrêmes, les travaux visant à les prévoir sont eux beaucoup plus rares (item : R. A. Wise *et al.*, 1996 ; M. Larson *et al.*, 2004 ; H. F. Stockdon *et al.*, 2007 ; R. Canisares et J. Irish, 2008). Par ailleurs, l'évaluation des résultats obtenus à partir de l'application de ces modèles prédictifs montre qu'ils ne sont pas toujours en accord avec les faits (D. J. Sherman et B. O. Bauer 1993 ; O. H. Pilkey, 1993 ; O. H. Pilkey, 1994 ; S. Young *et al.*, 1995 ; E. R. Thieler *et al.*, 2000 ; C. Meur-Férec et M.-H. Ruz, 2002 ; R. A. Morton, 2002 ; M. Larson *et al.*, 2004 ; J. Sutherland *et al.*, 2004 ; B. G. Ruessink, 2005 ; H. F. Stockdon *et al.*, 2006 ; H. F. Stockdon *et al.*, 2007, F. Sabatier *et al.*, 2009...).

Dans certains cas, il peut donc s'avérer plus efficace de tenter de modéliser grossièrement les conditions de la mise en échec d'un système territorial plutôt que de décrire le fonctionnement exact des processus qui en sont à l'origine (E. K. Judge *et al.*, 2003). Dans ce contexte, il est sans doute préférable de réfléchir à d'autres méthodes, comme l'ont fait, parmi d'autres, R. H. Simpson (1974), J. R. Allen (1981), S. D. Halsey (1986), J. H. Balsillie (1986), H. H. Lamb et K. Frydendahl (1991), R. Dolan et R. Davis (1992), D. L. Kriebel *et al.* (1997) et K. Zhang *et al.* (2001). Ces auteurs ont, avec plus ou moins de réussite, construit des indices de différentes natures afin de classer les aléas météo-marins susceptibles de provoquer des dégâts en région côtière. Ce doctorat s'inscrit résolument dans la continuité de leurs travaux. Cependant, pour répondre pleinement à la problématique de mise en pratique des méthodes scientifiques, il nous fallait aussi explorer d'autres dimensions. Il est en outre question de montrer qu'il est possible d'optimiser la circulation de l'information, de la rendre plus facile d'accès tout en veillant à ce que son destinataire dispose d'une information à jour et sans lui imposer une quelconque contrainte supplémentaire. Dans le même ordre d'idée, il est envisagé que l'outil en question puisse reposer sur la gratuité des données. Ce point est très important. Il arrive malheureusement trop souvent que, faute de moyens suffisants, les acteurs de l'aménagement se sentent isolés, notamment dans le cas d'organismes de petite taille. Cette situation implique alors un sentiment de défiance vis-à-vis du monde scientifique, ce que nous déplorons (J. Musereau et H. Regnaud, 2009).

Le travail qui suit s'attache donc à présenter la conception d'un modèle visant à prédire l'impact morphologique des tempêtes sur les littoraux meubles (sableux) et les moyens qui en faciliteront l'application. Cette méthodologie a été mise au point en 2003 (étude commandée par la DDE de Charente-Maritime). Elle a ensuite été testée durant trois hivers (de 2006 à 2009) sur plusieurs sites ateliers de la Zone des Pertuis Charentais (Figure 1), où les enjeux et les préoccupations vis-à-vis de l'érosion marine sont particulièrement prégnants. Ces sites sont : (1) la lagune de La Belle-Henriette, (2) la dune de Saint-Trojan et plus particulièrement la plage de Vert-Bois (île d'Oléron) et (3) la plage de Marennes (estuaire de la Seudre).

Ces sites ont été sélectionnés selon plusieurs critères. Il s'agit, d'une part, de côtes basses et sableuses où l'érosion fait l'objet d'une attention toute particulière mais où le bilan des entreprises engagées jusqu'à présent pour gérer ce problème est plutôt mitigé. Ce sont, d'autre part, d'accumulations sableuses dont la morphogenèse est plus ou moins directement liée à une intervention humaine et dont l'évolution actuelle est en partie conditionnée par le facteur anthropique. En d'autres termes, la formation de ces cordons littoraux n'est pas exclusivement liée à des processus naturels. Ce point est essentiel. Il nous pousse à réfléchir sur le rôle des interactions héritées du passé et leur possible influence sur la dynamique actuelle de ces littoraux, si celles-ci contribuent ou non à expliquer les récents phénomènes d'érosion qui y sont observés. Ce type de démarche s'inscrit donc dans un cadre plus général porté sur l'étude des interactions entre Nature et Société, thème majeur des recherches effectuées par les laboratoires affiliés à l'UMR 6554, dont le laboratoire COSTEL.

Après une brève présentation du contexte physique de l'étude (chapitre 2), une analyse socio-historique (chapitre 3) des sites ateliers précède l'exposé propre à la construction de l'indice d'érosion que cette étude vise à mettre au point (chapitre 4) ; car un de nos principaux objectifs est aussi d'établir une grille de lecture des rapports entre l'évolution actuelle de la morphologie du littoral et celle de son artificialisation constante depuis de nombreuses décennies. Enfin, parce que deux des trois sites retenus pour cette expérimentation se situent dans le Pays de Marennes-Oléron, ce travail nous a également amené à participer activement à l'élaboration d'un projet de Gestion Intégrée des Zones Côtières (GIZC) mené sur ce territoire (Figure 1). Un retour sur cette expérience, où sont notamment exposées les limites du principe d'intégration formelle des acteurs de la GIZC, clôt ce mémoire (chapitre 5).

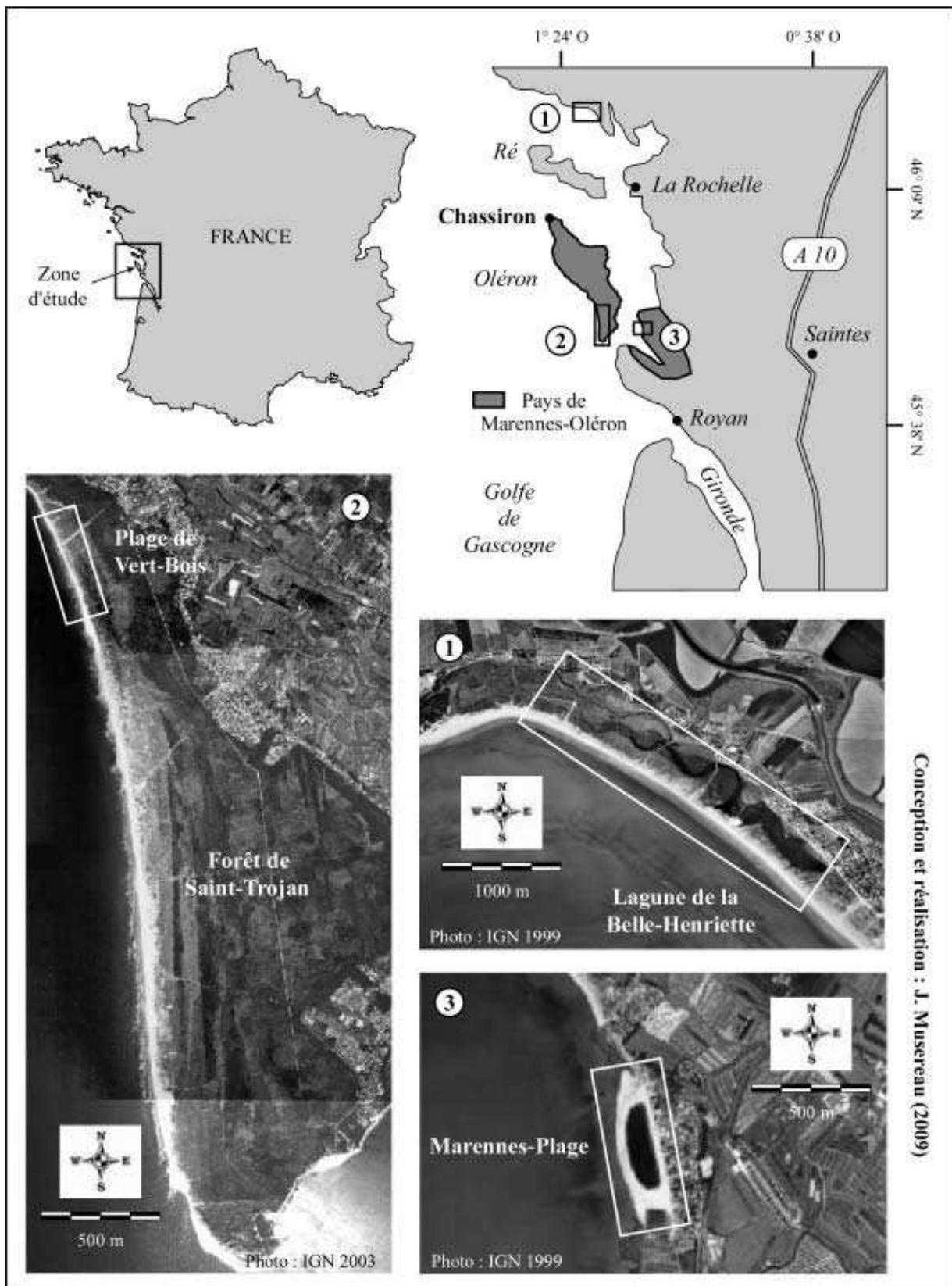


Figure 1 : Localisation générale de la zone d'étude et des sites ateliers

**CHAPITRE I : PROBLEMATIQUE
GENERALE ET POSTURE
EPISTEMOLOGIQUE**

INTRODUCTION DE CHAPITRE

Napoléon : « *Monsieur de Laplace, je ne trouve pas dans votre système mention de Dieu ?* »

Laplace : « *Sire, je n'ai pas eu besoin de cette hypothèse.* »

D'autres savants ayant déploré que Laplace fasse l'économie d'une hypothèse qui avait justement « *le mérite d'expliquer tout* », Laplace répondit cette fois-ci à l'Empereur : « *cette hypothèse, sire, explique en effet tout, mais ne permet de prédire rien. En tant que savant, je me dois de vous fournir des travaux permettant des prédictions.* »

L'érosion a lieu essentiellement durant les tempêtes, mais pas toutes les tempêtes, et toutes n'érodent pas partout (T. Aagaard *et al.*, 2005). La variabilité spatiale des réponses observées sur le terrain dépend de multiples facteurs (H. F. Stockdon *et al.*, 2007). Le phénomène dépend à la fois des caractéristiques du site (N. L. Jackson et K. F. Nordstrom, 1998 ; A. H. Sallenger, 2000, A. Héquette *et al.*, 2001 ; R. A. Morton, 2002 ; J. Benavente *et al.*, 2002) et de celles de la tempête (R. A. Morton, 2002 ; D. P. Callaghan *et al.*, 2008 ; V. Claudino-Sales *et al.*, 2008). Nous en convenons, ces trois phrases sont lapidaires et surenchères de citations, pour la plupart étrangères. Il faut plutôt y voir une manière de souligner la complexité des facteurs explicatifs et des interactions propres au problème d'érosion marine, thème majeur de cette thèse. Elle vise également à montrer que les difficultés qu'il pose à la communauté scientifique sont partagées à l'échelle mondiale (cf. diversité et localisation des sites étudiés par les auteurs cités ci-dessus).

Dans ce chapitre introductif, nous proposons de revenir sur les principaux concepts auxquels nous ferons appel pour répondre à notre problématique générale : proposer une méthode, un outil de prédiction des dommages liés aux aléas littoraux. Nous verrons que ce travail de recherche émane d'une demande sociale relativement récente mais particulièrement prégnante. Avant d'aborder la notion de dommage, nous reviendrons tout d'abord sur la définition de ce qu'est, pour un géographe, l'objet « risque ». Ces précisions d'ordre sémantique sont en effet très précieuses pour introduire le postulat suivant : le perfectionnement des modèles visant à simuler les processus naturels qui en sont à l'origine est-il le seul moyen capable de résoudre un problème de société ? Nous insisterons alors sur les limites de la démarche analytique afin de poser les bases d'une approche alternative, dont le cadre épistémologique est la phénoménologie.

I. 1 ENJEUX DE LA THESE

I. 1. 1 Participer à l'essor d'une certaine conception de la Géographie des Risques

L'approche, les résultats et les conclusions qui sont présentés dans cette thèse placent le travail de recherche qui en est à l'origine dans le registre de la « Géographie des Risques ». Comme tout domaine disciplinaire, cette « science » a son propre langage, ses propres codes. Pour la pratiquer, il faut employer des termes spécifiques, des notions et des concepts plus ou moins riches, intelligibles et le plus souvent imbriqués, c'est-à-dire en relation mutuelle. Avant de présenter notre principale problématique, proposer une manière simple et efficace de répondre à une demande sociale en prédiction du dommage (appliquée dans ce cas précis aux aléas littoraux), il est donc indispensable de revenir sur les points suivants : les objets d'étude de la Géographie des Risques, les questions que se posent ceux qui l'exercent et les méthodes qu'ils adoptent pour y répondre. Ce cadrage sémantique, épistémologique d'une certaine manière, passe nécessairement par la définition, au moins indicative, de ces objets, de ces méthodes.

Le risque : des composantes multiples et multifformes

Nous ne reviendrons pas sur la définition de la « Géographie », bien trop complexe à nos yeux [ce qui, au demeurant, constitue l'ultime paradoxe d'une discipline scientifique qui prétend, entre autres choses, étudier les tenants et les aboutissants de la complexité des rapports entre la Nature et les Hommes ; cf. avant-propos de la thèse], et préférons nous en tenir à l'exploration du terme « risque », en tant qu'objet d'étude scientifique. En l'occurrence, donner une définition à ce mot implique qu'il faille le faire pour une multitude d'autres termes, ses composantes en quelque sorte. Cette exigence impose également qu'il faille se résoudre à ne pas en exposer la polysémie et en rester au contexte disciplinaire qui est le nôtre, sous peine d'adopter un discours abscons, voire contradictoire.

La notion de risque est habituellement définie par les sciences sociales comme la rencontre d'un aléa et d'une vulnérabilité. En voici une illustration sommaire : pour des raisons évidentes de recherche d'une certaine proximité vis-à-vis des ressources naturelles dont elles ont besoin, beaucoup de sociétés se sont installées près d'un fleuve (l'eau comme source de vie) ou encore d'un volcan (terre fertile et donc nourricière). Ce choix comporte alors un risque, celui d'être inondé (pire, d'être noyé) ou de voir son terrain enseveli sous la lave (pire, d'être brûlé vif). La conscience de ce risque s'exprime alors à travers différents

héritages (artistiques, législatifs, urbanistiques...) et dispositifs opérationnels dont le but est de le mitiger, d'en réduire les conséquences désastreuses le jour où la catastrophe aura lieu (l'inondation, la coulée de lave). A l'inverse, pour un fleuve dont les berges ne sont pas habitées ou pour un volcan dont les pentes ne sont pas occupées, il n'y a en théorie pas de risque. Autrement dit, il n'y a de risque que si il y a une société occupant l'espace soumis à ce risque, la zone directement touchée par l'aléa (la crue, l'éruption volcanique).

La prudence nous inciterait à ne pas aller plus loin dans la démonstration, qui est certes réductrice mais présente tout de même le net avantage de faire consensus au sein de la communauté scientifique. Or, l'enjeu (l'autre élément du triptyque qui sert classiquement à définir le risque) est il nécessairement un espace voisin et occupé, qui, par extension, s'est imposé comme étant l'espace urbanisé ? On sait, par expérience, qu'une puissante éruption volcanique peut engendrer un refroidissement planétaire (exemples : Tambora, Krakatoa), en injectant des particules qui masquent la lumière du soleil et limitent sa capacité à réchauffer l'atmosphère terrestre. On sait aussi (et c'est une question devenue primordiale vis-à-vis des bouleversements climatiques actuels et futurs) qu'une légère variation de la température moyenne du globe peut avoir des conséquences dramatiques sur nos vies, en perturbant l'organisation de nos sociétés. De fait, une éruption dans un coin perdu du globe, du moins totalement inhabité (donc *a priori* sans risque si l'on en reste à la définition *stricto sensu* qui vient d'en être donnée) peut aussi s'avérer être un facteur de risque, global qui plus est (si l'on suit toujours l'essence même de cette définition mais qu'on l'élargie au système monde). On voit, d'ores et déjà, qu'à travers l'interprétation que l'on se fait de cette notion, en l'occurrence l'échelle à laquelle on place notre ordre de réflexion tout en restant néanmoins dans le cadre d'une définition de spécialiste (celle du géographe), qu'étudier les risques est une affaire délicate.

En introduction de cette thèse, nous évoquons, non sans dramaturgie, l'histoire récente de la dune littorale de Saint-Trojan (île d'Oléron), sa profonde dégradation depuis l'ouragan de 1999 ; une situation critique qui illustre avec violence une tendance au recul spectaculaire du front de dune (à raison de plusieurs mètres par an depuis environ trois décennies). Hormis en quelques points localisés visités selon une logique saisonnière, les parkings touristiques situés près du rivage, la dune n'est semble-t-il pratiquement pas investie par l'Homme. Pourtant, ses riverains en ont fait un enjeu majeur qui a le pouvoir d'infléchir le débat politique local, puisque la gestion de ce recul et les moyens mis en œuvre pour le mitiger sont critiqués en permanence. Dans ce cas précis, l'enjeu n'est plus directement lié à une

construction humaine ou un aménagement qu'il faut protéger (et *a fortiori* ses occupants) mais à un sentiment diffus, celui qui consiste à prétendre que l'on perd quelque chose qui nous appartenait. Ce quelque chose reste pourtant un élément « naturel » [l'usage des guillemets vise ici à nuancer la naturalité des lieux ; cf. présentation historique du site]. Sa disparition n'est *a priori* pas un événement qui mettrait en péril la société oléronnaise, du moins jusqu'à ce que les premières habitations ne soient concernées, en d'autres termes qu'elles soient devenues vulnérables à l'érosion marine. Or, même en cas de montée du niveau marin, cela devrait prendre du temps puisque les habitations en question sont actuellement situées à plusieurs centaines de mètres de la mer. Ici, comme dans de nombreux cas, l'enjeu est multiforme, voir multiple, puisqu'il y a en réalité plusieurs enjeux qui se combinent et que chacun d'entre eux est sujet à évoluer dans le temps. Il y a tout d'abord l'aspect affectif que nous venons de décrire, issu d'une image collective liée à l'appréciation d'un paysage, tel un patrimoine hérité d'un passé plus glorieux dont les plus jeunes ignorent l'existence. Il y a aussi les enjeux économiques induits par la dynamique littorale. La dune de Saint-Trojan n'est autre que la vitrine publicitaire de l'île. Il est clairement moins vendeur de proposer des photos de dunes taillées en falaise, où ont jonchés pêle-mêle les ganivelles de l'ONF arrachées après chaque tempête et des vestiges hérités de la Seconde Guerre Mondiale (peu attrayants et bien évidemment dangereux), qu'une image ancienne et nostalgique de leur splendeur passée. Nous touchons là un autre aspect qui [risque] de compliquer encore d'avantage l'exercice de la Géographie des Risques, savoir définir précisément ce qu'est un enjeu.

L'avènement de la transversalité

Comme nous venons de l'évoquer succinctement, cette approche fait du risque un phénomène singulier. Elle se base sur une évaluation combinée de l'occurrence d'un aléa, en couplant la fréquence et la magnitude des crues ou des éruptions volcaniques par exemple, et ses conséquences spatiales, en délimitant la zone occupée par les enjeux susceptibles d'être mis en péril (et uniquement ceux là). Pour articuler ces deux composantes, l'une inscrite dans le temps (dit « de retour ») et l'autre dans l'espace (dit « vulnérable »), le géographe (des risques) fait habituellement appel à une technique qu'il maîtrise bien, l'usage des statistiques et des probabilités. Cette démarche n'est pas exclusive et, d'une certaine manière, ne se suffit pas à elle-même. Il y a d'ailleurs d'autres manières de concevoir les phénomènes physiques [et par voie de conséquence de décrire un aléa naturel], notamment celle, analytique et déterministe, qui consiste à en décrire finement les processus et les facteurs explicatifs. Elle

appartient traditionnellement au domaine des sciences naturalistes. Sans être à l'origine destinée à faire progresser l'étude des risques, cette approche peut s'avérer utile dans cette optique car elle est pourvoyeuse de connaissances approfondies qui permettent d'en savoir plus sur l'aléa en question. Elle permet en outre d'améliorer les méthodes de quantification et donc de simuler numériquement un risque. Prenons l'exemple d'un tas de sable (un cordon littoral) qui protège une maison contre d'éventuelles inondations marines mais n'est malheureusement plus alimenté en sédiments (le célèbre « déficit chronique »). Si l'on sait combien de mètres cubes de sable sont retirés par telle ou telle vitesse de courant, on peut tenter de prédire, selon différents scénarii, combien de temps il faudra à un courant dit « moyen » pour enlever une quantité de matériel équivalente au stock de sédiment qui est nécessaire pour protéger efficacement la maison contre la mer.

Pour le géographe, la tentation est alors de vouloir s'appropriier la technique et les outils qui conditionnent la réussite d'une modélisation prédictive. Nous y reviendrons à plusieurs reprises, s'il est noble sur le principe, cet effort de transversalité [risque] aussi de nuire à la Géographie des Risques. Car il faut aussi que le géographe intègre quelles en sont les limites, à travers l'évaluation des marges d'erreurs et l'estimation de l'incertitude inhérente à la méthode et aux modèles qu'il s'approprie (ou qu'il construit). Qui plus est, cette démarche ne résout qu'une partie du problème. La véritable question est de savoir, en dernier recours, s'il faut consolider l'édifice ou procéder à une expropriation. Or, la stratégie d'aménagement, qui est avant tout une question politique, est un élément dont il n'est pas certain qu'il soit modélisable, du moins numériquement. Elle évolue constamment, soit en fonction d'un événement particulier, une tempête exceptionnelle a partiellement détruit le tas de sable et les calculs sont devenus erronés, soit en fonction du contexte social, le maire n'a pas été réélu et son successeur a décidé d'enrocher la zone si bien que les calculs n'ont servi à rien. Cela revient à définir le risque (même lié à un aléa naturel) comme un phénomène social et à concevoir la discipline qui l'étudie comme une science des vulnérabilités sociales (A. Dauphiné, 2000). Autrement dit, si il faut bien entendu développer une lecture transversale du risque qui permette de mieux en expliquer le fonctionnement, il est aussi impératif de favoriser son application dans la sphère publique, renforcer les liens qui doivent naturellement exister entre la géographie, l'aménagement et la décision politique (la notion d'intégration). C'est ce que P. Pigeon (2005) appelle la « Géographie Unifiée ». Nous nous efforcerons donc de présenter un travail émanant d'une certaine conception du risque, en suivant le(s) paradigme(s) de cette « jeune » discipline.

I. 1. 2 Répondre à une demande sociale croissante en prédiction du dommage

A travers une définition très sommaire des composantes du risque et de la manière des les étudier, nous venons de présenter un des principaux objectifs de la thèse, celui de participer à l'essor d'une discipline scientifique qui vise précisément à en explorer aussi efficacement que possible la complexité. Dans ce second paragraphe, nous nous attachons à aborder un autre concept qui contribue à enrichir le résultat de ce travail de recherche, la notion de « dommage ». Il s'agit bien sur, en premier lieu, de définir ce terme. Notre position est de montrer que le dommage est une composante tout aussi essentielle du risque, à l'instar de l'aléa, de l'enjeu et de la vulnérabilité. En ce sens, il permet de consolider notre approche, qu'il sera ensuite question d'affiner à travers la construction d'un indice relatif aux aléas littoraux. Dans un second temps, il nous paraissait essentiel de présenter un phénomène social qui dépasse largement le contexte de la thèse (la modélisation prédictive des événements morphogènes à partir d'expérimentations locales dans la Zone des Pertuis Charentais). Il s'agit de la manifestation grandissante d'une demande en prédiction du dommage, notamment ceux en liaison avec les catastrophes naturelles. La triple problématique que cela implique est finalement assez simple à formuler. D'où vient ce besoin d'être prévenu qu'un dommage est imminent ? Quels sont les individus qui en font la demande ? Par quel biais sommes nous (les scientifiques) en mesure d'y répondre ?

Le dommage, l'ultime composante du risque

Nous venons de montrer que l'estimation d'un risque doit, en théorie, faire intervenir un aléa (les crues, éruptions volcaniques et autres submersions), un enjeu (dont la nature est aussi extrêmement variable) et une vulnérabilité (le niveau d'effet prévisible d'un aléa sur les enjeux). Il y a pourtant un autre élément tout à fait indissociable, voire consubstantiel de cette dernière composante qu'il ne faut pas délaissier. Il s'agit du dommage, dont on pourrait avancer la définition générique suivante : les dommages sont les conséquences péjoratives d'un phénomène (accident, catastrophe) sur les biens (dégâts), les activités (perturbations) et les personnes (préjudices). En règle générale, ils sont quantifiés économiquement afin d'être pris en compte par les assurances.

On remarque donc, d'emblée, que cette autre composante du risque est sans doute la plus « socialement » aboutie, dans le sens où il devient alors totalement impossible d'en invoquer la propre naturalité ; ce qui est plutôt évident dans le cas de l'aléa dit « naturel » et

éventuellement envisageable pour les deux autres composantes que nous qualifierons de « classiques » (voir plus haut l'exemple de Saint-Trojan, son complexe dunaire pratiquement inoccupé mais non moins perçu comme un enjeu de société intrinsèquement vulnérable). Nous tenons aussi à souligner l'indivisibilité qui régit les relations entre le dommage et la vulnérabilité. Car, d'une certaine manière, « l'ultime composante » que nous venons de définir n'est autre que le moyen le plus tangible d'évaluer une vulnérabilité sociale. En effet, comment prétendre estimer qu'un espace est vulnérable si l'on ne dispose pas au préalable d'informations qui nous permettent de savoir comment il réagit (ou plutôt comment la société qui l'occupe réagit). Autrement dit, pour établir une stratégie d'aménagement, proposer une réponse sociale adaptée à une problématique relative à l'occurrence d'un aléa, il faut impérativement savoir évaluer son impact éventuel, sa capacité à dérégler l'organisation de nos sociétés.

La notion de dommage est donc très pertinente car elle nous donne la possibilité de disposer de valeurs quantitatives. Sur un espace donné, à travers l'expérience de précédents (l'observation et la mesure, souvent financière, de nombreux dommages), on peut établir une échelle qui détermine un degré de vulnérabilité pour classer en retour les aléas et définir des niveaux de risque. Dans un but exclusivement applicatif (comprendre au delà du simple cadre des théories et des concepts manipulés par la sphère scientifique), cette démarche à rebours est de loin la plus usitée. Pour que les propos qui vont suivre ne soient pas équivoques, nous veillerons donc à ne pas employer ce terme dans la partie consacrée à l'analyse descriptive des aléas (chapitre 4), en lui préférant le qualificatif d'« impact morphologique » (les conséquences spatiales d'une tempête sur les formes littorales que nous étudions).

Plus qu'un outil de mesure (on parle alors de degré d'endommagement), le dommage est aussi, et surtout, la résultante finale et concrète du risque. Aux yeux des scientifiques, ce n'est peut être pas l'élément le plus déterminant, celui à partir duquel ils sont conscients d'avoir pu faire progresser leur discipline (en géographie, il est beaucoup plus rare de trouver des ouvrages consacrés à cette notion qu'à celle de vulnérabilité par exemple). Et pourtant, le dommage est bien la partie la plus visible de cet ensemble de composantes qui nous permet de décrire, d'estimer, tenter d'anticiper et, finalement, mieux gérer les risques. C'est ce que tout un chacun peut percevoir, voire même ressentir physiquement lorsqu'il fait la dramatique expérience d'une catastrophe. C'est aussi par ce chemin qu'il faut passer pour mettre en œuvre le principe de mitigation. Car, en pratique, c'est bien en lui donnant les moyens de limiter les dommages qu'on réduit la vulnérabilité d'une société et non l'inverse.

La prédiction du dommage : pour qui, pourquoi, comment ?

Prenons l'exemple d'une catastrophe récente qui illustre pourquoi et comment la prédiction du dommage constitue un élément clé de la mitigation des risques dits « naturels ». Il s'agit de l'ouragan *Katrina*, l'un des plus puissants à avoir frappé les Etats-Unis et surtout l'un des plus étendus, avec un rayon de plus de 650 km, dont 190 de vents de force cyclonique (Figure 2). Après avoir connu un pic d'intensité dans le Golfe du Mexique (le cyclone est classé catégorie 5, avec une pression de 902 Hpa par 26°N – 89°W et des rafales de vent proches de 280 km/h), *Katrina* atteint la ville de La Nouvelle-Orléans le 29 août 2005 alors qu'il est rétrogradé en catégorie 3 (source NHC²). Des vagues de 10 à 15 mètres ont pu être observées près du système dépressionnaire, qui a également généré une surcote de près de 7 m à l'approche des côtes (I. Van Heerden *et al.*, 2006). Peu avant son arrivée, les services du NHC ont diffusé une alerte cyclonique sur la base de simulations confirmant jour après jour le risque qu'un phénomène majeur ne traverse dans la région (Figure 2).

Ces prévisions se sont avérées justes et elles ont fortement incité les autorités à procéder à l'évacuation de la population en raison des risques de submersion d'une partie de la ville, bâtie sous le niveau de la mer. Malgré cela, le bilan de *Katrina* est très lourd, avec officiellement 1 836 morts. Il faut remonter au 11 septembre 1965 pour lui trouver un équivalent. Il s'agit du cyclone *Betsy*, qui était également de catégorie 3. A cette époque, à la Nouvelle-Orléans, les maisons furent noyées sous deux mètres d'eau. Il y eut au total 74 morts et 60 000 sans-abri entre la Louisiane, le Mississippi et la Floride.

La catastrophe engendrée par l'ouragan *Katrina* est riche d'enseignements. Elle montre que le dispositif de prévention et de protection vis-à-vis de ce type d'événement extrême a été sérieusement mis en échec, malgré un antécédent (l'ouragan *Betsy*) et en dépit d'une très bonne prévision en ce qui concerne l'aléa cyclonique proprement dit (force et trajectoire prévues par le NHC). L'une des principales raisons de ce revers réside dans la « mauvaise » évaluation de la vulnérabilité du site, la ville de La Nouvelle-Orléans (J. W. Day *et al.*, 2007), et notamment celle des digues censées le protéger (I. Van Heerden *et al.*, 2006). Autrement dit, bien que les moyens techniques d'aujourd'hui nous permettent d'anticiper un risque, en le rendant mesurable et prévisible, et donc en théorie d'éviter une catastrophe, ces avancées sont encore insuffisantes.

² National Hurricane Center (NOAA)

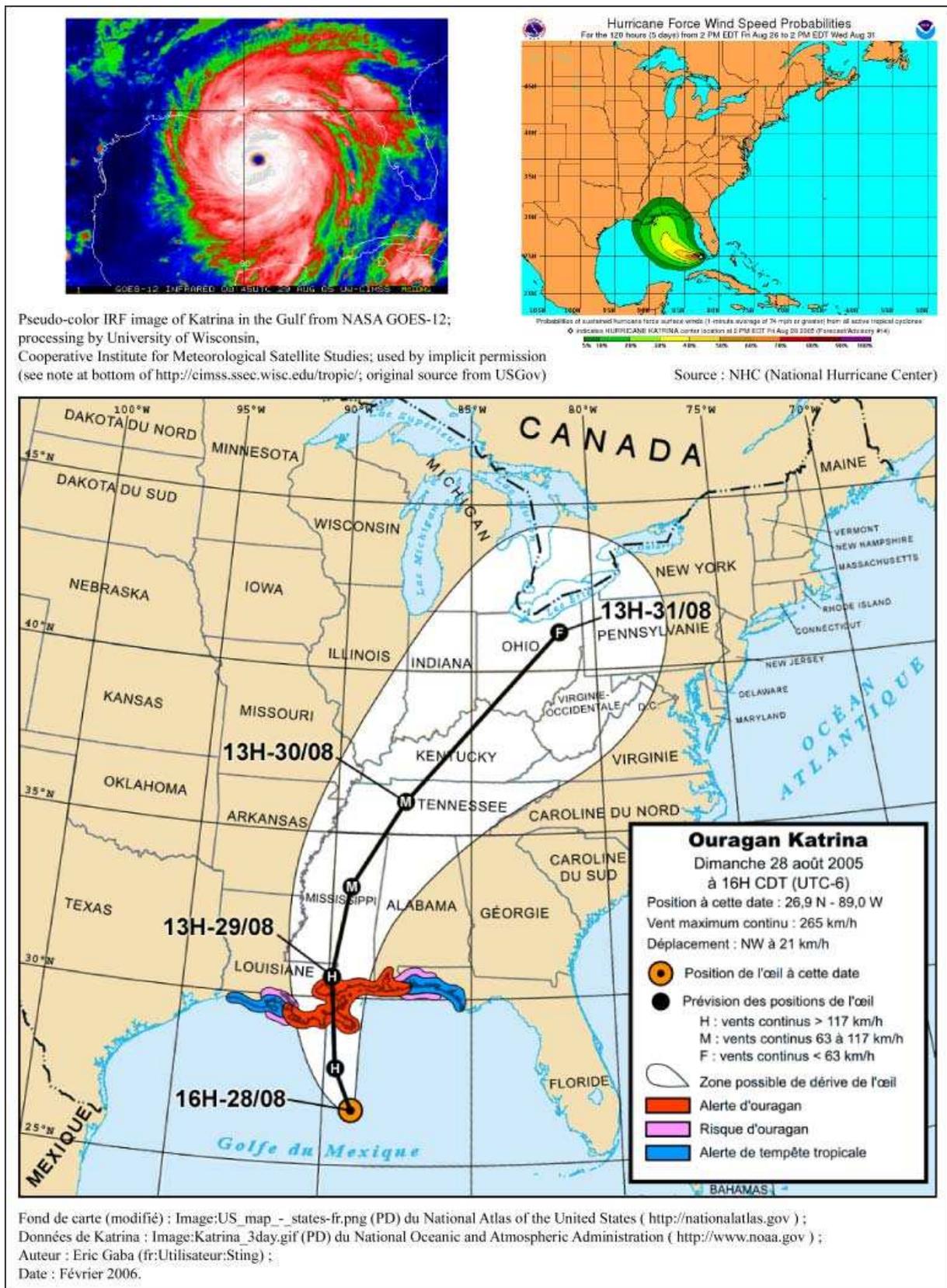


Figure 2 : Katrina, des prévisions justes et une alerte justifiée

Cet événement dramatique met en exergue des problématiques relevant des échelles d'analyse, quelles soient d'ordre spatial ou temporel. Il y a, d'une part, les délais nécessaires à la mise en place d'un dispositif de prévention (dans le cas de *Katrina*, il s'agissait d'un plan d'évacuation). Deux types de progrès sont possibles de ce point de vue : rendre le fonctionnement du système plus efficient (plus rapide) et améliorer la prévision pour se donner, en quelque sorte, plus de marge. Il y a, d'autre part, l'effet de la rareté des événements extrêmes dont il est question. Comme dans le cas de nos tempêtes extratropicales, il semble que les souvenirs du cyclone *Betsy* (quarante ans avant *Katrina*) aient été vite effacés des mémoires. Or, il y a beaucoup à apprendre des catastrophes, des échecs et des réussites du passé. Il y a, enfin, notre incapacité à décrire de manière pertinente les effets de site, à savoir trouver la résolution qui révèle le mieux les facteurs de vulnérabilité. Dans le cas de *Katrina*, les intempéries ont provoqué une surcote d'un niveau extrême. Celle-ci a pu être modélisée grossièrement à partir des effets du vent et des vagues sur la masse d'eau de mer qui a pu, ainsi, s'agglutiner près des côtes (Figure 3).

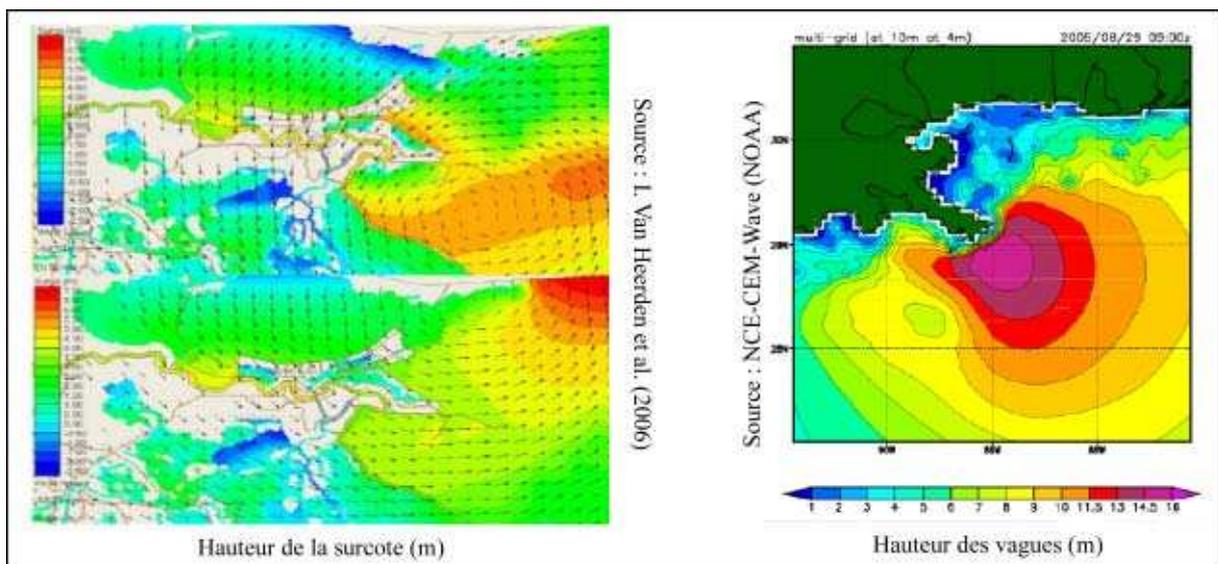


Figure 3 : *Katrina*, les facteurs d'endommagement à l'échelle régionale

Mais il s'agissait aussi, et surtout, de pouvoir anticiper la rupture d'une digue, car elle conditionne ensuite l'amplitude et l'extension de la submersion. En dehors des incertitudes inhérentes à l'évaluation de la vulnérabilité intrinsèque de l'ouvrage (seuil au-delà duquel la digue est rompue ou submergée), l'un des problèmes pour les scientifiques est de permettre l'articulation entre un phénomène occupant une surface plurikilométrique, celui que l'on qualifie traditionnellement d'aléa, et l'« épiphénomène » qu'il peut provoquer, celui qui va localement engendrer un dommage (Figure 4).

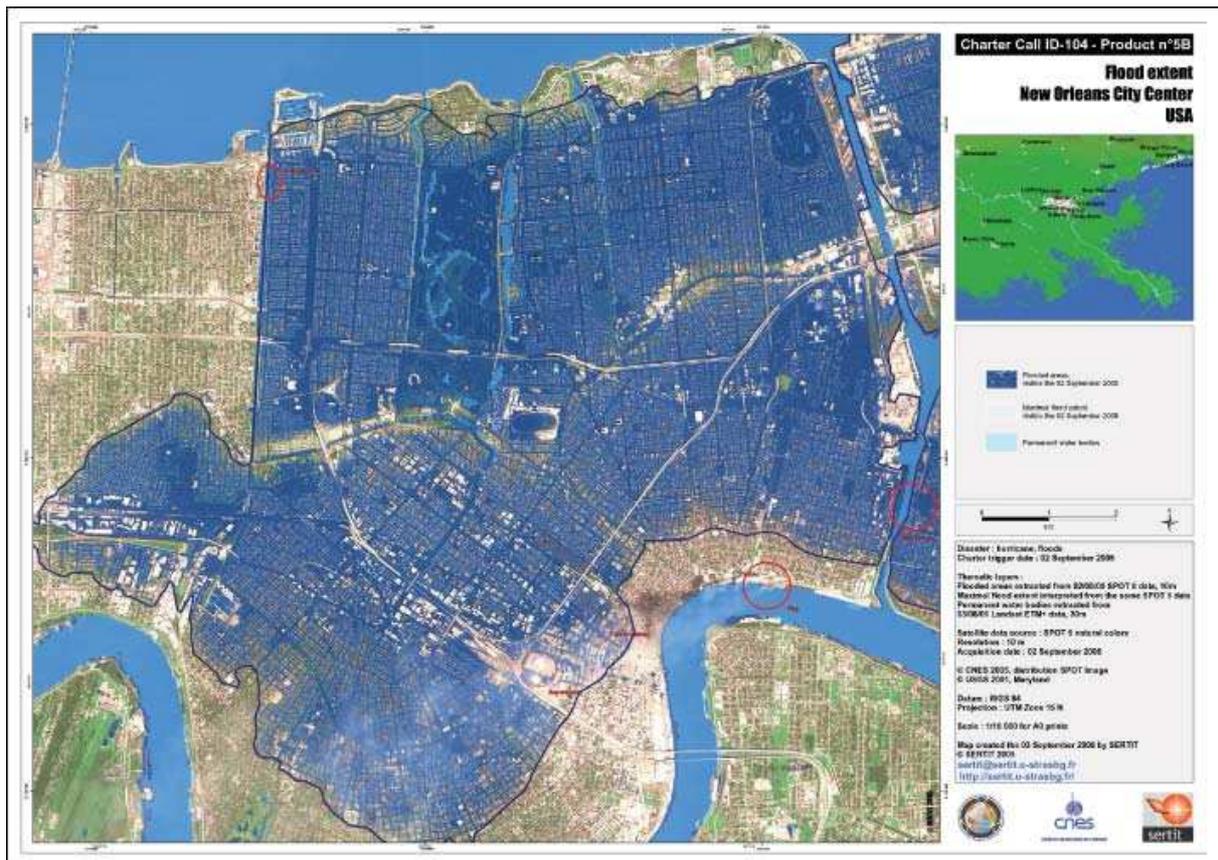


Figure 4 : *Katrina*, les facteurs d'endommagement à l'échelle locale

Les cartes de zones inondables ci-dessus ont été produites en temps quasi-réel par le SERTIT (Service Régional de Traitement d'Image et de Télédétection, Strasbourg) pendant *Katrina*. En dépit d'une extrême finesse, leur publication s'est avérée trop tardive pour inciter la population à fuir l'imminence du danger. Ce hiatus entre la qualité des simulations que les experts sont techniquement capables de proposer et la nature de l'information qui parvient à la population est un problème de taille. Il pousse les scientifiques à se questionner sur les méthodes qu'il faut adopter en matière de gestion des risques. Le perfectionnement des productions numériques (les cartes mais aussi tout autre type de document décrivant les phénomènes dangereux) en est une étape indispensable. Il n'en demeure pas moins que, dans les faits, les modalités d'actions qui sont à entreprendre ne sont pratiquement jamais du ressort de leur auteur et passent par une sorte de filtre à l'interprétation personnelle des individus qui en ont la charge. Si le document proposé est trop complexe, il ne sera pas forcément plus efficace. Une carte contenant un grand nombre de paramètres superposés, qui plus est enrichis de valeurs quantitatives très précises, est scientifiquement plus juste qu'un chorème. Mais en pratique, elle n'est pas forcément plus utile et peut même générer de l'incertitude chez le lecteur non éclairé.

Ainsi par exemple, un marin chevronné, bien qu'il dispose gratuitement sur Internet de cartes de vagues, de vent, de houle, de probabilité de déferlement ou autres courants liés à la marée, s'en référera en priorité aux bons vieux bulletins côtiers utilisant l'échelle de Beaufort (Tableau 1), une graduation vieille de plus d'un siècle (autour de 1905) que nous devons à l'amiral anglais du même nom. Pourquoi ? Parce que, tout d'abord, cette échelle lui semble « parlante » ; autrement dit, elle est simple à interpréter. Ensuite, parce que les marins ont l'habitude de l'employer ; elle leur permet d'opérer aisément une sorte de va-et-vient entre la valeur numérique (initialement celle du vent en différentes unités possibles que la graduation en « Force » permet de simplifier par un seul chiffre) et leur propre expérience, les conditions qu'ils vont rencontrer quand ils naviguent sur une zone bien précise. Sur terre, l'échelle de Beaufort, qui peut sembler simpliste à l'heure où l'on construit des algorithmes sensés décrire le climat mondial à l'échelle séculaire, est même littéralement construite sur la base des dommages engendrés par le vent. Cet exemple montre une nouvelle fois en quoi cette notion de « dommage » est primordiale pour évaluer un danger potentiel, autrement dit un risque.

Force	Définition	Nœuds	m/s	km/h	Effets sur terre	Effets sur mer
8	COUP DE VENT	34-40	17,2-20,7	62-74	Le vent casse des rameaux. La marche contre le vent est généralement impossible.	Les lames atteignent une hauteur moyenne et sont plus longues. Tourbillons d'embruns qui se détachent des crêtes des lames. Traînées blanches d'écume.
9	FORT COUP DE VENT	41-47	20,8-24,4	75-88	Les parties saillantes des bâtiments subissent des dommages. Le vent arrache les tuyaux de cheminées et endommage les toitures.	Grosses lames. Épaisses traînées d'écume. Les crêtes des lames commencent à déferler. Visibilité réduite par les embruns.
10	TEMPETE	48-55	24,5-28,4	89-102	Rarement observé à terre. Les arbres sont déracinés et les habitations subissent d'importants dommages.	Très grosses lames déferlantes. Écume en larges bancs formant des épaisses traînées blanches. Surface de la mer entièrement blanche. Visibilité réduite.
11	VIOLENTE TEMPETE	56-63	28,5-32,6	103-117	Très rarement observé à terre. Ravages étendus.	Lames déferlantes exceptionnellement hautes (les bateaux de petit et moyen tonnage peuvent se perdre de vue). La mer est entièrement couverte de bancs d'écume blanche étendus dans la direction du vent. Visibilité encore plus réduite.
12	OURAGAN	64-71	32,7-36,9	>118	En principe, degré non utilisé. Ravages désastreux.	Lames déferlantes énormes. L'air est plein d'écume et d'embruns. La mer est entièrement blanche d'écume. Visibilité nulle.

Tableau 1 : L'échelle de Beaufort, une graduation de l'endommagement

Face à un problème complexe, il n'est donc pas évident qu'une réponse elle-même complexe, du moins sur la forme, soit la meilleure solution. Le récit suivant nous permet de repousser volontairement les limites de ce raisonnement. Le 26 décembre 2004, un tsunami d'une ampleur sans précédent (au moins à l'échelle de nos sociétés modernes) a dévasté une grande partie des littoraux d'Asie du Sud-Est, faisant plus de 200 000 morts. Il s'agit donc d'une super-catastrophe (J. Charbonnier, 2004). Cette surélévation du niveau marin, ou *Run-up*, dépassait localement 15 m à proximité de l'épicentre du séisme qui en était à l'origine. Au large des côtes birmanes, parmi les secteurs les plus exposés, les îles Andaman et Nicobar sont particulièrement touchées. Ces îles sont peuplées par les tribus des Jarawas et des Sentinalais, ainsi que, ponctuellement, par les anthropologues qui les « étudient ». *A priori*, compte tenu de la magnitude de l'événement et de ce que l'on pourrait appeler péjorativement la « précarité » des autochtones, on pouvait craindre que ces tribus ne soient tout simplement rayées de la carte (aujourd'hui, les Jarawas ne sont plus que 270). Et pourtant, les îles Andaman et Nicobar affichent un bilan étonnant de zéro victime. Les membres de l'une de ces tribus ont expliqué que, voyant la mer se retirer, ils ont su qu'il leur fallait se réfugier sur les hauteurs. Ils l'ont su parce que, transmise oralement de génération en génération, la légende dit que la terre et la mer se disputent leur territoire, que la mer peut parfois prendre son élan pour gagner une bataille. Les Jarawas et les Sentinalais donnent là une leçon de ce que l'on qualifie en occident de « culture du risque » ; une chose qui a certainement fait défaut à l'autre bout du monde avant l'arrivée de *Katrina* et dont le principal facteur de réussite est la sensibilisation.

L'anthropisation du littoral, la source de tous les maux ?

On a coutume de lire que les risques (notamment « naturels ») se sont récemment multipliés, en particulier dans les zones côtières. Sans entrer dans le débat qui consiste à rétorquer que la tendance haussière de ce bilan purement comptable peut en partie s'expliquer par la médiatisation croissante des catastrophes, il existe indéniablement un facteur social aggravant. Il s'agit de la multiplication des enjeux sur cet espace sensible, elle-même directement liée à son urbanisation. Les quelques ressources démographiques qui suivent sont éloquentes. Près de 40 % de la population mondiale vit sur le littoral, à savoir à moins de 60 km des côtes. Les Nations Unis prévoient même qu'en 2010, 80% des hommes habiteront sur une bande côtière de 100 kilomètres. En Bretagne, cette proportion a déjà été atteinte en ce qui concerne une bande large de seulement 30 km. Un rapport de l'OCDE (Nicholls *et al.*, 2008), sur la base d'une étude effectuée sur 136 villes portuaires, estime qu'environ un

habitant sur dix de ces villes était déjà en 2005 exposé aux inondations côtières centennales, que ce nombre pourrait être multiplié par 3 à l'horizon 2070 et atteindre un total de 150 millions de personnes à l'échelle mondiale. Bien entendu, l'anthropisation du littoral n'est pas un fait nouveau. Beaucoup de peuples, de par la richesse de ce milieu, sont depuis longtemps tournés vers la mer. Sur les conseils d'E. De Martonne, E. Robert (1904) proposait il y a déjà plus d'un siècle une étude entièrement consacrée à la répartition extrêmement déséquilibrée de la population bretonne. Il observait à l'époque que près d'un tiers des Bretons vivaient à moins de 2 km de la mer. Ce phénomène ancien, tout à fait légitime en de nombreuses régions du globe, devient un véritable problème dès lors qu'il y a surpeuplement littoral. Indépendamment des aléas (qu'ils soient plus ou moins intenses et fréquents), les densités sont telles qu'elles impliquent une concentration des enjeux très difficile à gérer et par voie de conséquence une mise en vulnérabilité des populations les plus exposées.

Reprenons l'exemple du tsunami du 26 décembre 2004. Certes, il s'agissait d'un séisme d'une magnitude exceptionnelle (de 9,1 sur l'échelle ouverte de Richter), à l'origine de la formation d'une onde tout aussi remarquable. Néanmoins, historiquement jamais un événement de ce type n'avait été aussi meurtrier. Le très lourd bilan humain constaté dès les premières heures qui ont suivi la catastrophe s'explique en grande partie par le fait que le tsunami ait atteint une zone de peuplement particulièrement dense où les infrastructures étaient clairement peu adaptées. Les Japonais par exemple, plus coutumiers du fait, ont procédé à la construction de nombreux ouvrages de défense et disposent depuis longtemps d'un réseau d'observation particulièrement performant ; ce qui n'était pas le cas en bordure de l'Océan Indien jusqu'à la catastrophe du 26 décembre 2004.

Cette illustration, ainsi que celle du cyclone *Katrina*, nous permettent enfin d'introduire un élément qui nous paraît essentiel pour le perfectionnement des procédures de mitigation des risques en zone littorale. Les processus à l'origine de la survenue de ces deux catastrophes sont *a priori* radicalement différents. Pour l'un, il s'agit d'un tremblement de terre. Pour l'autre, il s'agit de la formation d'une tempête tropicale. Malgré ces différences, les dommages occasionnés dans certains secteurs sont dans les deux cas liés à des phénomènes plus ou moins localisés de submersion marine. En France, cette spécificité propre aux côtes basses n'est pas mentionnée sur les cartes de vigilance (Météo-France), à l'instar du risque d'avalanche pour les départements de montagne. Notre objectif est, aussi, de participer à la construction d'une méthodologie visant à intégrer les aléas littoraux dans les procédures de mise en alerte sur le territoire national.

I. 2 LA MODELISATION PREDICTIVE D'UN ALEA COMPOSITE OU L'ILLUSION DES CHIFFRES

I. 2. 1 Qu'est-ce qu'un aléa composite ?

Sur les littoraux, les processus qui sont à l'origine des phénomènes érosifs peuvent se combiner pour créer des aléas « composites » (H. Regnauld *et al.*, 2004b). Ces processus ont un fonctionnement qui peut être décrit par des équations et sont, en ce sens, des événements physiques. Mais, s'ils ont bien une composante naturelle, ils ont aussi, pour nombre d'entre eux, été modifiés par l'anthropisation. Que ces modifications soient intentionnelles ou non, directes ou indirectes, cet ensemble d'interactions pousse ceux qui étudient les risques associés aux aléas « naturels » à considérer qu'ils ne sont pas exclusivement naturels (P. Pigeon, 2002). Cette part d'anthropisme résulte sur des phénomènes dont le déclenchement est certes naturel mais dont l'évolution est localement liée à l'action humaine.

L'implication des faits anthropiques dans l'évolution des littoraux était encore débattue il y a peu. Ainsi par exemple, P. Lacoste (1990), présentant les résultats d'une analyse photogrammétrique, atteste d'une importante progradation des pointes la Fosse et de la Fromentine, situées de part et d'autre du détroit (le Goulet) qui sépare l'île de Noirmoutier au continent. R. Paskoff (1989) avait déjà expliqué que ce phénomène était lié au travail de la dérive littorale, qu'il s'agissait d'une redistribution des sédiments perdus au niveau de la plage de la Barbâtre (Noirmoutier). Mais P. Lacoste a aussi constaté que cette évolution s'était considérablement accentuée depuis la construction du pont de Noirmoutier, depuis 1971. Cette avancée lui a permis d'enrichir l'interprétation de cette dynamique, en postulant que les six piliers du pont ralentissent les courants de jusant dans le Goulet et offrent à cette zone une plus grande propension à accumuler les sédiments. Dans la dernière réédition de sa thèse, F. Verger (2005) nous dit d'ailleurs que « *la géographie physique, domaine central [du] volume, [y] reconnaît l'action humaine comme agent majeur* ». Ayant comme sujet les marais maritimes, pour certains poldérisés, il est tout à fait logique que l'auteur ait pu constater combien la multiplication des endiguements, des remblaiements et barrages, l'intensification des dragages et du drainage ont pu conduire à produire du territoire. Nous pensons qu'il existe des liens pouvant être aussi étroits (et avérés) au sein de milieux *a priori* moins propices à la manifestation d'interaction aussi fortes entre Nature et Société, comme sur les dunes littorales par exemple.

Ainsi, au delà de la question de l'origine de leur morphogénèse, dont une partie variable est directement liée au facteur anthropique (détail en chapitre 3), le fonctionnement actuel des cordons littoraux qui composent nos sites expérimentaux est largement influencé par les pratiques de leurs riverains et par les aménagements qui y sont conduits.

La Belle-Henriette se situe en marge de concessions mytilicole, où sont cultivées des moules de bouchots (sous l'appellation « La Charron »). Les bouchots se présentent sous la forme de pieux de bois plantés dans le sol (Figure 5) et occupent une grande partie de l'estran entre la Tranche-sur-Mer et l'Aiguillon-sur-Mer, la frange orientale du Pertuis Breton. Dans des proportions bien évidemment différentes, ils produisent un effet assez proche de celui décrit par P. Lacoste à propos des piliers du pont de Noirmoutier. Selon une étude menée par le LCHF (1987), les bouchots impliqueraient une diminution sensible de la vitesse des courants (dérive littorale), qui serait paradoxalement plus élevée dans les secteurs les plus à terre, là où leur densité est moindre.

Sur la plage de Vert-Bois, des piquets d'une autre nature ont été placés entre 2002 et 2007 sur le haut de plage, pour tenter de fixer le trait de côte (Figure 5). D'une certaine manière, cette opération a temporairement « dérégulé » les processus de transfert sédimentaire qui s'y sont manifestés, en induisant notamment une accélération des mécanismes d'aggradation du haut de plage. Nous reviendrons un peu plus tard sur les conséquences de cet aménagement à travers un bilan critique.

A Marennes-Plage, l'influence du facteur anthropique est encore plus manifeste. Il s'agit d'un cordon artificiel, qu'il faut maintenir artificiellement. Ce cordon repose sur un estran vaseux et pratiquement plat. Son entretien consiste à remodeler régulièrement sa face externe pour en accentuer la pente (Figure 5). La plupart des modèles physiques qui nous permettent de décrire les processus érosifs font intervenir des variables telles que le diamètre médian du sédiment (D_{50}) et la pente moyenne de la plage ($\tan\beta$). Ces valeurs centrales visent à faciliter la simulation du transport sédimentaire. Mais l'emploi de telles valeurs n'est vraisemblablement pas adapté à un cas comme Marennes, où une topographie relativement atypique est maintenue par l'Homme et où la sédimentologie est loin d'être homogène en tout point de la plage (les opérations successives de reprofilage résultent sur un mixage entre du matériel vaseux récupéré sur l'estran et des sables de natures diverses extraits au large). Il est donc légitime d'émettre quelques réticences à employer des modèles numériques qui, dans un contexte aussi peu favorable, auraient beaucoup de mal à être appliqués.



Figure 5 : Le littoral et sa dimension anthropique

I. 2. 2 Par définition, un modèle ne peut pas tout prévoir

Il existe de nombreux modèles visant à décrire les processus d'érosion induits par les événements violents, comme par exemple les tempêtes, dont le principal effet est qu'elles engendrent une surélévation du niveau local de la mer. Il s'agit pour leurs concepteurs de calculer le *Run-up*, le niveau (vertical) maximal atteint par les vagues au-dessus du niveau théorique de la mer. Dans ce domaine, une des équations les plus simples et les plus fréquemment utilisées est celle de P. Ruggiero *et al.* (2001). Ces derniers ont proposé un modèle d'érosion en combinant la valeur maximale du *Wave run-up* et la surcote provoquée par la marée de tempête pour les comparer aux caractéristiques morphologiques des rivages (hauteur du pied de dune, profil de la plage...). Le principe de ce modèle d'érosion est relativement simple : si le *run-up* total atteint l'altitude du pied de dune, les conditions sont réunies pour que la dune soit érodée et le phénomène sera d'autant plus important que cette configuration perdurera (Figure 6, Equation 1).

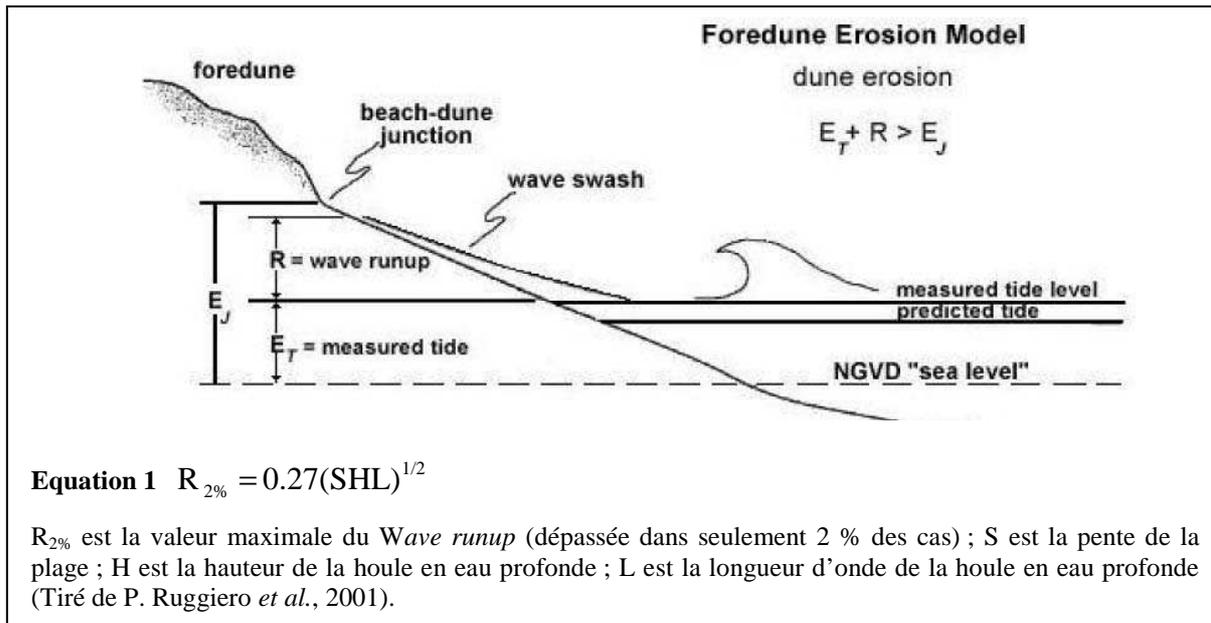


Figure 6 : Principe et exemple de formulation du Run-up

A des fins prédictives, ce type d'équation présente toutefois de nombreux inconvénients. En outre, cela suppose qu'il faille connaître la position exacte du pied de la dune juste avant la tempête, pour savoir s'il sera réellement atteint par le jet de rive (*wave swash*). Cela demande également à ce que la pente de la plage, qui varie constamment dans le temps et dans l'espace, soit mesurée avec une grande précision. Enfin, ce type de modèle nécessite de déterminer finement le niveau maximal de la mer atteint pendant la tempête, qui est lui-même le résultat d'un grand nombre de processus interactifs et dépend de facteurs variés tels que les conditions météorologiques locales, la temporalité d'une conjonction entre la marée de tempête et la marée gravitationnelle, la morphologie du rivage (effet de site)...

Nous avons testé cette équation à l'occasion de la tempête *Klaus*, qui a durement touché l'Aquitaine le 24 janvier 2009. Les mesures ont été réalisées sur la plage de Vert-Bois (île d'Oléron). Comme elle présente un profil dissipatif ($\tan \beta$ de 0.02), cette plage se prête assez bien à l'expérimentation de la formule de P. Ruggiero *et al.* (2001), tout spécialement calibrée pour ces environnements précis. Les relevés topographiques requis pour les calculs ont été effectués avant (22 janvier) et après (27 janvier) cette période de forte agitation, dont la tempête *Klaus* ne constitue que le paroxysme. Entre temps, les conditions météorologiques ne permettaient pas de réaliser des mesures dans de bonnes conditions, sans risquer d'obtenir des données inexploitable ou, pire encore, de dégrader le matériel prévu à cet effet. Les différents éléments qui interviennent dans le paramétrage du modèle ont été acquis *a posteriori* aux points de mesure les plus proches : le niveau d'eau prédit à la Pointe de

Gatseau (SHOM), la pression atmosphérique au port de La Rochelle (Météo-France), les hauteur et période de la houle au large immédiat d'Oléron (réanalyses du NCEP³). En comparant les résultats de ce travail de modélisation avec celui des mesures *in situ*, nous nous sommes aperçu que le modèle avait semble-t-il sous-estimé le *Run-up* total durant les marées hautes des 23 et 24 janvier, tout particulièrement durant celle pendant laquelle la tempête *Klaus* est passée sur la région. Des photos réalisées le 25 janvier montrent que le pied de la dune a connu un abaissement significatif et plus précoce que ce que les résultats chiffrés ne permettent d'interpréter (Figure 7).

Nous avons émis une première hypothèse qui consiste à penser que le modèle de P. Ruggiero *et al.* (2001) omet un facteur essentiel : les conséquences engendrées localement par le fort vent d'afflux associé au passage de la dépression. Même si la Charente-Maritime a été relativement épargnée par l'ouragan (rafale maximale de 120 km/h au sémaphore de Chassiron), le vent a pu amplifier encore d'avantage la marée de tempête et interagir avec la morphologie du littoral, en accumulant la masse d'eau vers le littoral. Selon le MetOffice, c'est un des éléments majeurs qui explique la submersion historique de 1953 et son aspect dévastateur aux Pays-Bas. Afin de restituer ce rôle indirect du vent, nous avons simplement ajouté un paramètre à la formule initiale, le *Wind set-up*, pour la compléter et optimiser le résultat numérique. Nous avons opté pour l'équation d'E. Einarsson et A. B Lowe (1968). Testée sur un lac (Winnipeg), cette formule (Equations 2) n'est peut-être pas la plus appropriée pour des expérimentations menée sur un littoral océanique, mais elle présente l'avantage de pouvoir estimer le *Wind set-up* (ΔH) à partir d'une relation linéaire fonction du carré de la vitesse du vent (V , en $m.s^{-1}$), elle même pondérée par la direction du vent (ω) ; pondération que nous avons simplifiée par le rapport suivant : une valeur positive pour un vent d'afflux et négative pour un vent de reflux. Nous l'avons calculé à partir d'enregistrements des vitesse et direction du vent moyen à La Rochelle (Météo-France).

Equation 2 $\Delta H = 0.1707 + 0.00349V_{\omega}^2$

L'intégration du *Wind set-up* (Figure 7) permet en apparence d'obtenir des résultats plus réalistes que la formule simplifiée de P. Ruggiero *et al.* (2001). Mais ce complément de paramétrage n'est qu'une illusion. Il ne répond que partiellement à la problématique qui nous est posée et dont une partie importante est directement liée à un problème d'ordre logistique.

³ National Center of Environmental Prediction

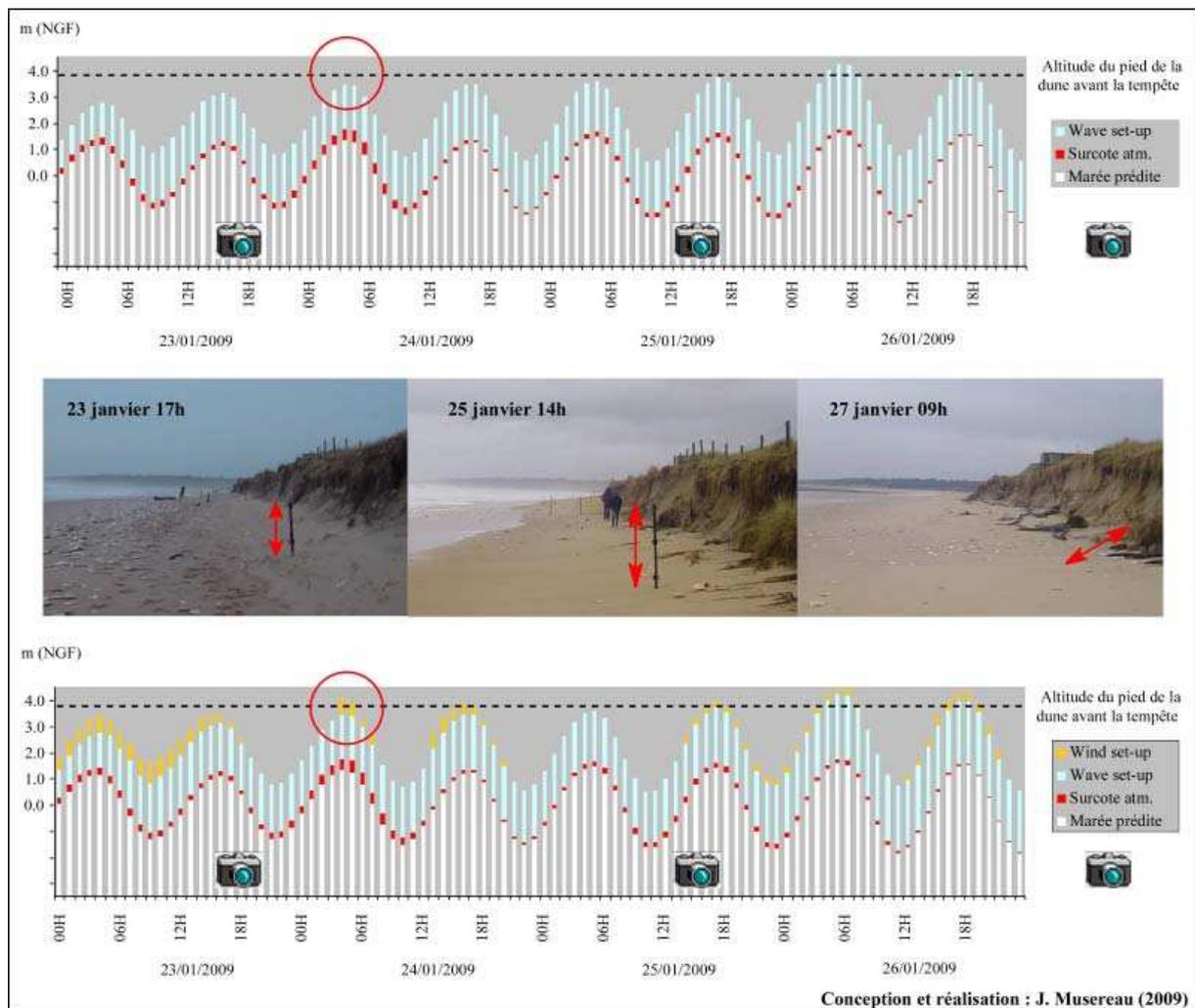


Figure 7 : Le modèle de *Run-up*, un paramétrage insuffisant

En effet, au-delà de l'imprécision intrinsèque du dispositif de mesure, la marge d'erreur des appareils conçus pour les levés topographiques (elle est d'environ 20 cm en z pour un système DGPS), notre seconde hypothèse est directement liée à l'impossibilité matérielle d'effectuer des relevés pertinents. Dans ce cas précis, ceux-ci nous auraient permis de constater que le pied de dune s'était abaissé dès le 24 janvier et peut-être révélé que la pente de la plage avait aussi changé. En ce sens, de l'information a été perdue. L'incertitude qui en découle peut avoir une incidence majeure sur les résultats finaux. Par la suite, la mer a logiquement pu attaquer plus facilement le front de dune puisque le point de référence qui définit le passage d'un état résilient (le *Run-up* total n'atteint pas le pied de la dune) à celui d'un site en érosion (le seuil est dépassé) a évolué entre temps. Selon nos estimations visuelles, ce niveau critique aurait perdu au moins 50 cm avant que les plus fortes valeurs de *Run-up* ne soient enregistrées, durant la nuit du 25 au 26 janvier (Figures 7 et 8).

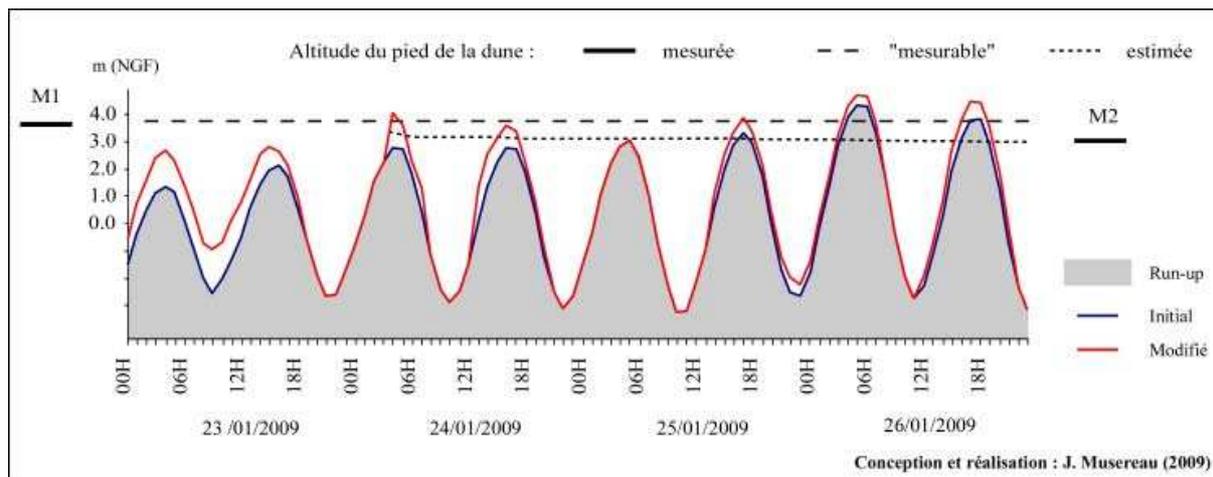


Figure 8 : Le modèle de Run-up, des données manquantes

Dans ces conditions, et sachant qu'il aurait été calibré avec des données de simulation pour être appliqué dans un but prédictif, par définition moins précises que les mesures réelles qui nous ont servi à cette démonstration, une remise en cause de la véracité des chiffres que proposent ce type de modèle nous paraît indispensable. Bien qu'il s'agisse ici de critiquer une formule qui se veut volontairement épurée, notre postulat est de penser que tout modèle, aussi perfectionné soit-il, ne peut répondre intégralement à une problématique aussi riche que celle qui consiste à tenter de prédire les phénomènes d'érosion du littoral.

I. 2. 3 L'insuffisance des réseaux d'observation : un problème récurrent

Comme le montre la démonstration qui précède, la plupart des auteurs préfèrent utiliser un seul facteur de forçage et ses possibles variantes pour prédire l'impact des tempêtes. En général, il s'agit des caractéristiques des houles, leur hauteur significative et/ou leur période en fonction de la durée pendant laquelle celles-ci affectent le littoral (D. P. Callaghan *et al.*, 2009). Le calcul du *Wave Power* (Equation 3) en est un autre exemple. Il est souvent invoqué pour décrire le fonctionnement des plages dominées par les houles ; ce qui, de surcroît, n'est pas le cas de tous les littoraux.

Equation 3
$$P = \frac{\rho g^2 T H^2}{32\pi}$$

P, puissance des houles (*Wave Power*) en $W.m^{-1}$ et par crête de vague ; ρ , densité de l'eau ($1.025 kg.m^3$) ; g, accélération gravitationnelle ($9.8 m.s^{-1}$) ; T, période en seconde des vagues ; H, hauteur en mètre des vagues.

Malheureusement, l'information relative aux houles n'est pas forcément disponible en tout point du globe. Ce problème a d'ailleurs été soulevé par Dolan et Davis (1992) quand ils ont mis au point et testé leur indice d'érosion (voir I. 4). En ce qui nous concerne, cette insuffisance de données est particulièrement prégnante car les points de mesure sont trop éloignés pour caractériser correctement le régime des houles qui affectent les côtes de la Charente-Maritime (Figure 9). Dans le cadre de ce doctorat, l'implantation d'un houlographe non directionnel entre les îles de Ré et Oléron, fonctionnant de façon discontinue depuis 1999 et pratiquement abandonné depuis 2005, ne nous a été d'aucune aide. Pour contourner ce problème, une méthode consiste à optimiser la résolution spatiale des données de simulation en provenance du large, en les couplant à des modèles numériques de terrain (bathymétrie des petits fonds). Des résultats satisfaisants peuvent être obtenus sur des sites exposés et dont les fonds sont réguliers, mais le découpage du rivage des Pertuis Charentais rend cette tâche difficile. Pour différentes raisons techniques et financières, nous n'avons pas eu la possibilité de développer un tel outil au niveau des localités qui nous intéressent.

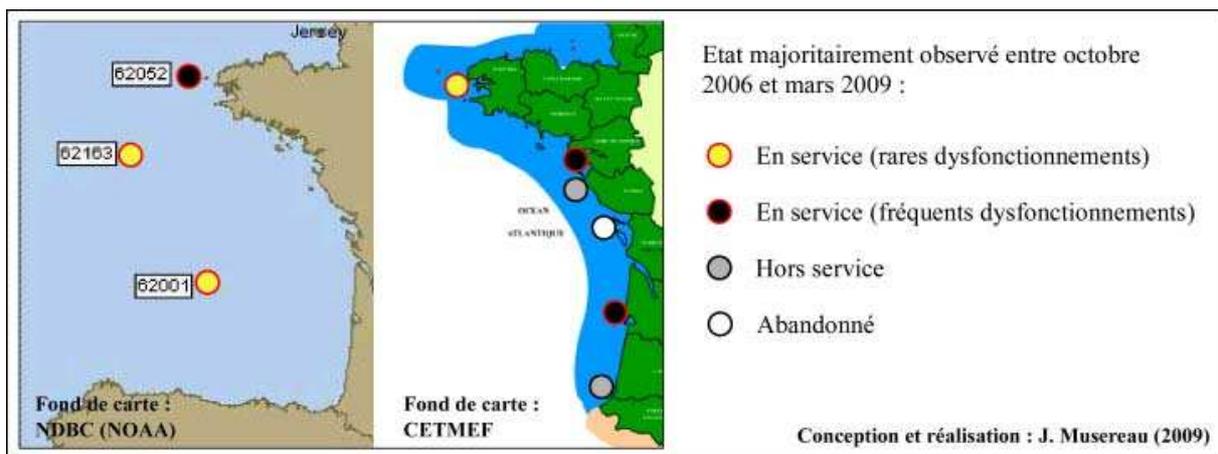


Figure 9 : Les houlographes dans le Golfe de Gascogne, un réseau discontinu

Enfin, il arrive parfois que les valeurs que nous enregistrons, qu'elles soient simulées ou observées, ne correspondent pas à la période des houles incidentes mais à celle de la mer du vent. Lorsqu'une tempête intervient, le fort vent (de mer la plupart du temps) génère également des houles courtes qui se surimposent à la houle primaire, temporairement masquée dans les sorties numériques. De même, lorsqu'un houlographe mesure plusieurs trains de houle, une mer croisée, les périodes enregistrées en sont perturbées et s'avèrent souvent plus réduites que celle de la houle qui déferle au rivage. Cette difficulté d'obtenir des valeurs « réalistes » pour la période des houles peut avoir de lourdes conséquences sur les calculs du *Wave Run-up* ou du *Wave Power*.

I. 3 LES LIMITES THEORIQUES ET PRATIQUES DE L'APPROCHE ANALYTIQUE

I. 3. 1 Des concepts critiquables et déjà critiqués

Les modèles analytiques de transfert sédimentaire, fréquemment utilisés en aménagement du littoral, décrivent des processus. Par contre, ils n'ont pas le pouvoir d'analyser la réponse morphologique des sites aux processus tels ceux générés par une tempête (courants sagittaux, transfert éolien, ...). Jusqu'à présent en effet, ces modèles ne répondent que très partiellement à la question suivante : pourquoi, à forçage équivalent, sur des sites similaires et parfois sur le même site, peut-on observer plusieurs types de réponse morphologique ? La logique actuelle voudrait que la recherche d'un idéal de précision (une meilleure résolution spatiale et/ou temporelle, une multiplication des paramètres) soit la seule manière de régler la question. Nous verrons ici, à travers la critique des théories à partir desquelles ces modèles sont construits, les dérives possibles et les contradictions de l'approche analytique vis-à-vis de la recherche appliquée, en quoi des alternatives sont pourtant envisageables.

La plupart des modèles analytiques, le plus souvent numériques et déterministes, reposent sur le concept de profil d'équilibre, dont il existe de nombreuses paramétrisations. R. G. Dean (1991) en a proposé une formulation générale (Equation 4), où h est la hauteur de la colonne d'eau, y la distance à la côte et A un paramètre scalaire qui dépend des caractéristiques du sédiment (en général le diamètre moyen du grain) et d'une variable n associée à la forme du sédiment :

Equation 4 $h = Ay^n$

Selon cette équation, l'évolution du profil d'une plage serait essentiellement due à celle des caractéristiques des grains de sable qui la composent. A partir de mesures systématiques, B. D. Moore (1982) a constaté que le paramètre A est proportionnel à $d_{50}^{1/3}$ (d_{50} étant le diamètre moyen des sables) mais qu'il dépend aussi d'autres facteurs tels que le climat des houles, les variations du niveau de la mer, les courants côtiers... Ceux-ci participent nécessairement à l'évolution du profil de plage. Mais ils sont également très changeants. Dans ce contexte, il est donc préférable de parler d'équilibre dynamique du profil. Selon ce même concept, la distribution spatiale des matériaux dans le profil suit théoriquement une logique de triage en fonction de la granulométrie et des conditions de forçage (P. McLaren et D. Bowles, 1985).

Or, malgré des avancées notables dans la prise en compte des échanges longitudinaux (G. Masselink, 1992), cette distribution théorique ne se vérifie pas toujours dans les faits. Le concept de profil d'équilibre est donc fortement discutable et critiqué depuis longtemps (O. H. Pilkey *et al.*, 1993). La célèbre « règle de Bruun » repose également sur le principe de profil d'équilibre. P. Bruun s'exprime en ces termes à propos de ses propres travaux et de ceux de R. G. Dean (1991) :

« Nos hypothèses doivent être considérées plutôt comme académiques et non applicables en l'état dans une réalité tridimensionnelle et tout à fait irrégulière. Si elles donnent les mêmes résultats, ce peut aussi être accidentel (...) Son comportement (en parlant du profil) pourrait d'ailleurs être mieux décrit, notamment avec l'apport d'une approche statistique qu'uniquement en terme physique. » (Traduit de P. Bruun, 1992).

De la notion de profil d'équilibre découle aussi celle de profondeur limite (*The River Sand Model*). Il s'agit d'une profondeur théorique qui sépare une zone active du point de vue sédimentaire, à proximité du littoral, d'une autre, au large, presque inactive au regard de la dynamique de la plage. Selon la théorie du profil d'équilibre, il ne peut y avoir d'échange entre ces deux zones. Il est désormais largement démontré qu'il existe des courants suffisamment puissants pour charrier des sédiments bien au-delà de cette frontière théorique (Wright *et al.*, 1991 ; A. Héquette, 2001...). Dès 1988, J. W. Snedden *et al.* ont pu relever grâce à l'emploi de plusieurs courantomètres des vitesses suffisantes pour le transport à des profondeurs nettement supérieures à celles prévues par le calcul.

Notre objectif n'est pas de remettre en question la pertinence des modèles déterministes, qui restent de puissants outils d'aide à la décision. Cependant, nous partageons l'hypothèse de D. P. Callaghan *et al.* (2008) : il y a des cas où la démarche probabiliste est plus adaptée aux réalités du terrain. La variabilité des comportements observables est à mettre en relation avec des facteurs multiples (d'ordre dynamique, géologique, sédimentaire, spatial, temporel et parfois en raison d'une forte influence du facteur anthropique), dont certains sont très difficiles, voir impossibles à décrire de manière analytique. E. Thieler *et al.* (2000) ont déjà proposé une révision presque exhaustive des conditions que la plupart des modèles numériques ne peuvent respecter ou seulement partiellement, en regroupant ces imperfections en cinq classes.

1) *La pauvreté des hypothèses et les importantes omissions dans la formulation du modèle* ; sachant qu'un modèle ne pourra jamais reproduire fidèlement la réalité, les approximations locales, même à très court terme sont inévitables, tout particulièrement dans le cas de la simulation des conditions de mer (S. A Sannasiraj *et al.*, 2005).

2) *L'utilisation de relations dont la validité est discutable pour la prévision des réponses morphologiques à un forçage physique* [voir plus haut les remarques de P. Bruun, 1992].

3) *La faiblesse de l'évaluation a posteriori des prévisions de comportement de plage* ; la mobilisation d'un grand nombre d'instruments de mesure implique souvent que les observations soit effectuées sur une très courte durée, dans des conditions expérimentales d'application (et/ou de validation) qui peuvent très bien être atypiques (du moins temporairement).

4) *L'utilisation de calibrations et de vérifications incorrectes à partir desquelles la véracité du modèle est rendue péremptoire* ; un théorie n'est pas forcément « vraie » et « non provisoire » quand il est question de décrire des fonctionnements évolutifs ou de tenter une transposition vers d'autres sites qui seraient imperceptiblement différents aux résolutions d'observation disponibles.

5) *L'incapacité fondamentale de prédire quantitativement l'évolution côtière aux échelles spatiales et temporelles relevant des aspirations de la société* ; les échelles spatiales et temporelles relevant des aspirations de la société sont souvent inaccessibles aux modèles basés uniquement sur une approche quantitative. Une interprétation qualitative du comportement observé à des échelles très fines n'est pas nécessairement moins apte à répondre à ces attentes.

Ce hiatus entre théorie et réalité se manifeste également dans le domaine terrestre. Ainsi, les méthodes d'estimation du transport éolien souffrent elles aussi de nombreuses imperfections. Les erreurs d'estimation sont fréquentes et parfois très importantes (D. J. Sherman *et al.*, 1998 ; N. L. Jackson et K. F. Nordstrom, 1998 ; R. Pedrerros, 2000 ; C. Meur-Férec et M.-H. Ruz, 2002). Deux types de formulation sont présentés ici pour illustrer ces imperfections. Il s'agit de deux formulations dont on doit les fondements à R. A. Bagnold (1941). Elles sont encore fréquemment utilisées pour calculer des débits de transport de sable, en particulier en zone littorale. Selon R. A. Bagnold (Equation 5), les caractéristiques des grains, du vent et du milieu peuvent être liées pour en déterminer un débit, avec :

Equation 5 $Q = C A/g V^*$

Où, Q : quantité de sable charriée en $m^3/m/s$; C : constante (1,8) ; A : densité de l'air ; g : accélération de la pesanteur ; V^* : vitesse de cisaillement du vent. Sur une surface plane, R. A. Bagnold (1941) découvre que la valeur de la vitesse de cisaillement peut être considérée comme proportionnelle au logarithme de la hauteur de la tranche d'air mesurée (qui peut varier de 1 à 10 m selon le protocole utilisé et les données disponibles). Cependant, dans la nature, ces conditions sont rarement remplies. Pour faire face à l'ensemble des contraintes liées au calcul de la vitesse de cisaillement, il propose d'estimer le transport éolien à partir du concept de vitesse critique (Equations 6 et 7). Cette vitesse correspond au seuil au-dessus duquel le vent est assez puissant pour pouvoir déplacer les grains de sable, en général au moins 5 à 6 m/s. Cette vitesse est fonction du diamètre du grain. Par la suite, son mouvement peut s'entretenir avec une vitesse moindre.

Equation 6 $V_c = K \sqrt{((\rho_s / \rho_a)gd)}$

Avec, V_c : vitesse critique ; K : coefficient dépendant du diamètre des grains ; ρ_s : densité des grains de sable ; ρ_a : densité de l'air ($1,2 \cdot 10^{-6}$) ; g : accélération de la pesanteur (9,8) ; d : diamètre des grains de sables.

Equation 7 $Q = C_1 (V_1 - V_c)^3$

Avec, C_1 : constante ($1,5 \times 10^{-9}$) ; V_1 : vitesse réelle du vent à 1 m d'altitude ; V_c : vitesse critique pour le type de grain.

Or, le vent est soumis à une variabilité spatio-temporelle importante. La plupart des modèles sont limités par l'influence des micro-conditions environnementales (M. Djillali et Y. F. Thomas (1975) ; C. Meur-Férec et M.-H. Ruz, 2002). Le calcul du transport éolien nécessiterait la prise en compte de multiples paramètres environnementaux qui agissent, entre autres, sur la cohésion du sable : la pente de la plage, le fetch éolien, la taille de la surface de déflation, la présence ou non d'obstacles, de végétation... La nature du sédiment est également à prendre en compte : sa taille, sa forme ou bien le triage des grains. Les facteurs hydrodynamiques déterminent la taille de la surface découverte et le temps de séchage du sédiment, tout comme les facteurs météorologiques. Enfin, il ne faut pas omettre le facteur humain, qui, par le piétinement notamment, peut engendrer une modification de l'état de la surface du sol.

I. 3. 2 N'assiste-t-on pas actuellement à une dérive modélisatrice ?

Dans le cadre d'une recherche appliquée, les outils qui en découlent sont-ils vraiment en mesure de répondre aux problématiques posées par les aménageurs locaux ? Si la plupart d'entre eux désirent effectivement disposer d'un moyen de prédiction adapté à « leur » littoral, la pratique montre que les méthodes scientifiques et les outils qui leur sont proposés ne sont pas forcément tous bien assimilés par les équipes de terrain, et donc appliqués dans de bonnes conditions.

Récemment, R. Canizares et I. Irish (2008) ont mis au point un outil « clé en main » visant à simuler la morphodynamique côtière induite par les tempêtes, en partant de l'exemple des Iles Barrières (Long Island, USA). Leur stratégie de modélisation repose sur une double opération de forçage et de couplage d'un grand nombre de modèles numériques. Il s'agit en effet de combiner, dans un même outil logiciel, le modèle ADCIRC (R. Luettich et J. Westerink, 2007), qui permet de simuler les marées de tempête et les hauteurs de vague à l'échelle régionale, le modèle WISWAVE (D. T. Resio et W. Perrie, 1989), qui permet de reconstituer le spectre des houles à une échelle plus fine, le modèle Delft3D (WL|Delft Hydraulics, 2001), qui permet de simuler les interactions entre la surcote de tempête et le relief à la côte [mais qui fonctionne en réalité à partir de trois modules distincts : le module « hydrodynamique » de Delft3D, Delft3D-FLOW (WL|Delft Hydraulics, 2001) ; le modèle de vagues stationnaires HISWA (Holthuijsen *et al.*, 1989) et un modèle de transport de sédiments (L. C. Van Rijn, 1993)], ainsi que le modèle SBEACH (M. Larson et M. C. Kraus, 1989), qui permet de restituer des profils de plage pré-conditionnés à partir d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT). Certes, avec cette méthodologie (sans doute aussi grâce à personnel technique de très haute qualité et à une enveloppe budgétaire conséquente), R. Canizares et I. Irish ont obtenu de très bons résultats à Long Island. Mais ce type d'expérience est-il réellement transposable en France ?

Nous pouvons également citer l'exemple de la « règle simplifiée d'érosion de la dune » (DUNERULE-model) récemment développée par C. L. Van Rijn (2008). Le modèle qu'il propose a été calibré et validé grâce aux données recueillies empiriquement il y a une vingtaine d'années par P. Vellinga (1986), qui lui servent de référence, et à de récents tests en laboratoire. La formulation qui suit (Equation 8) est la version synthétique du modèle mis au point par Van Rijn. Elle repose sur l'intégration d'un maximum de paramètres en ce qui concerne la morphologie de la dune et de la plage d'un côté, les caractéristiques des agents

dynamiques (houle, surcote...) de l'autre. Afin d'en faciliter la lecture, nous avons extrait directement du texte de l'auteur la nomenclature (ci-après) et le croquis qui accompagnent cette équation (Figure 10). Là encore, notre objectif n'est pas de remettre en cause la scientificité de ce modèle mais simplement de poser la question de son applicabilité compte tenu de la grande variété des paramètres à recueillir sur place.

Equation 8
$$A_{d,t=5} = A_{d,ref} (D_{50,ref} / D_{50})^{\alpha 1} (S / S_{ref})^{\alpha 2} (H_{s,o} / H_{s,o,ref})^{\alpha 3} (T_p / T_{p,ref})^{\alpha 4} (\tan \beta / \tan \beta_{ref})^{\alpha 5} (1 + \vartheta_o / 100)^{\alpha 6}$$

Nomenclature utilisée par C. L. Van Rijn (2008) pour construire son modèle :

Ad,t=5 dune erosion area above storm surge level after 5 h (m³/m),

Ad,ref dune erosion area above storm surge level after 5 h in

Reference Case=170 (m³/m),

S storm surge level above mean sea level (m),

Sref storm surge level above mean sea level in Reference

Case=5 m,

Hs,o offshore significant wave height (m),

Hs,o,ref offshore significant wave height in Reference Case=7.6 m,

Tp peak wave period (s),

Tp,ref peak wave period (s) in Reference Case=12 s,

d50 median bed material diameter (m),

d50,ref median bed material diameter in Reference Case=0.000225 m,

tanβ coastal slope gradient defined as the slope between the -3 m depth contour (below mean sea level) and the dune toe (+3m),

tanβref coastal slope gradient defined as the slope between the -3m depth contour and the dune toe (+3 m) for the Reference

Case=0.0222 (1 to 45),

θo offshore wave incidence angle to the coast normal (degrees),

α1 exponent=1.3,

α2 exponent=1.3 for *SbSref* and *α2*=0.5 for *SNSref*,

α3 α4=α6=0.5 (exponents),

α5 exponent=0.3.

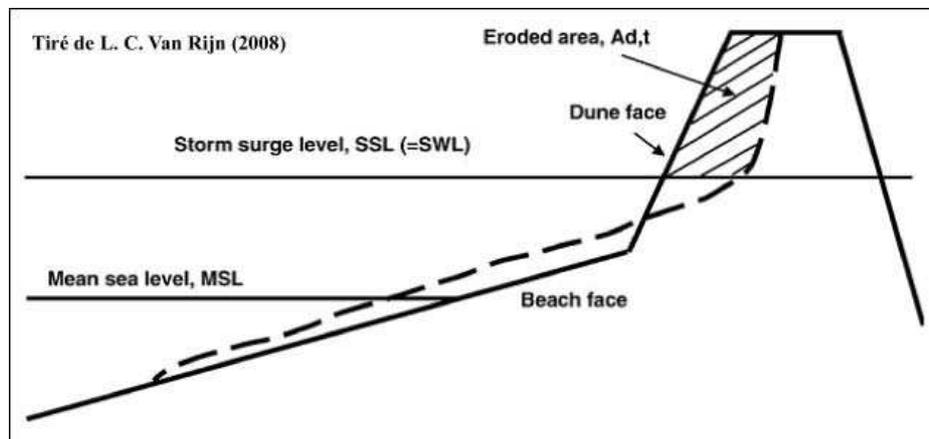


Figure 10 : Run-up et érosion de la dune, l'approche analytique

I. 4 INDICES DE TEMPETE ET INDICES D'EROSION, ETAT DE L'ART

Des alternatives aux modèles analytiques ont donc été proposées pour éluder certains problèmes de mise en pratique, comme la construction d'indices synthétiques ; choix vers lequel nous nous sommes portés. Beaucoup de travaux ont déjà tenté de définir par un indice la sévérité d'une tempête en fonction de ses conséquences spatiales. L'un des plus connus est celui de H. H. Lamb et K. Frydendahl (1991), qui leur a permis de reconstituer l'historique des tempêtes entre 1570 et 1989 dans le nord-ouest de l'Europe (entre 45° W - 70° N et 20° W - 20° E). A partir de sources hétérogènes, et souvent qualitatives, ils proposent de classer les tempêtes pour les recenser en fonction des dommages qu'elles ont pu occasionner (Equation 9). Le seuil retenu pour le qualificatif de tempête correspond à des rafales d'au moins 50 nœuds (90 km.h⁻¹) dans au moins une des stations situées dans la zone d'étude. Le calcul de cet indice fait intervenir la vitesse maximale V_{\max} du vent en surface (détermine la puissance du vent), la superficie totale A_{\max} des zones endommagées et la durée totale D de l'événement (présence dans la zone d'étude) :

Equation 9 $V_{\max}^3 \times A_{\max} \times D$

Les autres indices à partir desquels notre réflexion s'est basée sont présentés ci-dessous. Ils ont été construits afin de classer les tempêtes (B. Butman *et al.*, 2008) ou pour caractériser leur impact potentiel en milieu littoral (essentiellement en terme d'érosion). J. R. Allen (1981) propose un indice de tempête (SI) selon la prédominance du vent marin, en supposant que cela reflète l'énergie de la tempête. Il définit son indice à partir de l'Equation 10, où n est le nombre de jours de tempête avec des vents marins durant au moins 6 heures, N le nombre total de jours pendant l'étude et v la vitesse moyenne du vent pendant les tempêtes. J. H. Balsillie (1986) constate une forte corrélation entre l'érosion de la plage et un certain seuil combinant le niveau moyen de la mer (Q_{avg}), celui du pic de la marée de tempête (S) et la durée pendant laquelle la surcote intervient (t_r). Il propose l'Equation 11 pour établir un lien entre l'érosion des plages et les phénomènes qui peuvent l'engendrer.

Equation 10 $SI = (n / N)v^2$

Equation 11 $Q_{\text{avg}} = 1/1622(g^{1/2}t_r S^2)^{4/5}$

R. Dolan et R. Davis (1992) suggèrent un autre indice (Equation 12) pour l'appliquer plus spécifiquement aux tempêtes de Nord-Est (Nor'Easters) qui frappent régulièrement la côte est des Etats-Unis. Cet indice repose sur la prise en compte d'un unique paramètre, la hauteur significative des vagues ($H_{1/3}$). Pour établir une classification semblable à celle de H. H. Lamb et K. Frydendahl (1991), ils différencient les événements en fonction de leur durée (t_D). La puissance de la tempête (P) est obtenue de la manière suivante :

Equation 12 $P = (H_{1/3})^2 t_D$

D. L. Kriebel *et al.* (1997) proposent d'associer les rôles des surcotes et du déferlement pour établir une échelle de risque plus adaptée aux littoraux de l'Etat du Delaware. Leur indice (I) est calculé à partir de l'Equation 13 ; où S est la hauteur maximum de la surcote, H la hauteur significative des vagues au large et t_D la durée de l'événement.

Equation 13 $I = SH(t_D)^{0.3}$

Plus récemment, K. Zhang *et al.* (2001) ont construit une autre équation (non montrée) en supposant que le rôle des niveaux d'eau exceptionnels atteints durant les tempêtes est essentiel et qu'il explique majoritairement l'amplitude des changements morphologiques que l'on peut observer sur le littoral. Leur indice combine deux principaux facteurs : la surcote globale (*storm surge*) et l'élévation locale du niveau de la mer en fonction du déferlement des vagues (*Wave set-up*).

Ces différentes formulations d'indices montrent qu'il est possible d'invoquer, souvent séparément et rarement conjointement, de multiples facteurs pour décrire les processus à l'origine de l'érosion provoquée par le passage d'une tempête. Les auteurs cités plus haut n'utilisent qu'un nombre très restreint de paramètres pour décrire les tempêtes et leur impact potentiel mais les résultats qu'ils obtiennent ne sont pas forcément moins pertinents que ceux calculés par des modèles analytiques, notamment si leur objectif est porté sur la prédiction des impacts (P. Bruun, 1992 ; O. H. Pilkey, 1994 ; E. Thieler *et al.*, 2000). Dans leur mise en pratique, ces outils théoriques sont, selon nous, beaucoup plus adaptés aux exigences des sociétés concernées par ces aléas. Ils s'articulent plus facilement avec le cadre socio-politique et administratif que requiert la Gestion Intégrée des Zones Côtières, dont les points d'orgue déjà évoqués en introduction de ce mémoire sont : la lisibilité, l'éventuelle reproductibilité des méthodes et, si possible, la gratuité des données.

I. 4 SYNTHÈSE

Dans le domaine de la morphodynamique littorale, en particulier lorsqu'il est question de traiter de l'impact des tempêtes, la majeure partie des travaux insistent, à juste titre, sur la variété, la variabilité et la complexité des processus et des interactions induits par les aléas météo-marins. Les aléas littoraux posent ainsi une série de problèmes très difficiles à résoudre pour la discipline scientifique qui voudrait les étudier. Comment spatialiser leur impact ? Comment prévoir leur intensité ? Comment prévoir le moment où elle sera la plus importante ? Comment mesurer la gravité de leur impact ? Face à ce problème de complexité, la notion de réponse chaotique a souvent été invoquée pour décrire les comportements littoraux (O. H. Pilkey, 1994 ; S. Orre *et al.*, 2006 ; K. R. Bryan et G. Coco, 2007). Dans ces conditions, la posture analytique a fini par résulter sur une « complexification » croissante des formules sur lesquelles s'appuient les théories, avec empilement des variables (forçage) et des modèles numériques (couplage) qui servent à leur application. Ce processus implique lui-même une « technicisation » des méthodes et des outils à mobiliser pour valider sur le terrain les nouvelles théories et les nouveaux concepts. Dans la recherche d'une réponse efficace à une problématique de géomorphologie appliquée, à un problème d'aménagement, cette évolution dogmatique (et ses dérives) nous amène au questionnement suivant : les modèles analytiques sont-ils réellement applicables sur le terrain ?

Des alternatives aux modèles analytiques ont été proposées en parallèle pour, d'une certaine manière, éluder ce problème de mise en pratique, notamment par le truchement d'indices. *A priori*, il semble cependant que l'axiomatique des indices synthétiques soit incompatible avec la description, et *a fortiori* la prédiction d'aléas aussi complexes que les phénomènes d'érosion. Cette méthodologie repose en grande partie sur le principe de transposabilité d'expériences locales (D. Halsey, 1986) et aboutit dans la majorité des cas à l'emploi de formalisations réductionnistes au sein desquelles de nombreux processus sont volontairement omis (R. H. Simpson, 1974 ; J. R. Allen (1981) ; J. H. Balsillie, 1986 ; H. H. Lamb et K. Frydendahl, 1991 ; R. Dolan et R. Davis, 1992 ; D. L. Kriebel *et al.*, 1997 ; K. Zhang *et al.*, 2001). Cette méthodologie est donc elle aussi critiquable. Si large soit-elle, l'expérience ne permet pas de prouver une théorie et l'induction (extraction d'une « loi » théorique à partir d'un nombre aussi grand qu'on voudra mais fini de cas expérimentaux) ne fournit jamais une certitude à 100 %. Une démarche similaire a pourtant été choisie dans ce travail de recherche. La méthodologie qui en résulte vise à obtenir le meilleur compromis entre un résultat suffisamment juste (comprendre fiable et réaliste), d'une part, et, d'autre part,

l'aspect reproductible dont nous venons d'exposer les termes. Elle se base sur les préceptes de la « *Grounded Theory* » (B. Glaser et A. Strauss, 1967, F. Guillemette, 2006) et prend pour cadre épistémologique la phénoménologie. Selon son fondateur, E. Husserl, « *la phénoménologie prend pour point de départ l'expérience en tant qu'intuition sensible des phénomènes afin d'essayer d'en extraire les dispositions essentielles des expériences ainsi que l'essence de ce dont on fait l'expérience* » (De la réduction phénoménologique. Textes posthumes (1926-1965), volume 34 des *Husserliana*, 448 p.). Le cheminement de notre démarche méthodologique partage tout de même grand nombre des axes qui composent l'analyse morphodynamique classique (Annexe 4), mais avec la spécificité d'y intégrer plus formellement le facteur anthropique (Figure 11).

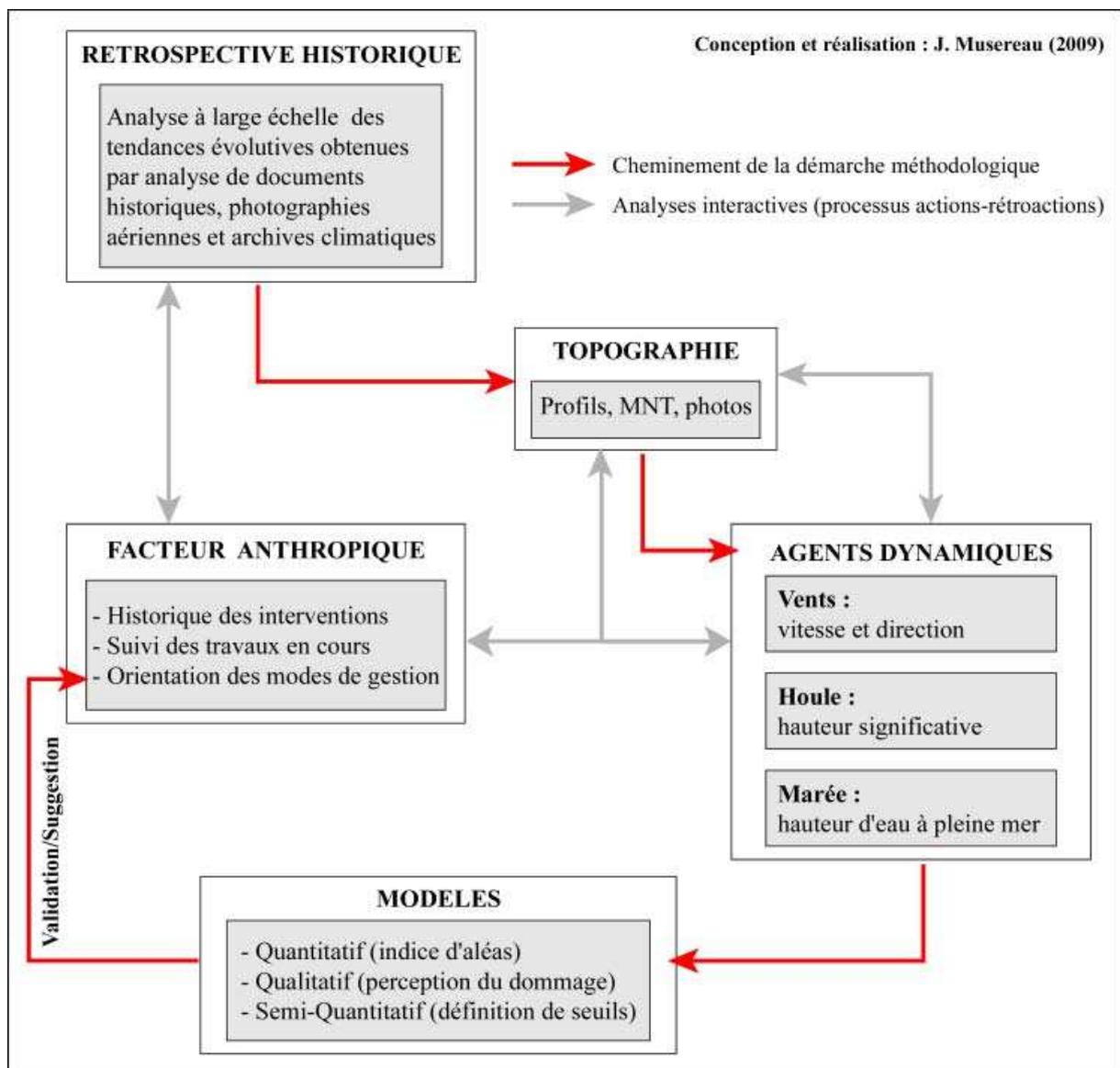


Figure 11 : Démarche méthodologique adoptée pour la thèse

CHAPITRE II : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

II. 1 LOCALISATION GENERALE

L'ensemble régional où se situent les trois sites expérimentaux sélectionnés pour ce travail de recherche correspond à la partie la plus interne du plateau continental du Golfe de Gascogne, à la transition entre le littoral rocheux du sud de la Bretagne et le littoral quasi rectiligne et presque exclusivement sableux d'Aquitaine (Figure 12). Ce secteur est nommé Zone des Pertuis Charentais en raison de la présence de trois détroits appelés localement « pertuis ». Il s'agit, du nord au sud, du Pertuis Breton, qui sépare les côtes vendéennes de l'île de Ré, du Pertuis d'Antioche, qui cette dernière de l'île d'Oléron, et enfin du Pertuis de Maumusson, situé entre Oléron et le continent. Au total, la Zone des Pertuis Charentais dispose d'environ 500 km de côtes, dont la nature est très variée : rocheuse, sableuse et vaseuse. Les trois sites ateliers que nous avons sélectionnés pour cette étude sont : 1) la lagune de La Belle-Henriette (Sud-Vendée) ; 2) La dune de Saint-Trojan (île d'Oléron) ; 3) la plage de Marennes (estuaire de la Seudre).

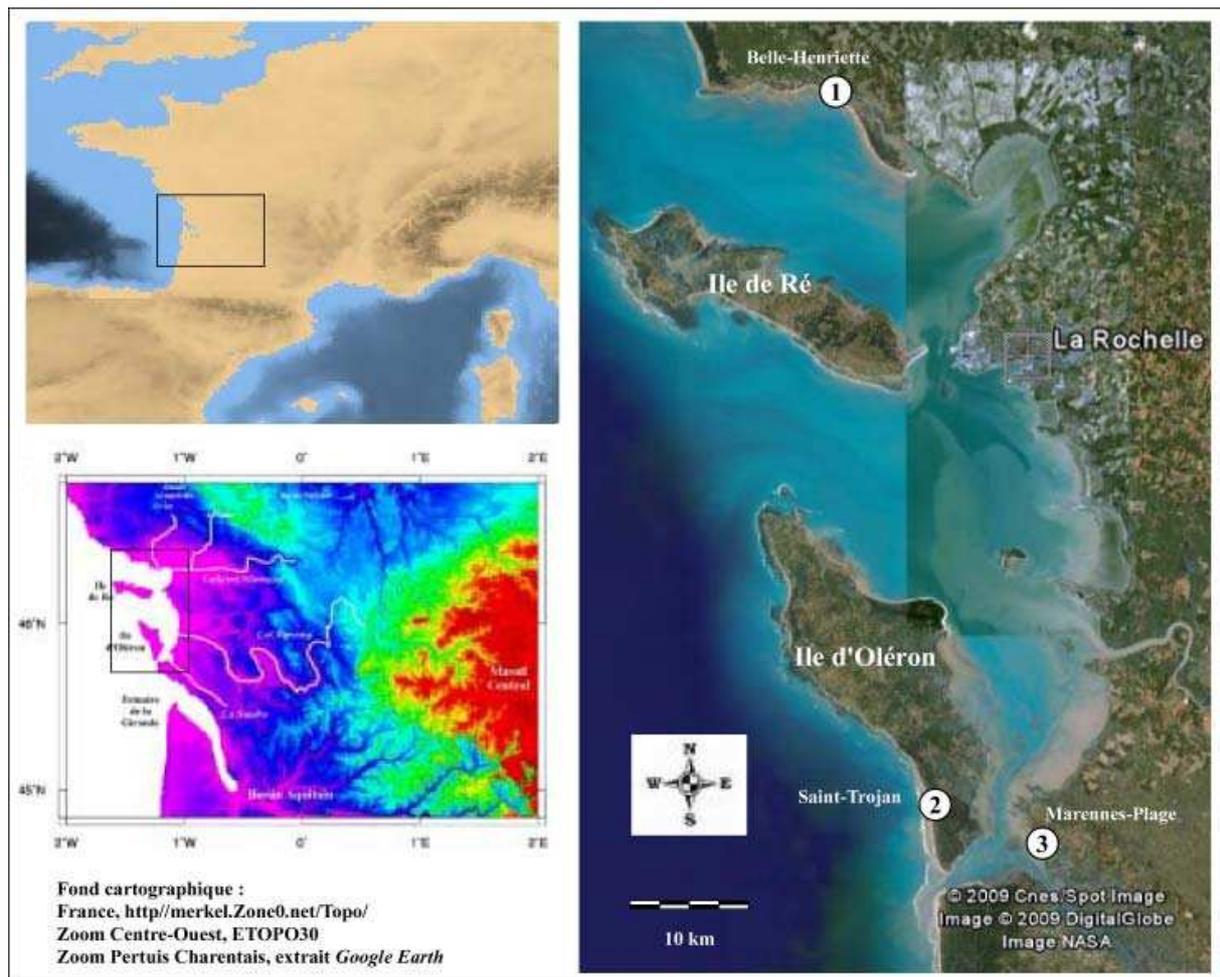


Figure 12 : Localisation générale de la zone d'étude et des sites ateliers

II. 2 CADRE GEOLOGIQUE ET CONTEXTE SEDIMENTAIRE

II. 2. 1 Esquisse géologique de la Zone des Pertuis Charentais

D'un point de vue géologique, la Zone des Pertuis Charentais se situe dans un domaine de transition, entre les littoraux vendéo-bretons, où le socle rocheux cristallin et mésozoïque affleure largement et le littoral sableux d'Aquitaine, où les affleurement rocheux sont beaucoup plus rares. Ce secteur correspond au rebord septentrional du Bassin Aquitain.

Les affleurements rocheux y sont principalement de nature marno-calcaire et d'âge Jurassique à Crétacé (Figure 13). Les formations sédimentaires mésozoïques dessinent un monoclinal régional de pendage général Sud-Sud-Ouest. Ces terrains sont déformés par une série d'anticlinaux et de synclinaux dont l'amplitude est relativement faible (B. Bourgeuil et P. Moreau, 1974). Le socle est dominé par des directions sud-armoricaines (Nord-Ouest / Sud-Est), lesquelles imposent un contrôle sur la morphologie côtière. Ce rôle fort de la géologie se traduit en surface par la présence de caps, d'éperons, de presqu'îles et des deux grandes îles : l'île de Ré (85 km²) et l'île d'Oléron (175 km²).

Le substratum rocheux (méso-cénozoïque) du littoral charentais et du proche plateau continental correspond à des strates Jurassique (Oxfordien à Kimméridgien supérieur) reposant en discordance sur les formations métamorphiques primaires. Ces séries sédimentaires se composent de calcaires et calcaires marneux. Le Crétacé (Cénomaniens au Maastrichtien) affleure au niveau du synclinal de basse Charente et de l'anticlinal de Jonzac (B. Bourgeuil et P. Moreau, 1974). Ce substratum Crétacé est constitué de séries de sables et d'argiles sur lesquelles reposent des calcaires à rudiste.

Fusiforme et de faible altitude, l'île d'Oléron se rattache géologiquement au bassin sédimentaire aquitain. Son orientation (Nord-Ouest / Sud-Est) est conditionnée par la direction de l'anticlinal de Gémozac (M. Péchier, 1954 ; B. Bourgeuil et P. Moreau, 1974). L'axe de l'anticlinal passe sur le versant nord-est de l'île et le cœur affleure à la Pointe de Chassiron. Il s'étend sur 260 km et se termine à Saint Front en Lot-et-Garonne (P. Glangeaud, 1899; M. Péchier, 1954). Les mouvements anticlinaux sont matérialisés par la longue faille de Dolus (X. André, 1986).

Enfin, dans ce secteur, l'aléa sismique est considéré comme modéré (Figure 14). Le 7 septembre 1972, le « Tremblement de terre d'Oléron » a abattu 400 cheminées et effrayé la

population locale. Sa magnitude était de 5,7 sur l'échelle de Richter. Il a été ressenti jusqu'en région parisienne et c'est le plus important que le Poitou-Charentes ait connu durant ces dernières décennies. Le dernier séisme ressenti en date (d'une magnitude de 4,7), toujours sur cette faille, a eu lieu à 10 km à l'ouest-sud-ouest de Saint-Pierre d'Oléron, le 18 avril 2005. Cet événement a été suivi par deux répliques de magnitudes 3,0 et 3,4 dans les dix minutes écoulées après le choc principal.

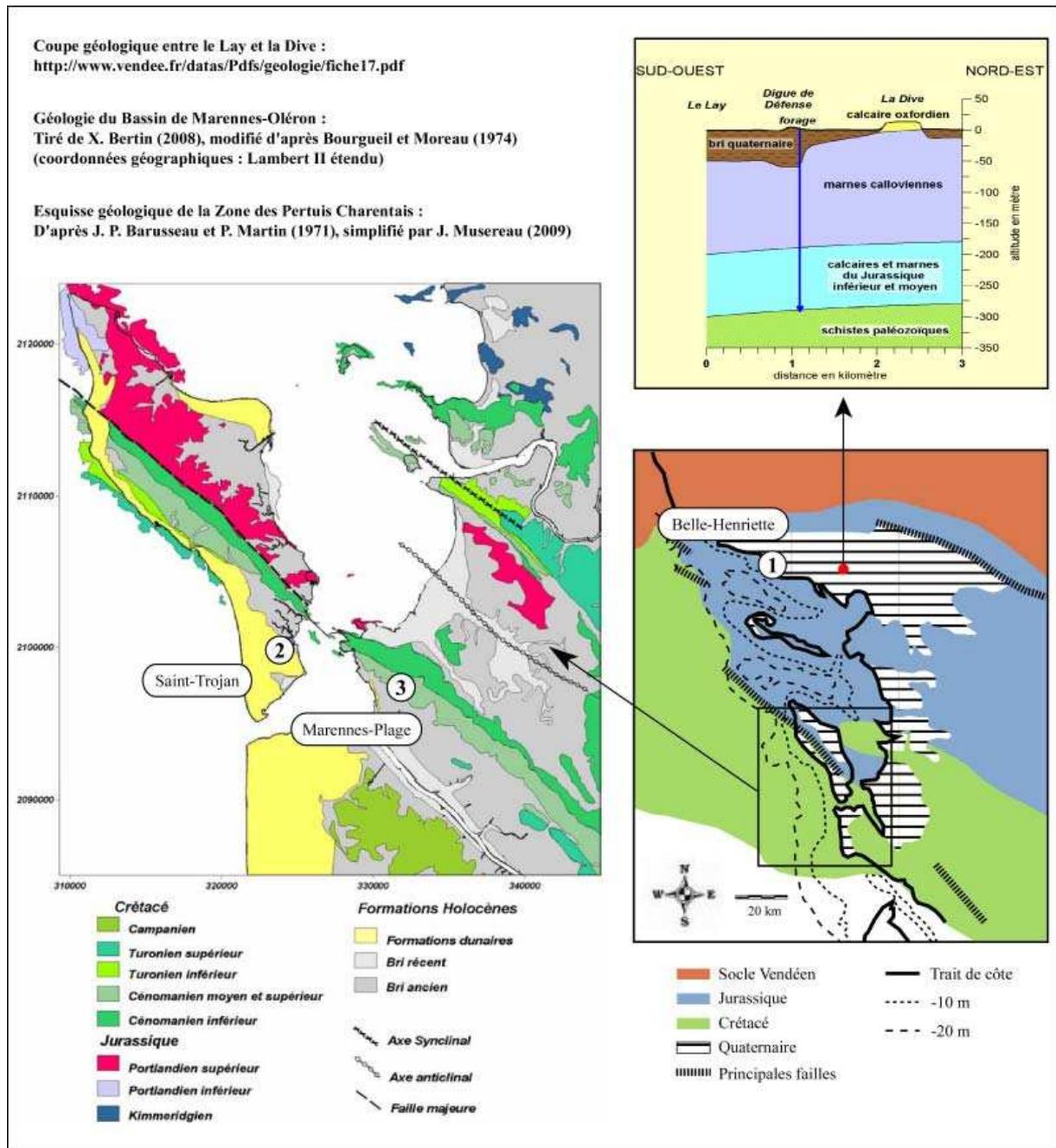


Figure 13 : Géologie de la zone d'étude

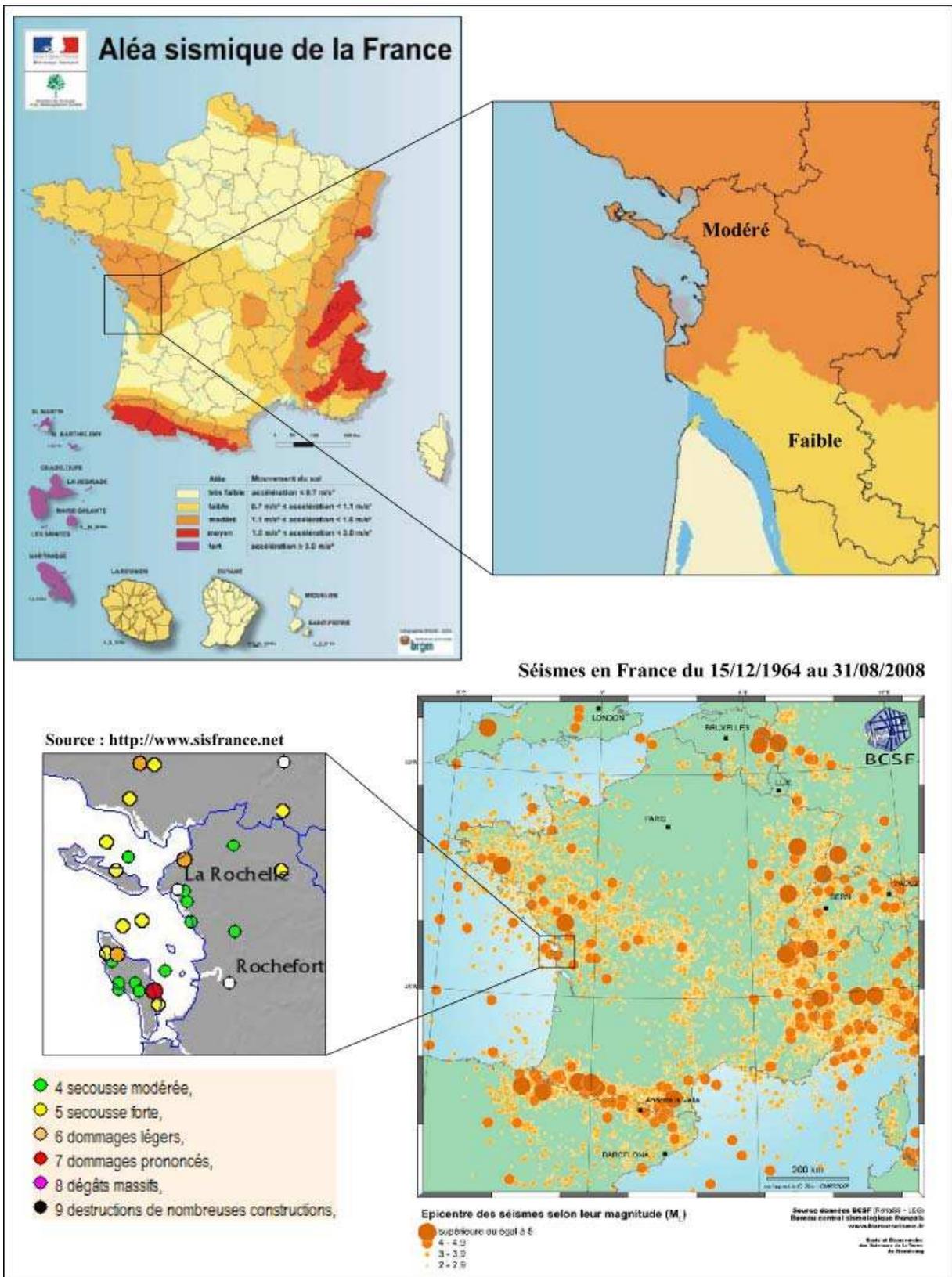


Figure 14 : Sismicité de la région d'étude

II. 2. 2 Nature des sédiments de surface

Au large du littoral charentais, la répartition schématique des fonds est géographiquement corrélative de leur nature mais peut aller jusqu'à former de véritables mosaïques à mesure que l'échelle s'affine (Figure 15). On peut distinguer :

1/ Le substratum rocheux, qui affleure largement sur l'ensemble de la zone sous la forme de larges platiers situés dans la continuité des îles de Ré et d'Oléron, le long des côtes vendéennes, ou encore sous forme d'éperons.

2/ Les fonds sableux, qui se situent majoritairement au large et plus localement près des côtes. Les sables moyens (250 à 500 μm) sont plus répandus sur le proche plateau continental. Les sables fins (125 à 250 μm) se concentrent près des rivages insulaires. Par ailleurs, les zones d'extraction, situées sur le seuil inter-insulaire, laissent apparaître des mélanges de sables grossiers et de graviers sous-jacents (D. Idier *et al.*, 2006).

3/ Les vases (< 63 μm), qui occupent la partie interne des pertuis. La limite sable / vase est souvent assez franche et délimite ainsi des zones de sédimentation bien distinctes.

Les plaines côtières ou marais qui s'étendent dans le prolongement des pertuis (vers l'est) sont comblés par des sédiments meubles comprenant des niveaux intercalés de tourbe et de sable très fins. Ces dépôts sont majoritairement argileux (plus de 50 %) et calcaires (autour de 15 %). Ils sont d'origine fluvio-marine et sont localement appelés « bri » (Bourgueil et Moreau, 1974). L'ensemble de ces formations est d'âge Holocène (N. Weber et T. Garlan, 2000 ; N. Weber *et al.*, 2004). On distingue, en raison de leurs coloris, le bri bleu du bri brun. Les minéraux argileux constituant le bri bleu correspondent à de l'Illite (40 %), de la kaolinite (30 à 40 %) et de la montmorillonite (20 à 30%) ; le bri brun traduit des conditions de dépôt moins réductrices et peut être mis en relation avec la proximité des estrans et chenaux contemporains qui assureraient l'oxydation superficielle de ces dépôts (Bourgueil et Moreau, 1974). Vu du ciel et sur les documents cartographiques, ces marais présentent un aspect quadrillé en raison de la multiplication de canaux qui forment un réseau complexe. Ces canaux sont aujourd'hui entretenus par les ostréiculteurs et avaient été façonnés autrefois pour la saliculture. La majeure partie des marais est protégée des inondations marines par des digues ou des cordons dunaires car le niveau des plaines alluvionnaires se situe en-dessous du niveau des plus hautes mers.

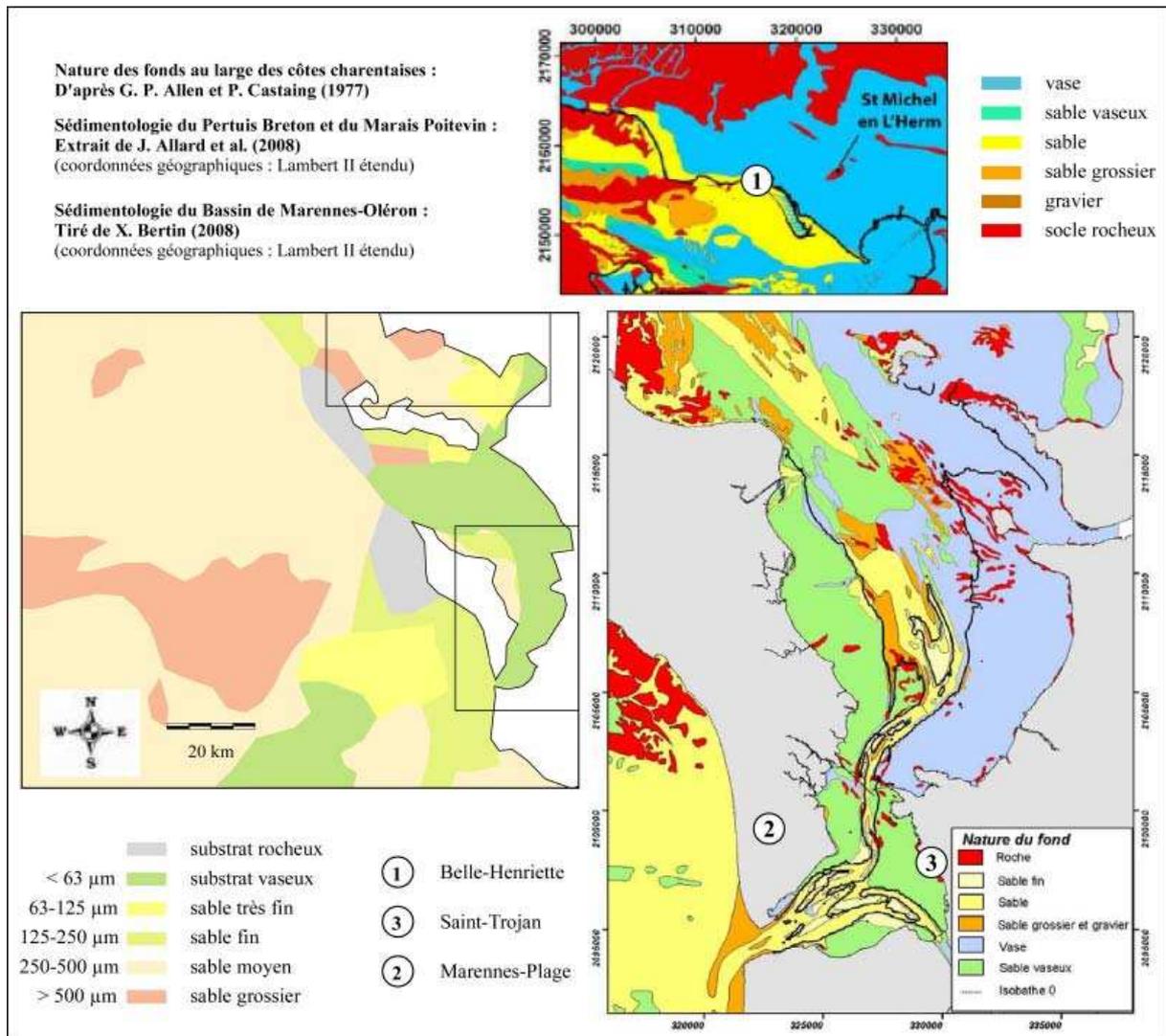


Figure 15 : Contexte sédimentologique de l'étude

II. 3 EVOLUTION MORPHOSEDIMENTAIRE DU LITTORAL CHARENTAIS

II. 3. 1 Description des Pertuis Charentais

Les Pertuis Charentais permettent la communication entre la plate-forme continentale et les baies intérieures abritées où se trouvent les quatre embouchures du Lay, de la Sèvre Niortaise, de la Charente et de la Seudre (Figure 16).

La morphologie sous-marine du Pertuis Breton se décompose en trois parties distinctes. Sa partie externe se présente sous la forme d'une zone de hauts fonds (20 m de profondeur en moyenne) et correspond au Seuil Vendéo-Rhétais. La partie interne du Pertuis se caractérise par des zones de faible profondeur (2 à 4 m). Deux fosses profondes et escarpées (jusqu'à -60 m), les fosses de Chevarache, s'intercalent entre ces deux zones. Selon

X. André (1986), le Pertuis Breton témoigne de la présence d'une vallée fluviale ennoyée puis comblée par des sédiments sableux sur une épaisseur de près de 30 m.

Le Pertuis d'Antioche séparent les îles de Ré et d'Oléron, avec une orientation Ouest-Nord-Ouest. En amont du Seuil Inter-Insulaire culminant à -19 m, les profondeurs s'accroissent et forment une fosse, la Fosse d'Antioche (-44 m), dont le fond est rocheux. En allant vers l'intérieur du pertuis, le fond sableux devient progressivement vaseux et les reliefs sont plus complexes (Longe de Boyard, île d'Aix, fosses ou passages, Rade des Trousses)

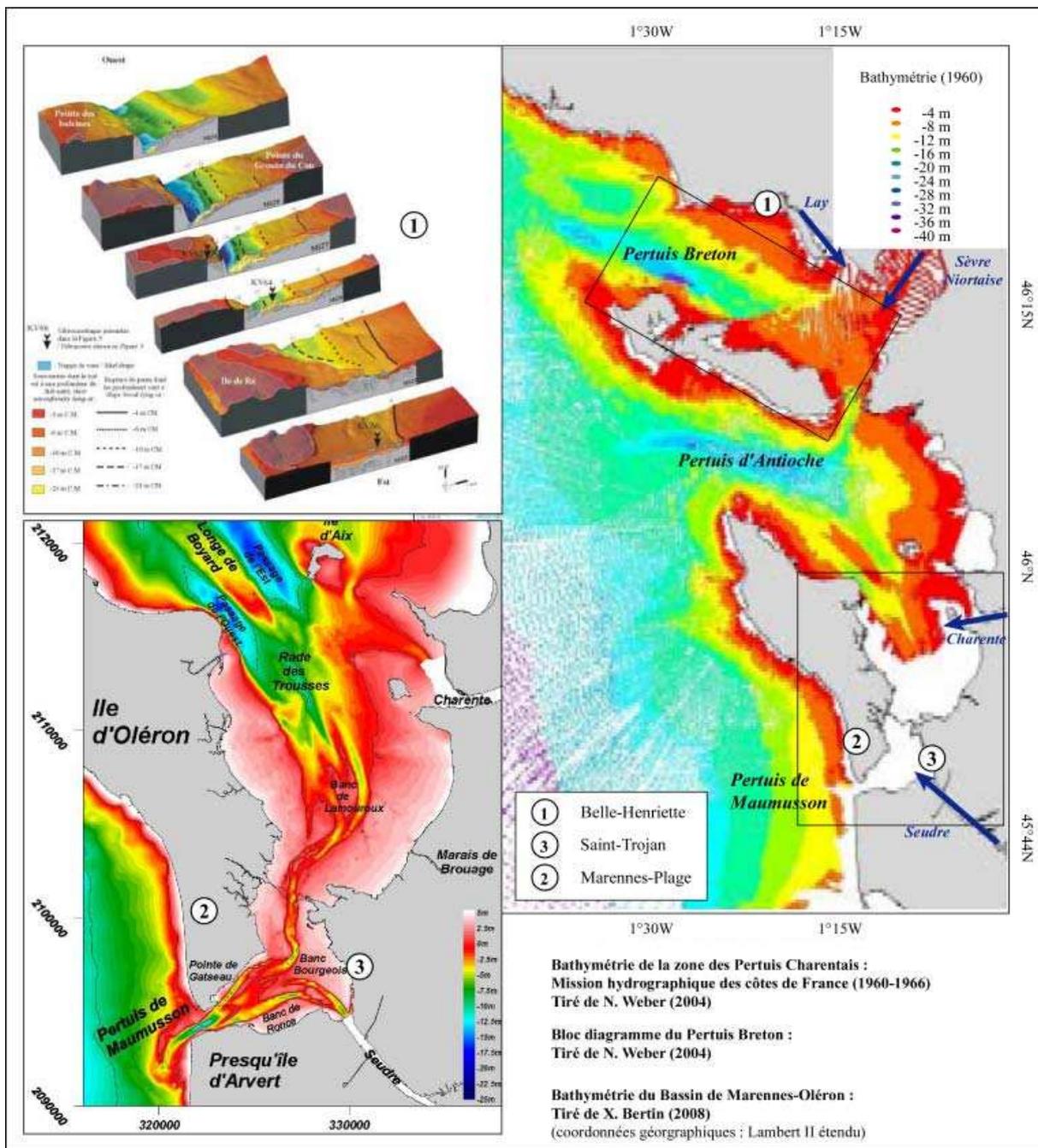


Figure 16 : Bathymétrie des Pertuis Charentais

Durant la dernière glaciation, cette paléo-vallée fluviale aurait incisé le socle mésozoïque (J. P. Barousseau, 1973). Selon X. André (1986), une dérive Nord-Sud mise en place durant la transgression qui a suivi, très active, aurait ensuite construit un prisme sableux. Celui-ci constitue aujourd'hui une des principales sources sédimentaires pour l'extraction *offshore* (D. Idier *et al.*, 2006). Dans sa partie interne, la « Rade des Basques », on retrouve des profondeurs allant en se réduisant à mesure qu'on se dirige vers l'embouchure de la Charente (de -24 m à -2 m d'ouest en est.). Cette partie interne du Pertuis d'Antioche est majoritairement composée de vases, dont l'épaisseur varie de 20 m à 30 m du large vers l'embouchure du fleuve.

Le Pertuis de Maumusson est une embouchure tidale très mobile qui sépare la pointe Sud de l'île d'Oléron (Pointe de Gatseau) et la Pointe d'Arvert. Le fond y est majoritairement composé de sables fins.

II. 3. 2 Les formations sableuses du Quaternaire

On trouve d'une part des paléo-cordons se présentant sous la forme de bandes allongées affleurantes localisées en bordure des anciennes îles (situées dans les plaines côtières ou marais d'aujourd'hui) et orientées vers l'ouest (J. Dupuis, 1974). Ces formations sont composées de sables coquilliers et de galets sur une épaisseur de 0,5 à 2 m. Elles démarquent les anciens rivages et enregistrent le comblement du marais en direction de la mer (cf. II. 3. 3). Ces cordons ont joué un rôle important dans le colmatage des golfes en protégeant et isolant certaines parties du marais. Les plus récents d'entre eux sont situés dans le fond des baies et assurent encore la fermeture des golfes actuels. Il s'agit d'autre part des massifs dunaires présents sur les deux îles et sur la presqu'île d'Arvert. Dans ce secteur, les dunes culminent à près de 60 m. En fonction de leur âge, les dunes littorales sont constituées de sables dont la granulométrie et le coloris diffèrent (P. Butel, 1953). Cette évolution de la nature du sédiment témoigne de l'intervention d'au moins trois épisodes d'invasion du sable sur les façades exposées des îles et du continent aux cours de l'Holocène tardif. Selon les datations effectuées par M. Clarke *et al.* (2002), la première invasion aurait eu lieu il y a 3000-4000 ans, la seconde il y a 900-1300 ans et la troisième il y a 250-550 ans. Ces sables résultent sans doute de l'attaque de roches cristallines des massifs anciens et des rivages bretons. Transitant par les fleuves et sous l'effet des courants côtiers, ils se sont déposés sur le plateau-vendéo-charentais, au large de nos côtes actuelles.

II. 3. 3 Eléments de paléogéographie

Cette reconstitution des paléo-environnements au cours de l'Holocène tardif est inspirée des travaux de N. Weber (2004). Elle a pour but de décrire schématiquement les principales étapes du comblement des vallées incisées desquelles sont hérités les actuels Pertuis Charentais (Figure 17).

Au début de l'Holocène, la mer arrive au pied des Seuils Vendéo-Rhétais et Inter-Insulaire. L'ensemble des Pertuis Charentais est émergé. Les Fosses de Chevarache sont isolées et constituent des lacs.

Lorsque la mer atteint -32 m, le comblement de la vallée de la Charente débute au niveau du seuil.

Les vallées incisées des deux pertuis sont envahies par la mer lorsque celle-ci atteint -24 m (9000 BP) et les estuaires migrent vers l'Est. Dans le Pertuis Breton, l'embouchure se situe au niveau de la Fosse Orientale de Chevarache.

A -10 m, l'interaction entre un taux de remontée du niveau marin allant en diminuant et le rythme élevé des apports sédimentaires implique un rapide comblement de ces estuaires, dont les embouchures migrent toujours vers l'amont.

Lorsque le niveau marin atteint -6 m (6000 BP), les hauts platiers bordant la Fosse d'Antioche (qui faisaient jusque là office de barrière) sont lentement inondés. La pénétration des houles s'en trouve augmentée. Cette situation débouche sur un accroissement supplémentaire des apports marins.

Depuis 2000 BP, les baies intérieures se comblent de sédiments fins et se sont transformées en marais ; une progradation des plaines côtières que la poldérisation intensive contribuera d'ailleurs à accentuer (F. Verger, 2005). Dans le même temps, certains bancs sont réorganisés (la Longe de Boyard, le Banc du Bûcheron) et plusieurs flèches sableuses se développent, comme la Pointe d'Arçay (Vendée) ou encore la Pointe de Gatseau (sud d'Oléron). Nous verrons plus tard que la morphologie récente de cette dernière est également influencée par le facteur anthropique.

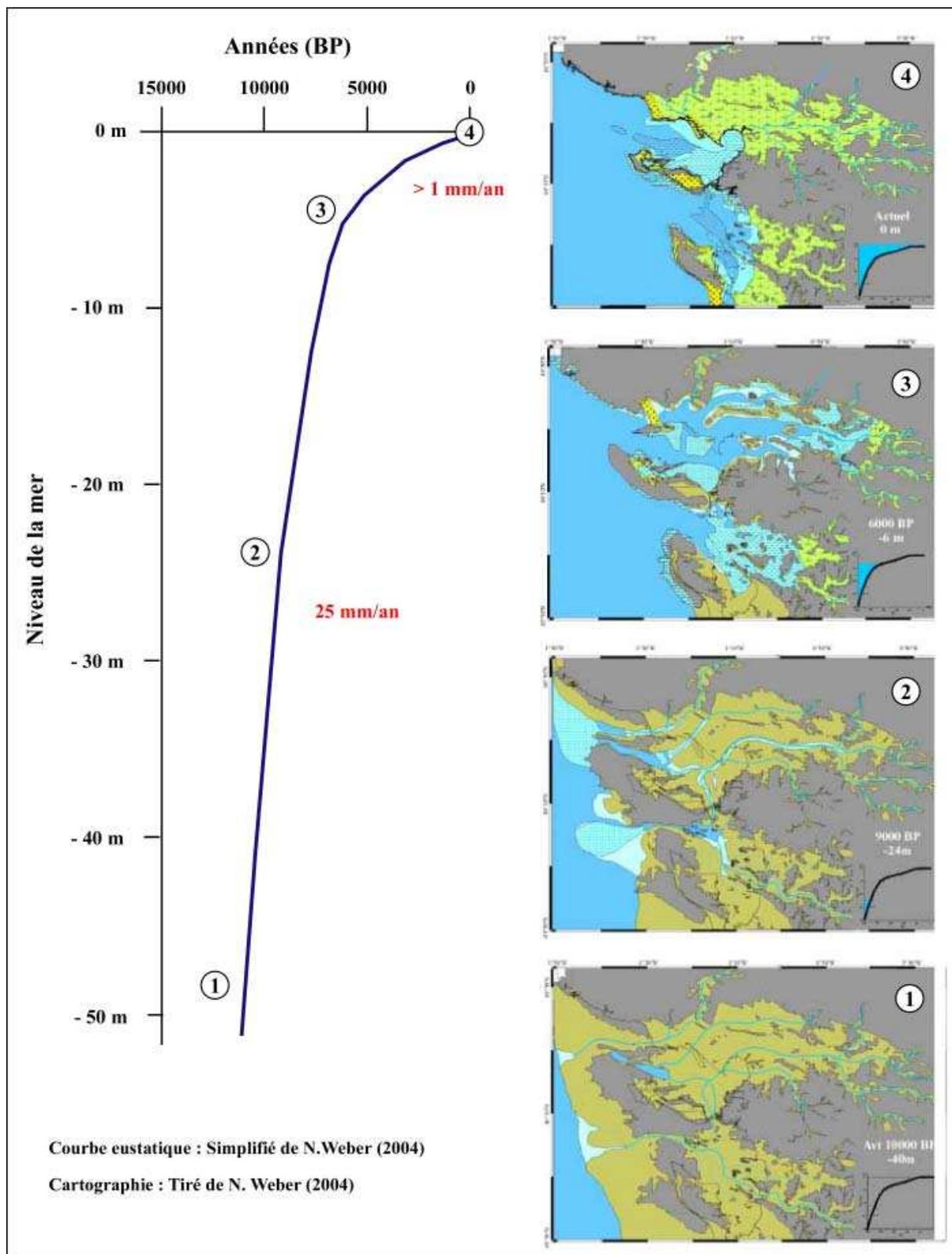


Figure 17 : Paléogéographie du littoral vendéo-charentais

II. 4 LES AGENTS DYNAMIQUES

II. 4. 1 Vents et tempêtes dans le Golfe de Gascogne

Plusieurs jeux de données ont été mobilisés afin d'établir une climatologie des vents et des tempêtes dans le Golfe de Gascogne. La nature et les échelles spatio-temporelles de ces données sont très variées. Les méthodes de traitement statistique mises au point pour leur analyse ont été définies en fonction de ces différentes contraintes. Les résultats obtenus nous incitent à la prudence quand à l'interprétation d'un possible changement du régime des tempêtes dans ce secteur géographique.

Matériel et méthode

- Le recensement des situations à fort gradient de pression et l'étude des trajectoires des tempêtes aux abords du Golfe de Gascogne pour en calculer une fréquence annuelle. Ce double recensement repose sur la lecture des archives du NCEP(source : <http://www.wetterzentrale.de>). Il s'agit de réanalyses se présentant sous la forme de fichiers images où figure le champ de pression (isobares), à raison d'une image par jour (00h UTC). La superficie couverte par ces cartes synoptiques est délimitée par les coordonnées suivantes : 60°W et 30°E en longitude ; 90°N et 30°N en latitude.

Le recensement des situations à fort gradient de pression dans le Golfe de Gascogne est effectué sur l'ensemble du 20^{ème} siècle (du 1^{er} janvier 1900 au 31 décembre 1999). Pour être comptabilisée comme tel, le document cartographique doit remplir les critères suivants (illustrations en Figure 18) : un gradient supérieur ou égal à 20 Hpa dans un rayon de 500 km de part et d'autre de la zone d'étude (Pertuis Charentais) ; une orientation comprise entre 180° et 360°. La liste complète de ces situations est proposée sous la forme d'une chronologie en Annexe 5. Il convient de préciser que ce type de comptage n'a pas vocation à lister toutes les tempêtes qui ont eu lieu durant le siècle. Ne faisant intervenir qu'une image par jour, ce mode de recensement statique ne permet pas de reconnaître formellement chaque événement. Ces données nous renseignent simplement sur la fréquence d'un type de configuration propice à la survenue de vents forts dans notre secteur d'étude.

L'analyse des trajectoires des tempêtes repose sur le même principe d'interprétation subjective de cartographies, à ceci près que l'analyse s'opère à partir de données stationnelles (voir plus bas : statistiques des vents forts au sémaphore de Chassiron). L'opération consiste à

sélectionner les cartes où figurent les centres dépressionnaires associés à l'enregistrement *in situ* d'un jour de vent fort, puis d'en restituer le sens de déplacement à l'approche des côtes françaises. Huit directions possibles ont été définies : Nord, Nord-Est, Est, Sud-Est, Sud, Sud-Ouest, Ouest et Nord-Ouest. Il est important de préciser que le nombre d'individus sélectionnés de cette manière est nettement inférieur au nombre de jours de vent fort enregistrés. Il arrive fréquemment qu'un seul et même système cyclonique puisse générer des vents puissants sur des durées importantes, de l'ordre de 3 à 4 jours dans certains cas.

- La construction d'une rose des vents à partir de l'extraction de données de simulation. Elle est établie avec les vitesses et directions du vent moyen tri-horaire calculées par le modèle ARPEGE (source : Météo-France) aux coordonnées 46°N - 2°W, entre le 01 janvier 2000 et le 31 décembre 2004.

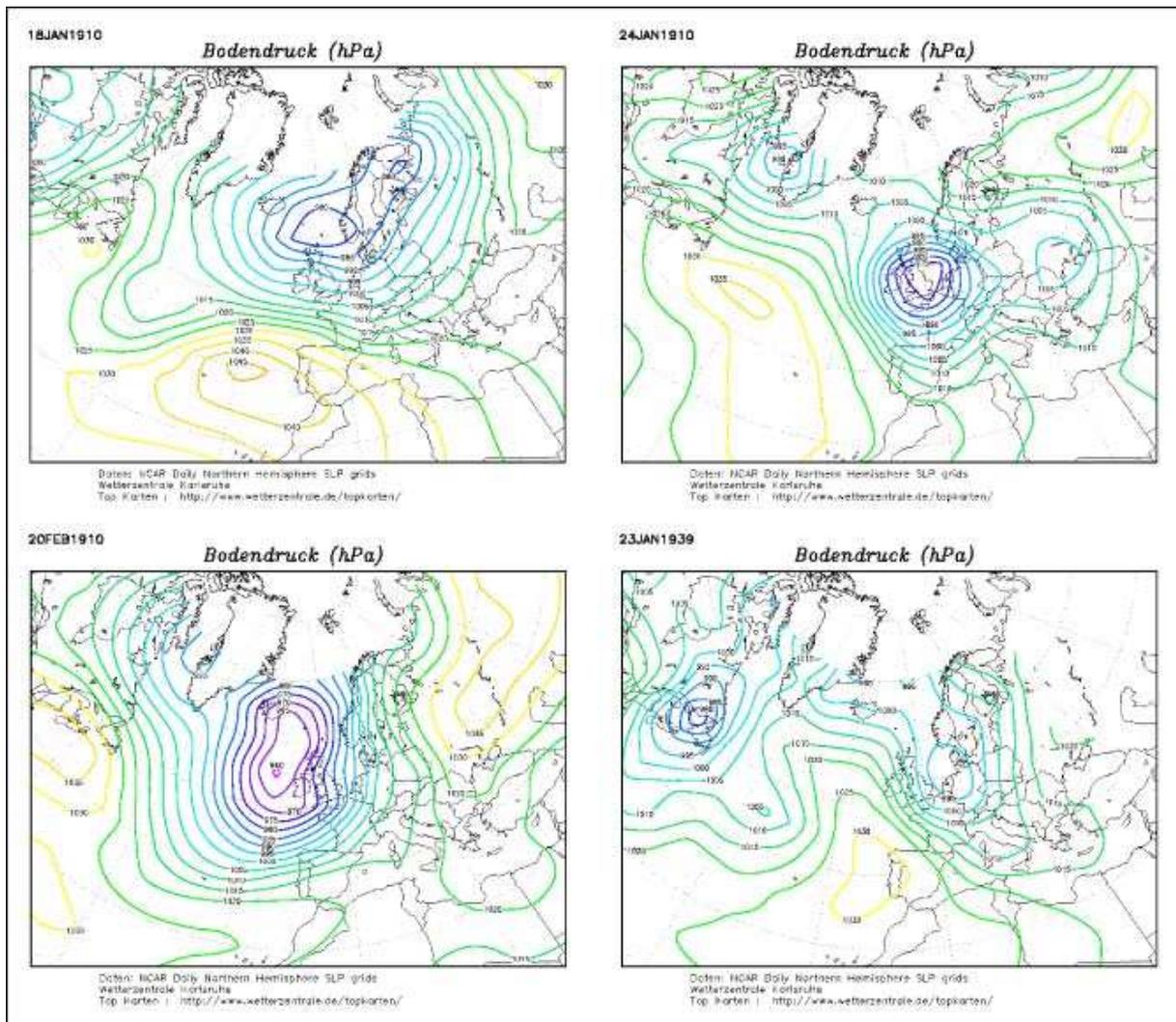


Figure 18 : Typologie des situations à fort gradient de pression (Golfe de Gascogne)

- Le recensement des jours de vent fort à partir de relevés locaux. Les enregistrements ont été effectués par Météo-France, au sémaphore de Chassiron (île d'Oléron). Les informations relatives à l'emplacement, aux types d'appareillage et à la série de valeurs disponibles et manquantes sont présentées en Annexe 6. Il s'agit des vitesses et directions quotidiennes du vent moyen maximal entre 1977 et 2003. Compte tenu du coût élevé de ce type de produits, nous avons dû procéder à une acquisition sélective. Seuls les mois de septembre à avril (inclus) sont considérés pour le traitement statistique. Malgré cela, l'information qu'elle délivre est suffisamment pertinente pour reconstituer une climatologie des jours de vent fort sur cette période. Les « jours de vent fort » sont définis sur la base du seuil retenu par l'OMM (Organisation Mondiale de Météorologie), c'est-à-dire lorsque les *maxima* quotidiens du vent moyen sont supérieurs à 18 m.s^{-1} . Ils sont ensuite classés par ordre croissant en fonction de l'intensité des vitesses enregistrées : 18 à 21 m.s^{-1} pour un coup de vent ; 21 à 24 m.s^{-1} pour un fort coup de vent ; 24 à 27 m.s^{-1} pour une tempête, 27 à 30 m.s^{-1} pour une forte tempête, supérieurs à 30 m.s^{-1} pour la force ouragan.

Résultats statistiques

Au large des côtes charentaises, les vents les plus fréquents ont une origine maritime (Figure 19). Les directions Nord-Ouest à Sud-Ouest représentent environ la moitié des observations. Les vents les plus forts (vitesse supérieure à 25 nœuds, soit 12 m.s^{-1}) sont généralement enregistrés de septembre à avril et représentent, durant cette période, 25 % des observations. L'été, le vent est le plus souvent faible à modéré et varie préférentiellement du Nord-Est au Nord-Ouest. Ce balancement directionnel traduit la présence d'un régime de brises côtières.

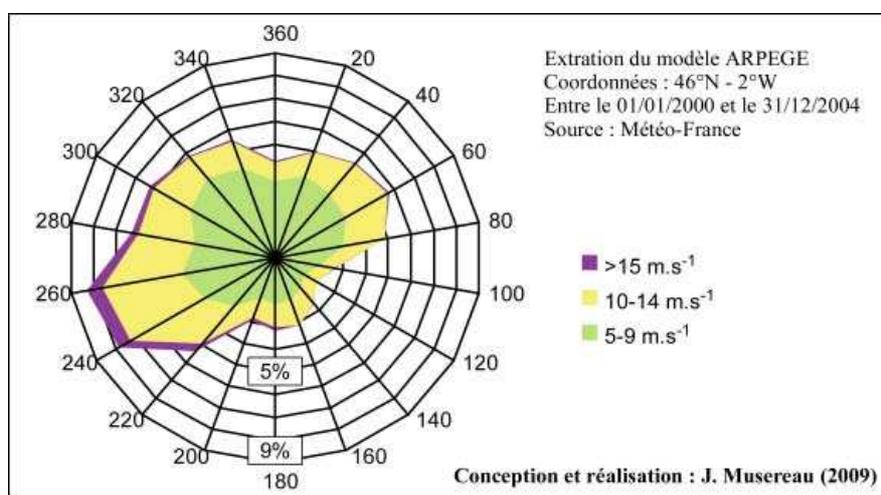


Figure 19 : Rose des vents au large des côtes charentaises

Les statistiques concernant les jours de vent fort au sémaphore de Chassiron montrent une prédominance des épisodes d'intensité modérée, les coups de vent et forts coups de vent. A eux deux, ils représentent en moyenne 90 % des cas répertoriés (Tableau 2).

Année	Coup de Vent	Fort Coup de Vent	Tempête	Forte Tempête	Ouragan	TOTAL
1977-78	8	0	0	0	0	8
1978-79	4	2	1	0	0	7
1979-80	2	1	0	0	0	3
1980-81	3	0	0	0	0	3
1981-82	7	3	0	0	0	10
1982-83	18	4	0	0	1	23
1983-84	10	2	2	0	0	14
1984-85	4	1	1	0	0	6
1985-86	11	4	2	1	0	18
1986-87	11	5	1	0	0	17
1987-88	18	13	6	3	2	42
1988-89	8	8	3	0	1	20
1989-90	13	8	6	2	1	30
1990-91	7	3	0	0	0	10
1991-92	5	4	0	0	0	9
1992-93	6	1	2	0	0	9
1993-94	16	4	0	1	0	21
1994-95	11	1	0	0	0	12
1995-96	1	2	0	0	1	4
1996-97	2	0	1	0	0	3
1997-98	10	4	0	0	0	14
1998-99	3	3	0	0	0	6
1999-00	6	3	1	0	1	11
2000-01	14	1	0	0	0	15
2001-02	2	2	0	0	0	4
2002-03	6	4	1	0	0	11
Moyenne Annuelle	7,9	3,2	1	0,3	0,3	12,7
Paramètre : vitesse du vent moyen maximal journalier						
Coup de vent : 18 à 21 m.s ⁻¹ / Fort coup de vent : 21 à 24 m.s ⁻¹ / Tempête : 24 à 27 m.s ⁻¹ / Forte tempête : 27 à 30 m.s ⁻¹ / Ouragan : supérieure à 30 m.s ⁻¹						
Source : Météo-France				Traitements : J. Musereau (2009)		

Tableau 2 : Climatologie des jours de vent fort au sémaphore de Chassiron

De 1977 à 2003, la fréquence des jours de tempête au sémaphore de Chassiron (vent > 24 m.s⁻¹) est à peine supérieure à 1 cas par an. Ce phénomène est donc relativement rare dans la région. Quelque soit leur intensité absolue, ces événements sont caractérisés par une importante variabilité inter-annuelle (Figure 20). On remarque une certaine concentration des épisodes violents à la charnière des années 1980-1990, notamment durant les « hivers » 1987-1988 (11 jours de tempête) et 1989-1990 (9 jours de tempête). A la fin des années 1970 et

durant la majeure partie des années 1990, le nombre de jours de vents forts aurait été au contraire beaucoup plus limité. Notons toutefois qu'un changement d'anémomètre a eu lieu en août 1994. Il s'agit là d'une des principales limites pour qui veut élaborer des statistiques climatiques à partir de données stationnelles car il est très difficile de quantifier l'impact de ce changement d'appareil de mesures sur les résultats obtenus.

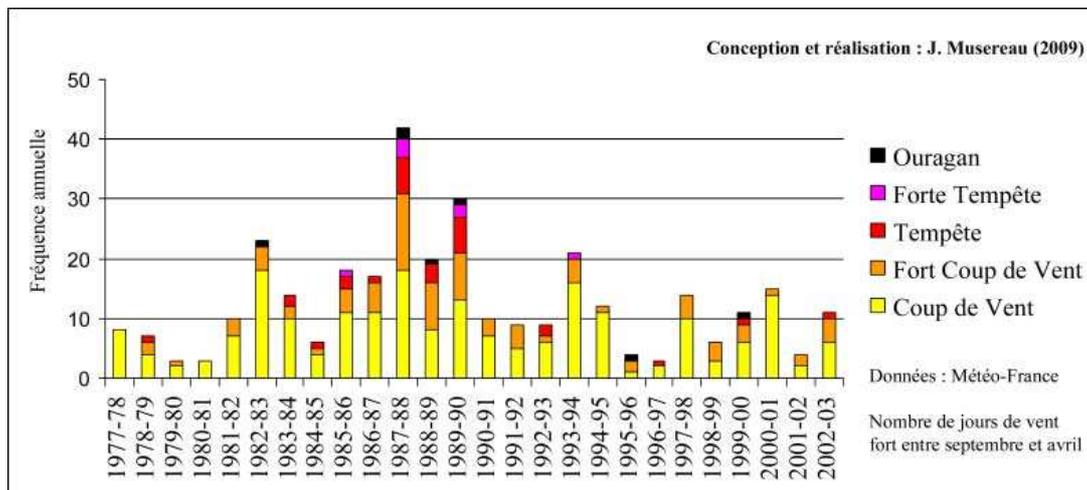


Figure 20 : Distribution des jours de vent fort au sémaphore de Chassiron

Sur la même période (1977-2003), l'étude des trajectoires des centres dépressionnaires à l'origine de ces vents forts montre que les systèmes provenant du cadran occidental ont été les seuls capables de générer localement des vents aussi puissants (Figure 21).

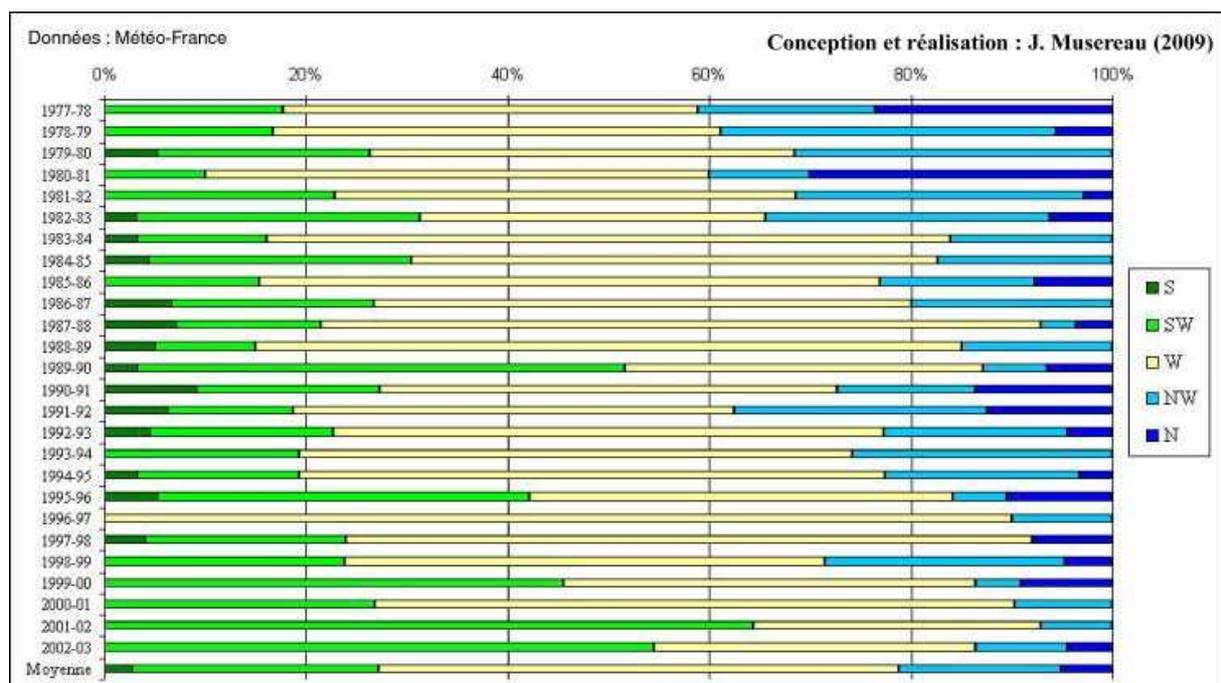


Figure 21 : Trajectoires des tempêtes associées aux jours de vent fort observés à Chassiron

Dans l'immense majorité des cas, les tempêtes susceptibles d'aborder le Golfe de Gascogne proviennent donc de l'océan. Cet inventaire montre par ailleurs une diminution de la part relative des tempêtes venant du Nord et du Nord-Ouest, essentiellement au profit de celles venant du Sud-Ouest.

Plus globalement, 391 situations à fort gradient de pression ont pu être recensées dans le Golfe de Gascogne au cours du 20^{ème} siècle. Là encore, l'élément principal réside de l'importante variabilité inter-annuelle de cette distribution séculaire (Figure 22). Aux années dépourvues de ce type de configuration peuvent succéder des années où l'on dénombre un grand nombre de jours à fort gradient. On compte en moyenne 4 cas par an. Les années 1910, 1963 et 1978 en cumulent chacune plus du double.

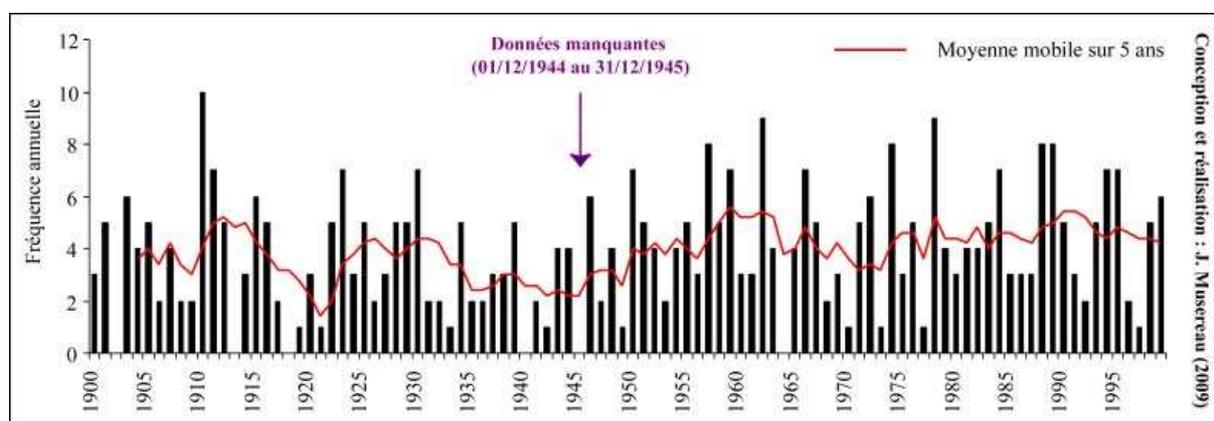


Figure 22 : Distribution des situations à fort gradient de pression (Golfe de Gascogne)

Hormis quelques cas excessivement rares comme au cours de l'été 1961 (112 km/h à La Rochelle le 13 juillet ; source : Météo-France), les conditions favorables à la mise en place d'un fort gradient de pression en Gascogne ne sont réunies que durant la moitié « hivernale » de l'année (de septembre à avril). Une légère recrudescence des années fortement représentées (6 cas et plus) apparaît durant la seconde moitié 20^{ème} du siècle (Figure 22). L'imprécision et la nature subjective de cette méthode de comptage nous incitent cependant à la prudence quant à l'interprétation de ce résultat. Ces configurations synoptiques extrêmes sont par contre majoritairement corrélatives de la mise en place d'un flux zonal sur l'Atlantique Nord. A partir de la classification de P. Hess et H. Brezowski (1952), réactualisée en 2005 par F. W. Gerstengarbe et P. Werner (Annexes 7 à 10), nous avons reconstitué la distribution des principaux types de circulation en Europe de l'Ouest entre 1954 et 2004. Cette distribution semble corroborer l'hypothèse d'une recrudescence des flux zonaux au cours des années 1970 et 1980 (Figure 23).

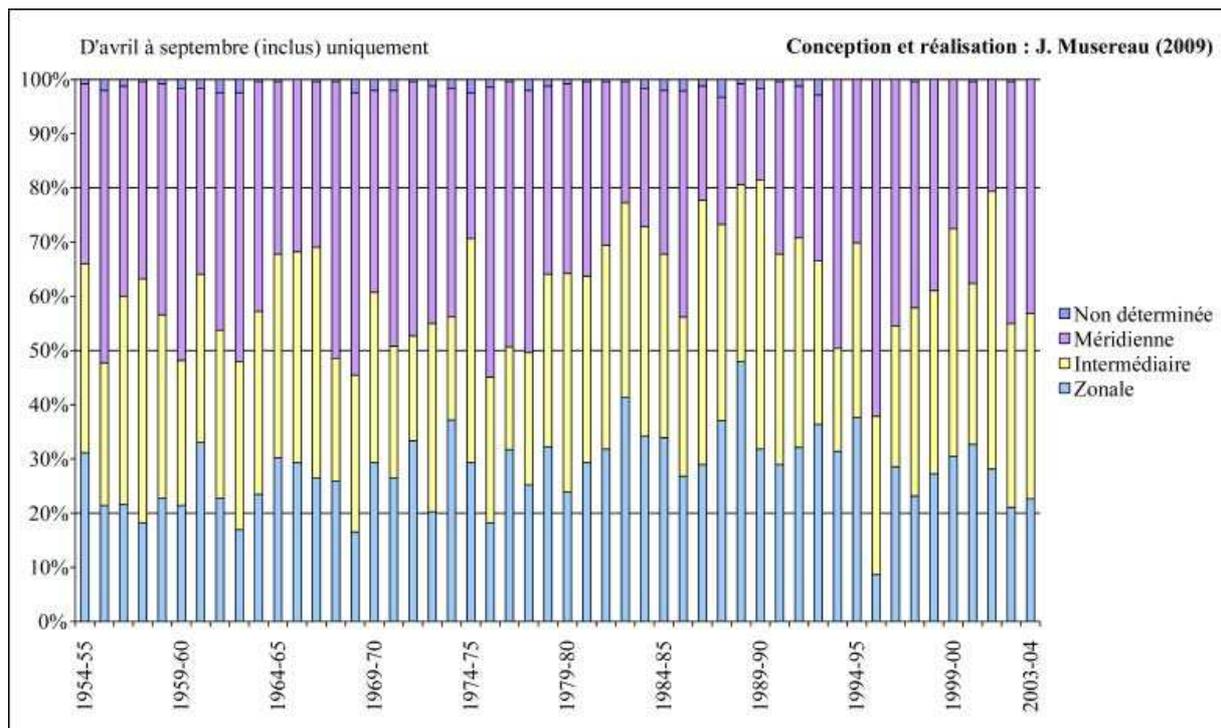


Figure 23 : Les types de circulation en Europe de l'Ouest depuis 50 ans (période hivernale)

En réalité, l'activation du flux zonal entraîne bien souvent la formation de « groupes de tempêtes » (*storm group*). Ces phénomènes pourraient avoir une incidence majeure sur la dynamique littorale (O. Ferreira *et al.*, 2006). D'après notre recensement des situations à fort gradient de pression, les groupes de tempêtes auraient été plus fréquents durant la seconde partie du 20^{ème} siècle (Tableau 3).

Groupes de tempêtes recensés durant la première moitié du 20 ^{ème} siècle									
15/02/1910	20/02/1935	15/01/1939	03/02/1950						
18/02/1910	22/02/1935	17/01/1939	06/02/1950						
19/02/1910	24/02/1935	20/01/1939	11/02/1950						
20/02/1910	27/02/1935	23/01/1939	13/02/1950						
Groupes de tempêtes recensés durant la seconde moitié du 20 ^{ème} siècle									
27/11/1954	01/02/1957	07/12/1959	10/01/1962	22/01/1971					
28/11/1954	08/02/1957	08/12/1959	11/01/1962	24/01/1971					
29/11/1954	13/02/1957	23/12/1959	16/01/1962	25/01/1971					
30/11/1954	14/02/1957	26/12/1959	22/01/1962	27/01/1971					
	15/02/1957	28/12/1959							
12/12/1978	25/01/1988	16/12/1989	20/01/1995	12/12/1999					
13/12/1978	29/01/1988	17/12/1989	22/01/1995	25/12/1999					
14/12/1978	01/02/1988	20/12/1989	23/01/1995	26/12/1999					
15/12/1978	02/02/1988	21/12/1989	25/01/1995	27/12/1999					
		25/12/1989	26/01/1995						
			28/01/1995						
D-00	D-10	D-20	D-30	D-40	D-50	D-60	D-70	D-80	D-90
0	1	0	1	0	4	1	2	2	2

Tableau 3 : Extraction des « groupes de tempêtes » (20^{ème} siècle, d'après Annexe 5)

Une référence : l'ouragan du 27 décembre 1999

Au lendemain d'une violente tempête qui a touché la moitié nord de la France (*Lothar*) le 26 décembre, une deuxième dépression, baptisée *Martin* (Figure 24), a traversé le pays entre l'après-midi du 27 décembre et la matinée du 28 décembre. Elle s'est creusée au large de la Bretagne et a atteint un minimum de 964 Hpa en son centre au moment d'aborder les côtes. Ces systèmes cycloniques extratropicaux à déplacement rapide (environ 100 km/h) et à creusement tardif sont qualifiés de « bombes » par les météorologistes. Les rafales les plus puissantes ont été relevées durant la soirée du 27 décembre sur l'île d'Oléron mais les valeurs exactes demeurent inconnues car l'anémomètre de Chassiron s'est bloqué vers 17h30. La force ouragan a été atteinte près des côtes et la plupart des stations et sémaphores de Charente-Maritime ont enregistré des rafales d'ordre centennal : sur l'île d'Oléron avec 198 km/h, à Royan avec 174 km/h, à Rochefort avec 162 km/h et à La Rochelle avec 151 km/h.

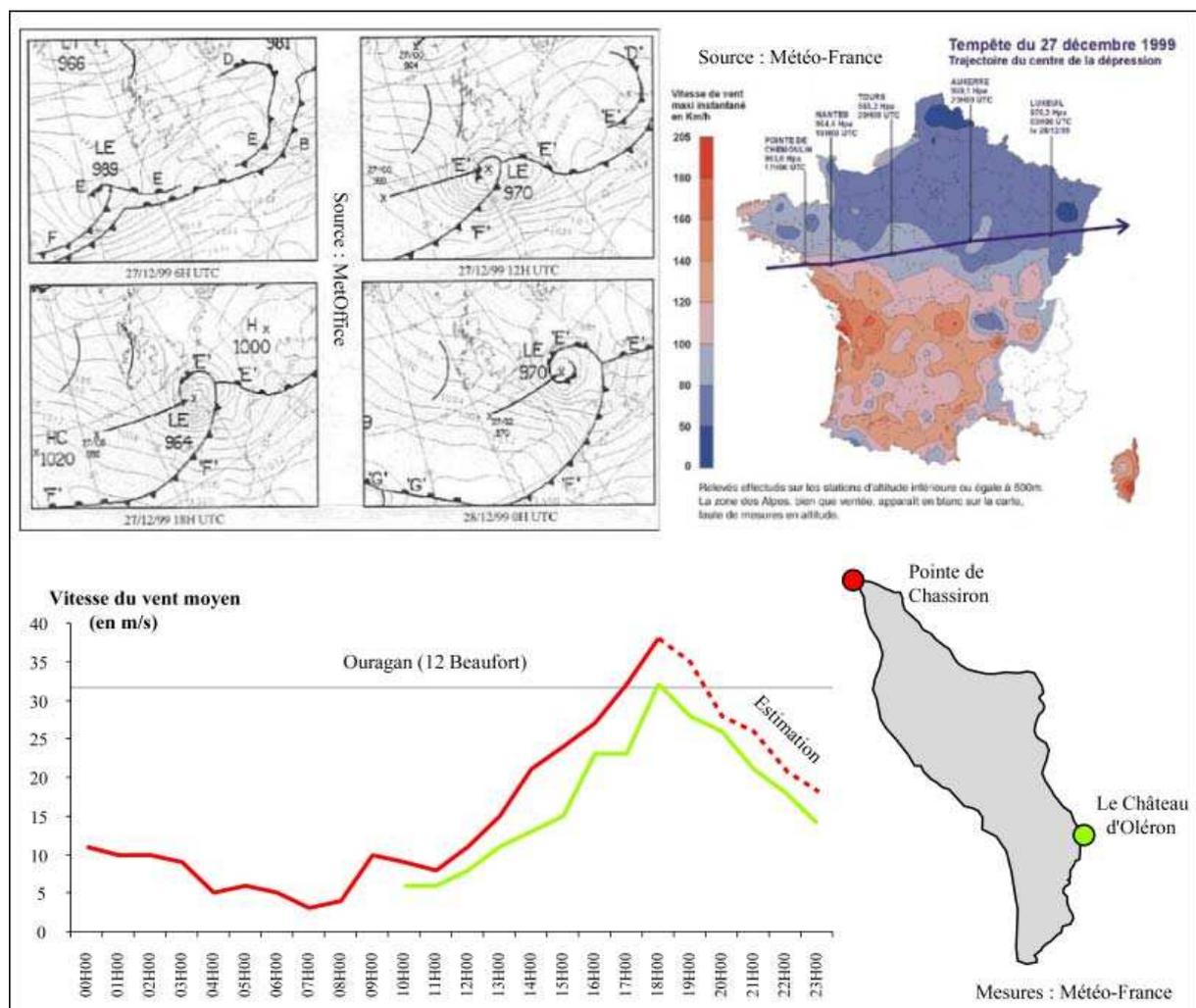


Figure 24 : Synoptique et vitesse du vent lors de l'ouragan *Martin*

Interprétation des données et réalité des tendances climatiques

Au-delà des problèmes liés aux données manquantes et à la discontinuité des séries temporelles des sources en climatologie (S. Bigot, 2002) [dans notre cas, les données manquantes sont relativement peu nombreuses, un peu plus d'1 % de la série globale des relevés *in situ* (Annexe 6)], cette rapide climatologie des tempêtes dans le Golfe de Gascogne soulève quelques interrogations.

A partir de séries de données ne dépassant que très rarement la centaine d'années, mais surtout en raison de la rareté des individus et de leur importante variabilité interannuelle, l'interprétation de tendances en ce qui concerne la fréquence et l'intensité des tempêtes reste délicate (P. Bessemoulin, 2002 ; S. Planton, 2002, S. Costa *et al.*, 2004). Nos propres données montrent à ce sujet l'importance des marqueurs et des méthodes utilisés pour l'interprétation des résultats statistiques. Il y aurait en quelque sorte autant de conclusions possibles qu'il existe de manières de procéder. L'analyse fréquentielle des jours de vent fort (vent moyen maximal 18 m.s^{-1}) au sémaphore de Chassiron n'illustre par exemple aucune recrudescence notable de ce type d'événement sur la fin du 20^{ème} siècle. Le comptage des situations à fort gradient de pression dans le Golfe de Gascogne tendrait à prouver le contraire. Un changement d'appareillage a eu lieu au sémaphore en août 1994, ce qui peut avoir eu une incidence sur la série de valeurs qui en est extraite. Notre propre interprétation, établie à partir d'un traitement subjectif des situations synoptiques, met aussi en exergue une lente évolution en ce qui concerne la trajectoire des systèmes cycloniques à l'origine de ces vents forts. Pourtant, à partir d'une méthode automatique basée sur les réanalyses ERA15 (Centre Européen de Prévision Météorologique à Moyen Terme, 1979-1993), D. Jouan (2005) n'a détecté aucune tendance en ce qui concerne ce paramètre. De tels changements pourraient avoir une incidence sur le régime des houles. Les statistiques traitant du climat des houles sur la même région sont souvent nuancées et parfois contradictoires en ce qui concerne une possible tendance haussière qui ne cesse d'être débattue (H. Dupuis *et al.*, 2006).

Ainsi, bien qu'il soit admis qu'un contexte de réchauffement du climat puisse être *a priori* favorable à un changement du régime des tempêtes (plus fréquentes et/ou plus intenses) en Europe de l'Ouest (IPCC, 2007), nous ne disposons vraisemblablement pas d'un recul suffisant pour confirmer ou infirmer cette hypothèse. Entre autres choses, il n'est pas certain que les tempêtes très intenses de décembre 1999 aient un lien direct avec le *Global Change* (S. Planton, 2002).

II. 4. 2. Houles, vagues et effets de la dérive littorale

Selon les statistiques élaborées par Météo-France, les houles océaniques observées dans le Golfe de Gascogne se caractérisent par une forte amplitude (hauteur maximum comprise entre 4.8 m et 15 m) et une longue période (généralement comprise entre 9 et 13 s, exceptionnellement jusqu'à 20 s). L'orientation Ouest-Nord-Ouest est largement majoritaire (Figure 25). En période hivernale (octobre à mars), dans 75 % des cas, les hauteurs sont supérieures à 2 m et les périodes supérieures à 10 s. En période estivale (avril à septembre), le rapport s'inverse : dans 75 % des cas, les hauteurs sont inférieures à 2 m et les périodes courtes (inférieures à 10 s) dominant. La Figure 26 illustre cette forte modulation saisonnière mais montre aussi que les houles les plus fortes (hauteur supérieure à 4 m) présentent une importante variabilité inter-annuelle. Elles sont le plus souvent de secteur Ouest et leur fréquence ne dépasse pas 5 % des cas enregistrés entre 2000 et 2004.

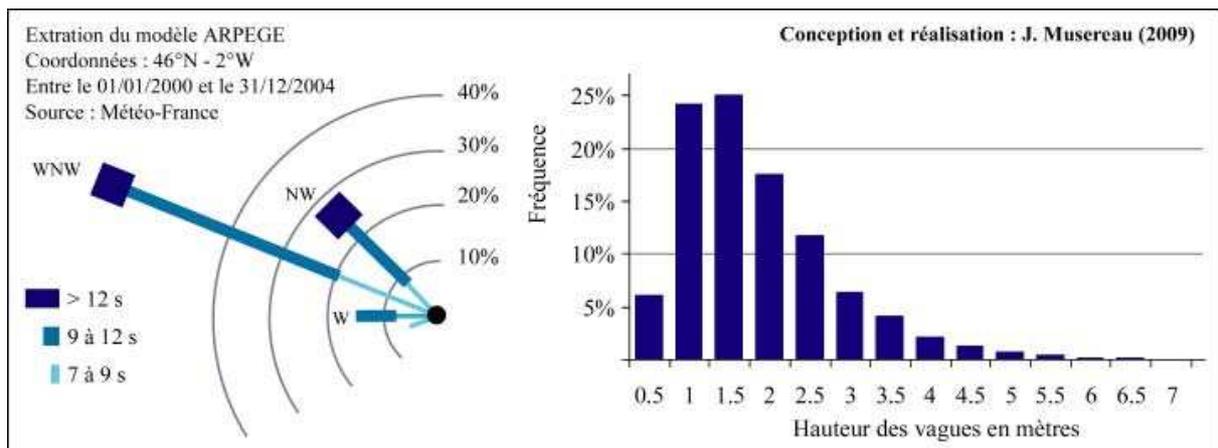


Figure 25 : Caractéristiques des houles au large des côtes charentaises

Selon les travaux menés par le Laboratoire d'Hydraulique de France (LHF, 1994), devant les côtes exposées vers le large, les platiers rocheux à faible pente favorisent la réfraction des houles qui abordent la côte avec une incidence faible. Dans les pertuis, les houles sont fortement réfractées et amorties de part et d'autre des fosses et sur les fonds plats, (Figure 27). Dans la partie orientale de la zone, et plus encore dans le bassin de Marennes-Oléron, les houles sont presque totalement amorties. Les trois sites ateliers sélectionnés pour cette étude correspondent à des configurations bien distinctes dans ce domaine. La plage de Vert-Bois est particulièrement bien exposée aux houles océaniques. Le site de La Belle-Henriette l'est un peu moins car il est en partie protégé par l'île de Ré. La plage de Marennes, située dans l'estuaire de la Seudre, n'est pratiquement pas concernée par ce paramètre.

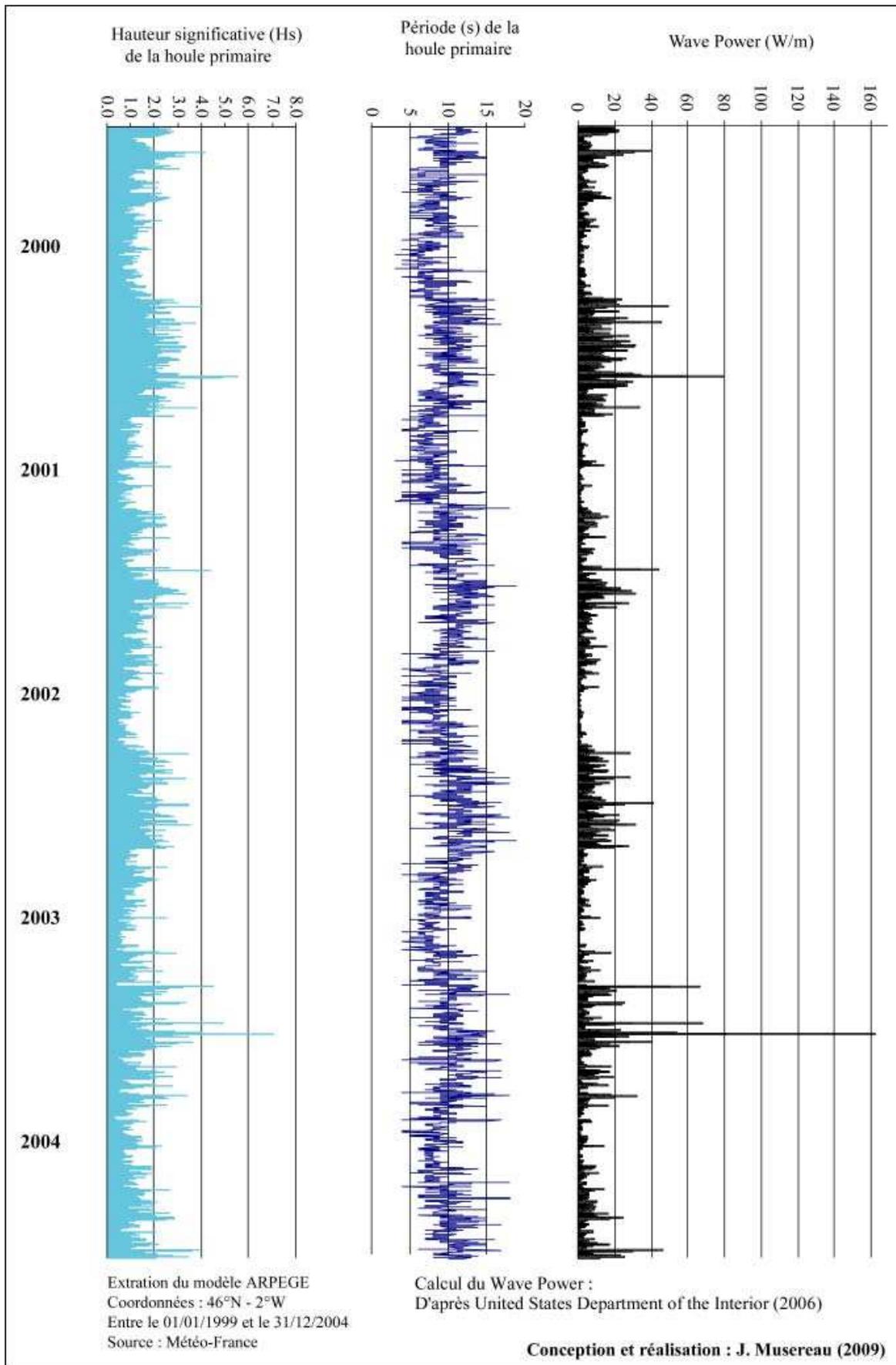


Figure 26 : Wave Power, hauteur et période des houles au large de la Zone d'Etude

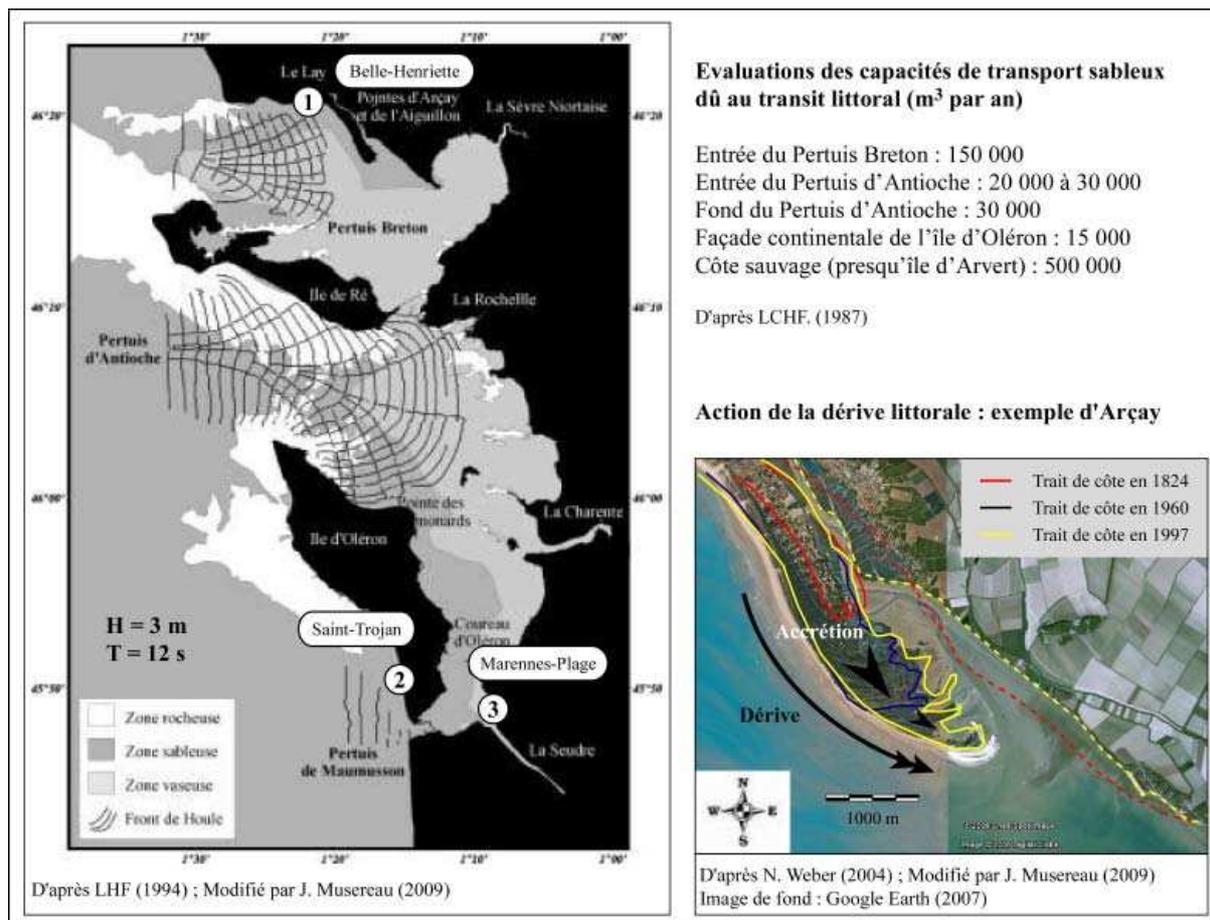


Figure 27 : Epure des houles d'Ouest et rôle de la dérive littorale dans les pertuis charentais

Dans ce secteur, la dérive littorale agit du nord vers le sud. Son action se matérialise par le développement de flèches sableuses (exemple d'Arçay, Figure 27) et par l'accumulation de sédiments sur la face nord des ouvrages côtiers transversaux. Les capacités de transport sableux dû au transit littoral varient en fonction de l'exposition du rivage. Sur la façade ouest de l'île d'Oléron, les dernières mesures disponibles (X. Bertin *et al.*, 2008) ont toutefois montré que ces quantités étaient 3 à 10 fois moins importantes que ce qui avait été estimé précédemment par le LCHF (1987).

Les agitations de courte période (mer de vent et clapot) sont moins sensibles que les houles à la réfraction et à la diffraction. Elles peuvent donc atteindre les côtes avec des incidences plus élevées et intervenir de façon notable dans le transport sableux en transit littoral. Générées par les vents locaux, leurs directions dépendent surtout du « fetch » (distance d'eau sur laquelle le vent souffle sans obstacle). Dans les zones abritées, l'amplitude des clapots peut varier de 0,5 m à 1,5 m. Exceptionnellement, comme lors de la tempête du 27 décembre 1999, l'agitation résiduelle (houle océanique et clapot) peut y dépasser 2 m.

II. 4. 3 Marégraphie et niveaux d'eau extrêmes

Dans le Golfe de Gascogne, la marée est de période semi-diurne (SHOM, 2003). L'onde de marée, qui a pris naissance au large des côtes avec une amplitude très faible (inférieure à 1 m), se propage en direction du nord, parallèlement aux côtes, et s'amplifie en parvenant sur les petits fonds. Dans la Zone des Pertuis Charentais, la particularité des marées est le renforcement de leur amplitude sous l'effet de la convergence des côtes au niveau des deux principaux détroits. Toutefois, ceux-ci sont des bassins de faibles dimensions et ne permettent pas la formation d'ondes stationnaires. Le marnage est en moyenne de l'ordre de 4 m, mais il oscille en réalité entre 2 et 6 m (Tableau 4).

<i>Source : SHOM C.M. : Cartes marines</i>	Morte-Eau Moyenne	Vive-Eau Moyenne	Vive-Eau Exceptionnelle
Coefficient	45	75	120
Pleine mer	4,9 m C.M.	5,4 m C.M.	6,6 m C.M.
Basse mer	2,5 m C.M.	1,8 m C.M.	0,3 m C.M.
Amplitude	2,4 m C.M.	3,6 m C.M.	6,3 m C.M.

Tableau 4 : Hauteur d'eau et amplitude de la marée au port de La Rochelle

Une série de données marégraphiques a fait l'objet d'une acquisition auprès du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM) pour affiner ces considérations d'ordre général. Il s'agit des hauteurs d'eau prédites et observées au port de La Rochelle, pour chaque marée haute et chaque marée basse, sur une période de quatre ans (du 01 janvier 2000 au 31 décembre 2004). A partir de ces éléments, les écarts entre prédiction et observation ont été calculés pour chaque cycle de marée. L'amplitude de ces écarts est bien sûr très variable d'un jour à l'autre. En fonction des conditions environnementales, celle-ci peut être positive ou négative. Dans le premier cas, le niveau de la mer est plus haut que ce qui avait été prédit, il s'agit d'une surcote. Dans le second, la mer a atteint un niveau moins important que celui qui avait été prédit, on parle de décote. Durant ces quatre années d'enregistrements, les moments où le niveau de la mer a effectivement atteint la hauteur d'eau prédite ont été très rares (seulement 223 occurrences). Les décotes ont été un peu plus fréquentes que les surcotes, avec respectivement 3789 et 3047 occurrences. On remarque cependant que les amplitudes absolues des décotes sont plus limitées que celles des surcotes (Figure 28). La surcote maximale de cette série est de 88 cm. Elle a été atteinte à deux reprises : le 5 janvier 2001 et le 14 novembre 2002. La plus importante décote a été mesurée le 31 janvier 2003. Elle n'est que de 49 cm.

Nous avons établi un classement fréquentiel des surcotes à partir de la même série de relevés (Figure 28). Les 3047 surcotes mesurées au port de La Rochelle ont été classées en fonction de leur amplitude, par tranches de 5 cm au-dessus du niveau prédit. Les déviations de très faible amplitude (inférieurs à 10 cm) sont les plus fréquentes, environ deux cas sur trois. Au-delà, très logiquement, plus la surcote est importante plus elle est rare. Les surcotes majeures (supérieures à 50 cm) représentent moins de 1 % des cas observés. Notons toutefois que les valeurs mesurées durant cette période d'échantillonnage n'ont rien d'exceptionnel. La plus importante surcote contemporaine mesurée au port de La Rochelle date du 27 décembre 1999. Le SHOM, qui ne dispose pas de mesures exactes pour quantifier cet événement, estime qu'elle aurait atteint 180 cm.

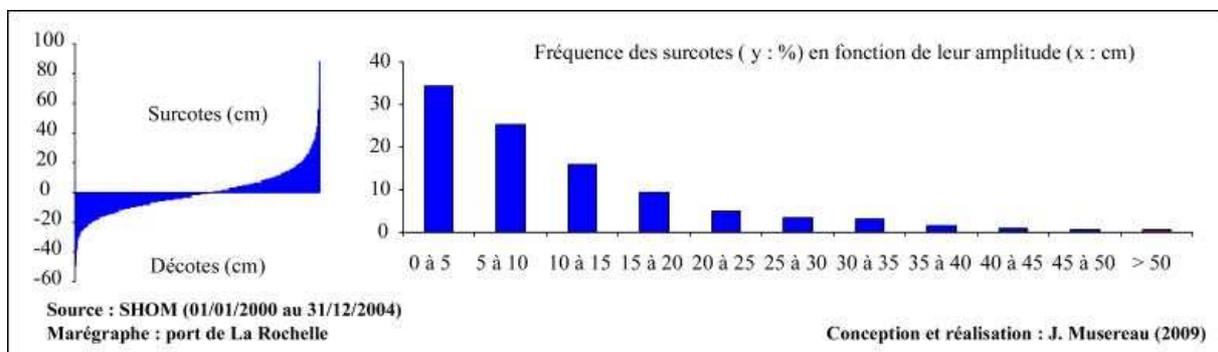


Figure 28 : Déviation du niveau marin par rapport à la marée astronomique

Afin de compléter ce descriptif, nous avons également cherché à identifier les types de temps qui sont responsables de ces surcotes. Les écarts temporaires du niveau réel de la mer par rapport à la marée astronomique sont en effet directement imputables aux conditions environnantes et notamment les conditions météorologiques. Il est reconnu que la pression atmosphérique en est un des principaux facteurs. La cote résultante est alors inversement proportionnelle à la différence de pression par rapport au seuil de 1013 Hpa (M. Dars *et al.*, 1979). Mais d'autres facteurs entrent en ligne de compte. Nous avons extrait les cinq plus importantes décotes et surcotes de la série de mesures mise à notre disposition par le SHOM. Nous avons ensuite comparées les situations isobariques associées à ces principales déviations du niveau marin (Figure 29). Entre le 1^{er} janvier 2000 et le 31 décembre 2004, les plus fortes surcotes correspondent à une configuration bien identifiable : une profonde dépression est centrée au large des côtes bretonnes ; elle implique la présence d'un fort courant de Sud-Ouest dans le Golfe de Gascogne, un vent d'afflux. A l'inverse, les plus fortes décotes sont intervenues lorsqu'une cellule de hautes pressions était installée à proximité de l'Irlande, impliquant alors la présence d'un fort courant de Nord-Est, un vent de reflux.

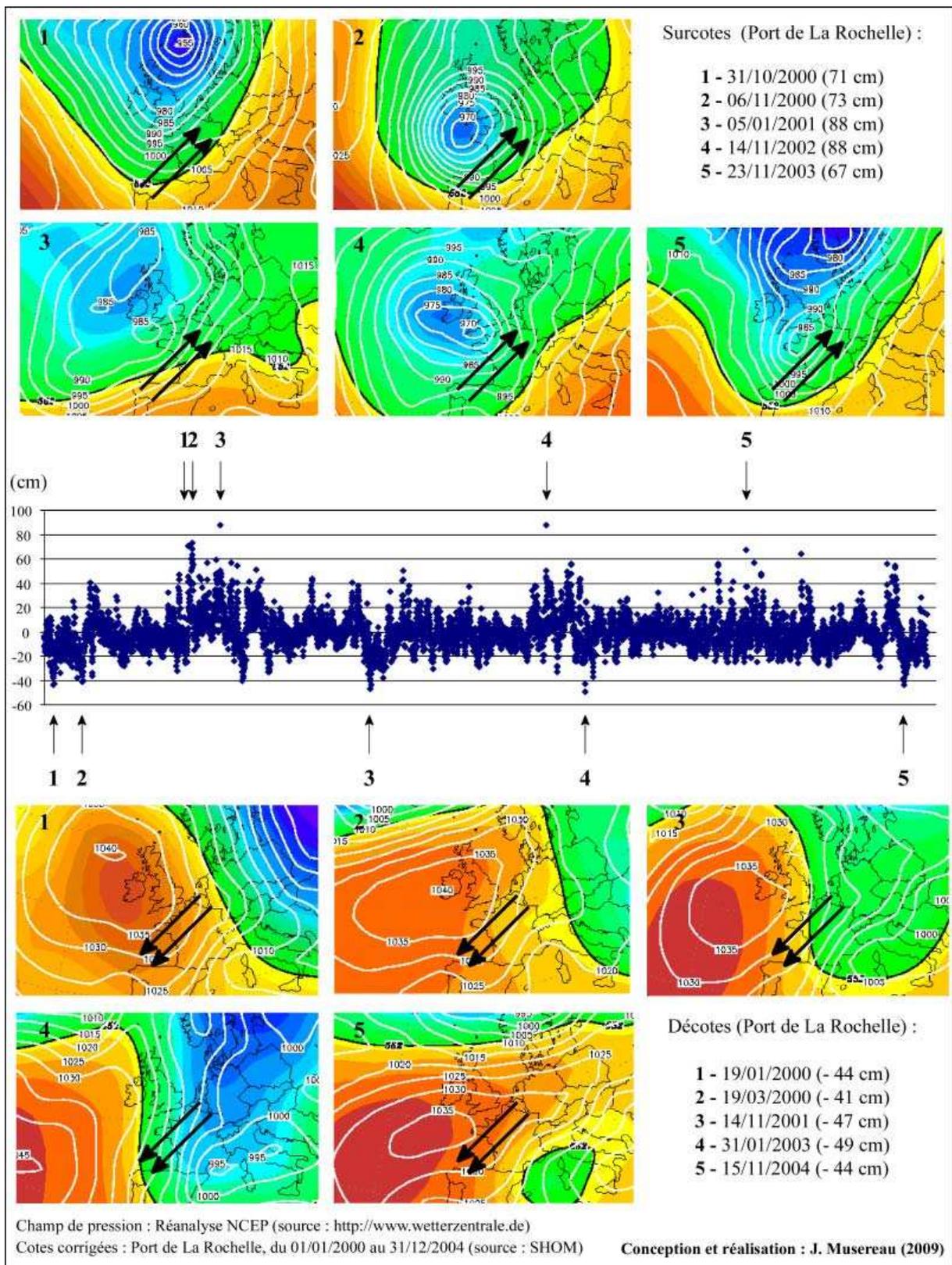


Figure 29 : Situations isorabiques associées aux principales déviations du niveau marin

II. 5. 1 La lagune de La Belle-Henriette

La lagune de La Belle-Henriette se situe entre les villes de La Tranche-sur-Mer et de La Faute-sur-Mer (Figure 30). Elle fait face à une zone d'exploitation mytilicole et, comme bien d'autres sites touristiques de la région, est devenue un haut lieu de villégiature pour les amateurs d'activités nautiques et balnéaires (promenade, baignade, char à voile...). Sur ce littoral, la houle est un élément majeur. Elle explique en grande partie ses évolutions passées et actuelles (P. Galichon, 1984 ; E. Deat, 1995, F. Verger, 2005, J. Allard *et al.*, 2008). L'action de la dérive littorale y domine et porte en direction du sud-est. Ces processus sont d'ailleurs à l'origine de l'isolement progressif de la lagune de La Belle-Henriette. A cet endroit, l'accroissement d'une flèche littorale au cours du 20^{ème} siècle est rapidement devenu problématique pour la population fautaise. Les Fautais ont dû composer avec un risque accru de submersion marine pendant de nombreuses années. Les solutions proposées pour contenir ce phénomène se sont multipliées, sans succès, jusqu'à la fermeture artificielle de la lagune, en 1971. Les années suivantes, la lagune de La Belle-Henriette s'est progressivement adoucie, ce qui a permis le développement d'un écosystème lagunaire d'une richesse remarquable (Figure 31). Le site est désormais classé dans son ensemble Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique Faunistique et Floristique, ZNIEFF (Annexe 11).

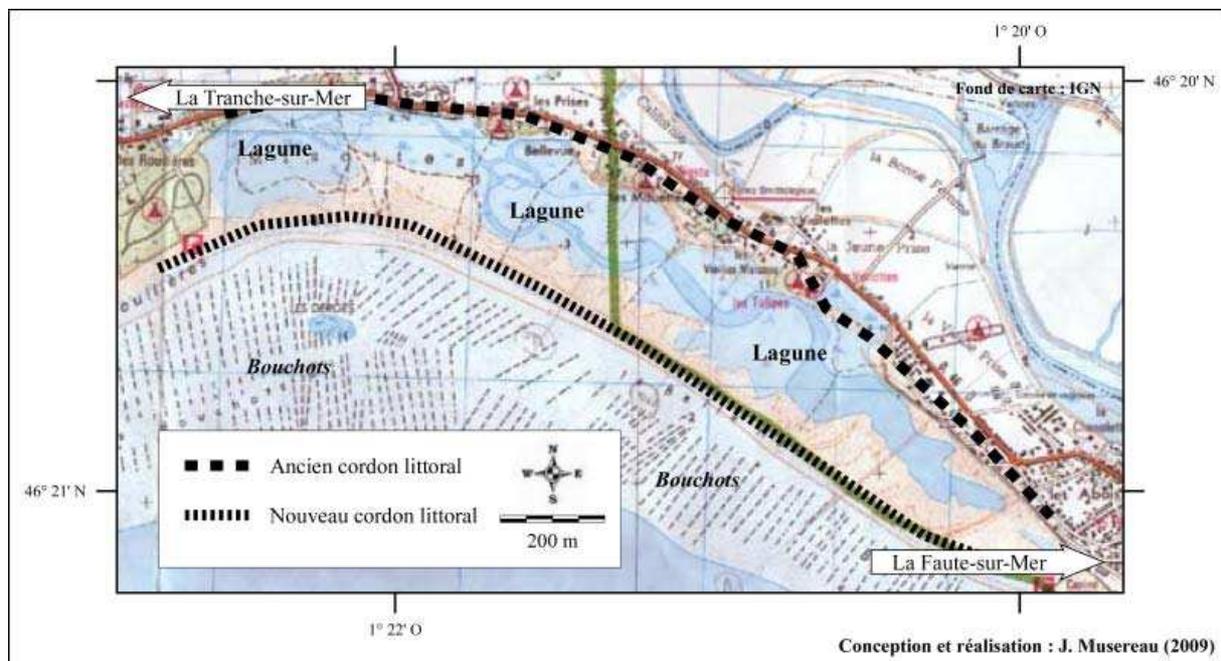


Figure 30 : Présentation générale de la lagune de la Belle Henriette

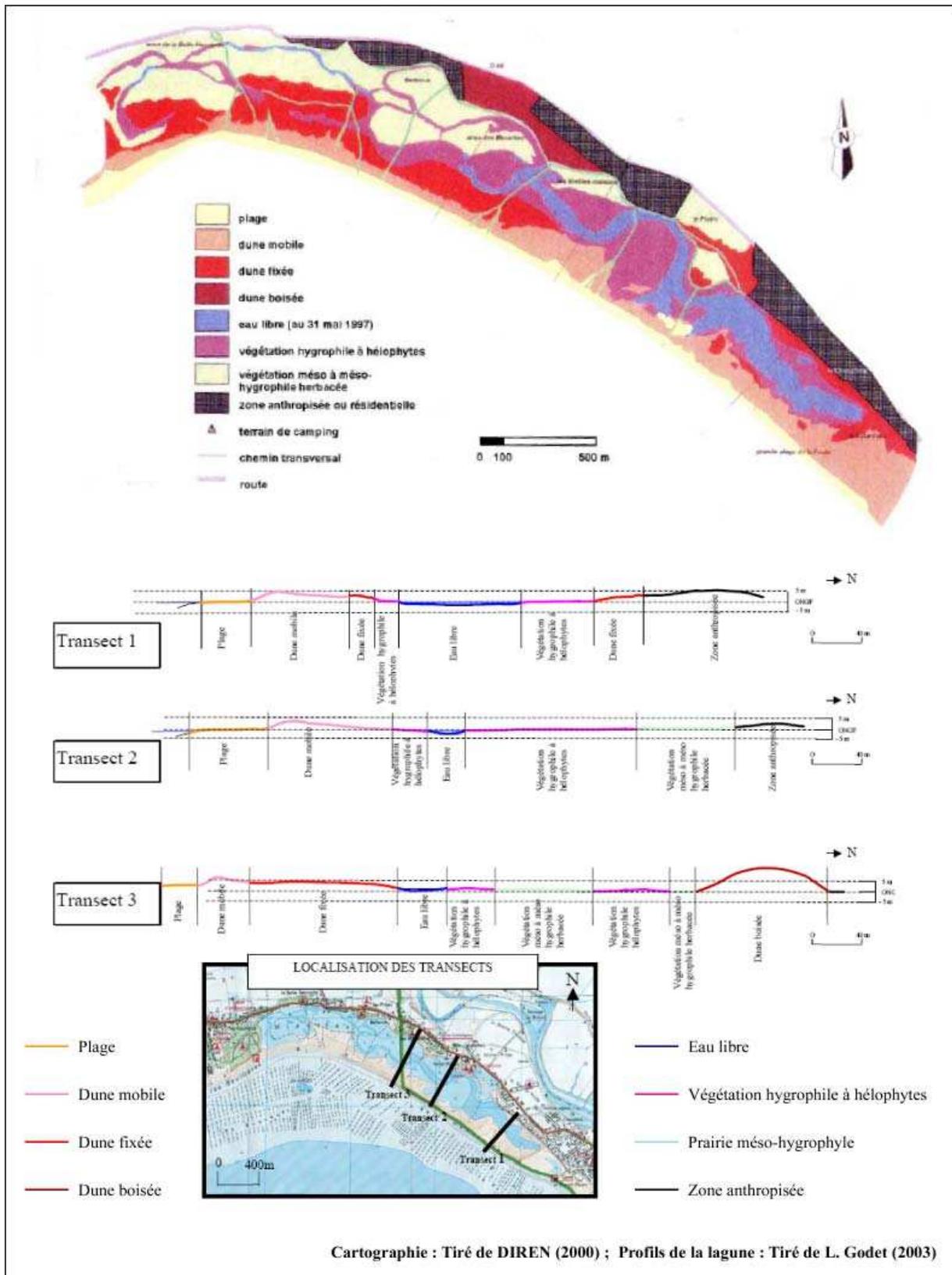


Figure 31 : La Belle Henriette, un écosystème lagunaire remarquable

II. 5. 2 La dune de Saint-Trojan

La dune de Saint-Trojan se situe au sud-ouest de l'île d'Oléron (Figure 32). L'accrétion de ce complexe dunaire littoral, durant une grande partie des 19^{ème} et 20^{ème} siècle, est contemporaine de sa phytostabilisation, qui débute en 1832. Depuis la fin des années 1970, la tendance s'est inversée. La partie littorale de la dune de Saint-Trojan, véritable image de marque pour l'industrie touristique locale, se dégrade rapidement (érosion marine, blanchiment de la dune grise, déforestation consécutive à l'ouragan du 27 décembre 1999...). C'est au nord du complexe dunaire et plus particulièrement au niveau de la plage de Vert-Bois que les effets de l'exacerbation de la dynamique littorale sont les plus visibles et les plus préoccupants, avec la destruction d'un parking côtier en 1999. La dune blanche y est pratiquement absente ainsi que le bourrelet qui constituait autrefois le cordon littoral, encore présent et parfois même imposant en allant plus au sud, comme au niveau de la passe des Préposés ou à la Pointe de Gatseau (Figure 32). Les raisons de la profonde dégradation de la dune littorale de Saint-Trojan sont multiples : l'abandon des travaux systématiques (et de grande ampleur) pour fixer de la dune, un déficit sédimentaire chronique (M. C. Prat et J. N. Salomon, 1997 ; M. C. Prat, 2001 ; M. C. Prat, 2004 ; W. Proust, 2004 ; F. Sabatier *et al.*, 2009) ou encore les effets probablement néfastes d'ouvrages transversaux (épis) bloquant le transit littoral en amont-dérive de la plage de Vert-Bois.

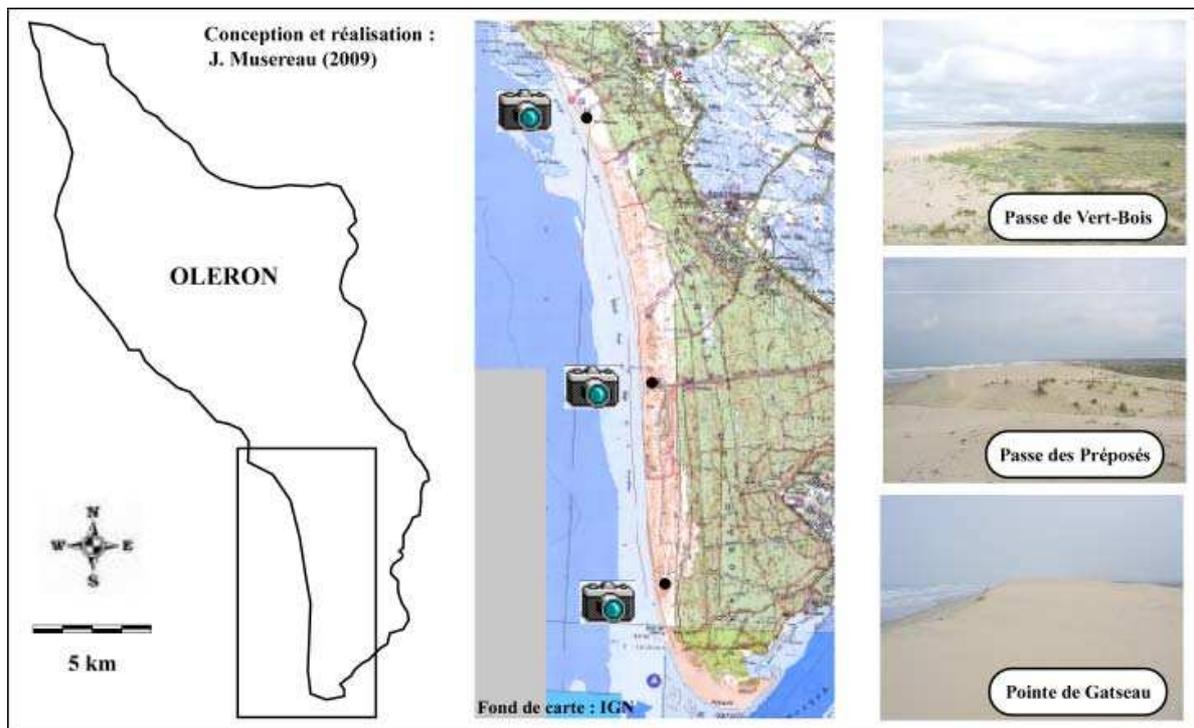


Figure 32 : Présentation générale de la dune de Saint-Trojan

II. 5. 3 La plage de Marennnes

La plage de Marennnes, rebaptisée récemment « Marennnes-Plage », se présente sous la forme d'un bassin de baignade fermé par un cordon pré littoral artificiel. Il se situe dans un secteur abrité, le long de la rive droite de l'embouchure de la Seudre (Figure 33). Au cours des années 1970, une défense frontale avait été édiflée pour protéger les habitations du front de mer. Cet ouvrage s'est soldé par un échec et a même contribué à faire disparaître l'ancienne plage de Marennnes. En 1997, la commune a donc décidé de procéder à un rechargement de sable afin de rétablir le stock sédimentaire de la plage dans sa globalité. Il s'agit d'un atout touristique indéniable pour la municipalité, mais il coûte cher. En effet, le cordon littoral qui protège le bassin de baignade doit être géré avec attention. Dans la durée, un entretien régulier s'avère nécessaire à sa bonne tenue. Si la technique du rechargement y est désormais bien maîtrisée, la question de la fréquence des apports et surtout celle de leur coût financier sont aujourd'hui de nouvelles problématiques auxquelles la commune doit faire face.

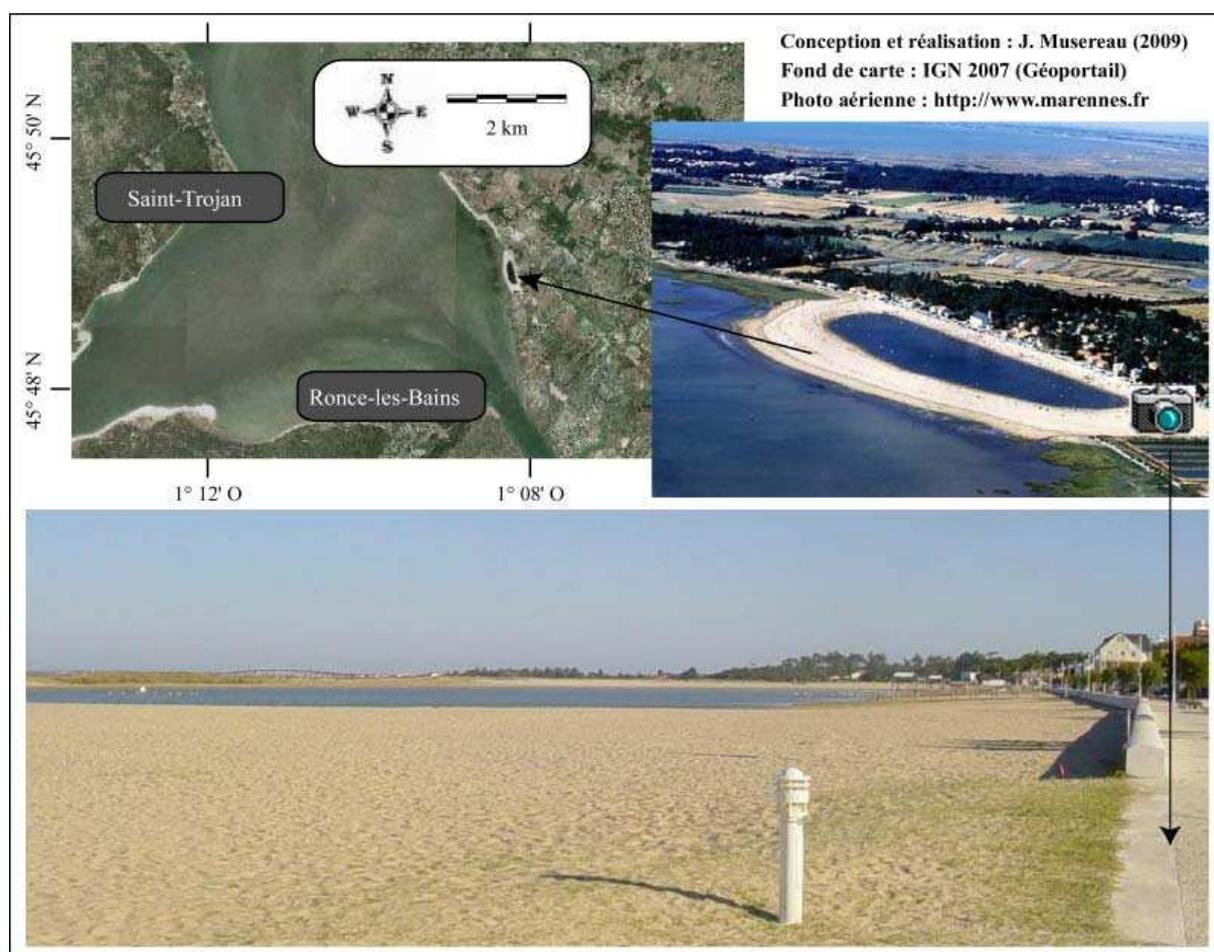


Figure 33 : Présentation générale de la plage de Marennnes

CHAPITRE III : PRESENTATION HISTORIQUE DES SITES ATELIERS

INTRODUCTION DE CHAPITRE

« Plus l'Homme possède la Nature, plus la Nature possède l'Homme »

Edgar Morin

En raison des enjeux induits par leur éventuelle disparition et parce que leur vulnérabilité actuelle aux processus d'érosion suscite de nombreuses préoccupations, les trois sites retenus pour cette étude [la lagune de La Belle-Henriette (Vendée), la dune de Saint-Trojan (Oléron) et le bassin de Marennes-Plage (estuaire de la Seudre)] se présentent comme des environnements particulièrement sensibles à l'érosion marine et se prêtent donc à l'expérimentation d'outils visant à prédire le phénomène (chapitres 4 et 5).

En morphodynamique littorale, les environnements côtiers sont habituellement traités comme des milieux naturels où les interventions humaines sont plutôt considérées comme des éléments susceptibles d'en perturber l'équilibre (B. Bousquet et A. Miossec, 1990). Dans cette thèse, une approche différente est adoptée. Il s'agit de décrire des comportements morphosédimentaires en supposant *a priori* que certains littoraux sont suffisamment artificialisés pour être considérés comme des systèmes territoriaux dont la nature est anthropique, au moins partiellement. L'évolution actuelle des conditions environnementales y est alors souvent perçue et vécue comme une contrainte [terme que nous empruntons ici dans le sens défini par J. P. Marchand (1980)].

Dans la présentation historique qui suit, nous nous attacherons à montrer qu'une part non négligeable des processus à l'origine de la morphogenèse de ces trois cordons littoraux découle d'une forte interaction entre Nature et Société. Si cela paraît évident dans le cas de Marennes-Plage (il s'agit d'un bassin artificiel), il sera question, ailleurs, de décrire des processus bien plus diffus et indirects, en particulier dans le cas de la dune de Saint-Trojan. Ce travail repose sur la mise en relation de données hétérogènes, discontinues, parfois imprécises (car très anciennes et souvent qualitatives) et relativement peu nombreuses au regard de la littérature existante autour de ces thèmes. Son objectif est de proposer une interprétation globale et synthétique, où l'accent est porté sur la co-évolution des sous-systèmes naturels et anthropiques des évolutions morphodynamiques relevées sur ces sites. Notre démarche s'inspire des méthodes de reconstitutions historiques et systémiques développées par N. Baron-Yellès (2000), C. Lévêque *et al.* (2003) et J. L. Maigrot (2007).

III. 1 MATERIEL ET METHODE

L'interprétation que nous proposons pour décrire l'évolution historique de la lagune de La Belle-Henriette, de la dune de Saint-Trojan et de la plage de Marennes fait appel à des sources de natures et d'époques très variées : des cartes anciennes, des photographies aériennes, des archives climatiques et enfin une liste (non exhaustive) des interventions humaines puisqu'il est question de traiter de leurs interactions avec la dynamique morpho-sédimentaire sur ces littoraux. Un état de l'art des précédentes recherches menées dans ce domaine, ou tout du moins des documents suffisamment étayés, argumentés et objectifs⁴, nous a permis de nous rendre compte de l'intérêt tout relatif que peut porter la communauté scientifique au sujet de l'artificialisation de ces sites. La confrontation de ce corpus de données prend la forme d'un récit qui retrace l'histoire des trois sites ateliers, depuis leur morphogenèse jusqu'à nos jours. Par commodité, il a été décidé de fixer le début de cette investigation à la date des levés de la carte de Cassini (vers 1767 pour ce secteur géographique) ; même s'il est évident que les sociétés humaines ont investi les lieux et commencé à aménager le littoral vendéo-charentais à des époques bien plus lointaines [à titre d'exemples, citons le site préhistorique des « Dolmens d'Or » (Oléron) ou la nécropole gallo-romaine des « Sables » (Châtelailon)].

III. 1. 1 Principe et objectif de l'historique

Dans ce chapitre consacré à la description de la morphogenèse de nos sites ateliers, notre objectif est d'extraire les points communs et les spécificités locales de ces trois secteurs expérimentaux afin de mieux cerner les enjeux qui en font actuellement des espaces particulièrement vulnérables à l'érosion, en tout cas perçus et vécus comme tels par les populations riveraines. Nous partons d'une hypothèse relativement simple, somme toute pragmatique et non nouvelle puisqu'elle a déjà été posée en ces termes par R. Neboit en 1983 (la citation suivante provenant de la réédition de 1991, p. 195) :

« L'Homme détient le pouvoir d'infléchir, dans certaines limites, le cours de la morphogenèse. Il a ainsi imprimé sa marque au sol (...) Il est donc permis d'envisager que soit apparu, avec le temps, des types sui generis de modelés. »

⁴ Il peut parfois arriver (notamment dans l'exploration de la littérature grise) de rencontrer des textes dont l'argumentaire présente une nature partisane vis-à-vis de questions aussi sensibles que l'érosion ou l'urbanisation du littoral. Nous avons préféré faire abstraction de ce type de document.

Ce point de vue peut paraître évident pour un géographe, en particulier ceux dont les recherches portent sur l'analyse des contraintes socio-spatiales. Sous réserve d'employer un vocabulaire partagé, il en serait certainement tout autant pour un spécialiste des gestions territoriales. Cette axiomatique ne constitue pas en revanche un préalable chez les spécialistes de la nature. Or, l'étude de la morphodynamique côtière a longtemps été et reste en grande majorité du ressort des géophysiciens (géomorphologues, sédimentologues, géologues...), notamment parce que leur qualité d'expertise est plus légitime que celle des « non spécialistes » qui s'adonnent à l'exercice.

Afin d'illustrer le poids de cette influence dogmatique, nous nous permettons de citer quelques passages de la thèse de Géologie Marine soutenue récemment par X. Bertin (2008). L'auteur, pour lequel la côte sud-ouest d'Oléron (la dune de Saint-Trojan) n'est qu'une partie adjacente de sa principale zone d'étude (Pertuis de Maumusson et baie de Marennes-Oléron), a proposé un modèle conceptuel visant à synthétiser les dynamiques et processus à l'origine de la rapide progradation de la Pointe de Gatseau observée durant les 19^{ème} et 20^{ème} siècles, puis son érosion récente (cf. figure de synthèse de X. Bertin en Annexe 12) :

« De 1824 à 1882, la pointe de Gatseau effectue une progradation spectaculaire vers le SW, qui atteint localement 1300 m en 28 ans, soit un taux moyen de plus de 20 m/an (...) De 1946 à 1997, l'évolution s'inverse (...) celle-ci devient une côte en érosion à partir de 1960 (...) De 1997 à 2005, l'érosion s'intensifie sur le littoral Sud de l'île d'Oléron » (...) De 1864 à 1946, la forte progradation du SW de l'île d'Oléron réduit pratiquement de moitié la largeur de l'embouchure de Maumusson (...) Dans cette configuration bathymétrique, le chenal de marée de Maumusson devait être localement emboîté dans l'incision du substratum qui lui imposait alors son orientation. Ce contrôle de la topographie du substratum rocheux sur le chenal de Maumusson permettrait d'expliquer sa réorientation dans une direction WNW, parallèlement à l'incision. Ceci permettrait également d'expliquer la stabilité remarquable dont fait preuve le chenal de Maumusson de 1864 à 1946, face à une dérive littorale qui devait être colossale si on considère la progradation kilométrique de la pointe de Gatseau pendant cette période (...) le chenal de marée devait localement reposer sur le socle mésozoïque incisé, qui lui imposait alors une orientation WNW (N 280°). De part cette orientation, le chenal de marée constituait un obstacle hydraulique face à la dérive littorale et permettait l'accumulation du sédiment sur la côte amont et sa progradation de plus d'un km vers le SW »

Notre objectif n'est pas de remettre en cause la qualité de ce modèle d'évolution mais d'y apporter quelques compléments. Nous notons simplement que dans ce remarquable travail de reconstitution des différents états du milieu à la fois terrestre et sous-marin, à aucun moment, l'auteur ne cite les aménagements que les Oléronnais ont réalisés durant l'ensemble de la période associée à la dynamique d'avancée du rivage, ni la concordance chronologique entre l'arrêt brutal de ses pratiques et l'initiation de la dynamique de recul de la dune littorale (qui selon les indicateurs socio-historiques en notre possession aurait d'ailleurs été plus tardive). A notre connaissance, il s'agit pourtant d'un effort de phytostabilisation qui n'a pas d'équivalent en terme de technicité et de témérité sur le littoral français. Les processus naturels décrits par X. Bertin sont-ils les seuls facteurs explicatifs de cette évolution ? L'intervention que nous venons de décrire très succinctement contribue-t-elle à expliquer, au moins pour partie, l'ampleur de cette progradation ? Et, finalement, de quelle manière ? Selon nous ces questionnements sont cruciaux pour qui voudrait reconstituer l'évolution historique de littoraux tels que ceux présentés dans ce travail de recherche. Plus globalement, l'état de l'art qui s'imposait comme préalable à l'élaboration de cet historique montre que les morphogénèses qu'il vise à décrire sont relativement peu documentées (Tableau 5) ; le cas de Marennes-Plage étant sans doute l'exemple le plus représentatif, notamment parce qu'il s'agit d'un site récent (1997) et de petite taille (environ 1,2 Ha).

Cartes topographiques	Lagune de Belle-Henriette	Dune de Saint-Trojan	Marennes-Plage
Monographie			
Revue scientifique			
Littérature grise			
Données historiques	Cartes anciennes (IGN)*	Cartes anciennes (IGN)*	
	P. Galichon (1984)** E. Deat (1995)** L. Godet (2003)** F. Verger (2005)	X. Bertin (2008)** S. Grivel (2000)** J. Musereau (en 2003)**	Pupier-Dauchez (2002)**
	A. Bouhier (1957) J. Welsch (1919)	Salomon (1996) Prat et Salomon (1997) Prat (2001)	Brulay et Dauchez (2006)
	Bocquier (1907)	Y. Bertali <i>et al.</i> (2002)**	
Suivis topographiques récents	IGN (2000)	IGN (2007)	IGN (2007)
	L. Godet (en 2003) E. Deat (1995)	J. Musereau (en 2003)	Pupier-Dauchez (2002)
		LGPA (1996 à 2000) ¹ LIENs (1999 à 2007) ²	Brulay et Dauchez (2006)
	DDE 85 (1981 à 1998)	DDE 17 (en 2002) ONF (ponctuellement)	
* Voir l'exemple des productions à l'échelle 1/25000 en Annexe 13			
** Comprend des citations d'ouvrages antérieurs non mentionnés dans ce tableau			
¹ Laboratoire de Géographie Physique Appliquée (Université de Bordeaux 3)			
² Littoral Environnement et Sociétés - UMR 6250 (Université de La Rochelle)			

Tableau 5 : Les travaux antérieurs à la Thèse (bibliographie non exhaustive)

Concernant la morphogénèse de ces sites, les ouvrages scientifiques traitant plus spécialement de la dynamique côtière n'ont donc pas toujours eu le souci d'insister sur l'influence du facteur anthropique. Notre postulat est au contraire de considérer que ce facteur est essentiel et qu'il constitue un précieux complément d'information. En comblant certains vides, nous visons donc à en proposer une interprétation plus nuancée et, en quelque sorte, moins déterministe. Notre approche se veut globale et synthétique. Même si dans cet exercice de nombreuses techniques ont déjà été mises au point pour résoudre les problèmes liés au référencement vertical des sources anciennes (S. P. Leatherman, 1983 ; M. Crowell *et al.*, 1991 ; R. Dolan *et al.*, 1991 ; R. Dolan *et al.*, 1992 ; E. R. Thieler et W. W. Danforth, 1994 ; B. B. Parker, 2002...), notre but n'est pas de décrire leur évolution avec une précision absolue (trait de côte, morphologie, occupation du sol...). Ce travail demande cependant à ce que les éléments du système territorial en question soient identifiés et décrits sans ambiguïté, à la fois dans le temps et dans l'espace. Dans cette optique, nous avons construit un chorème permettant de mettre en exergue le type d'interactions que nous cherchons à déceler (Figure 34). Pour qu'il puisse être représenté en plan et faire l'objet d'illustrations de synthèse propres à chacun des sites ateliers, la représentation graphique qui en est proposée a volontairement été simplifiée. Elle se résume à la distinction de quatre étapes majeures. En théorie, elles peuvent être beaucoup plus nombreuses.

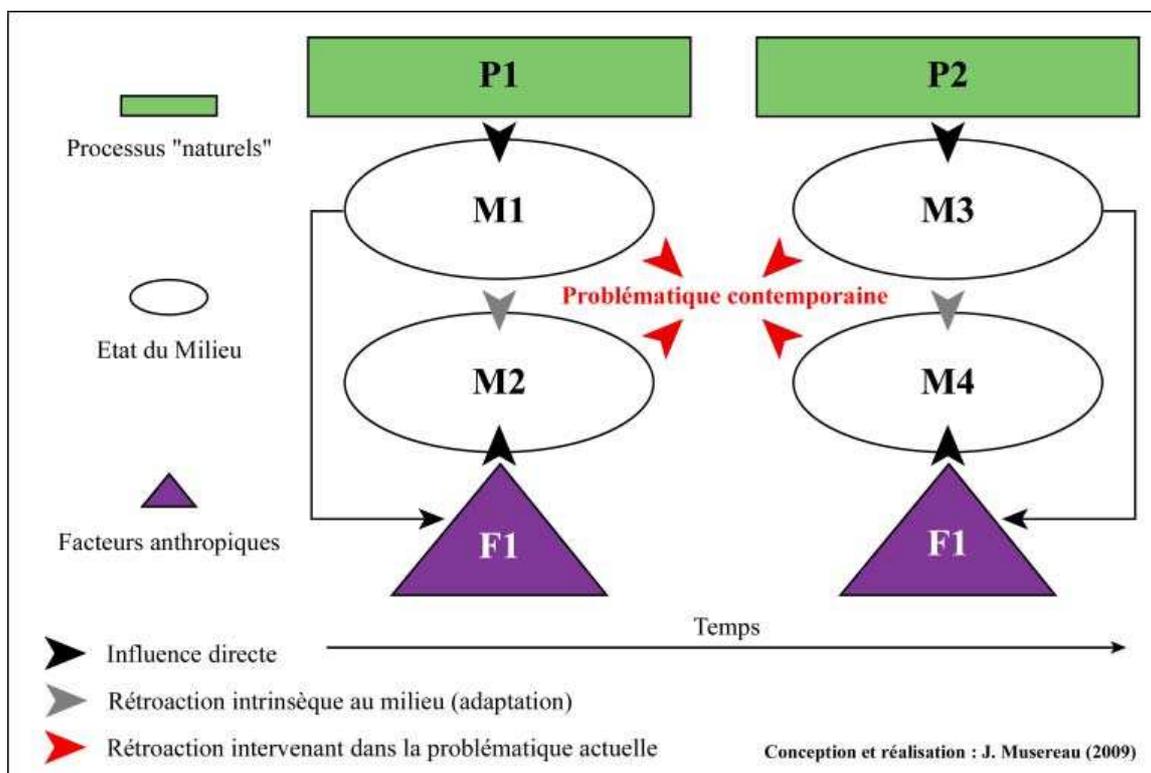


Figure 34 : Principe de la synthèse systémique

III. 1. 2 Cartes anciennes et photographies aériennes

Nous avons envisagé de constituer une base de données spatialisée à partir des documents cartographiques antérieurs à notre étude. Plus ou moins éclatées géographiquement, parfois en marge d'un site d'étude principal (cas de la thèse de X. Bertin), hétérogènes et issues de problématiques variables d'un auteur à l'autre, après consultation, nos sources se sont finalement avérées peu exploitables en l'état, hormis quelques cas centrés sur ces localités et sur lesquels nous nous appuyerons plus largement. Il s'agit des travaux de L. Godet (2003) pour La Belle-Henriette, d'Y. Bertali *et al.* (2003) dans le cas de Saint-Trojan et de S. Pupier-Dauche (2002) pour Marennes-Plage. Pour pouvoir comparer des sites aussi différents, il a donc été décidé de faire intervenir une base méthodologique homogénéisée (simplification au plus petit dénominateur commun) tout en conservant le maximum d'éléments que cet ensemble de données composites peut délivrer.

Pour disposer d'un support « neutre », il s'est avéré indispensable de faire l'acquisition de plusieurs types de documents originels. Il s'agit d'une part de cartes anciennes et, d'autre part, de photographies aériennes. Si ces dernières sont plus précises et chargées d'une information plus fournie que les cartes topographiques, elles sont également plus onéreuses. Une sélection étroite des dates d'acquisition a donc été conduite. Les clichés ont été choisis avec le soin de révéler certains aspects de morphodynamique, que nous mettrons ensuite en relief en les associant à l'anthropisation du littoral. Les caractéristiques des cartes anciennes et des photos aériennes utilisées pour cette description historique sont respectivement présentées dans les Tableau 6 et 7. Notre objectif, rappelons-le, n'est pas de reconstituer aussi fidèlement que possible le tracé du rivage (comme d'autres ont pu le faire avant nous) mais de proposer une vue d'ensemble des dynamiques spatiales en les recoupant avec des faits anthropiques bien identifiés.

	<i>Site</i>	<i>Localisation</i>	<i>Levés</i>	<i>Feuille</i>	<i>Publication</i>
Carte de Cassini	La Belle-Henriette Marennes	Sud Vendée (85) Estuaire de la Seudre (17)	1767	133	1769
			1766	102	1773
Carte d'Etat Major	La Belle-Henriette Marennes	Sud Vendée (85) Estuaire de la Seudre (17)	1850	141	1909
			1845	152	1899
Top 25*	Saint-Trojan	Oléron (17)	1993	1330OT	1993
* Autre protocole choisi, ne nécessitait pas de recourir aux cartes anciennes					

Tableau 6 : Acquisition de cartes anciennes

Site	Nom de la mission	Date	Type	Résolution Initiale	Numérisation
La Belle-Henriette	CDP 9120 F 1228	1961	Noir et Blanc	1 : 20 000	800 dpi
		1999	Noir et Blanc	1 : 30 000	1200 dpi
Saint-Trojan	F 1331-1631 IFN 16-17 FD 17	1950 (x3)	Noir et Blanc	1 : 26 000	1040 dpi
		1980 (x3)	Noir et Blanc	1 : 20 000	800 dpi
		2003 (x3)	Couleur	1 : 25 000	1000 dpi
Mareennes	CDP 3947 FD 17-33 FD 17	1963	Noir et Blanc	1 : 20 000	800 dpi
		1996	Noir et Blanc	1 : 25 000	1000 dpi
		2003	Couleur	1 : 25 000	1000 dpi
Site	Date	Points de calage	RMS error	Résolution finale	Erreur moyenne au sol
La Belle Henriette	1961	10	4.09	1 : 25 000	5.11 m
	1999	10	5.42	1 : 25 000	6.77 m
Saint-Trojan	1950 (1)	10	3.58	1 : 25 000	4.47 m
	1950 (2)	10	3.92	1 : 25 000	4.90 m
	1950 (3)	8	5.15	1 : 25 000	6.43 m
	1980 (1)	12	2.89	1 : 25 000	3.61 m
	1980 (2)	12	3.52	1 : 25 000	4.40 m
	1980 (3)	12	4.10	1 : 25 000	5.12 m
	2003 (1)	12	3.28	1 : 25 000	4.10 m
	2003 (2)	12	4.18	1 : 25 000	5.22 m
2003 (3)	12	4.10	1 : 25 000	5.12 m	
Mareennes	1963	10	2.55	1 : 25 000	3.18 m
	1996	10	3.72	1 : 25 000	4.65 m
	2003	10	3.14	1 : 25 000	3.92 m

Tableau 7 : Photographies aériennes, acquisitions et prétraitements

L'analyse débute aux levés de la Carte de Cassini (échelle de 1/86400 ; source : IGN). Pour des questions évidentes d'échelle et de sémiologie graphique, il s'agit en effet du premier document cartographique à partir duquel il est possible d'établir une comparaison diachronique suffisamment fiable avec des documents plus récents. Pour en simplifier l'interprétation, des cartes schématiques ont été produites à partir des planches originales (Figure 35). Seuls les éléments essentiels pour notre analyse figurent sur ces documents de synthèse : l'estran, le trait de côte et éventuellement les marais maritimes. L'extraction de ces tracés procède d'une numérisation des interfaces des différents éléments que nous venons de citer (logiciel *Illustrator*®, version 8.0). L'homogénéisation des échelles repose quant à elle sur un simple ajustement scalaire des images (réduction / agrandissement) via le logiciel de DAO. Les mêmes traitements ont ensuite été appliqués à partir de la Carte d'Etat Major (échelle de 1/80 000 ; source : IGN), puis avec les photos aériennes (échelle variable ; source : IGN). Le calage des images s'opère sur la base d'amers communs. Ceux-ci permettent également de restituer visuellement l'imprécision de chaque document source.

Dans le cas de Saint-Trojan, un protocole différent a toutefois été privilégié pour la numérisation du trait de côte. L'opération s'effectue à partir d'une carte topographique récente (TOP 25, 1997 ; source : IGN) et des productions antérieures à notre travail (Y. Bertali *et al.*, 2002 ; X. Bertin *et al.*, 2005 ; X. Bertin, 2008). Les tracés qui en résultent correspondent en réalité à des bourrelets d'accrétion qui témoignent de la mise en place d'ouvrages côtiers spécifiques à ce site dont nous chercherons à expliquer les impacts possibles sur la morphodynamique de la dune littorale. Il s'agit de palissades (cf. III. 3. 1). Chaque palissade étant datée (1830, 1876, 1889, 1945 et 1970) et construite à proximité du rivage de l'époque (à environ 30 m du rivage), la représentation graphique de leur tracé permet de restituer plus finement les étapes de la progradation de la Pointe de Gatseau.

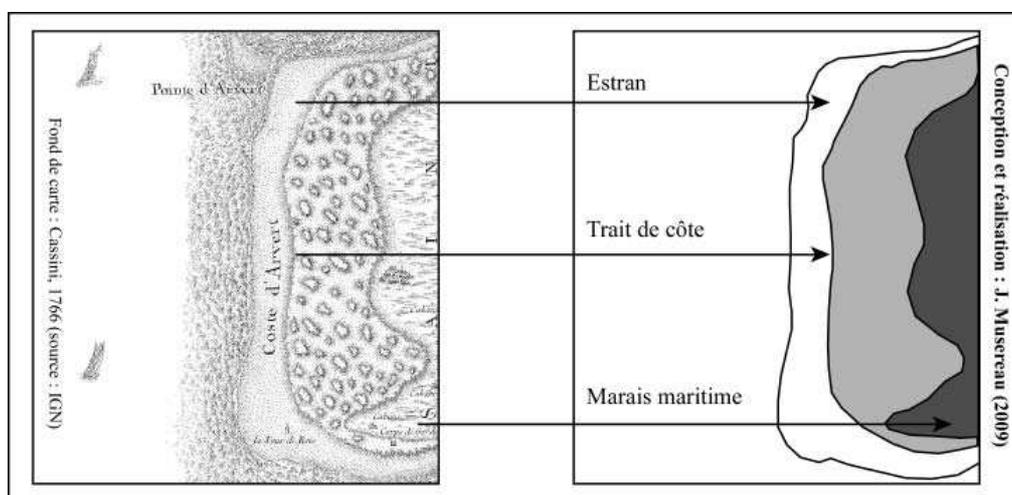


Figure 35 : Mode d'extraction des composantes littorales sur les cartes anciennes

Pour la photo-interprétation, selon les sites, 2 à 9 clichés argentiques ont fait l'objet d'une acquisition auprès de l'IGN. Leur résolution variant de 1/20 000 à 1/30 000 suivant les missions, une homogénéisation des échelles s'est avérée nécessaire durant l'étape de numérisation, avec pour objectif d'obtenir une échelle commune de 1/25000 (Tableau 7). Chaque image est ensuite géoréférencée et géorectifiée (type : plus proche voisin ; algorithme : fonction quadratique) à partir d'un Scan 25 (source : IGN) sous le logiciel *Idrisi*© (version Kilimanjaro). Une attention particulière est portée à cette étape pour limiter l'erreur générée par ces prétraitements au niveau du secteur étudié (le trait de côte et la frange littorale). Les marges d'erreur propres à chacun des clichés prétraités sont répertoriées dans le Tableau 7. L'extraction des principaux éléments décrits auparavant est effectuée sous SIG (logiciel *Arcview*©, version 3.1). Dans certains cas, une délimitation du bâti et/ou des infrastructures côtières est ajoutée pour cibler plus précisément les secteurs à fort enjeu.

III. 1. 3 Archives climatiques

Il ne s'agit pas ici pas de proposer un inventaire complet de tous les extrêmes météo-marins qui seraient survenus depuis le milieu du 18^{ème} siècle. Les données récoltées au fil de notre investigation servent essentiellement à décrire certains événements marquants, ceux qui ont eu une incidence avérée au niveau local. Ils concernent à la fois la dynamique des littoraux et les interventions humaines qui l'ont précédée (destruction) ou suivie (réparation, aménagement). Ces archives sont plus ou moins bien documentées. Pour la période antérieure au 20^{ème} siècle, nous nous appuyons essentiellement sur l'historique des tempêtes en Europe de l'Ouest réalisé par H. H. Lamb et K. Frydendahl (1991). Des témoignages locaux (arrêtés municipaux, registres paroissiaux, gazettes...) contribuent à étayer la description de leurs impacts dans la région d'étude. Au cours du 20^{ème} siècle, l'information est plus riche. Nous disposons en outre d'un archivage des situations synoptiques de surface (voir description dans le chapitre 2), qui nous permet de compléter l'historique des événements à fort impact morphologique décelés par nos prédécesseurs (L. Godet, 2003 ; Y. Bertali *et al.*, 2002 ; S. Pupier-Dauchez, 2002). Les sources quantitatives, réputées comme étant plus fiables, ne sont disponibles qu'à partir de 1977, avec l'archivage des enregistrements effectués au sémaphore de Chassiron. En raison de sa situation centrale et de sa bonne exposition, ce sémaphore peut être considéré comme suffisamment représentatif des conditions météorologiques observées sur nos trois sites ateliers. Pour les événements les plus récents (exemples : ouragan de décembre 1999, tempêtes des années 2000), un ensemble élargi de données nous permet d'en restituer les principales caractéristiques. Cette description repose sur la mise en relation des paramètres météo-marins tels que la vitesse et l'orientation du vent (Météo-France), la hauteur des vagues (réanalyse de modèles numériques) et la hauteur d'eau à pleine mer (SHOM).

III. 1. 4 Recensement (non exhaustif) des aménagements du littoral

Il serait illusoire de vouloir établir une liste exhaustive de chaque intervention menée sur chacun des trois sites ateliers depuis l'édition de la Carte de Cassini. Seuls des éléments témoignant d'une action datée et reconnue comme ayant eu un impact avéré sur la morphologie du littoral sont présentés ici : les digues, les palissades, les rechargements/extractions de sédiments... Dans ce domaine, les sources sont également très variées. Il s'agit le plus souvent de rapports techniques émanant d'organismes de gestion (Ponts et Chaussées, ONF, DDE, bureaux d'étude...).

III. 2 LA LAGUNE DE LA BELLE-HENRIETTE

La genèse de la lagune de La Belle-Henriette résulte d'une combinaison de processus majoritairement liés à l'action de la dérive littorale. Sa fermeture « définitive », en 1971, est elle artificielle. Aujourd'hui, l'attrait de cette formation littorale repose avant tout sur une offre touristique variée : les activités balnéaires (baignade, char à voile...) dans sa partie maritime et l'organisation d'un « tourisme vert » compte tenu de la richesse écologique de la zone lagunaire. La rétrospective historique que nous proposons ici reprend et affine certains points soulevés par plusieurs auteurs dont les travaux sont en partie consacrés à la morphodynamique côtière dans ce secteur (P. Galichon, 1984 ; E. Deat, 1995 ; L. Godet, 2003 ; F. Verger, 2005 ; J. Allard, 2008).

III. 2. 1 La Faute-sur-Mer : 100 ans de lutte contre l'érosion marine

Avant d'aborder plus spécifiquement la genèse et la fermeture de la lagune, il est utile de replacer cette formation dans son contexte régional, celui du littoral sud-vendéen, car lui aussi a beaucoup évolué depuis 500 ans (Figure 36). Au début du 16^{ème} siècle, le sud de la Vendée se présente de la manière suivante : à l'ouest de la Pointe de l'Aiguillon, un cordon littoral sableux très mobile sépare la mer (Pertuis Breton) du marais poitevin, parfois inondé par les effets combinés des submersions marines et des crues du Lay (ouverture de brèches) ; à l'est, un large estran vaseux compose l'Anse de l'Aiguillon, encore très profonde. On ne peut encore attribuer précisément d'embouchure aux fleuves. Au début du 19^{ème}, la région a déjà connu d'importantes transformations paysagères : dans sa partie ouest, les sables du littoral tendent à se déplacer vers l'intérieur des terres ; dans sa partie orientale, la poldérisation des marais maritimes (les « prises ») est déjà bien entamée. Au début du 20^{ème}, l'aspect de ce littoral est assez proche de celui d'aujourd'hui. Après plusieurs essais de canalisation de l'embouchure du Lay, celui-ci trouve son exutoire définitif entre la Pointe d'Arçay, dont la progradation débute quelques temps auparavant, et la digue du Génie. Parallèlement à la progradation de la Pointe d'Arçay, une zone d'érosion s'est créée au niveau de La Belle-Henriette. De nouvelles « prises » ont eu lieu de l'autre côté de l'Aiguillon et très peu seront effectuées par la suite. Plus globalement, la dynamique de ce littoral se résume à une importante progression du rivage dans sa partie est, par poldérisation, et, parallèlement, à un recul du trait de côte en raison de l'érosion des côtes sableuses dans sa partie ouest (hormis le cas particulier du développement de la flèche d'Arçay).

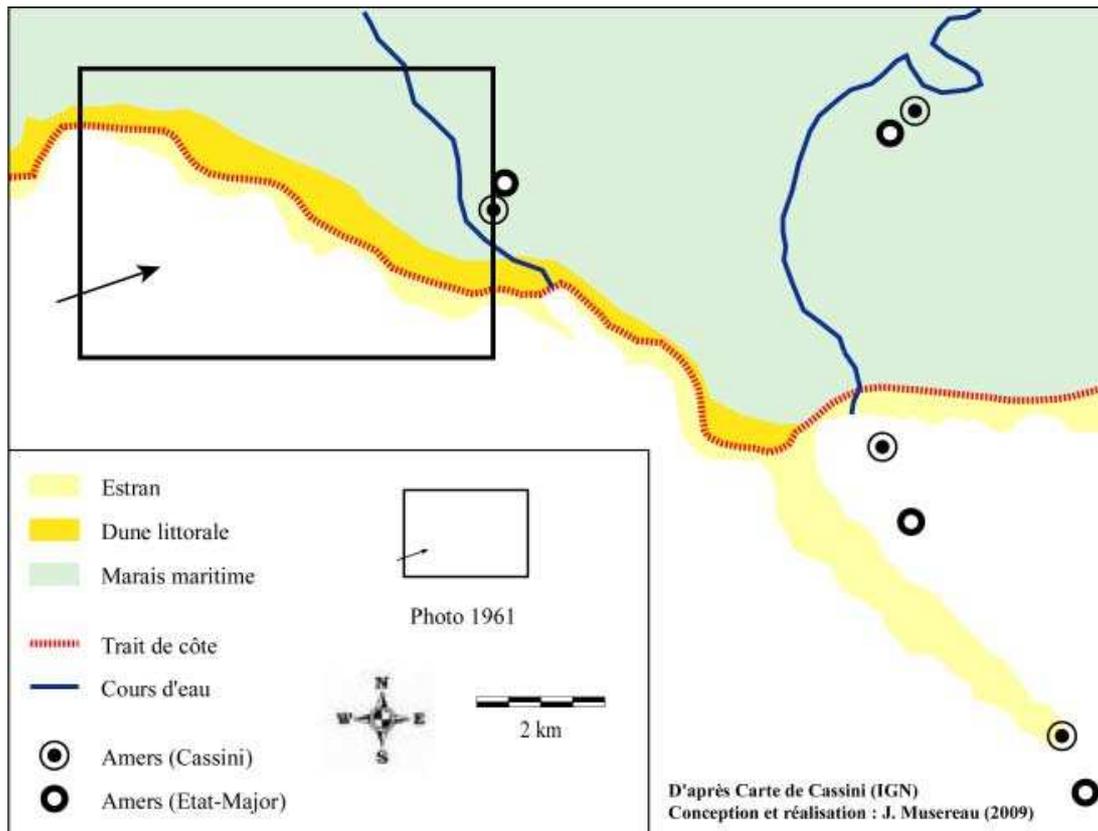


Figure 37 : Le littoral sud-vendéen en 1767

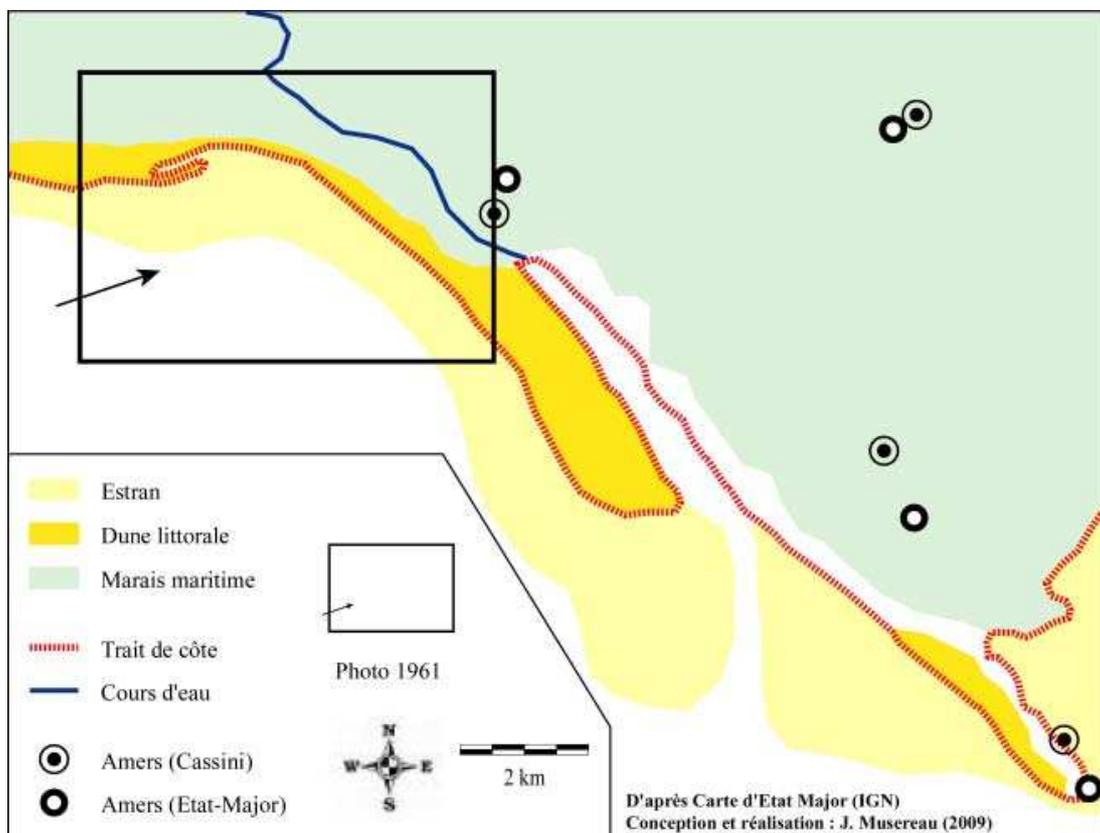


Figure 38 : Le littoral sud-vendéen en 1850

Au début du 20^{ème} siècle, la mer attaque cette zone à plusieurs reprises. Dans un article du *Patriote de Vendée* (26/12/1907), Monsieur Bocquier [de la Ligue Maritime de la Société d'Océanographie, cité par L. Godet (2003)] décrit la rapidité du phénomène. Il observe qu'en 1880, « la mer est à 250 m de l'ancienne route allant de la Tranche à la Faute » ; qu'en 1900, « elle ne se trouve plus qu'à 25 m sur certaines portions de la route » ; qu'en septembre 1905, « seulement 5 m les séparent par endroits ». La dégradation du site se manifeste en réalité lorsqu'interviennent les plus violentes tempêtes, en particulier si celles-ci sont conjuguées à d'importants coefficients de marée. Nous proposons ci-après un historique ainsi qu'une interprétation synoptique de ces événements paroxysmiques depuis 1900. Leur principale conséquence sera l'endiguement progressif de « l'ancien » cordon littoral (l'actuel cordon interne de la lagune) qui protégeait auparavant le village de La Faute-sur-Mer.

En janvier 1906 (Figure 39), la mer passe par-dessus la route qu'évoque Bocquier. Les habitants et les acteurs de l'aménagement se relaient pour faire face à cette crise. L'aléa à l'origine de cette submersion marine dure en réalité plusieurs jours. Il conjugue à la fois un fort vent de Sud-Ouest, une importante houle et une marée de vive-eau (coefficients supérieurs à 80). Les Eaux et Forêts plantent des pieux dans le sable et l'argile pour maintenir une certaine stabilité du matériel. Mais cette intervention n'a que peu d'effets sur la dynamique engagée. Les habitants consolident les brèches avec des pierres et sont soutenus par les Ponts et Chaussées, qui font poser 1200 m de roches sur la dune et procèdent l'année suivante à la construction d'une digue visant à consolider le cordon littoral. L'ouvrage s'étend sur près de 600 mètres de long et s'enfonce à environ 2 mètres de profondeur. Malgré la présence de cette digue, l'érosion se poursuit. La zone la plus sensible, en suivant la progression de la flèche, se déplace vers le sud-est, en direction de La Faute-sur-Mer.

En décembre 1911 (Figure 39), un régiment de soldats est dépêché pour combler une nouvelle brèche dans le cordon dunaire. Cet épisode d'érosion est une fois encore lié à la conjonction redoutable d'une violente tempête par haute mer de vive-eau (coefficients proches de 100). La tempête de 1911 diffère toutefois de celle de 1906, car à la fois le vent et la houle sont orientés plusieurs jours durant face au littoral vendéen. La progression de la flèche sableuse se poursuit et s'accompagne dès 1918 de la formation d'un milieu lagunaire où se développe un schorre (A. Bouhier, 1957). Le report de la zone la plus sensible à l'érosion se poursuit toujours vers le sud-est.

En mars 1928 (Figure 39), une nouvelle tempête de Sud-Ouest associée à un très fort coefficient de marée (proche de 110), ouvre une brèche et provoque une véritable catastrophe. Cette fois, la mer inonde 120 hectares de marais. Le village de la Faute, encerclé par les eaux, devient temporairement une île. Afin d'éviter qu'un tel phénomène ne se reproduise, une grande digue de béton est édifiée le long du village, à nouveau sur près de 600 mètres. Des épis sont construits en amont-dérive pour freiner le transit littoral. De petites brèches sont aménagées à travers la digue intérieure qui visait à canaliser le Lay pour évacuer les eaux marines piégées dans les terres. L'éventualité d'une nouvelle catastrophe angoisse les Fautais.

En novembre 1930 (Figure 39), les constructions les plus récentes cèdent à leur tour. Le coefficient de marée est moins important que durant la tempête de 1928, mais ce qui rend cet événement tout à fait singulier, et qui explique en grande partie sa violence, tient au fait que la dépression responsable du coup de vent est de type « explosif ». Les vents atteignent leur intensité maximale et la pression est au plus bas lorsque l'ouragan aborde le continent. Le nord du Golfe de Gascogne est le secteur le plus touché. Les années suivantes, le milieu lagunaire est temporairement fermé car la passe est obstruée. La flèche est large de 200 à 300 mètres et culmine à environ 3,50 mètres au dessus du niveau moyen de la mer.

Au début des années 1940, d'autres phénomènes de conjonction Tempête - Vive Eau ont lieu. L'un d'entre eux sera à l'origine de la submersion du polder de Bouin, au nord du département, affirmant encore un peu plus la problématique relative à la vulnérabilité des digues vendéennes (S. Raison, 2008). Dans le secteur de La Belle-Henriette, ces nombreuses tempêtes impliquent une remise en communication entre la mer et la lagune.

Après la Seconde Guerre Mondiale, les stratégies de protection du littoral vont dans le sens d'une plus grande prévention des risques de submersion. Une volonté de fermeture de la lagune s'exprime déjà à travers les actions menées au cours de ces années. Le principal objectif est d'empêcher les communications avec la mer. Une nouvelle digue est construite pour barrer transversalement la lagune au niveau de l'Anse des Mouettes (localisation en Annexe 16), la digue dite « des Indochinois ». La flèche continue sa progression vers le sud-est et conduit à une nouvelle fermeture de la lagune en 1954. Elle se trouve au sud immédiat du village de la Faute et isole un milieu lagunaire de 100 m de large. Une autre passe se crée en aval de l'Anse des Mouettes entre 1954 et 1957.

Au mois de février 1957 (Figure 39), un nouvel épisode tempétueux survient pendant une marée exceptionnelle, d'un coefficient de 115. Suite à cette tempête, la digue des Indochinois est rompue sur presque toute sa longueur. Les années suivantes, les forts vents de Sud-Ouest continueront de pousser les sables vers l'intérieur des terres en menaçant les constructions.

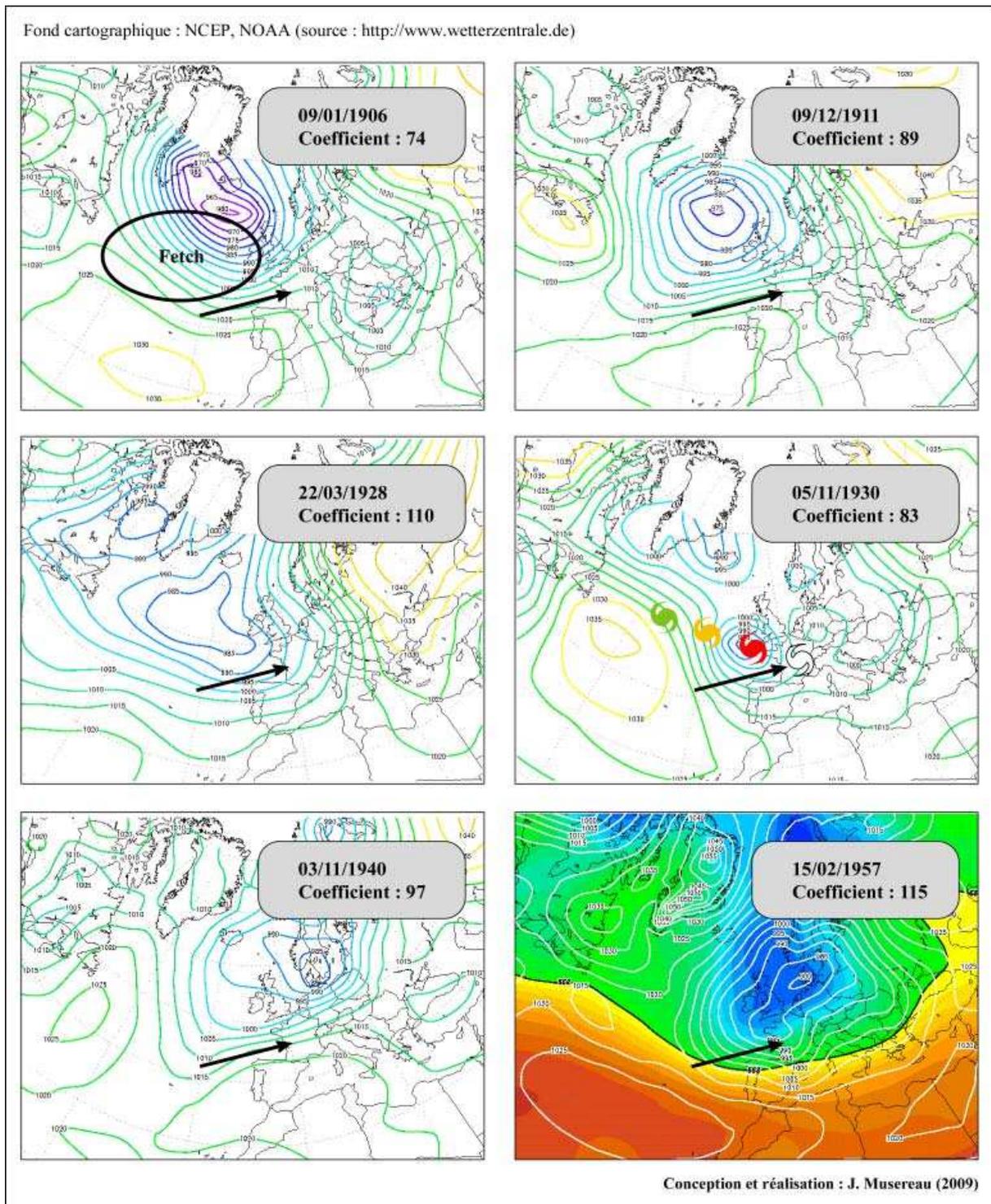


Figure 39 : Les aléas météo-marins à l'origine de l'endiguement du cordon interne

III. 2. 2 La fermeture de la lagune et ses conséquences sur la dynamique littorale

Avant la fermeture de la lagune, la flèche ayant progressé d'un kilomètre supplémentaire vers le sud-est, la passe se trouvait en face de la Chenolette (localisation en Annexe 16). Le risque de submersion menaçait donc directement le village de La Faute-sur-Mer. En 1971, suite à l'échec des précédents endiguements de l'actuel cordon interne, il est décidé d'obstruer la passe de la Chenolette à partir de l'extrémité de la flèche, en édifiant un batardeau (Figure 40). La construction de l'ouvrage prend deux ans. Il vise à stopper l'érosion de la plage située à l'est de l'exutoire, majoritairement induite par le courant de chasse au niveau de la passe. A cet endroit précis, le risque de communication avec la mer est définitivement écarté.

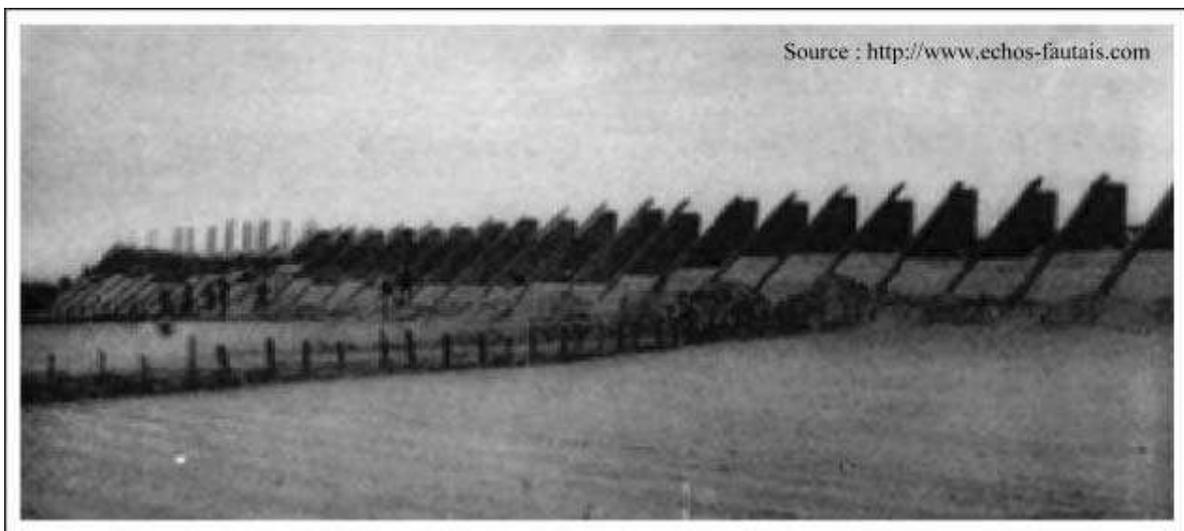


Figure 40 : Construction d'un batardeau pour obstruer la lagune (de 1971 à 1973)

Une dizaine d'années plus tard, on note une relative stabilisation du trait de côte en courbe régulière. La lagune de La Belle-Henriette prend sa forme actuelle (Figure 41). Le batardeau a joué son rôle puisque la flèche littorale, devenue cordon littoral, est maintenant raccordée à l'actuel cordon interne. Contrairement aux fermetures antérieures, ce dernier comblement, d'origine anthropique, n'a pas encore été remis en cause. L'érosion a tout de même rapidement repris en amont-dérive de ce secteur, à partir de Saint-Vincent-sur-Jard. Pour retenir le sédiment, des épis ont dû être érigés à la Tranche-sur-Mer dans les années 1970, puis aux Roulières (localisation en Annexe 16), en 1980. Le rythme du recul a, depuis, sensiblement diminué dans ces secteurs. En aval-dérive de ces ouvrages par contre, la charge sédimentaire transportée par le transit littoral s'en est trouvée limitée.

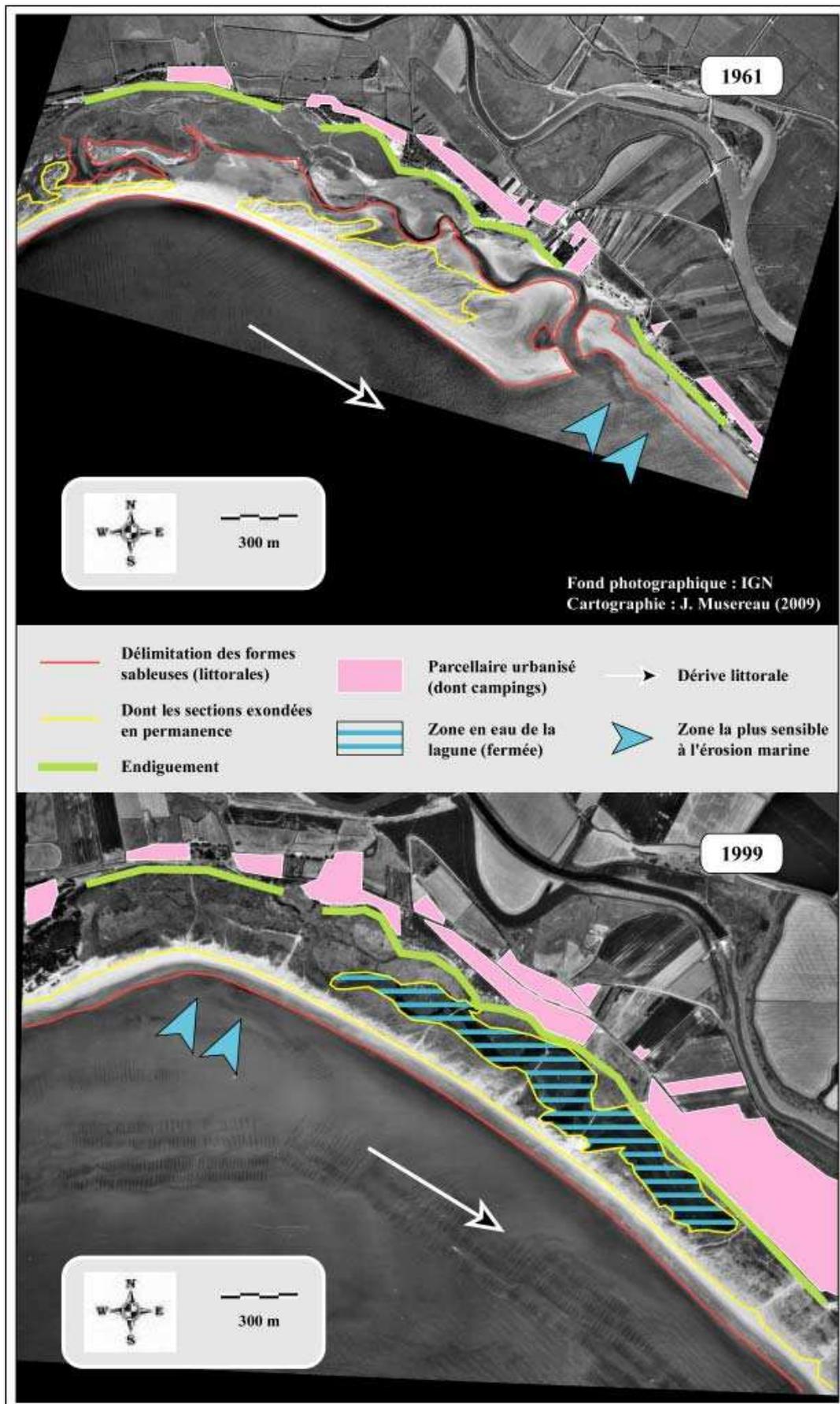


Figure 41 : Le site de La Belle-Henriette, évolution entre 1961 et 1999

Le service topographique de la DDE de Vendée a réalisé des levés réguliers entre 1981 et 1998 afin d'étudier plus précisément le recul lié au déficit sédimentaire occasionné par la mise en place des épis des Roulières. Ces mesures ont montré un recul moyen assez homogène de 3 ou 4 m par an. C'est en aval des épis que l'érosion la plus forte a été relevée, avec près de 80 mètres de recul sur les 17 années de suivi. A cet endroit précis, la morphologie avancée du cordon littoral (Figure 42) résulte indiscutablement d'un effet pervers lié à l'emploi d'aménagements transversaux dans un contexte où le transit littoral est un processus morphogène prépondérant. Selon ces mêmes mesures, les rythmes de recul tendent à diminuer vers l'est, d'autant que la DDE note que les phénomènes d'érosion, et donc le recul des dunes, semblent être devenus moins efficaces depuis 1987. Cependant, la tempête de décembre 1999 a eu des effets notoires sur l'édifice sableux. Comme en 1928, la lagune a connu une surverse en raison de l'ouverture de brèches dans les parties les plus basses du cordon littoral, toutes situées directement en aval des épis des Roulières. Ces récents événements sont à l'origine d'une recrudescence des préoccupations relatives au risque de submersion marine. En dépit de la réussite du raccordement effectué plus au sud, le secteur de La Belle-Henriette reste un espace particulièrement exposé à cet aléa (Annexe 17). A long terme, au-delà des inondations temporaires liées aux fortes tempêtes, une réouverture durable de la lagune est tout à fait envisageable.

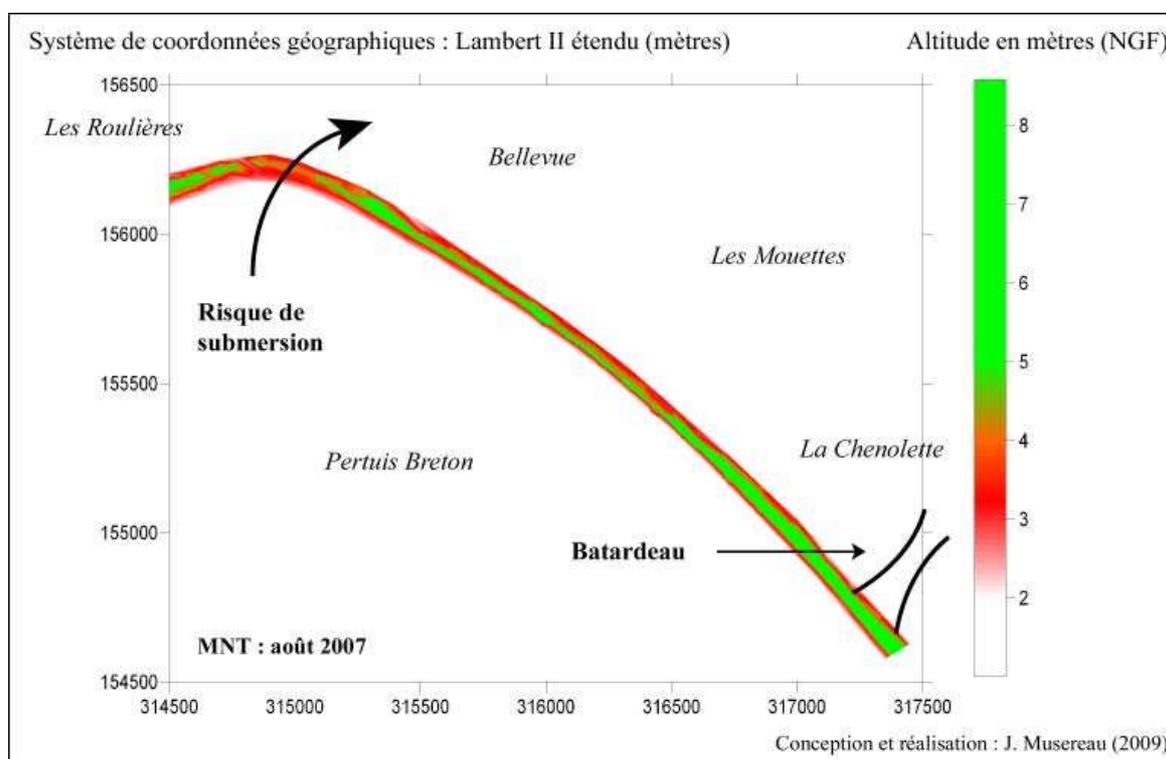


Figure 42 : La Belle-Henriette, altimétrie du cordon littoral

III. 2 LA DUNE DE SAINT-TROJAN ET LA PLAGE DE VERT-BOIS

L'évolution historique de la dune de Saint-Trojan se décline en deux temps, avec deux tendances bien distinctes dans la dynamique du trait de côte. Elle connaît tout d'abord une rapide accrétion à partir de la première moitié du 19^{ème} siècle. Celle-ci est contemporaine de sa phytostabilisation par le pin maritime. A la fin du 20^{ème} siècle, un changement radical intervient. On observe alors un net recul du trait de côte et de nombreux phénomènes de blanchiment de la dune. Nous proposons d'aborder cet historique en insistant davantage sur les causes (notamment anthropiques) et les conséquences (essentiellement d'un point de vue paysager) de ces évolutions séculaires.

III. 2. 1 Le temps des palissades

Origine de l'ensablement de Saint-Trojan

En 1705, l'ingénieur Claude Masse écrit dans un de ses mémoires : « *La partie sud de l'île d'Oléron est aussi fort endommagée par les dunes qui avancent vers l'est et couvrent insensiblement le territoire de la paroisse de Saint-Trojan. Il ne reste plus qu'une partie de son bourg, et on passe à cheval sur le sommet de son église* » (Cité par V. Belliard, 1908). Il précise dans un autre mémoire (C. Masse, 1715) : « *C'était autrefois une bonne paroisse mais à présent presque toute perdue par les sables* ». Plusieurs autres hameaux vont connaître le même sort, comme Saint-Jacques, La Plaine, Les Renauds, La Prée, Les Henry, Les Bouillats, Le Grand-Champ. Il ne reste plus de ceux-ci qu'une trace laissée dans la toponymie. Sur une carte d'Oléron datant de la même époque, N. Guerrier (1686) mentionne déjà les villages disparus : « *tour et église sous le sable* » ou bien « *Le Jard entièrement sous le sable* ».

Ce phénomène n'est pas propre à Oléron, ni même au littoral charentais. En Europe, entre le 16^{ème} siècle et le 18^{ème} siècle, la majorité des dunes littorales non boisées tendent à se déplacer vers l'intérieur des terres. Comme à Saint-Trojan, le sable a parfois enseveli des villes entières. Ainsi par exemple, la ville polonaise de Leba est déplacée pour fuir la progression des dunes qui, dans ce secteur, atteint son paroxysme à la fin du 16^{ème} siècle. Durant l'automne 1694, au nord de l'Ecosse, plusieurs fermes de l'Etat de Culbin sont ensablées et la population est contrainte de fuir (H. L. Edlin, 1976). A la même époque, deux ports de la Manche, Agon et Coutainville, qui avaient une certaine importance pour l'économie locale, sont progressivement ensevelis sous le sable (R. Vidal, 2003). En 1738, soixante-trois maisons du village de Wissant (Pas-de-Calais) sont recouvertes en une seule

nuit. Quarante ans plus tard, le village disparaît complètement (R. Vidal, 2003). En Bretagne, l'ancienne flèche sableuse qui constitue aujourd'hui « Les Dunes de Keremma » (Finistère) est dramatiquement remobilisée. A partir de 1823, des aménagements doivent être opérés par Louis Rousseau, propriétaire du domaine, pour fixer le sable (H. Rousseau, 1986). En 1779, le village côtier d'Escoublac (Loire-Atlantique), totalement recouvert, est rebâti à plusieurs kilomètres du rivage (R. Vidal, 2003).

Ce véritable ennoisement du littoral par le sable fait intervenir des processus variés et des échelles de temps bien distinctes (Figure 43). Cette dynamique serait en partie liée à la recrudescence de très fortes tempêtes (H. H. Lamb et K. Frydendahl, 1991 ; F. Borja *et al.*, 1999). Une fréquence accrue de vents forts impliquerait de fait une dynamique éolienne plus active en zone littorale (J. D. Orford *et al.*, 2000). La majorité des séquences de sable recueillies en différents endroits des côtes européennes confirment, après datation, une concordance significative entre les épisodes d'invasion du sable dans l'intérieur des terres et cette probable recrudescence des tempêtes (A. G. Wintle *et al.*, 1998 ; S. Dawson *et al.*, 2004 ; P. Wilson *et al.*, 2004). Le 17^{ème} siècle se termine ainsi par une succession d'automnes et d'hivers particulièrement venteux. En Belgique et aux Pays-Bas, les submersions marines sont fréquentes et souvent dévastatrices. Le 10 décembre 1703, « *The Great Storm* », qui se distingue par une valeur de pression proche de 950 Hpa à l'aplomb de la capitale anglaise, est particulièrement meurtrier. En 1717, pendant la nuit du réveillon de Noël, l'Europe essuie une de ses plus violentes tempêtes. On dénombre 11 000 morts sur le vieux continent. Durant celle du 10 au 11 décembre 1792, une surcote centennale est enregistrée à Hambourg (5,88 m). Une situation synoptique comparable est observée en mai 1795. En Suède, la déforestation causée par cette violente tempête est sans précédent. Ces phénomènes extrêmes seraient corrélatifs d'une déviation méridionale de la circulation atmosphérique sur l'Atlantique Nord (M. Clarke *et al.*, 2002). D'autres facteurs, d'origine anthropique, contribuent sans doute à expliquer cette situation critique. D'une part, nombre de zones directement concernées par le phénomène ont été défrichées au Moyen Age, comme en Aquitaine par exemple (voir plus bas l'exemple oléronnais). Localement, la réduction de la couverture végétale des dunes littorales a pour effet de renforcer l'efficacité des agents éoliens (déflation) décrits plus haut. D'autre part, le déboisement des zones situées en amont des embouchures a pu impliquer un accroissement sensible du débit solide des fleuves et induire indirectement un déséquilibre du budget sédimentaire des littoraux sableux, alors en notable excédent.

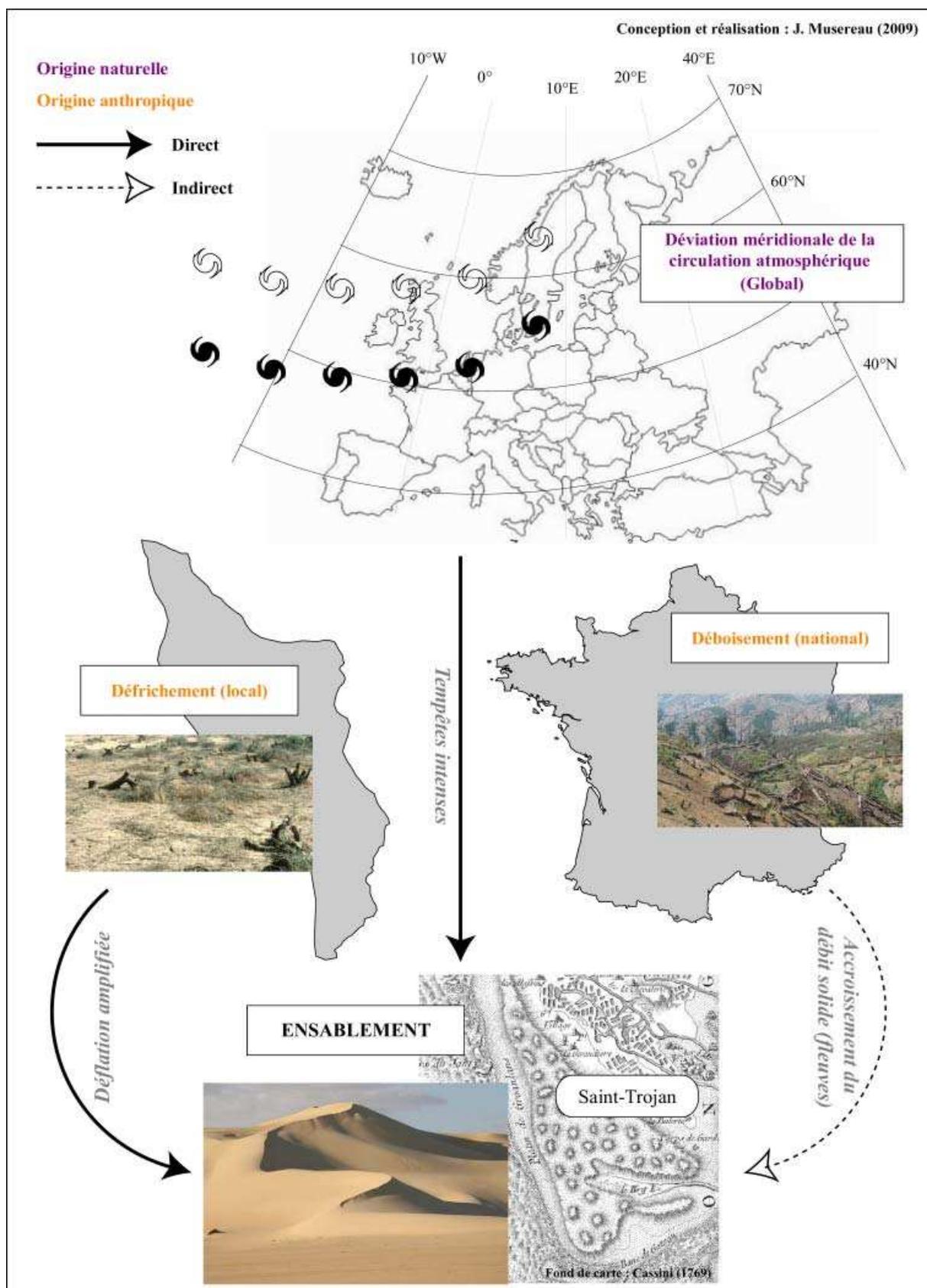


Figure 43 : Variété des processus à l'origine de l'ensablement de Saint-Trojan

De la dune à la forêt

C'est d'abord par la voie réglementaire, avec l'interdiction de défricher, que se manifeste une réaction vis-à-vis du danger que représente l'avancée du sable. Le but est d'éviter qu'elle ne gagne plus à l'est. Ainsi, l'arrêt du conseil d'Etat du 3 mars 1774 exige des habitants « *qui ont aplani les dunes de l'île d'Oléron (..) de les rétablir à la même hauteur, d'y planter des arbrisseaux appelés durasme* » (Cité par J. Y. Le Thérizien, 1974). Le « durasme » est le nom local donné à *ammophila arenaria*, aussi appelé « oyat » (Picardie) ou « gourbet » (Landes). Dans un premier temps, cette instruction n'est pas suivie. Les habitants de Saint-Trojan ont du mal à se plier à ce règlement et continuent, comme de coutume, à laisser paître les animaux et à couper le bois d'une forêt réduite à l'état de vestige. Durant tout le 18^{ème} siècle, les sables progressent inexorablement. Selon une estimation de la surface couverte par la végétation avant l'arrivée du phénomène (Y. Bertali *et al.*, 2002), sur une superficie initiale de 1548 Ha, environ 1100 Ha de forêt seront ensevelis. Les mentalités évoluent doucement. A la veille de la Révolution Française, il est fait mention du phénomène et de la volonté de la population d'enrayer ce fléau dans le cahier de doléances de l'île d'Oléron (AD17 2M1169-C260 bis, 1789).

Dans le même temps, la lutte contre le sable devient un enjeu national. Bien que de nombreuses et parfois très anciennes entreprises locales soient mentionnées et parce que ses précurseurs (le baron Charlevoix de Villers, l'ingénieur Peyjehan de Francon) n'ont pas eu le même succès, l'invention du procédé de fixation des dunes littorales à l'aide du pin maritime a été attribuée à l'ingénieur des Ponts et Chaussées Nicolas Brémontier (1796). Pour accélérer la croissance des plantations, Brémontier conseille le semis d'un mélange de graines de pins, d'ajoncs et de genêts sous une couverture de branchages, c'est la technique du clayonnage. Elle repose sur une croissance échelonnée des différentes plantations, la seule qui permette au pin de se développer en lui apportant les éléments fertilisants indispensables (J. Guinaudeau, 1974 ; R. David, 1994). En 1810, l'Etat français prend en charge par décret l'édification et la stabilisation de l'ensemble des cordons littoraux de Gascogne, selon le système de Goury (Figure 44).

A Saint-Trojan, les premiers tests sont réalisés en 1819, assez loin du rivage dans un premier temps ; c'est-à-dire à proximité immédiate des habitations et dans le but de les défendre. La véritable campagne de fixation ne débute réellement qu'en 1832, avec la construction de la palissade dite « des Ponts et Chaussées ». La palissade est l'élément central

du dispositif. Une description précise de l'ouvrage permet de mieux rendre compte de son possible rôle d'accompagnateur vis-à-vis de la dynamique d'accrétion observée à cette époque. La fixation des sables et l'édification de la dune littorale reposent sur la constitution d'ateliers de reboisement. Les ateliers sont disposés parallèlement au rivage, à plus ou moins trente mètres en retrait des laisses de haute mer. L'assiette des ensemencements obéit à des règles précises. La dimension de l'atelier varie essentiellement en longueur alors que sa largeur est généralement de 300 m. Les palissades reposent sur le même principe que les ganivelles (ou fascines) d'aujourd'hui. Disposant des mêmes vertus que les branchages naturels, ces éléments visent à freiner la vitesse du vent pour multiplier les dépôts de sable en aval, grâce à un certain degré de perméabilité. La différence majeure entre les palissades décrites ici et les ganivelles actuelles tient à la dimension de l'ouvrage. Le promeneur a désormais l'habitude de longer des fascines qui ne mesurent que quelques décimètres de haut (Figure 44). Les ouvrages érigés au 19^{ème} siècle à Saint-Trojan atteignaient souvent plus d'une dizaine de mètres de hauteur.

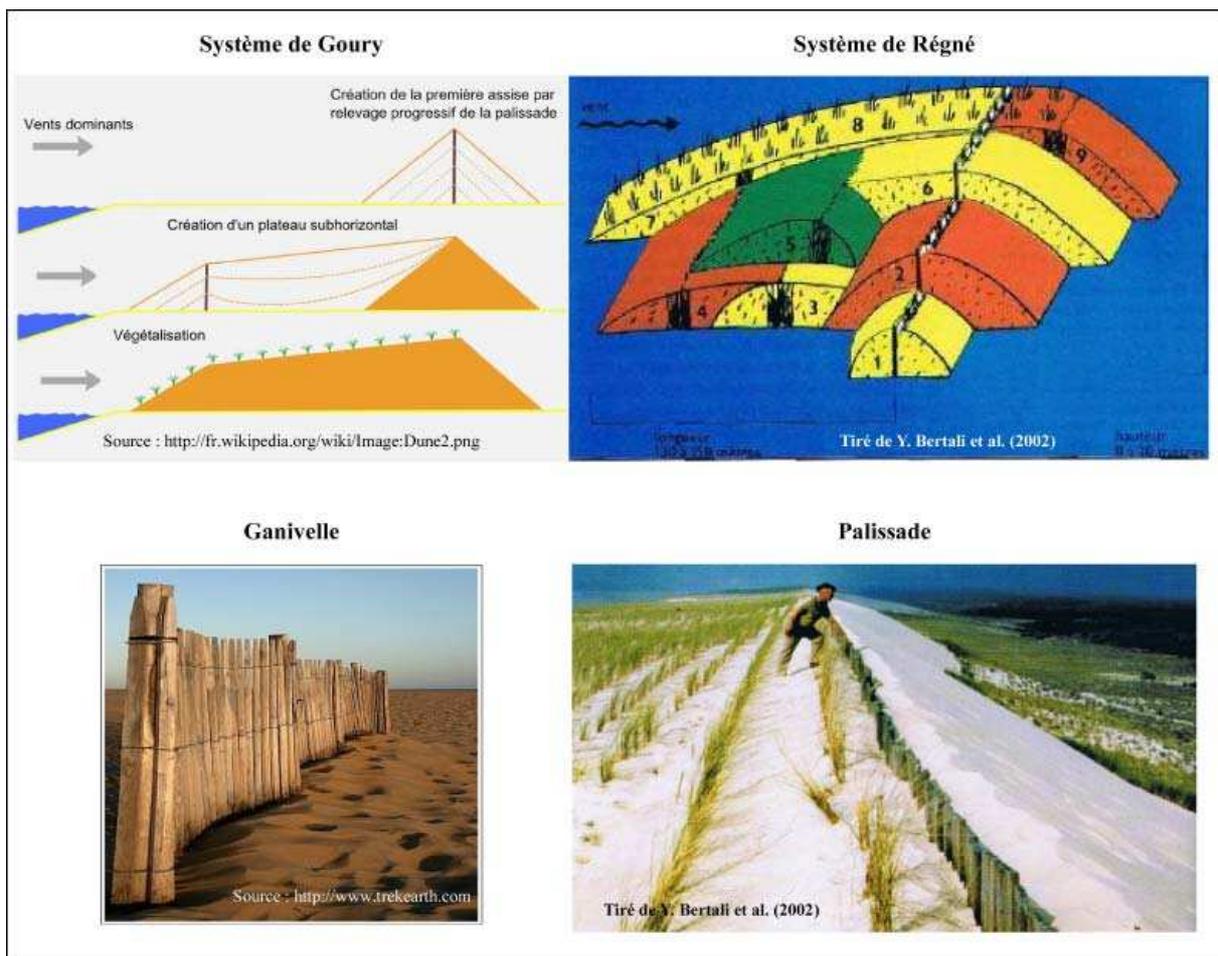


Figure 44 : Méthodes employées pour fixer le sable des dunes littorales de Gascogne

L'atelier se présente de la manière suivante : une « palissade littorale » destinée à retenir le sable transporté par les vents dominants (d'Ouest) ; une « palissade volante » pour abriter l'atelier des vents de terre (d'Est et parfois violents) ; une « palissade de défilement » pour éviter l'ensablement latéral en l'absence de protection des vents transversaux (de Nord et de Sud) ; une « palissade de protection » pour compléter si nécessaire l'action des autres palissades à l'intérieur de l'atelier.

En 1862, Vasselot de Régné, inspecteur des Eaux et Forêts à Royan, constate cependant l'échec partiel des semis effectués par les Ponts et Chaussées. Il remarque que la partie littorale des travaux a été menée de manière échelonnée, en juxtaposant les ateliers. Cela ne permet pas de reconstituer une dune suffisamment élevée et uniforme, capable de jouer son rôle de protection et permettre de pérenniser les semis. Il propose d'améliorer la méthode et définit un nouveau profil idéal de la dune littorale (Figure 44). Une nouvelle palissade est construite selon le modèle de Régné, la palissade « de 1864 ». Le sable abonde rapidement l'ouvrage côtier, si bien qu'un troisième édifice doit être érigé : c'est la construction de palissade « de 1876 ». On place également des fagots de pins à même le sol pour renforcer encore son rôle de piège à sable (cette méthode est d'ailleurs toujours employée par l'ONF). Une quatrième palissade est érigée en 1889. Elle correspond à peu près à la limite actuelle du principal front forestier. A l'occasion de cette nouvelle étape, les techniques sont simplifiées. On passe du clayonnage au fascinage ; les fagots de pins sont alors directement enfoncés dans le sédiment. Malgré sa destruction partielle le 23 janvier 1890, suite à une très violente tempête, la palissade de 1889 remplit son objectif. Les deux guerres mondiales marquent un arrêt brutal des travaux et endommagent considérablement le milieu. Il faut attendre 1947, et l'érection de la palissade dite « de la Libération », pour que la frange littorale soit à nouveau végétalisée. En 1970, une dernière palissade est mise en place mais avec un report vers le large moins conséquent qu'auparavant.

Or, dès le mois de décembre 1975, l'édifice le plus récent est partiellement détruit par une tempête qui cause également un blanchiment notable de la dune grise (Annexe 18). La particularité de cet épisode tempétueux, à l'instar des coups de vent à l'origine des destructions de digues relevées avant la fermeture de la lagune de la Belle-Henriette, est d'intervenir au moment d'une pleine mer de vive-eau (coefficient proche de 100). Cette tempête marque les prémices d'une nouvelle dynamique qui se mettra progressivement en place les années suivantes. Il s'agit de l'initiation du recul de la dune de Saint-Trojan ; une tendance qui, depuis, s'est inscrite dans la durée.

Interprétation morphodynamique

Entre 1832 et 1948, du nord au sud du complexe dunaire, le trait de côte a progressé de 500 à 1200 m (Figure 45). L'accrétion de la dune de Saint-Trojan s'effectue en grande partie par progradation de la Pointe de Gatseau et répond donc *a priori* au schéma classique d'évolution des flèches littorales alimentées par l'action de la dérive. Dans un contexte où les apports venus du large sont constants, en bénéficiant des pertes observées en amont, au niveau de la racine de la flèche, ce type de formation peut prograder à un rythme particulièrement soutenu. Dans la région, d'autres exemples comparables ont été observés et étudiés, comme les pointes d'Arçay (L. Wang et F. Verger, 1985 ; F. Verger *et al.*, 1987 ; N Weber et T. Garlan, 2000 ; J. Allard *et al.*, 2008) et de La Coubre (C. Bressolier, 1979). Toutefois, la question du rôle des palissades doit être posée. En l'absence de toute intervention, la morphologie résultante aurait-elle été semblable à ce qui vient d'être décrit ? Les palissades ont-elles modifié le fonctionnement morphosédimentaire au point d'accompagner ou tout du moins de conforter l'accrétion de la dune littorale ?

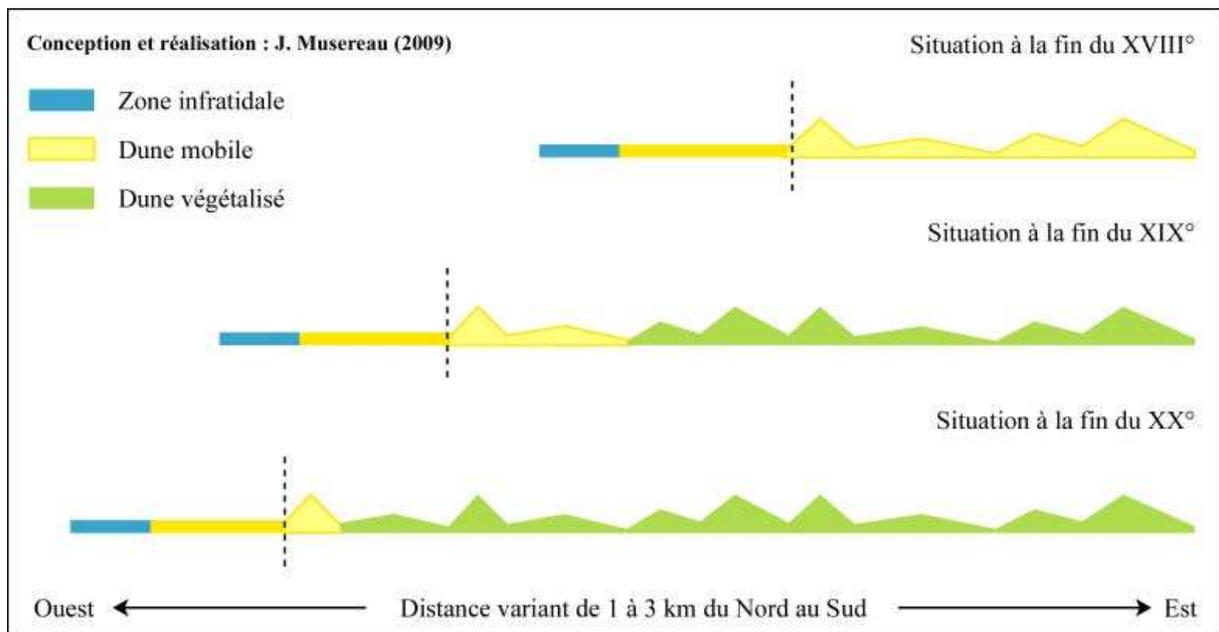


Figure 45 : Accrétion de la dune de Saint-Trojan, coupe schématique

Quelques éléments d'explication permettent de confirmer cette hypothèse. Les autres formations de la région ont connu également une importante progradation, en particulier au début du 20^{ème} siècle. Mais, comme cela a été dit plus haut, l'ampleur de leur progradation est directement liée à la cannibalisation de ces flèches littorales. Ce n'est vraisemblablement pas le cas à Saint-Trojan. L'avancée du trait de côte, même si les rythmes diffèrent, concerne

l'ensemble de la formation sableuse (Figure 46). Que ce soit à Arçay ou bien à La Coubre, où aucune palissade n'a été mise en place, cette dynamique s'est poursuivie et reste toujours active. L'évolution observée à Saint-Trojan est également en complète rupture avec celle relevée juste avant les travaux, entre 1767 (Carte de Cassini) et 1830 (Carte Marine mentionnée Y. Bertali *et al.* (2002)). Ces cartes antérieures à la construction des palissades témoignent d'une cannibalisation de la flèche littorale de Gatseau, avec un recul dans sa partie nord (racine) compensé par une progression du trait de côte en allant vers son extrémité. Le rôle des palissades de Saint-Trojan peut être interprété de la manière suivante : elles ont eu pour effet de décaler l'avant dune vers le large, ce qui facilite l'augmentation du gradient de la plage, par élévation de la berme (Figure 46). Dans un contexte morphosédimentaire particulièrement favorable, à savoir des apports importants et réguliers largement contrôlés par la topographie sous-marine (cf. I. 1. 1 et Annexe 12), l'intervention sur la dune a probablement eu pour effet d'optimiser l'engraissement du profil médian, permettant ainsi une progression plus soutenue de la plage et du front de dune.

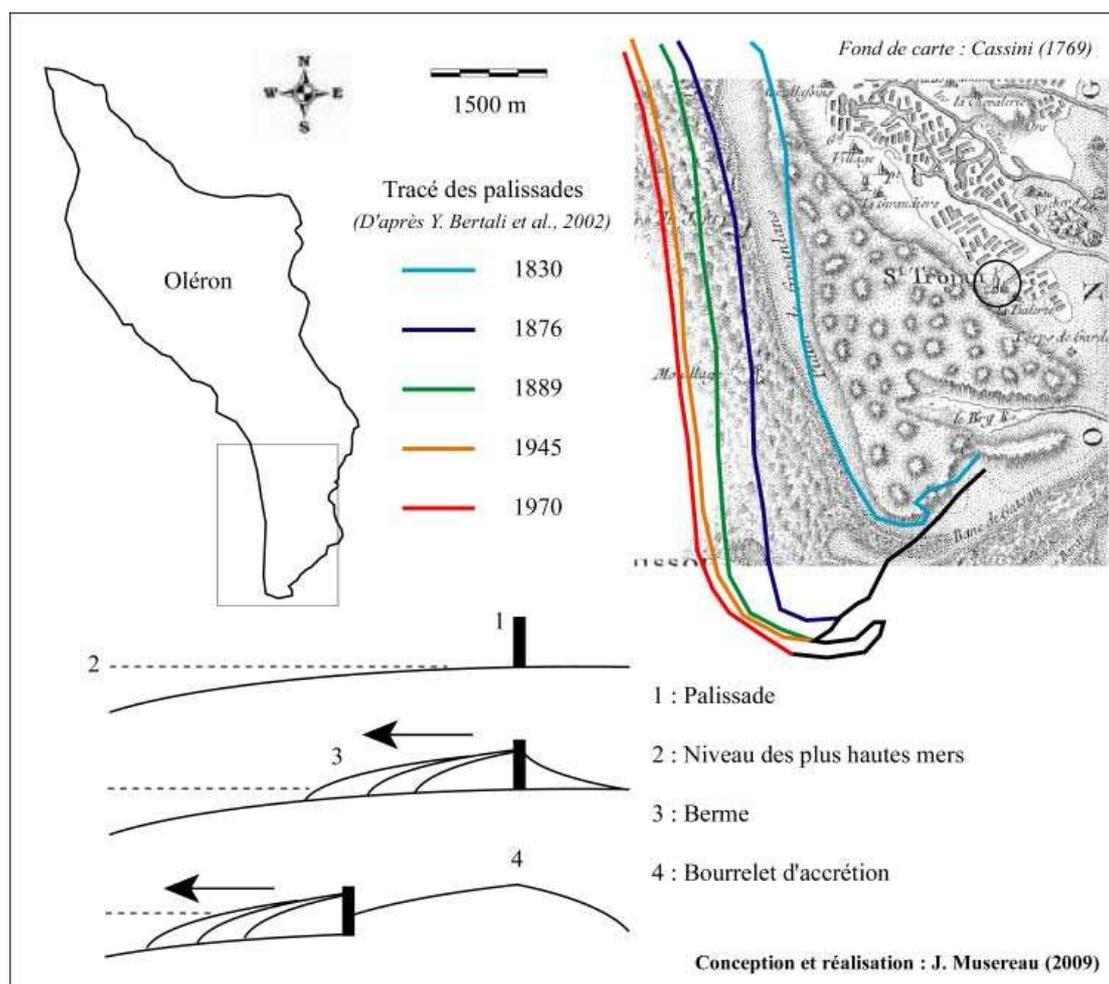


Figure 46 : Rôle probable des palissades dans l'accrétion de la dune de Saint-Trojan

III. 2. 2 « Elle a même emporté le parking ! »

Description des récents phénomènes d'érosion

Depuis le début des années 1980, cette partie du littoral oléronnais connaît une transformation très rapide tant au niveau du trait de côte qu'en ce qui concerne le complexe dunaire situé en avant de la forêt de pins. Ces évolutions peuvent être appréciées à partir des mesures de recul du trait de côte réalisées entre 1996 et 2000 par le Laboratoire de Géographie Physique Appliquée (M.-C. Prat et J. N. Salomon, 1997 ; M.-C. Prat, 2001). En fonction des secteurs mesurés, il varie en moyenne de 4 à 6 m par an mais peut dépasser 10 m dans les secteurs les plus sensibles, en particulier vers la pointe sud (Gatseau). Dans sa partie nord (Vert-Bois), nos propres relevés, plus récents, nous permettent d'avancer des taux annuels comparables sur la période 2004-2009.

Toutefois, le phénomène est très inégal dans le temps. Sur la plage de Vert-Bois, le recul de la falaise sableuse avait atteint 8 m sur l'ensemble de l'année 1998 mais l'érosion marine a impliqué un retrait de plus de 15 m pour le seul trimestre d'octobre 1999 à janvier 2000 (M.-C. Prat, 2001). De même, alors que nous relevons un recul proche de 5 m durant l'hiver 2007-2008, l'hiver suivant, il dépasse 10 m au droit des blockhaus, dont les fondations sont désormais situées côté plage (Figure 47).

Le transit éolien, majoritairement porté vers l'intérieur des terres, contribue sans doute à déstabiliser le système dunaire et explique en partie ces remaniements. Mais ces processus additionnels sont eux aussi extrêmement variables d'un point à l'autre du massif dunaire et peuvent différer significativement en fonction de la période considérée. A Vert-Bois, ils sont devenus pratiquement négligeables au regard des volumes de sable que l'érosion marine peut retirer à la dune, notamment parce que la dune mobile a pratiquement disparu (J. Musereau *et al.*, 2007 ; F. Sabatier *et al.*, 2009). Plus au sud, au niveau de la Passe des Préposés, en raison de la présence d'un cordon littoral relativement élevé (10 à 15 m) et peu végétalisé (dune blanche), les échanges éoliens entre la plage et la dune sont beaucoup plus prégnants. Sur ce point, il est donc risqué de généraliser des valeurs à partir de mesures ponctuelles et/ou localisées, comme d'autres ont pu le faire auparavant (CREOCEAN, 2003).

Quoi qu'il en soit, les volumes de sable perdus par érosion marine, qui dépendent à la fois de la hauteur de la dune et du recul annuel moyen, sont nettement supérieurs à ceux perdus par érosion éolienne. Selon les estimations les plus récentes, les capacités de transport

dues au transit littoral y varient de $50\,000\text{ m}^3 (\pm 20\,000\text{ m}^3)$ à $140\,000\text{ m}^3 (\pm 30\,000\text{ m}^3)$ entre 1997 et 2006 (X. Bertin *et al.*, 2008).

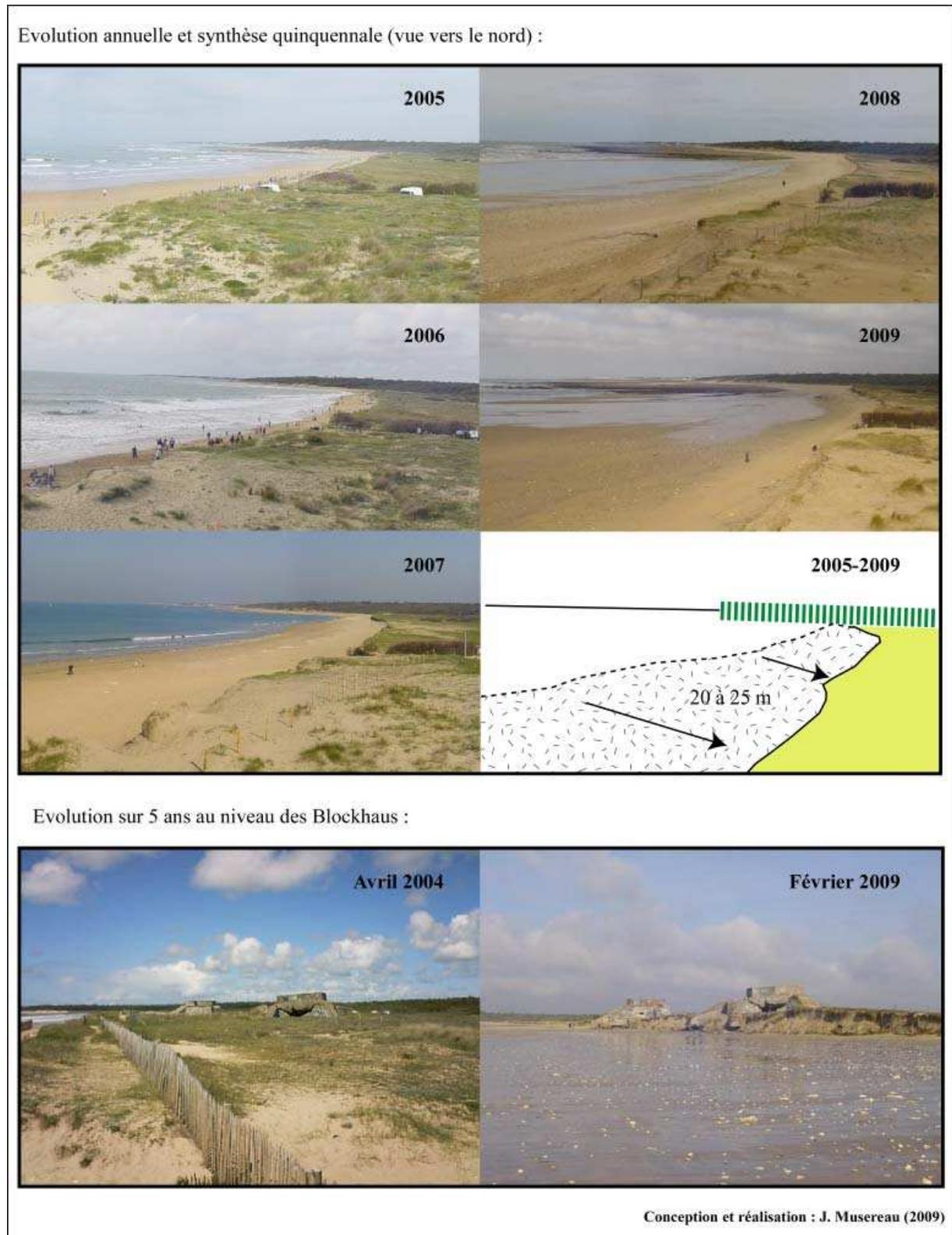


Figure 47 : Erosion marine observée à Vert-Bois entre 2004 et 2009

Comment expliquer ce recul brutal ?

Analyser les causes de ce brusque renversement n'est pas simple. Est-ce le résultat d'un profond changement à l'échelle globale. Peut-on invoquer la thèse du Changement Climatique par le biais d'une possible évolution du régime des tempêtes ? N'y a-t-il pas d'autres facteurs explicatifs ? Les raisons du recul actuel de la dune de Saint-Trojan sont certainement multiples ; hormis l'origine climatique, nous pensons qu'il s'agit surtout du produit de nouvelles interactions entre l'Homme et la Nature, dont l'emprise est plus locale.

Comme nous l'avons montré auparavant (cf. II. 4. 1), l'étude statistique des jours de vent fort au sémaphore de Chassiron et des systèmes cycloniques qui en sont à l'origine n'apporte aucune certitude quant à un éventuel bouleversement du régime des tempêtes. Sur ce point, nos résultats sont proches des conclusions apportées par les différents auteurs qui se sont intéressés à ces phénomènes et à leurs conséquences sur les littoraux français (L. Lemasson, 1998 ; S. Costa *et al.*, 2004 ; H. Regnaud *et al.*, 2004a). Les données actuelles ne montrent pas de tendance nette en ce qui concerne l'évolution de la fréquence et de l'intensité des tempêtes en Europe de l'Ouest. Certes, quelques oscillations pluriannuelles s'individualisent, comme la période 1970-1990 et plus particulièrement le paroxysme de la fin des années 1980. Mais ces évolutions font plus appel à la variabilité climatique qu'à une quelconque évolution tendancielle. Même si de tels changements étaient avérés, nous pensons que la lecture singulière et déterministe, celle qui consiste à établir un lien de cause à effet entre climat et érosion sans se soucier des autres facteurs qui peuvent en être à l'origine, serait incomplète. En zone littorale, l'intensité des épisodes érosifs est aussi dépendante des variations locales du niveau de la mer, autrement dit de la marégraphie (P. Pirazzoli, 2000). Bien sûr, il est logique d'avancer que, si les tempêtes devaient être plus fréquentes, le risque qu'elles soient conjuguées à une PMVE le serait aussi. Mais cela ne veut pas dire que cette combinaison aura forcément lieu. Nous verrons plus tard que ces conjonctions sont finalement assez rares dans la Zone des Pertuis Charentais, notamment parce qu'elles demandent un parfait phasage entre la marée de tempête et la marée astronomique. Enfin, d'autres raisons, largement influentes, expliquent pourquoi certains sites sont plus concernés que d'autres. Il s'agit en outre de la sensibilité des territoires en question. Or, celle-ci est conditionnée par une multitude de facteurs : l'état du budget sédimentaire, la morphologie du rivage, la manière dont ces sites peuvent être gérés, aménagés... Cet ensemble de paramètres multiformes intervient la plupart du temps à l'échelle locale mais d'autres événements peuvent aussi avoir des effets indirects et se manifester avec un décalage dans le temps.

A Saint-Trojan, l'érosion marine découle indiscutablement d'un déficit sédimentaire marqué. Cette pénurie de sédiments est généralement expliquée par une réduction accrue des apports en provenance des fleuves (R. Paskoff, 1998). Sur les bassins versants, les barrages, l'occupation du sol (la couverture végétale notamment), la ponction de matériel sédimentaire, l'irrigation intensive (monoculture du maïs sur des terres peu adaptées) sont autant de facteurs qui peuvent contribuer à expliquer cette raréfaction des sables qui alimentaient autrefois la plage. Bien que son domaine d'intervention soit sous-marin, et donc moins visible, l'intensification de l'extraction *offshore* ne doit pas non plus être négligée. Cette pratique s'est avant tout développée pour combler la pénurie provoquée par une législation plus restrictive dans le domaine fluvial. Depuis 1984, deux sites situés au large du pertuis d'Antioche (seuil inter-insulaire), avec des volumes exploitables considérables (environ 50 millions de m³), sont régulièrement visités pour répondre à une demande croissante en matériaux de construction. Là encore, il est difficile d'établir un lien de causalité avéré entre ces interventions lointaines et le déficit observé à la côte. Dans cette zone, les plus récentes mesures ont tout de même montré que, par seulement 23 m de fond (une valeur inférieure à la profondeur limite), le transport de sédiment peut être significatif et temporairement important lorsque se conjuguent une BMVE et une forte houle (D. Idier *et al.*, 2006).

Puis il y a d'autres éléments qui ont sans doute contribué à amplifier localement le phénomène. Situé en amont-dérive de Vert-Bois, l'épi de l'Ecuissière serait apparemment mal dimensionné (diagnostic avancé par l'Unité Littorale de la DDE 17). Cet ouvrage côtier a été construit au début des années 1980 pour freiner le recul du trait de côte, dans le but de protéger un camping installé sur la dune littorale. Pour différentes raisons (coût excessivement élevé, problématique du camping), il n'est pas concevable de le démanteler. Au-delà de cet épiphénomène, le tourisme a souvent été évoqué comme la « source de tous les maux ». Notre diagnostic à ce sujet se veut beaucoup plus nuancé. Si cette activité est depuis longtemps étudiée comme l'une des principales sources d'interférence sur le bon fonctionnement des systèmes littoraux (E. Flament, 1977 ; P. Colmou, 1983 ; A. Miossec, 1987), le tourisme peut aussi contribuer à la construction et parfois même à la pérennisation des territoires (P. Duhamel et R. Knafou, 2003). En milieu dunaire, la surfréquentation est reconnue comme localement responsable d'un dépérissement de la végétation couvrante (U. V. Andersen, 1995 ; P. Kutiel *et al.*, 2000). Même si une démarche empirique suffit à mettre en évidence ce type de processus (Annexe 19), l'évaluation quantitative de la pression touristique sur la stabilité de la dune littorale de Saint-Trojan reste un domaine peu documenté.

Le « drame de Vert-Bois »

La survenue d'une tempête majeure a largement contribué à éveiller les consciences et les craintes vis-à-vis du recul de la dune de Saint-Trojan. Il s'agit de l'ouragan du 27 décembre 1999. Les quelques chiffres qui suivent témoignent du caractère exceptionnel de cet événement météorologique : les vitesses de vent enregistrées pendant la tempête sont d'ordre centennal, peu éloignées de 200 km/h en rafale ; les vagues ont atteint plus de 6 mètres à proximité du rivage charentais (Figure 48) ; ces conditions extrêmes ont engendré une surcote d'environ 1.80 m (estimation du SHOM pour le port de La Rochelle). En revanche, cette importante surélévation du niveau de l'eau est intervenue au sein d'un cycle de marée d'une amplitude moyenne (coefficient de 77 pour la pleine mer concernée).

En suivant le même protocole que celui adopté pour l'exemple de *Klaus* (cf. I. 2. 2.), nous avons reconstitué le niveau probable du *Run-up* engendré par l'ouragan *Martin* (Figure 48). Les variables prises en comptes sont : la hauteur d'eau théorique (m) calculée par le SHOM ; la pression atmosphérique (Hpa) et la vitesse (m/s) du vent moyen relevées au Sémaphore de Chassiron (Météo-France) ; les hauteur (m) et période (s) des vagues simulées au large des côtes charentaises (Météo-France, extraction du modèle ARPEGE par 46° N - 2°W). Les proportions de cette estimation sont sans doute imprécises. Le *Wind set-up* est vraisemblablement surestimé (calibrage inadapté de la formule d'E. Einarsson et A. B Lowe, 1968). Les données utilisées, celles du large, ne sont pas celles de la houle incidente à Vert-Bois. En dépit de cela, ces résultats nous informent que le potentiel érosif de cette tempête était important, tout en montrant que le phasage entre la marée de tempête et la marée astronomique n'était vraisemblablement pas « parfait ». Son impact sur le littoral aurait donc pu être encore plus désastreux si sa conjugaison avec la pleine mer avait été plus nette et, *a fortiori*, si cette tempête exceptionnellement intense avait eu lieu au cours d'une forte vive-eau (coefficient de marée supérieur à 100). Dans la région, ce type de conjonction est d'ailleurs excessivement rare et se révèle statistiquement peu probable (Annexe 20).

Les dégâts causés par la tempête n'en sont pas moins catastrophiques sur le plan économique et paysager. Notre discussion, centrée sur l'érosion qui en a en résulté au niveau de la plage de Vert-Bois, vise pourtant à relativiser certaines conclusions et raccourcis qui peuvent prêter à confusion. Si les tempêtes de décembre 1999 en sont aussi responsables, la destruction du parking touristique était, d'une certaine manière, relativement prévisible et, de toute façon, déjà à l'œuvre.

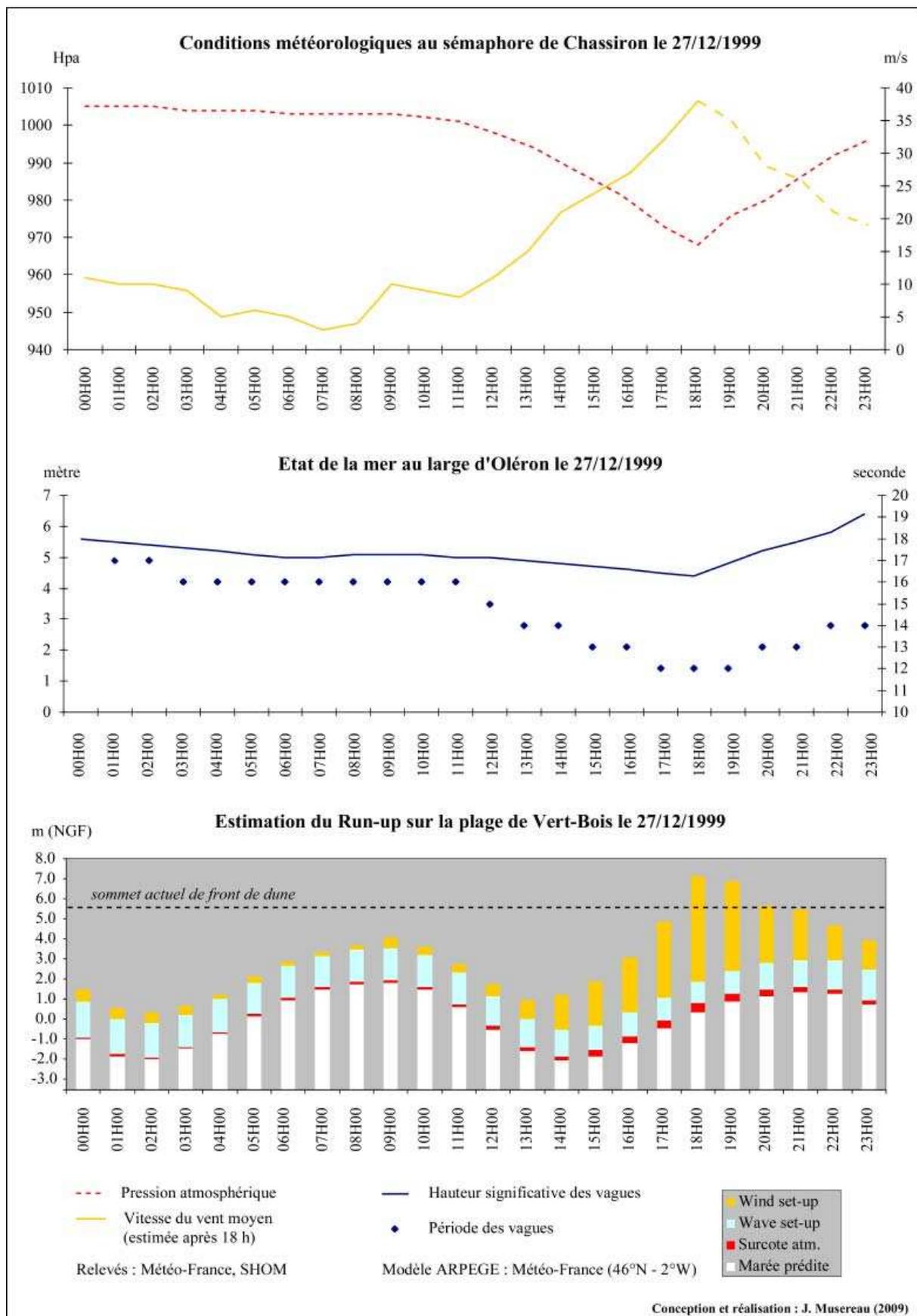


Figure 48 : Conditions météo-marines et estimation du Run-up pendant l'ouragan Martin

Le cas du parking de Vert-Bois, évoqué dès les premières lignes de ce travail, incite en effet à la prudence quant à l'interprétation des catastrophes engendrées par la « tempête du siècle ». Dès la fin du mois d'octobre, le rapide flux d'Ouest a impliqué une succession de coups de vent (surtout les 23 et 24 octobre) qui ont partiellement détruit le parking (Annexe 1A). La répétition d'aléas paroxysmiques, pour les uns en raison de leur concomitance avec de fortes marées astronomiques et pour les autres en raison de leur magnitude exceptionnelle, est un élément de compréhension essentiel au sujet du recul spectaculaire mesuré à Vert-Bois durant le dernier trimestre 1999 (15 à 20 m) ; la violence de l'ouragan du 27 décembre n'impliquant qu'une partie de cette intense phase d'érosion.

Le « drame de Vert-Bois » peut également être interprété comme résultat d'une occupation mal maîtrisée de la frange littorale. En plein essor économique avec le développement de l'activité touristique, les choix qui ont été pris en matière d'aménagement ont aussi une part de responsabilité dans la destruction de certaines infrastructures littorales. Comme l'illustre la Figure 49, l'emplacement des aires de stationnement étaient inadaptés à son proche environnement. Ne prenant pas en compte la mobilité de la dune littorale, ces aménagements ont impliqué une exacerbation de la vulnérabilité du site.

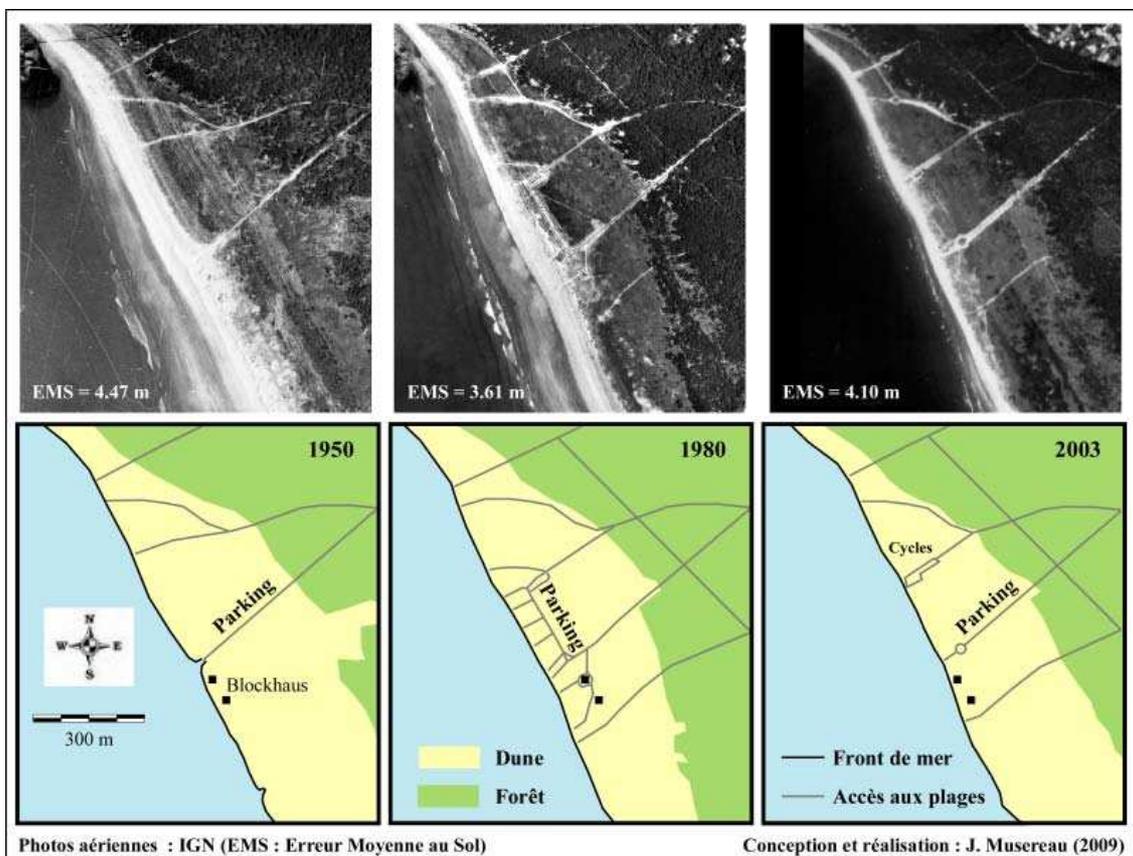


Figure 49 : Inadéquation des infrastructures touristiques implantées à Vert-Bois

Certes, l'implantation du parking a été pensée, et décidée, dans un contexte morphosédimentaire en tout point favorable. Nous concédons volontiers que cette situation malheureuse devait être difficilement concevable à une époque où la dune avait encore tendance à progresser vers la mer. Cependant, si près de la mer et de manière à longer le rivage, le schéma d'aménagement de la plage de Vert-Bois s'est vite montré inopportun. Dès l'amorce du recul du front de dune, au moins lorsque le danger a commencé à se manifester avec insistance (le cordon littoral a commencé à être remanié et des phénomènes récurrents d'ensablement de la voirie ont été observés dès la fin des années 1980), aucune démarche d'anticipation, ni décision allant en ce sens, n'a été entreprise pour gérer cette problématique en devenir.

Mais, le « drame de Vert-Bois » n'est finalement qu'un exemple parmi d'autres. Il s'ajoute, en France comme ailleurs, à la liste des nombreux cas comparables de « télescopage » entre processus naturels et anthropiques (C. Meur-Férec et V. Morel, 2004). En 2002, lors de la création d'une nouvelle aire de stationnement destinée à remplacer le parking détruit trois ans plus tôt, un dispositif de protection a été testé par l'Unité Littorale de la Direction Départementale de l'Équipement de Charente-Maritime sous le qualificatif de « Chantier-Pilote de Vert-Bois » (Figure 50 et Annexe 21). L'objectif avoué de l'ouvrage était la fixation du trait de côte. En mobilisant une quantité suffisante de sédiments sur le haut de plage, il aurait dû avoir la vertu de constituer une avant-dune susceptible de protéger plus efficacement cette partie sensible du littoral oléronnais. Le système mis en place était composé de piquets de bois placés en quinconce sur le haut de plage et le pied de dune. En théorie, ces piquets doivent permettre de diffuser l'énergie du jet de rive (*swash*) et de la nappe de retrait (*backwash*) induits par le déferlement des houles pour accumuler des séquences de sable et accélérer l'aggradation de l'avant-dune par temps calme (Figure 50).

Seulement, l'aménagement s'est avéré être un échec. Dès le début de l'année 2003, avec l'arrivée des premières tempêtes hivernales, la majeure partie des géotextiles installés sur le Chantier-Pilote a été emportée par les vagues (Figure 50). Malgré un probable fléchissement du rythme de l'érosion durant les mois qui ont suivi la mise en place des piquets (observations visuelles), l'érosion marine a continué à dégrader la dune et rendu l'ouvrage obsolète. Plus encore, pendant les tempêtes qui ont suivi, le déchaussement des nombreux pieux de bois composant l'édifice a fini par devenir un véritable danger pour les visiteurs (baigneurs, surfers, pêcheurs à pied...). L'aménagement a finalement été presque intégralement retiré en juin 2007.

Le recul du trait de côte est toujours d'actualité et son rythme n'a pas connu de changement significatif, dans un sens ou dans un autre, avant, pendant et après l'aménagement de la plage. Aujourd'hui, le principe d'acceptation de cette dynamique régressive est partagé par l'ensemble des gestionnaires locaux qui interviennent sur ce site.

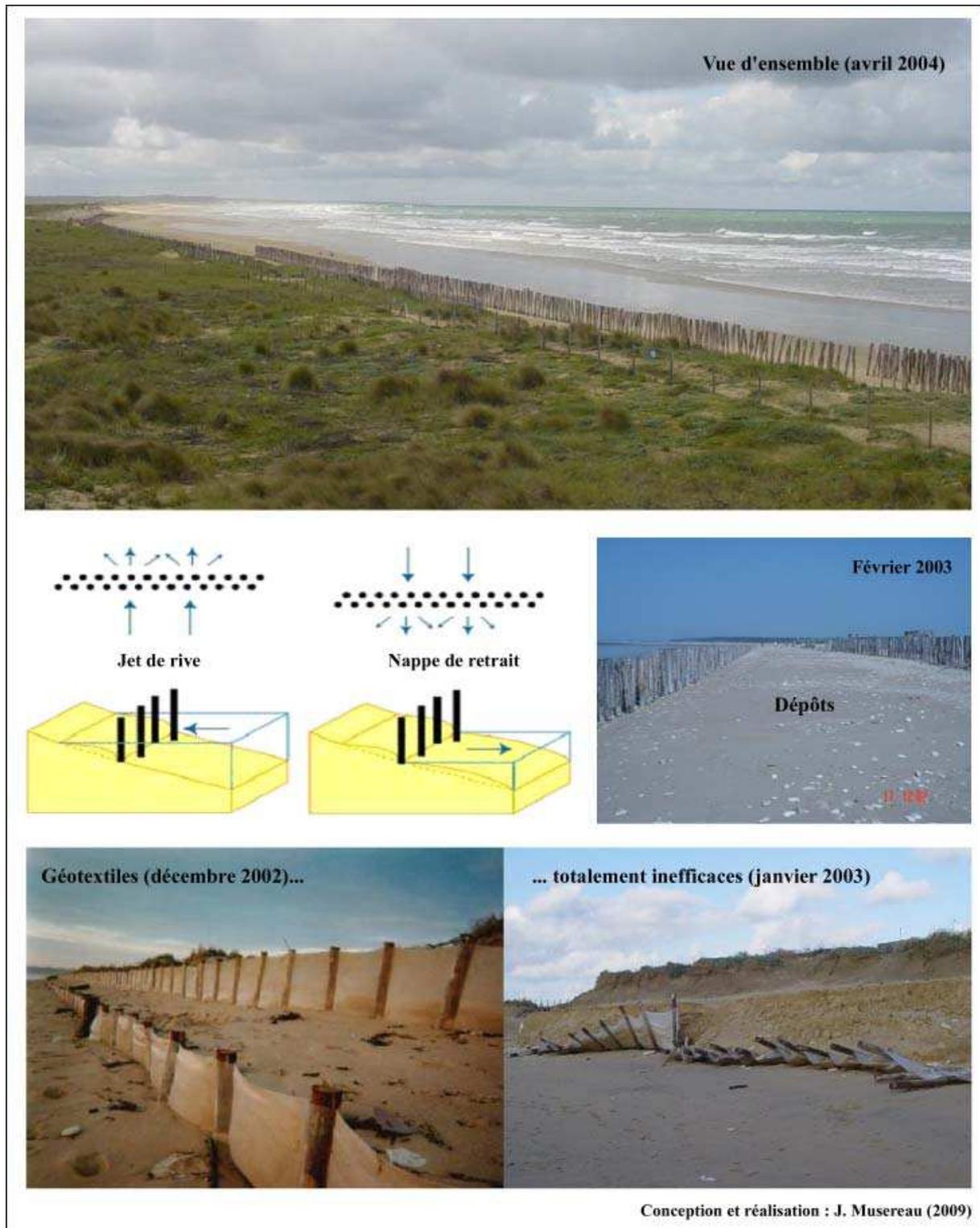


Figure 50 : Le Chantier-Pilote de Vert-Bois et ses premiers échecs

III. 3 DE LA PLAGE DE MARENNES A MARENNES-PLAGE

Dans sa configuration actuelle, « Marennes-Plage » est un site assez récent, puisque la construction du bassin de baignade n'a été mise en œuvre qu'en 1997. Toutefois, le secteur géographique où cet aménagement a été implanté, la rive droite de l'estuaire de la Seudre, a connu auparavant d'autres types d'intervention sur la période historique que nous proposons de décrire (19^{ème} et 20^{ème} siècles). Ces travaux successifs visaient principalement à consolider un cordon littoral fragile et à protéger des enjeux dont la quantité et la variété ont été multipliées au fil du temps. Il s'agit de marais maritimes aménagés pour l'activité ostréicole, devenus parcelles agricoles en certains endroits et, surtout, d'un nombre croissant d'habitations et de campings construits à proximité de la mer. D'un point de vue morphosédimentaire, les modalités d'intervention que cela nécessite s'articulent en fonction de deux problématiques bien distinctes : la fixation impérative des apports de sable venus de la mer au début du 19^{ème} siècle (ensablement de l'arrière cordon), la gestion de l'épuisement de ce stock sédimentaire à la fin du 20^{ème} (érosion sensible du cordon littoral).

III. 3. 1 Chronique d'une pénurie provoquée

Quand il y avait encore du sable...

Au 18^{ème} siècle, selon les symboles employés par Cassini (Annexe 22), les deux rives de l'embouchure de la Seudre étaient occupées par des dunes côtières (Figure 51). Le mince cordon dunaire que les Marennais se sont employés à aménager à maintes reprises, et à réalimenter artificiellement depuis peu, est vraisemblablement une forme héritée du remaniement d'un complexe dunaire situé sur la rive droite du fleuve. Celui-ci est d'ailleurs encore présenté comme tel sur la Carte d'Etat-Major, mais la comparaison de ces deux cartes anciennes montre surtout une réduction notable de la superficie occupée par les dunes, avec la formation d'une baie au niveau des actuelles plages de Marennes et de Bourcefranc (Figure 52 et Annexe 23). La présence d'une forêt de pins maritimes témoigne, qu'ici aussi, une opération de fixation le sable a sans doute eu lieu. Nous supposons que la phytostabilisation de la dune était destinée, comme dans le cas oléronnais, à fixer le sable d'abord accumulé sur la frange littorale puis remobilisé par le transit éolien. Elle serait alors corrélative de la mise en valeur de secteurs adjacents, comme les marais asséchés de l'arrière cordon. En tout état de cause, l'ampleur et la durée de cette intervention n'avaient certainement rien de comparable avec l'entreprise menée pendant plus d'un siècle à Saint-Trojan.

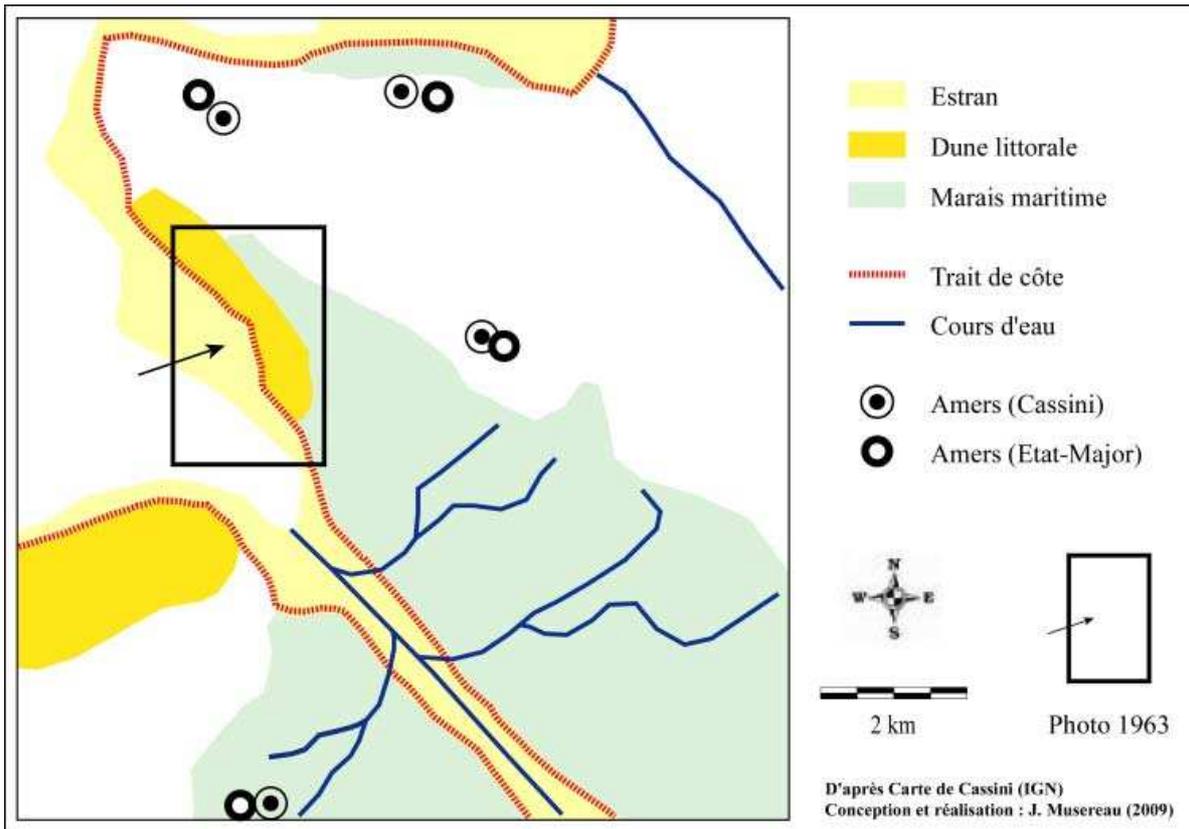


Figure 51 : L'estuaire de la Seudre en 1766

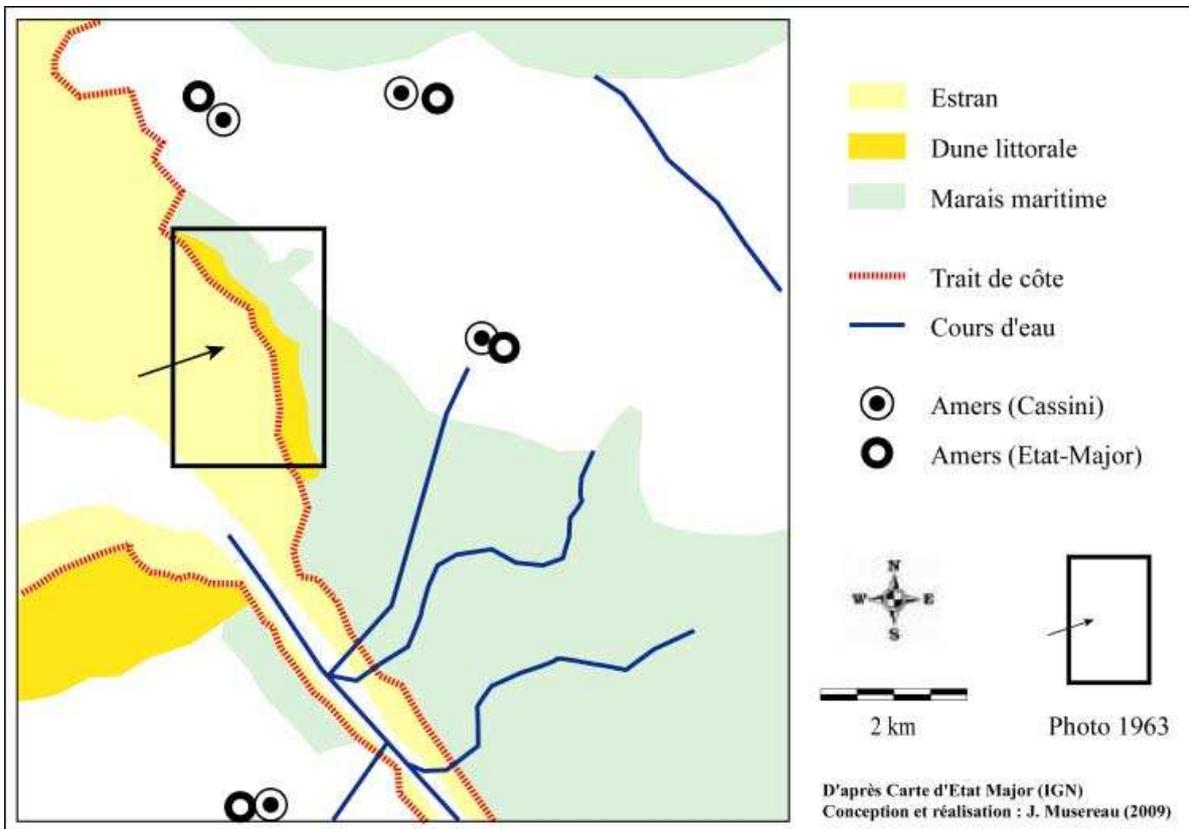


Figure 52 : L'estuaire de la Seudre en 1845

Pourquoi la plage a-t-elle disparu ?

C'est à partir des années 1970, et l'amorce d'un épuisement problématique du stock sédimentaire, que de nombreux aménagements vont être successivement effectués sur les plages de Marennes et de Bourcefranc. Tout comme sur les îles voisines de Ré et Oléron, « *le barricadage de la côte est en route* » (A. Miossec, 1998) et, dès 1971, une grande partie du haut de plage est déjà enrochée.

Destiné à prévenir tout risque de submersion marine, et bien qu'il joue parfaitement ce rôle, l'ouvrage présente rapidement un inconvénient majeur. Les effets pervers de ce type d'aménagement ont d'ailleurs été critiqués depuis longtemps (exemples parmi d'autres : R. Paskoff, 1985 ; N. C. Kraus, 1988). En raison de leur pouvoir réfléchissant, les éléments de défense frontale génèrent une importante dispersion du matériel au niveau de la plage. Pour résoudre ce problème, quatre épis ont été construits en 1975 sur la plage voisine de Bourcefranc (Figure 53). Le bilan de ces ouvrages de défense est lui aussi très discutable (J. M. Sornin et J. Fazilleau, 1994). Les épis ont bien ralenti le transit littoral et permis de conforter son assise mais ils ont aussi engendré une compartimentation de la plage. A Marennes, le déséquilibre du bilan sédimentaire est devenu si important que le volume de la plage a diminué irrévocablement. Dix ans après l'installation des épis, la plage avait déjà presque totalement disparu (Figure 53). Les autorités locales ont alors craint une possible submersion marine. Les aménagements « lourds » qui ont prévalu jusque très récemment dans ce secteur ont donc largement contribué à la pénurie de sédiments, qui, comme l'a évoqué R. Paskoff (1998), serait une des principales causes de « *la crise des plages* ».

A. Miossec (1994) a avancé l'idée d'un vide juridique pour expliquer l'explosion du nombre d'enrochements avant la « Loi Littorale » (qui prend effet à partir de 1986) et a dénoncé les mécanismes politico-administratifs à l'origine de l'inertie des « mauvaises pratiques », en insistant en particulier sur la manière dont s'opèrent les recours aux bureaux d'études (Miossec, 1995). Dans le cas de Marennes, cette logique a longtemps prévalu. Pour les décideurs locaux, la problématique est de taille. Comment répondre rapidement et efficacement aux préoccupations des riverains parfois exaspérés lorsque des dégradations ont lieu sur « leur » littoral (risque de sanction électorale) ? En raison d'une offre excessivement restreinte, pendant de nombreuses années, la municipalité de Marennes n'a eu affaire qu'à un seul interlocuteur suffisamment compétent pour effectuer des expertises chiffrées sur l'état de son littoral (diagnostics et études d'impact du bureau d'études CREOCEAN). Durant toute

cette période, de fait, la gestion du littoral marennais reposait avant tout sur l'évolution des paradigmes soutenus par les ingénieurs susceptibles de pouvoir lui venir en aide. Or, l'expérience a parfois montré que les solutions proposées peuvent présenter un caractère versatile, voire contradictoire d'une période à l'autre. Marennes n'est pas un cas unique et, dans nombre de cas, cette situation a résulté sur des surenchères comparables à cet exemple en matière d'artificialisation du littoral.

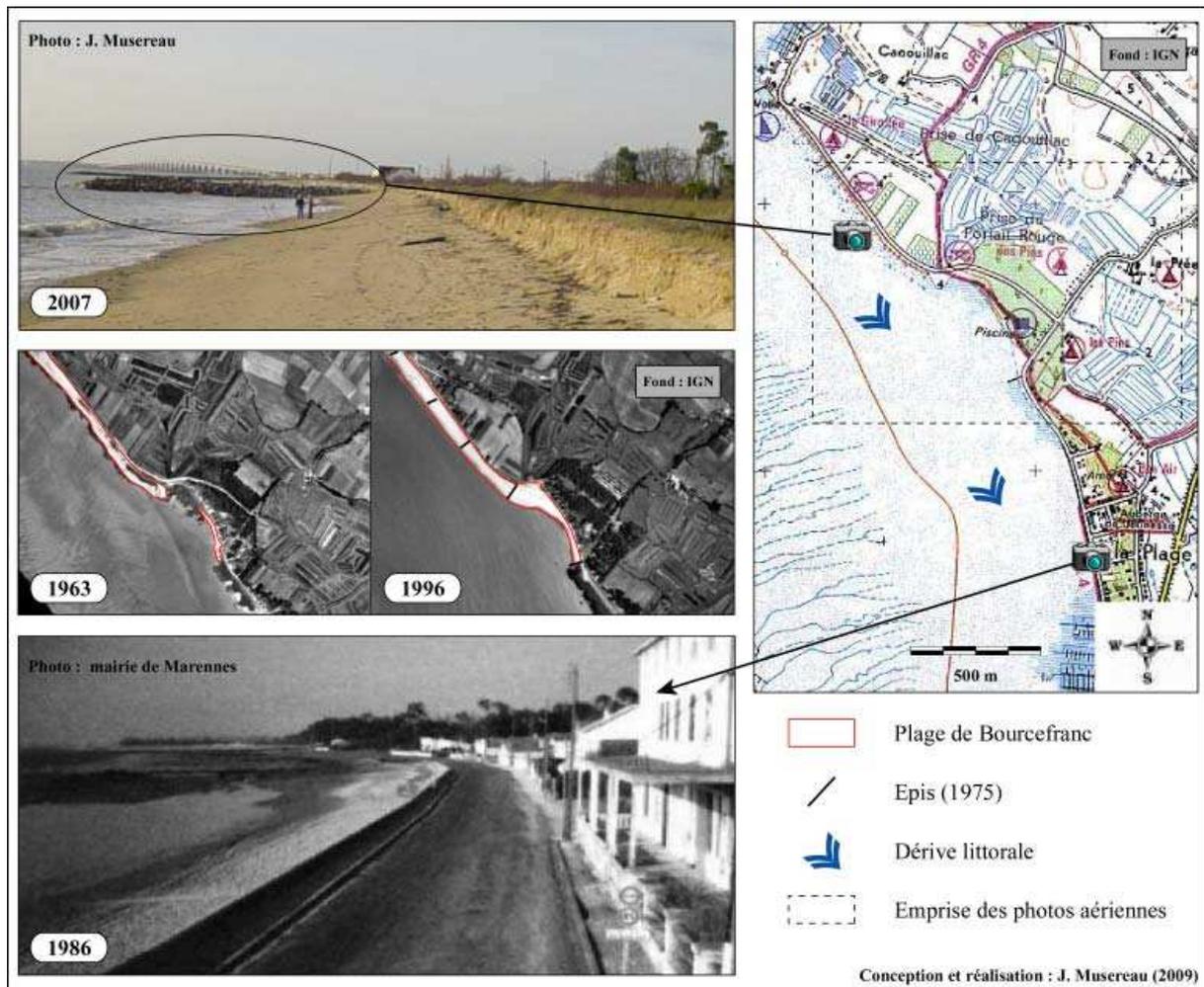


Figure 53 : Enrochements et budget sédimentaire sur la plage de Marennes

III. 3. 2 Il faut donner l'impression que la mer rentre dans la commune

« Marennes-Plage », un projet ambitieux...

En Charente-Maritime, les premiers rechargements de plage sont réalisés avec succès à partir de 1990 sur la plage de Châtelailon (300 000 m³ de sable), près de La Rochelle (S. Pupier-Dauchez, 2002). La rive droite de l'estuaire de la Seudre présente de nombreux atouts pour la réussite d'une réalimentation artificielle. En outre, cette zone est bien protégée de

l'agitation océane, ce qui écarte d'autant plus le risque d'une dispersion trop rapide des apports sédimentaires. Ceux qui ont été effectués en 1993 sur la plage de Bourcefranc ont d'ailleurs rempli leur objectif. Les principales modifications induites par l'aménagement sont surtout d'ordre topographique. Elles ont uniquement affecté la frange sableuse du haut de l'estran. L'exhaussement du haut de plage a ainsi permis d'augmenter les capacités d'accueil, avec une occupation de plus longue durée à l'approche de la pleine mer. Cette opération correspond à un volume de 117 000 m³ de sédiment. Avant d'être dispersé sur un linéaire de plage de 1250 m, le sable a été extrait sur le banc de Barat (Figure 54), par l'intermédiaire d'une canalisation sous-marine. Le matériel transféré de cette manière est composé de sables fins (de 68 à 96 %), bien ou très bien classés (indice de tri faible (So) inférieur à 1.4) et dont le grain moyen est compris entre 260 et 360 µm (J. M. Sornin et J. Fazilleau, 1994).

Le projet de la commune de Marennes, associant la commune de Marennes et la Direction Départementale de l'Équipement de Charente-Maritime, a été mis en œuvre peu après (1996). L'idée de créer Marennes-Plage repose en premier lieu sur la volonté de conforter l'identité balnéaire de la ville. Son but était de redynamiser le potentiel touristique de la plage et de son front de mer, mettre en valeur l'espace en préservant le caractère « naturel » des lieux et protéger la zone avec un ouvrage de défense côtière d'un nouveau type. La politique d'aménagement à l'origine de ce projet s'est appuyée sur une étude de la chambre de commerce réalisée auprès de ses habitants, qui se plaignaient de ne pas avoir de plage. La mairie a alors conçu la construction du bassin artificiel, « *pour donner l'impression que la mer rentre dans la commune* » (expression employée par R. Hattabe, maire de Marennes de 1977 à 2008). Comme nous l'avons décrit plus haut, avant que les travaux ne soient entrepris, le site présentait un front de mer disloqué, sans véritable zone de baignade puisque l'espace maritime était envasé et dépourvu de son sable originel.

Depuis l'échec de la défense frontale, s'agissant de rééquilibrer le budget sédimentaire et lutter plus efficacement contre l'érosion marine, le rechargement de plage s'est progressivement imposé comme une alternative crédible et justifiée. En ce sens, les dispositifs proposés à Marennes et à Bourcefranc marquent une évolution majeure au regard des pratiques et des politiques antérieures. Ces aménagements s'inscrivent résolument dans la recherche d'une solution « douce » au problème d'érosion. Mais cette évolution radicale des pratiques n'est pas forcément liée au fait que les questions environnementales soient devenues prioritaires. Si la défense de côte en est l'objectif affiché, c'est aussi parce qu'une bonne argumentation sur ce point permet aux municipalités de bénéficier systématiquement d'un

financement conjoint de l'Etat et de la Région, à hauteur de 65 % (S. Pupier-Dauchez, 2002). On comprend mieux, dès lors, que le thème de la protection du littoral n'est que très rarement dissocié de ce genre d'opérations, qu'il est ardemment mis en avant par les collectivités désireuses d'en faire usage et, dans les faits, susceptible d'être un peu galvaudé ou localement réinterprété. Certes, ces « facilités » financières ont eu, dans bien des cas, le mérite d'impulser des pratiques de gestion aux conséquences visiblement moins néfastes sur le plan environnemental. Mais contrairement aux enrochements, par définition, réalimenter artificiellement une plage demande à ce qu'un jour ou l'autre l'opération soit renouvelée. En l'occurrence, la question du financement des nouveaux travaux va souvent s'imposer brutalement et peut rapidement devenir insoluble.

Les caractéristiques sédimentaires du matériel dragué au large de la plage de Marennes sont assez proches de celles des dépôts dont « l'ancienne plage » bénéficiait auparavant de manière naturelle. Trois zones d'extraction ont été définies : le banc de Barat, une nouvelle fois, mais aussi ceux de Trompe-Sot et de la Coursière des Lézards (Figure 54). La moyenne granulométrique des sédiments extraits sur ces bancs est légèrement supérieure à 250 μm mais la teneur en pélite peut y atteindre environ 30 %, en particulier en ce qui concerne les deux derniers sites (CREOCEAN, 1996). La construction du bassin a été effectuée en plusieurs étapes, que nous proposons de décrire rapidement. Auparavant, une première alimentation, de dimension réduite, avait été testée en 1996. Cet apport, de 3600 m^3 de sable, en provenance de Boyardville (Oléron), avait été réalisé au début de l'année pour recouvrir définitivement l'enrochement. Il s'est avéré concluant, ce qui a permis d'asseoir un peu plus la légitimité du futur ouvrage. La construction du bassin ne débute réellement qu'à l'automne 1997. Celui-ci est implanté sur l'estran vaseux, en bordure d'une exploitation ostréicole et après avoir isolé la plage est marées. Le substratum retiré de l'estran durant cette étape sert à former le noyau compact du cordon pré littoral. Ce matériel est composé de sable très fin, plus ou moins argileux et coquillier. Au centre de l'édifice, une canalisation est installée pour permettre les futures vidanges du bassin lors des HMVE. Ce système de semi-ouverture a été préféré aux deux autres options possibles, garder le bassin définitivement fermé ou le laisser ouvert, afin de préserver durablement la stabilité de l'ouvrage tout en limitant le risque de pollution en raison de la stagnation des eaux. 12 000 m^3 supplémentaires sont ajoutés pour recouvrir le haut de plage et 60 000 m^3 sont nécessaires pour compléter la couverture sur le bas de plage, au fond du bassin et sur le cordon. Le coût total des travaux s'élève à environ 800 000 €.

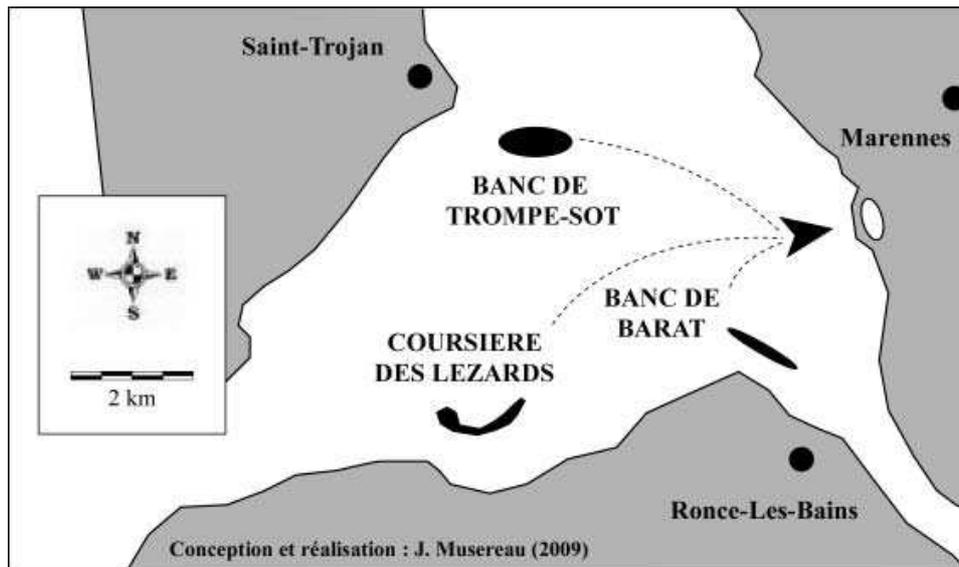


Figure 54 : Lieux d'extraction sélectionnés pour réalimenter la plage de Marennes

... aux résultats surprenants

L'aménagement a considérablement changé la physionomie du littoral marennais (Figure 55). Sa présence implique un report du trait de côte vers le large sur près de 150 m. La plage possède désormais une largeur moyenne de 25 m en appui contre le mur de front de mer et recouvre totalement les enrochements. Le cordon artificiel culmine en moyenne à 3,4 m NGF et occupe un linéaire côtier de 650 m. Sa largeur varie au gré des marées d'une trentaine à une soixantaine de mètres.

Contre toute attente, la tempête du 27 décembre 1999 n'a causé que peu de dégâts, seulement quelques brèches minimales qu'un simple reprofilage permet de gommer et sans avoir à recourir à de nouveaux apports artificiels. Sa forme incurvée, son assise massive et la présence du bassin sur sa face interne sont autant d'éléments contribuant à sa bonne résistance aux conditions extrêmes qui ont accompagné l'ouragan (F. Brulay et S. Pupier-Dauchez, 2006). Le pari de l'attractivité a également été gagné, comme en témoigne la photo proposée par la municipalité sur son site Web pour présenter sa plage (Figure 55).

Avec le temps, le cordon littoral artificiel a toutefois eu tendance à se dégrader progressivement. Plusieurs reprofilages et transferts de sable ont été nécessaires pour préserver sa bonne tenue, avec une fréquence variable suivant les événements climatiques. Les premiers travaux de réfection du cordon dunaire avaient pour objet de remodeler son profil suite aux dégâts causés par la tempête de décembre 1999. Il fallait alors récupérer le sable déplacé par transfert éolien, depuis le fond du bassin vers le sommet du cordon. Les

travaux ont été menés au printemps 2000, pour un coût total proche de 20 000 €. L'année suivante, d'autres transferts du même type se sont avérés nécessaires. Ces effets indésirables, dont les processus ont été parfaitement décrits par M. A. Marquez *et al.* (2001) à travers le cas de Riells (Espagne), ont également été observés sur plusieurs plages charentaises ayant fait l'objet d'un rechargement. A Châtelailon par exemple, l'emploi d'un grand nombre de ganivelles a permis de réduire efficacement les quantités de sable transportées vers l'espace urbain (S. Pupier-Dauchez, 2002). A cette occasion, un curage du chenal de vidange et un nivelage de la plage ont également été réalisés pour parfaire le remodelage du bassin. Cette nouvelle intervention a coûté 83 720 €. Les travaux de remise en état du site se sont poursuivis les années suivantes, sans qu'aucun apport extérieur d'envergure ne soit nécessaire. Jusqu'à présent, le seul apport exogène a eu lieu en 2005. Il s'est limité à 3 000 m³ et répondait à un problème d'esthétisme (homogénéisation de la couverture sableuse).

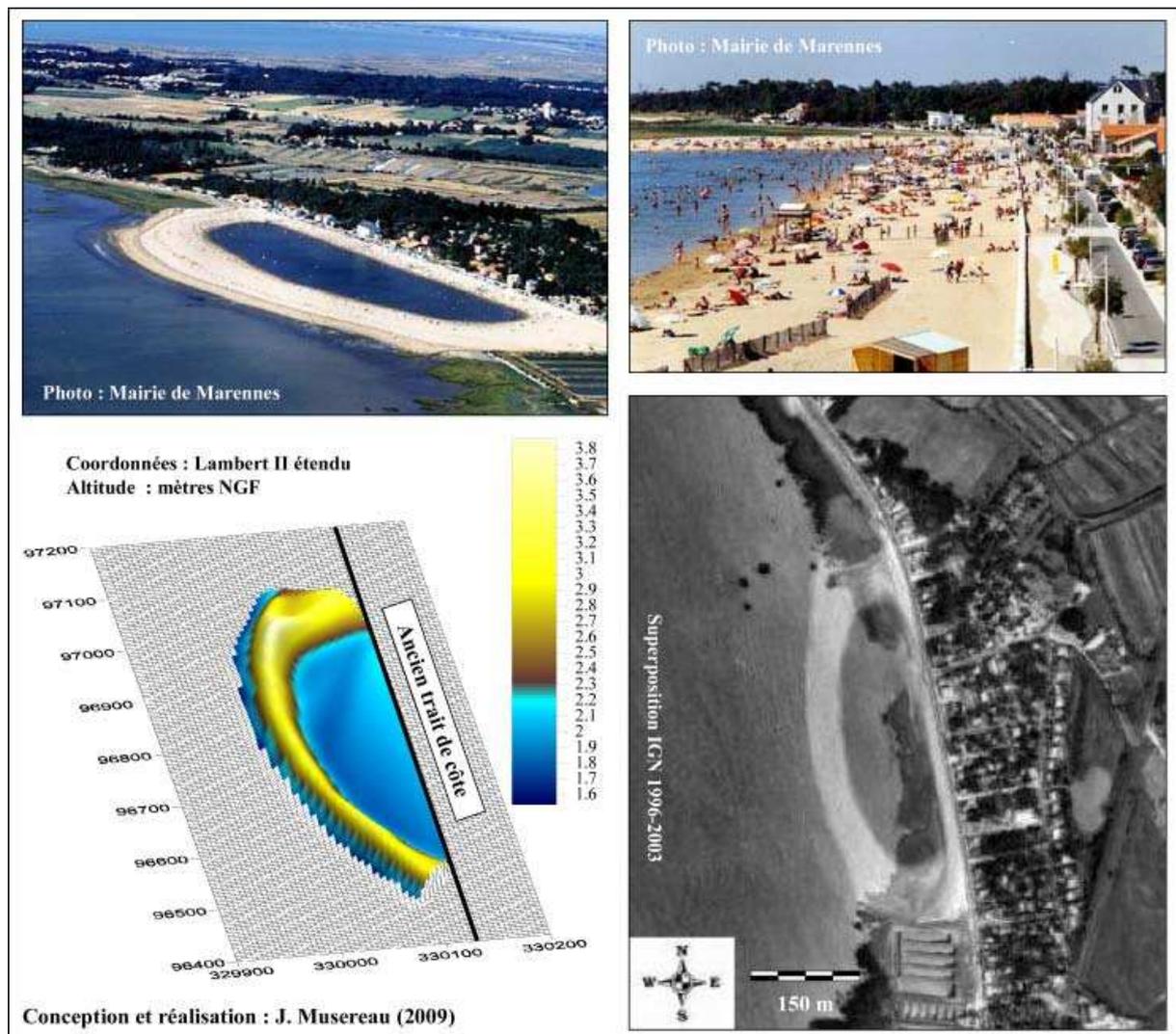


Figure 55 : La transformation de plage de Marennes suite à son rechargement

III. 5 SYNTHÈSE

III. 5. 1 La Belle-Henriette

L'évolution morphologique du littoral sud-vendéen est étroitement liée au transit littoral généré par les houles de tempête qui abordent obliquement le sud de la Vendée. A la différence de la pointe d'Arçay, la croissance de la flèche littorale à pointe libre à l'origine de la formation lagunaire est rapidement devenue un véritable danger pour la population fautaïse. Il aura fallu plusieurs décennies d'endigement et composer avec de nombreux échecs pour contenir l'érosion générée par son expansion vers le sud-est. La construction d'un batardeau, qui a permis de stopper durablement les échanges entre la lagune et la mer a jusqu'à présent maintenu une certaine stabilité à proximité de l'ouvrage (Figures 56 et 57). Les questions des origines, du devenir et des conséquences à moyen et long terme de cette intervention doivent cependant être posées.

Ce choix était-il le plus judicieux ? Devait-t-on « figer » la flèche littorale ? Une fermeture naturelle n'aurait-elle pas finalement eu lieu ? Cette stabilité relative du cordon littoral est-elle réellement pérenne ? Doit-on en faire un sanctuaire écologique et s'opposer à toute idée de réouverture (cf. plus bas, position de l'ADEV) ? Cette posture radicale n'est-elle pas porteuse de futurs conflits avec les partisans du « laisser-faire » (cf. plus bas, position des collectivités) ?

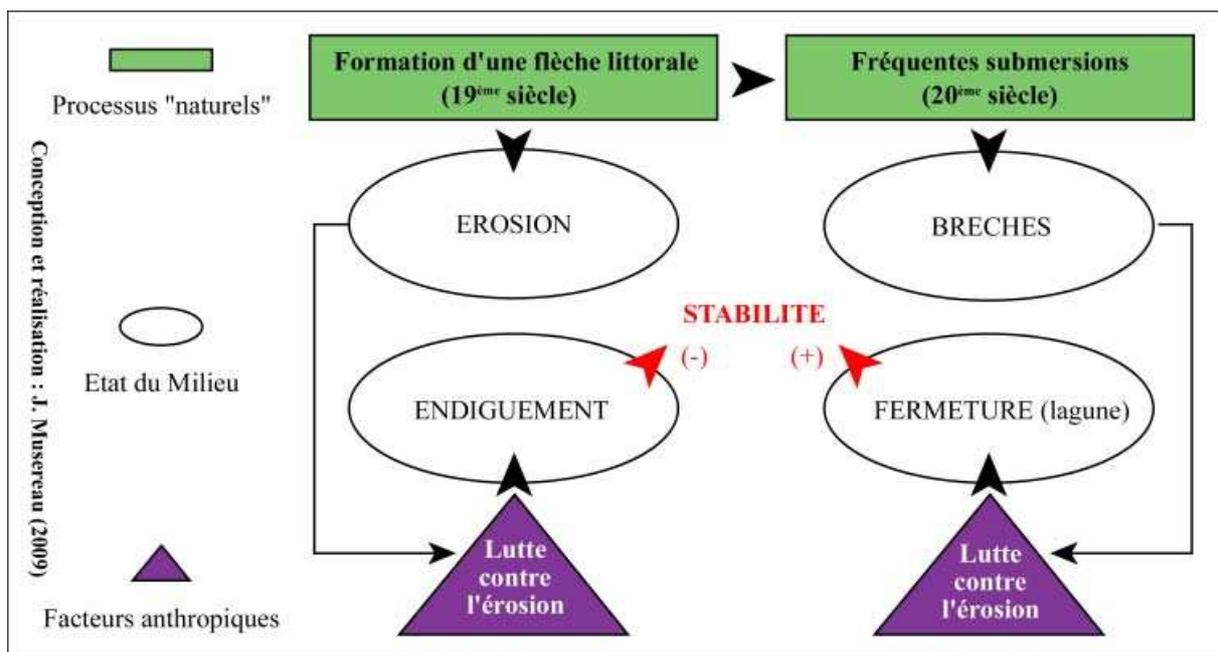


Figure 56 : Lagune de La Belle-Henriette, synthèse systémique

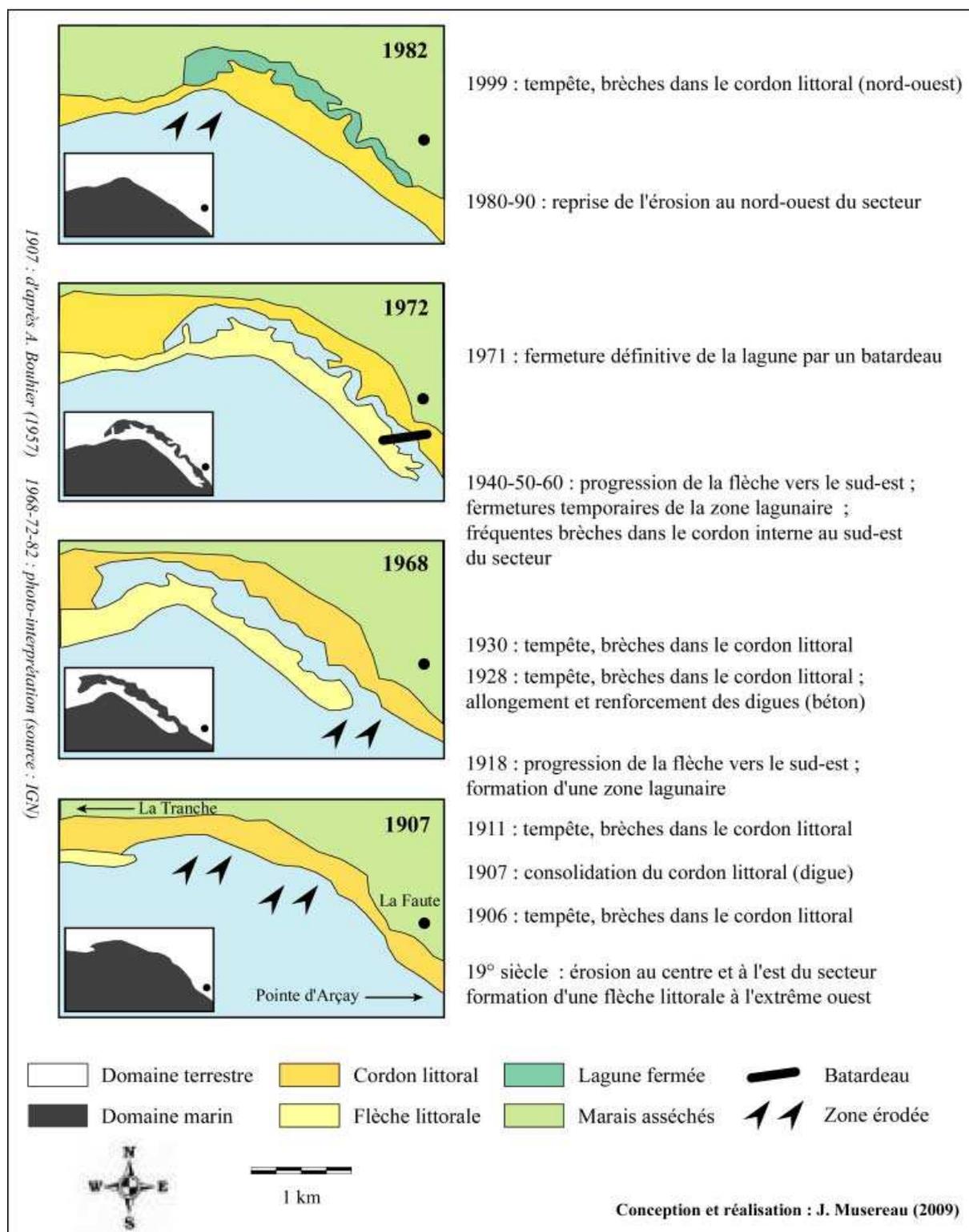


Figure 57 : Lagune de La Belle-Henriette, synthèse historique

Le bilan des endiguements du cordon interne est clairement négatif. Vis-à-vis de ces ouvrages aujourd'hui en désuétude, la méthode du batardeau s'est avérée plus efficace, tout en s'inscrivant dans la même logique de fixité. Au cours de sa croissance, la flèche littorale avait déjà montré à plusieurs reprises sa propension à la fermeture. Sans doute, l'Homme a-t-il

simplement mis un terme plus brutal à cette évolution hésitante. Plus récemment, en raison de l'implantation de nouveaux enrochements (épis des Roulières) en amont dérive de La Belle-Henriette, une autre phase d'érosion s'est amorcée à la racine de l'ancienne flèche. A cet endroit précis, les brèches causées par la tempête de 1999 nous alertent sur la possibilité qu'une réouverture du système lagunaire puisse se manifester tôt ou tard. Une nouvelle problématique s'imposera alors à ses gestionnaires : faut-il ou non s'opposer à cette dynamique et maintenir la lagune fermée ? Les services de l'équipement s'orienteraient de préférence vers le principe d'accompagnement du phénomène. L'ADEV (Association de Défense de l'Environnement en Vendée) s'oppose fermement à ce précepte en invoquant l'impérieuse nécessité de préserver l'écosystème lagunaire en l'état, puisqu'il s'agit d'un site exceptionnel.

III. 5. 2 Saint-Trojan

A première vue, la progradation de la Pointe de Gatseau apparaît comme un phénomène exclusivement « naturel » et a donc été le plus souvent décrit comme tel. Toutefois, comment expliquer qu'une avancée du rivage soit intervenue dans le même temps au niveau de sa racine, qui devrait classiquement en constituer la principale source sédimentaire ? La thèse que nous avons voulu développer ici est d'impliquer fortement le facteur anthropique dans ces évolutions (Figures 58 et 59). Pour faire face à une problématique d'ensablement de la frange littorale, les Oléronnais ont pratiqué une méthode de fixation du sable particulièrement interventionniste et techniquement aboutie. Contrairement aux autres sites où les dunes littorales ont été fixées, cet effort a été renouvelé avec insistance pendant plusieurs décennies. Nous pensons donc qu'en contraignant sensiblement le transit éolien, la construction des palissades a pu avoir une influence non négligeable sur la morphodynamique côtière.

La tendance s'est ensuite inversée et les Oléronnais doivent aujourd'hui composer avec une problématique récurrente, celle de l'érosion de la dune littorale. Nous avons apporté de nouvelles pistes à propos des questions de l'origine et de la datation de ce phénomène. Parfois évoqué comme étant intervenu dès l'Après-Guerre, il fut vraisemblablement plus tardif (sans quoi la palissade de 1970 n'aurait jamais été construite). L'hypothèse d'un changement du régime des tempêtes, qui pourrait éventuellement contribuer à expliquer cette évolution, est discutable. Les données sont encore insuffisantes pour établir un lien avéré à ce sujet. Il serait donc inopportun d'apporter des conclusions à partir de ce seul facteur

explicatif. Les autres raisons évoquées dans cette thèse font appel, une nouvelle fois, à des faits anthropiques (réduction des apports fluviaux, ouvrages côtiers, extraction de sédiment...). Un changement radical des types d'intervention menés sur la dune et une évolution défavorable du contexte morpho-sédimentaire sont donc conjointement à l'origine de cette situation.

Cette réflexion nous incite également à poser l'hypothèse suivante : l'actuelle érosion de la dune ne serait-elle pas aussi liée, pour partie, à la manifestation d'une rétroaction issue de la substitution d'un nouveau système morphogénique au système primitif ? Cette même idée nous a été résumée de manière beaucoup plus pragmatique par un riverain rencontré lors d'une visite sur le terrain, qui a lui-même participé à la construction d'une palissade : « *Plus on a gagné, plus on perdra. La nature ne fait que reprendre ses droits* ». Cette courte phrase nous renvoie au concept d'érosion accélérée (R. Neboît, 1991). L'ampleur du recul de la dune de Saint-Trojan serait en partie conditionnée par le fait que son accrétion antérieure ait été accompagnée par l'Homme, que la forme qui en a résulté n'était pas pleinement adaptée à son environnement (et donc plus sensible au changement). Comme dans l'exemple vendéen, les formes de lutte contre les phénomènes d'érosion, bien que novatrices sur certains points, étaient encore très récemment basées sur une volonté de fixation du trait de côte, en dépit d'enjeux pourtant limités. Depuis l'échec du Chantier-Pilote du Vert-Bois, une posture consensuelle a été adoptée : l'acceptation du recul de la dune.

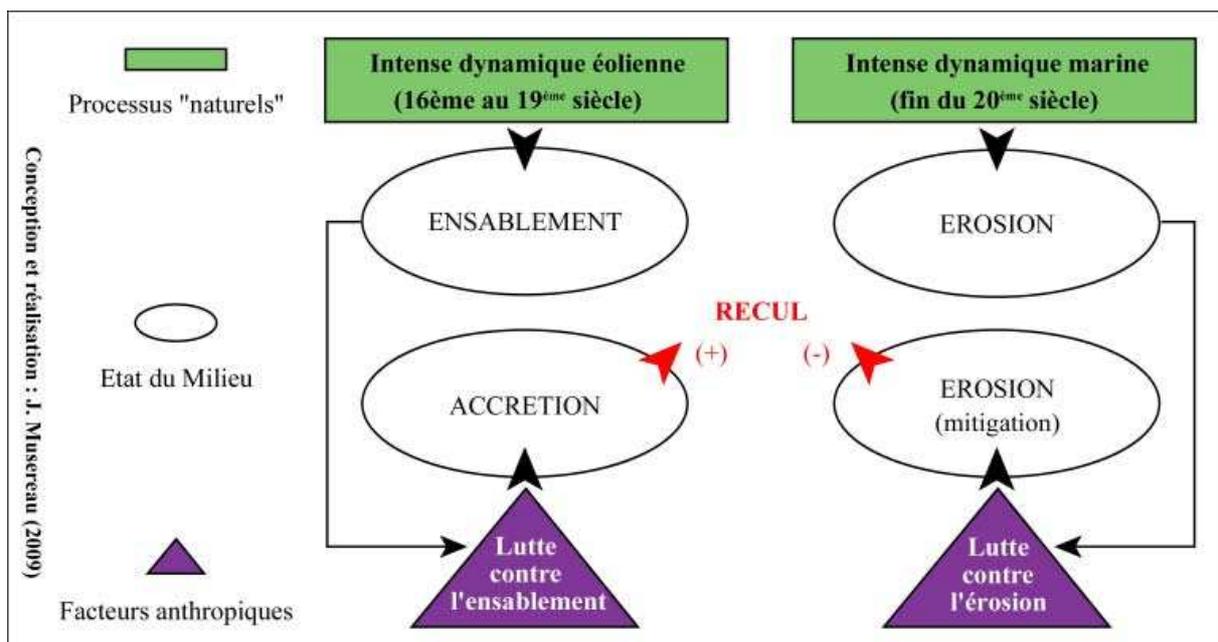


Figure 58 : Dune de Saint-Trojan, synthèse systémique

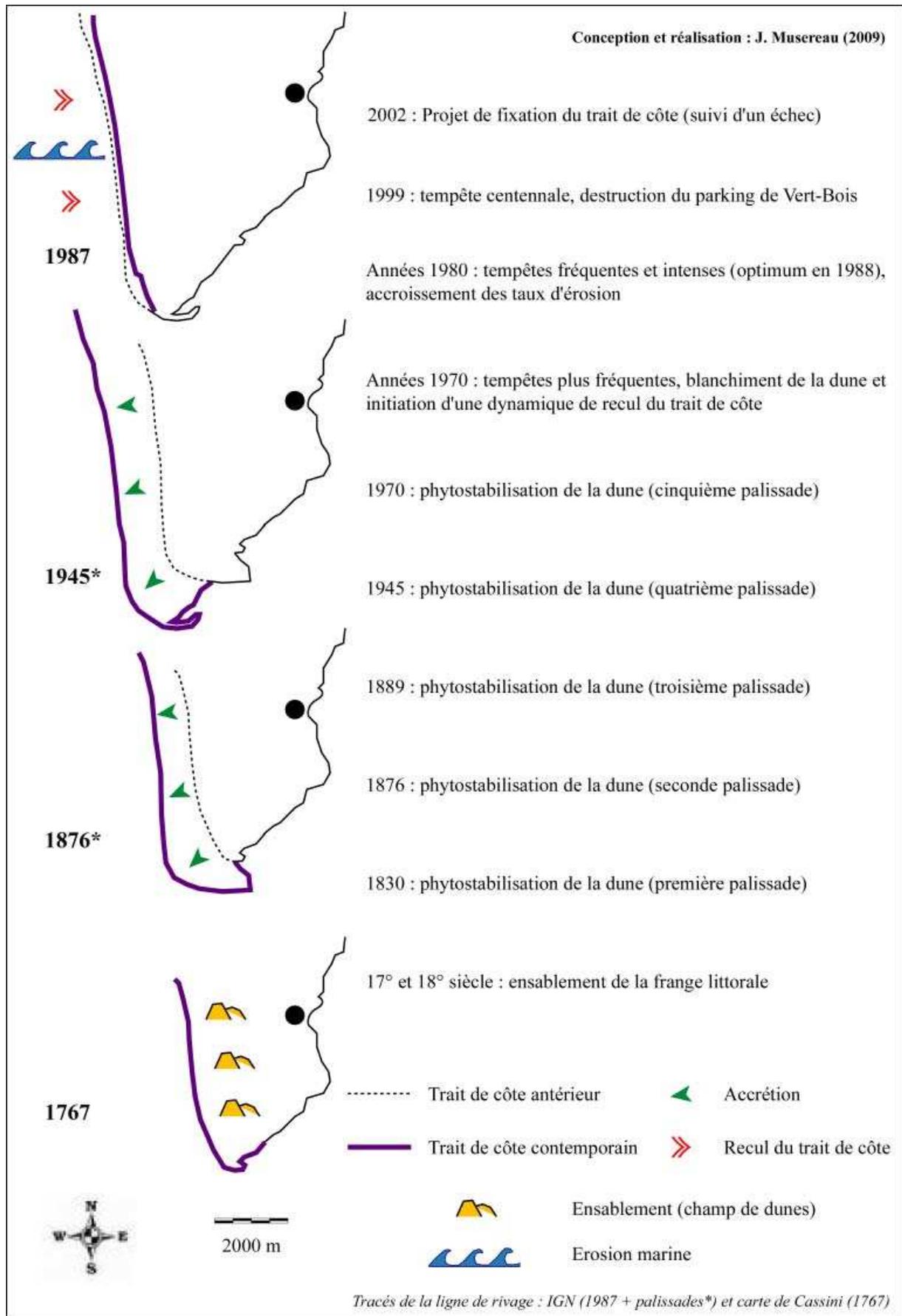


Figure 59 : Dune de Saint-Trojan, synthèse historique

III. 5. 3 Marennnes-Plage

Marennnes-Plage est un aménagement récent. Il prend la forme d'un bassin fermé par un cordon pré littoral artificiel. Cet ouvrage constitue en quelque sorte l'aboutissement d'une longue entreprise visant à apprivoiser la mobilité de la côte marennaise (Figures 60 et 61). Le cordon littoral a d'abord été stabilisé à l'aide du pin maritime en raison d'un ensablement sans doute de plus en plus contraignant (19^{ième} siècle). Il a ensuite été presque totalement enroché pour se prémunir des tempêtes (années 1970). Il s'est enfin vu réhabilité par une opération de rechargement de sable (1997). Ainsi, à l'échelle séculaire, la dynamique morphosédimentaire de ce site ne peut être dissociée de la manière dont ses gestionnaires ont pensé son aménagement. La logique des interventions menées sur ce site consiste à répondre à un besoin de protection vis-à-vis du risque de submersion, que la multiplication des enjeux situés en arrière du cordon littoral (terrains agricoles, habitations, infrastructures touristiques) a largement contribué à exacerber. Il s'est rapidement avéré que les enrochements, par leurs effets induits, n'étaient pas en mesure de répondre pleinement à cette problématique, qu'ils en ont plutôt engendré d'autres, comme celle de la disparition de la plage. La technique du rechargement et la construction du bassin ont permis jusqu'à présent d'y répondre avec une relative efficacité. Mais la question de la durabilité de cette intervention reste en suspens. Elle se pose en ces termes : quels risques et, surtout, quels coûts peuvent découler de ces nouveaux aménagements ?

D'une part, cette forme littorale, prévue pour rester théoriquement immergible, ne culmine qu'à quelques centimètres des plus hauts niveaux d'eau, et a déjà été submergée en décembre 1999. En ce sens, le cordon artificiel est lui-même vulnérable au risque contre lequel il est censé protéger les Marennais. Il est donc compréhensible que des critiques soient faites à propos de la capacité de l'ouvrage à remplir ce rôle. D'autre part, sa pérennité est totalement tributaire de l'entretien qui doit être régulièrement effectué par les services municipaux. Le bilan coût/avantage de l'opération est pour l'instant équilibré mais divers aléas exposent ses gestionnaires à une remise en cause de leur mode de gestion actuel ; ce peut être la destruction de l'édifice par une très violente tempête ou bien le possible reflux de l'attractivité qu'a permis l'aménagement). Jusqu'à aujourd'hui, aucun nouveau rechargement n'a été planifié alors que les phénomènes d'érosion s'y sont récemment multipliés (voir chapitre 4). Cette opération, à terme inévitable, reste difficilement prévisible sans suivi. Elle sous-entend aussi qu'il faille dès à présent anticiper son financement

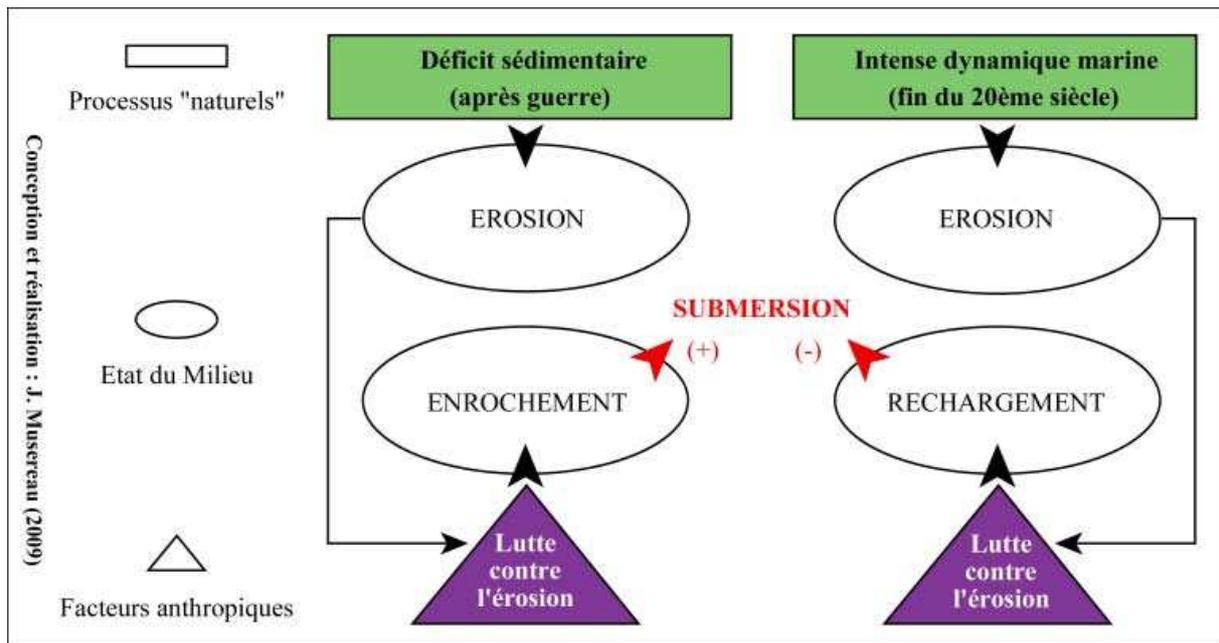


Figure 60 : Plage de Marennes, synthèse systémique

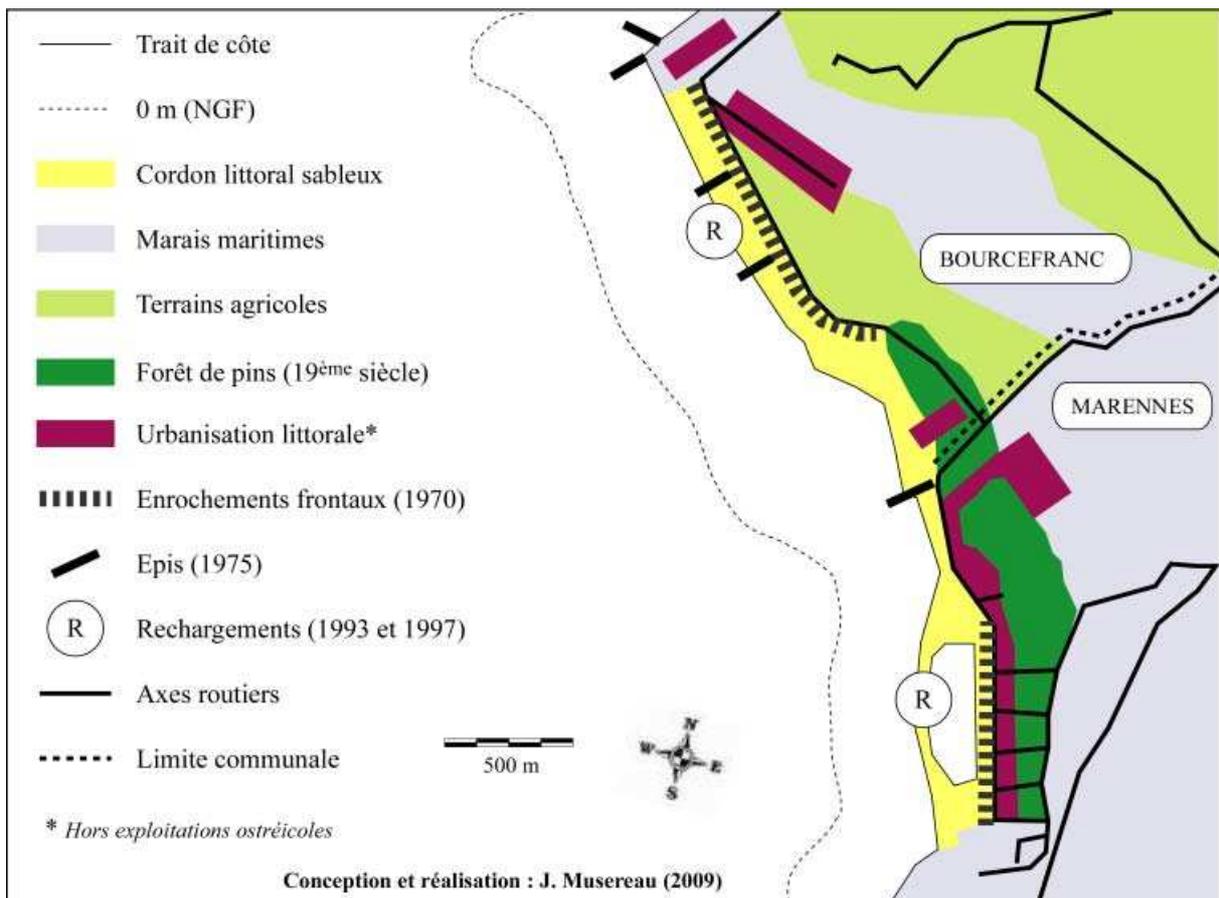


Figure 61 : Plage de Marennes, synthèse historique

III. 5. 4 Bilan général

Malgré des contextes physiques et sociétaux radicalement différents, de nombreux points de similitudes ont pu être extraits de cette présentation historique des sites de La Belle-Henriette, de Saint-Trojan et de Marennes-Plage. Nous en distinguons au moins sept :

- 1) La genèse de ces formes littorales est, au moins en partie, d'origine anthropique.
- 2) Cette intervention humaine visait à stopper les effets d'une contrainte « naturelle » devenue de plus en plus forte et potentiellement dramatique pour la population locale. Il s'agit de l'érosion liée au développement d'une flèche littorale dans le premier cas, de l'ensablement de la frange littorale dans le second et de la réduction du stock sédimentaire dans le troisième.
- 3) L'érosion marine est aujourd'hui la principale problématique à laquelle doivent faire face leurs gestionnaires.
- 4) Jusqu'à présent, la fixité du trait de côte constituait l'unique finalité des modes de gestion proposés pour résoudre ce problème.
- 5) Le phénomène se manifeste essentiellement durant les tempêtes, auxquelles ces territoires sont *a priori* vulnérables, en tout cas perçus comme et vécus comme tels.
- 6) Hormis le cas exceptionnel de l'ouragan de décembre 1999, pour lequel de nombreuses données sont disponibles, le rôle de ces événements majeurs dans les tendances observées récemment sur ces sites est relativement peu documenté.
- 7) Malgré une demande sociale croissante à ce sujet, aucun dispositif de prévention n'est prévu pour faire face aux risques qu'ils peuvent engendrer.

CHAPITRE IV : MISE AU POINT ET APPLICATION D'UN INDICE D'ÉROSION

INTRODUCTION DE CHAPITRE

« *Prediction is very difficult, especially about the future* »

Niels Bohr (1885-1962)

Ce chapitre présente tout d'abord une réflexion sur le concept d'indice d'érosion. Il en expose ensuite l'applicabilité au littoral charentais. La proposition qui s'en dégage est enfin testée, validée et commentée. Le travail de modélisation que cela nécessite s'inspire des indices déjà mis au point par R. H. Simpson (1974), J. R. Allen (1981), S. D. Halsey (1986), J. H. Balsillie (1986), R. Dolan et R. Davis (1992), D. L. Kriebel *et al.* (1997), A. H. Sallenger (2000) et K. Zhang *et al.* (2001). La plupart de ces auteurs ont élaboré des hypothèses et construit des modèles pour les appliquer à deux types d'aléas météo-marins bien distincts : les cyclones tropicaux et les tempêtes de Nord-Est (*Nor'easter*) qui frappent les côtes américaines. En tant que telles, ces équations ne sont donc pas adaptées aux spécificités du littoral français.

Il s'agit, dans un premier temps, de réfléchir au concept d'indice d'érosion. Le cadre théorique de cette réflexion est dérivé des travaux initiés par R. Neboit (1991 et 1999), R. Coque (1994) ou C. Le Coeur (1998) à propos des effets de seuil, que N. Mathys et J. Poesen (2005) ont récemment repris. Cependant cette réflexion générale doit être appliquée aux spécificités du milieu littoral. Pour cela, nous exposons le bilan d'un suivi topographique effectué sur nos trois sites ateliers (hivers 2006-2007 et 2007-2008) et le confrontons aux conditions de forçage qui ont prévalu sur la même période. La mise en relation de ce corpus de données nous incite également à poser l'hypothèse d'un effet de seuil lorsque des épisodes morphogènes se manifestent sur ces littoraux.

Dans un deuxième temps, un calage local (*downscaling*) est présenté. Il nous permet de proposer un modèle de franchissement de seuil capable d'isoler statistiquement les tempêtes à impact (celles qui peuvent effectivement éroder le littoral), sous la forme d'un indice synthétique qui s'adapte aux conditions locales (ajustement site par site).

Dans un troisième temps, nous présentons le résultat de plusieurs tests et validons la capacité prédictive cet indice d'érosion. Cette démonstration est commentée. La discussion porte sur les avantages et les inconvénients de la méthode qui vient d'être mise au point.

IV. 1 SUIVI DE LA MORPHODYNAMIQUE DES CORDONS LITTORAUX

IV. 1. 1 Matériel et méthode

Les mesures topographiques

Des mesures topographiques (levés continus au DGPS avec deux GPS Trimble© XRS et/ou profils réalisés au théodolite) ont été effectuées avec une fréquence mensuelle durant les « hivers » 2006-2007 et 2007-2008 (d'octobre à mars inclus). La localisation générale des secteurs visités est présentée ci-dessous (Figure 62). Les caractéristiques et les dates des enregistrements sont détaillées site par site en Annexe 24. L'extraction des données obtenues à partir de ces levés topographiques ont servi à construire des Modèles Numériques de Terrain (MNT), afin de décrire la morphodynamique de ces littoraux.

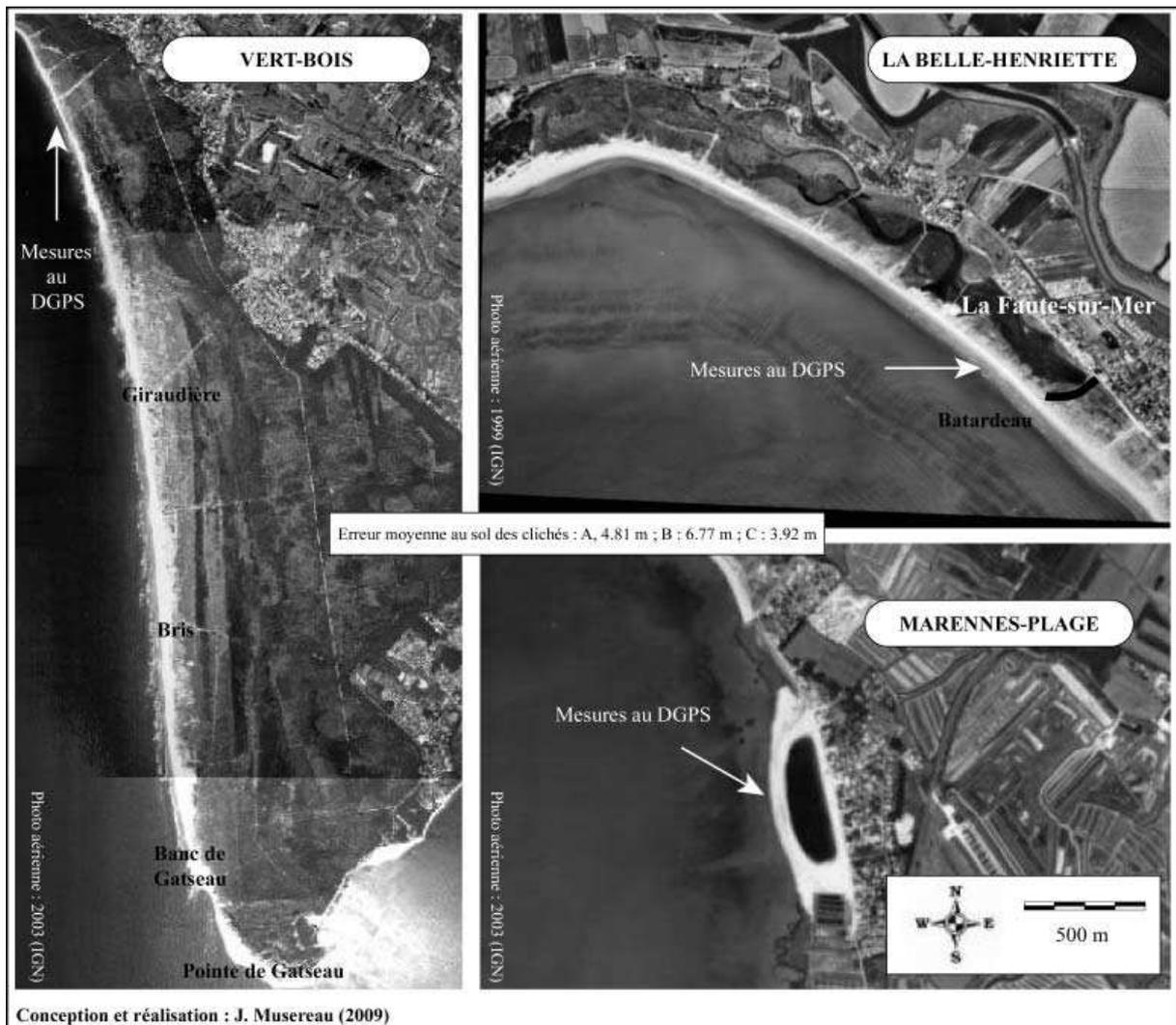


Figure 62 : Localisation des secteurs mesurés au DGPS

Les MNT ont une dimension relativement réduite (80 m de linéaire côtier) car la procédure qui en est à l'origine répond à un grand nombre de contraintes. D'une part, les mesures DGPS sont fortement dépendantes du système de positionnement par satellites. Au moins cinq satellites bien positionnés sont requis pour effectuer des levés dans des conditions optimales, c'est-à-dire avec un angle supérieur à 15° par rapport à l'horizon. En général, la durée d'un enregistrement continu (nécessaire pour un post-traitement sur la phase) ne peut excéder deux heures, car il faut aussi tenir compte des facteurs environnants, la marégraphie (obligatoirement à mer basse) et les conditions météorologiques au moment des relevés (pas de pluie, un vent faible). D'autre part, cette procédure est conditionnée par la nature du milieu. Différents types d'obstacles (ganivelles, falaise dunaire...) ont parfois contrarié notre progression sur le terrain et rendu l'exercice assez délicat, voire pénible.

La largeur du MNT est déterminée, en parcourant le linéaire côtier, par l'intersection de deux axes dans le sens latitudinal (x_1 et x_2 , Figure 63A). Sa longueur est fixée selon deux critères (Figure 63B). Côté mer, une altitude de base ($Z_{0,}$), exprimée en mètre NGF, a été fixée arbitrairement pour faciliter le traitement et l'interprétation des données. Elle est de + 1,5 m NGF, soit, dans la région, l'équivalent d'une haute mer de morte-eau (HMME). De l'autre côté, les mesures se terminent le long d'un axe longitudinal (y) situé en arrière du sommet du cordon littoral. La position de cet axe varie selon les sites. L'emplacement et les dimensions de chaque MNT sont exprimés en mètre, dans le système de géopositionnement projeté Lambert II étendu.

Les données recueillies au DGPS, des positions en x , y et z , sont ensuite post-traitées et corrigées (logiciel *PathFinder*®). La construction des MNT procède d'une interpolation de ces positions sous le logiciel *Surfer*® (de type linéaire et selon une méthode de triangulation). Il s'agit ensuite de calculer un volume pour en déterminer la variation mensuelle. Comme l'illustre schématiquement la Figure 63, l'information est aussi interprétée qualitativement. Le cas échéant, il est aussi fait mention des éventuelles interventions humaines effectuées sur la zone, car celles-ci peuvent influencer significativement les résultats que nous avons obtenus (à Marennes-Plage surtout). Il convient de noter que cette procédure génère des approximations. Pour s'assurer que les données que nous utilisons sont aussi fiables que possible, un filtrage a automatiquement été opéré lors de l'exportation des données vers le logiciel d'interpolation. La marge d'erreur que nous nous sommes fixée est de 20 cm sur chacun des trois axes. Enfin, compte tenu des volumes engagés, par souci de lisibilité, nous avons préféré exprimer ces valeurs avec une précision ne dépassant pas 50 m^3 .

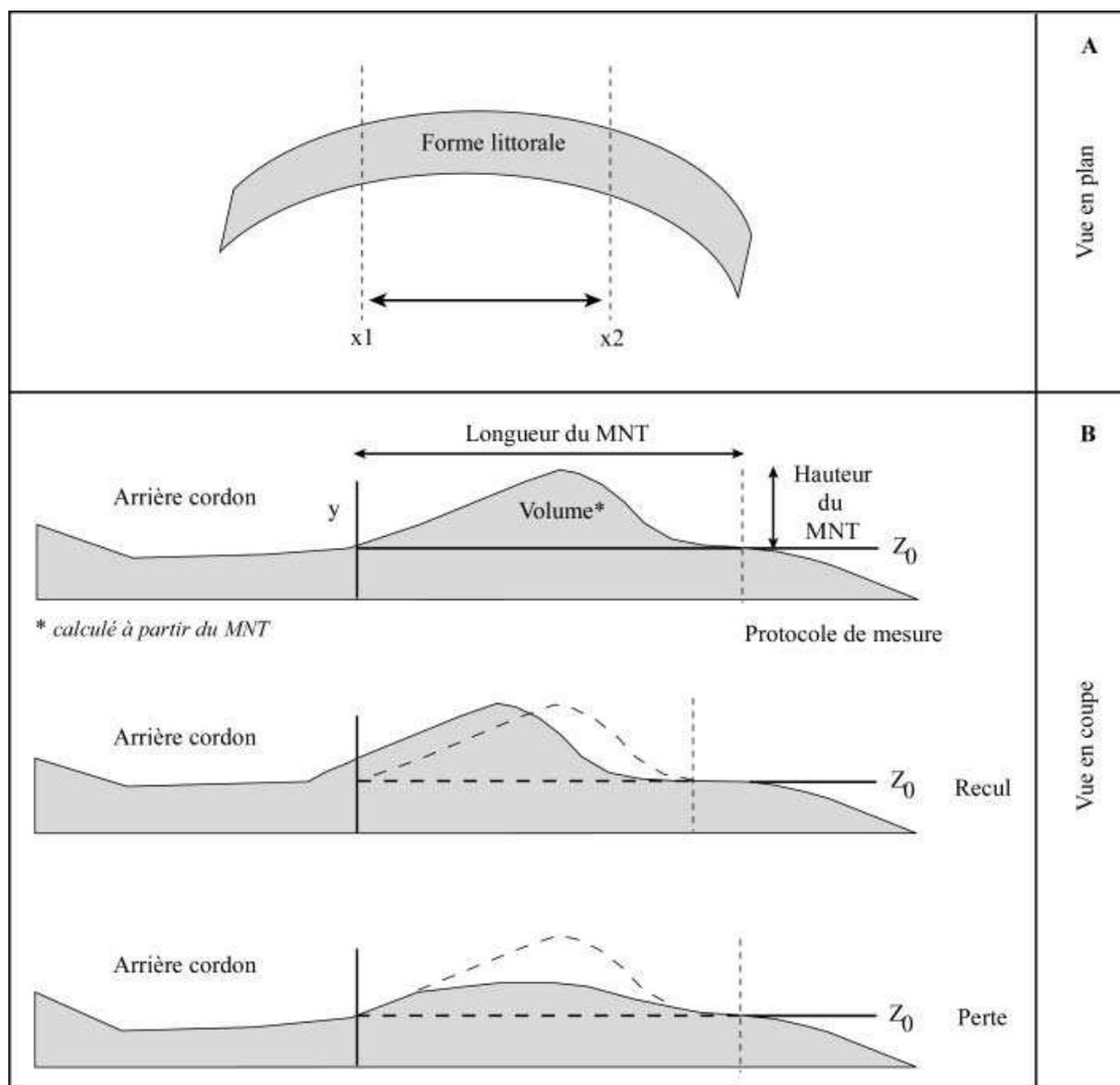


Figure 63 : Protocole adopté pour les mesures topographiques

Sur le site de La Belle-Henriette, pour les raisons historiques décrites dans le chapitre précédent, nous avons choisi de suivre le secteur où, en 1971, la flèche littorale à l'origine de la formation de la lagune a été raccordée artificiellement par un batardeau. Il se situe dans la partie sud-est du complexe lagunaire (Figure 64), au niveau de la passe des Chenolletes (localisation en Annexe 16). Le cordon littoral y culmine à près de 8 m NGF. On note également la présence d'une avant-dune végétalisée sur sa partie externe, une formation que l'on ne retrouve pas en amont-dérive (au nord-ouest du site). De l'autre côté, le revers du cordon et l'arrière cordon sont presque totalement couverts par la végétation (dune grise). Le substrat sableux y est donc stable.

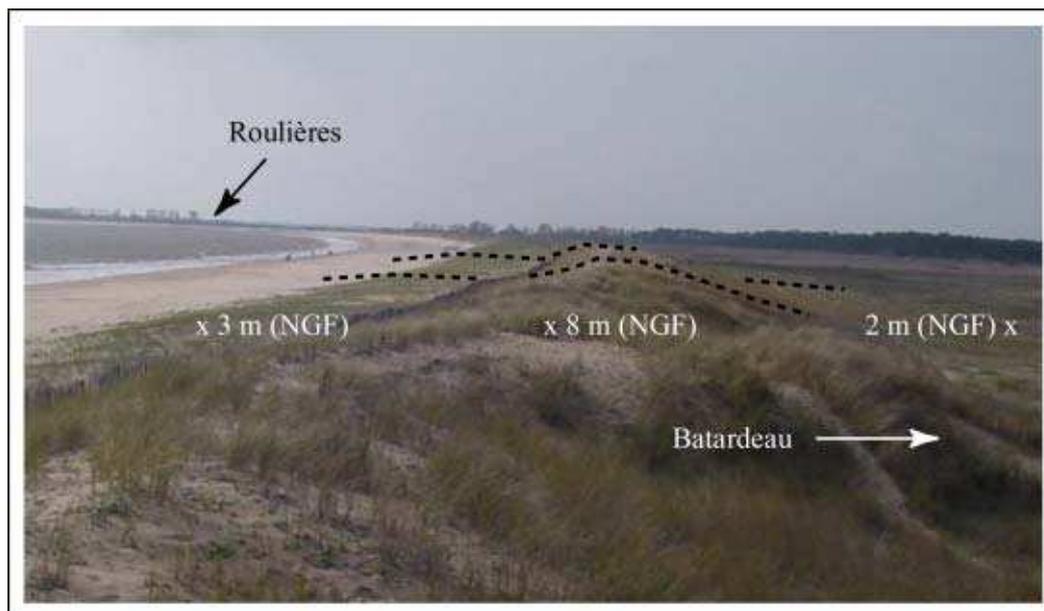


Figure 64 : Secteur mesuré sur le site de La Belle-Henriette

En ce qui concerne la dune de Saint-Trojan, le suivi a eu lieu au niveau de la passe de Vert-Bois, au nord du complexe dunaire, et plus précisément au pied des blockhaus qui surplombent la plage (Figure 65). Ce choix s'est imposé de lui-même. Sur ce littoral, il s'agit d'un des secteurs les plus sensibles à l'érosion marine. C'est là où eurent eu lieu les premières destructions d'infrastructures côtières implantées sur la dune, le « drame de Vert-Bois ». Ce site est enfin celui pour lequel nous disposons de données antérieures à cette campagne de mesures (cf. IV. 2, suivi du Chantier-Pilote de la DDE de Charente-Maritime, début de l'année 2003).



Figure 65 : Secteur mesuré sur le site de Vert-Bois

A Marennes-Plage, les visites ont eu lieu au centre de l'aménagement, dans la section la moins large du cordon littoral (Figure 66). Il s'agit de la partie la plus vulnérable de l'édifice. La présence d'obstacles aux extrémités nord et sud du bassin, tels que d'anciens bassins ostréicoles ou bien l'érection de ganivelles d'une hauteur proche d'1,5 m, sont d'autres raisons pratiques qui nous ont orienté vers ce choix.



Figure 66 : Secteur mesuré sur le site de Marennes-Plage

L'enregistrement des conditions météo-marines

Trois principaux paramètres météo-marins ont fait l'objet d'enregistrements sur une période équivalente à celle des relevés topographiques : la vitesse ($m.s^{-1}$) et la direction (degrés) du vent moyen à la côte, la hauteur (m) des vagues au large immédiat de la zone d'étude et la marégraphie locale (hauteur d'eau en m), c'est-à-dire à proximité de chaque site atelier.

Aucun réseau d'observation *in situ* n'étant apte à répondre à nos attentes et aux contraintes qui sont les nôtres (le manque de disponibilité en particulier), l'emploi de sources telles que des analyses en temps différé de modèles numériques a été privilégié pour effectuer le suivi de ces paramètres (Figure 67). Ce type de données présente l'avantage d'être totalement gratuit, ce qui n'est pas toujours le cas des produits mis à disposition par les organismes institutionnels. Elles sont accessibles à toute heure de la journée et réactualisées quatre fois par jour (00h, 6h, 12h et 18h UTC) en ce qui concerne le vent et les vagues, via le site Web <http://www.windguru.cz>. Cela rend donc possible une acquisition à distance et en temps quasi réel.

Nos principales sources sont : les analyses en temps différé du modèle GFS⁵ (résolution : 0,5° ; source : NOAA⁶) pour le vent ; les analyses en temps différé du modèle NWW3⁷ (résolution : 1,5° ; source : FMNOC⁸) pour les vagues ; les tables de marées calculées par le SHOM. Ces dernières nous renseignent sur le niveau théorique de la mer à marée haute. Trois points de mesure ont été retenus pour ce paramètre : Saint-Martin (île de Ré), la Pointe de Gatseau (île d'Oléron) et la Cayenne (Rivière de la Seudre).

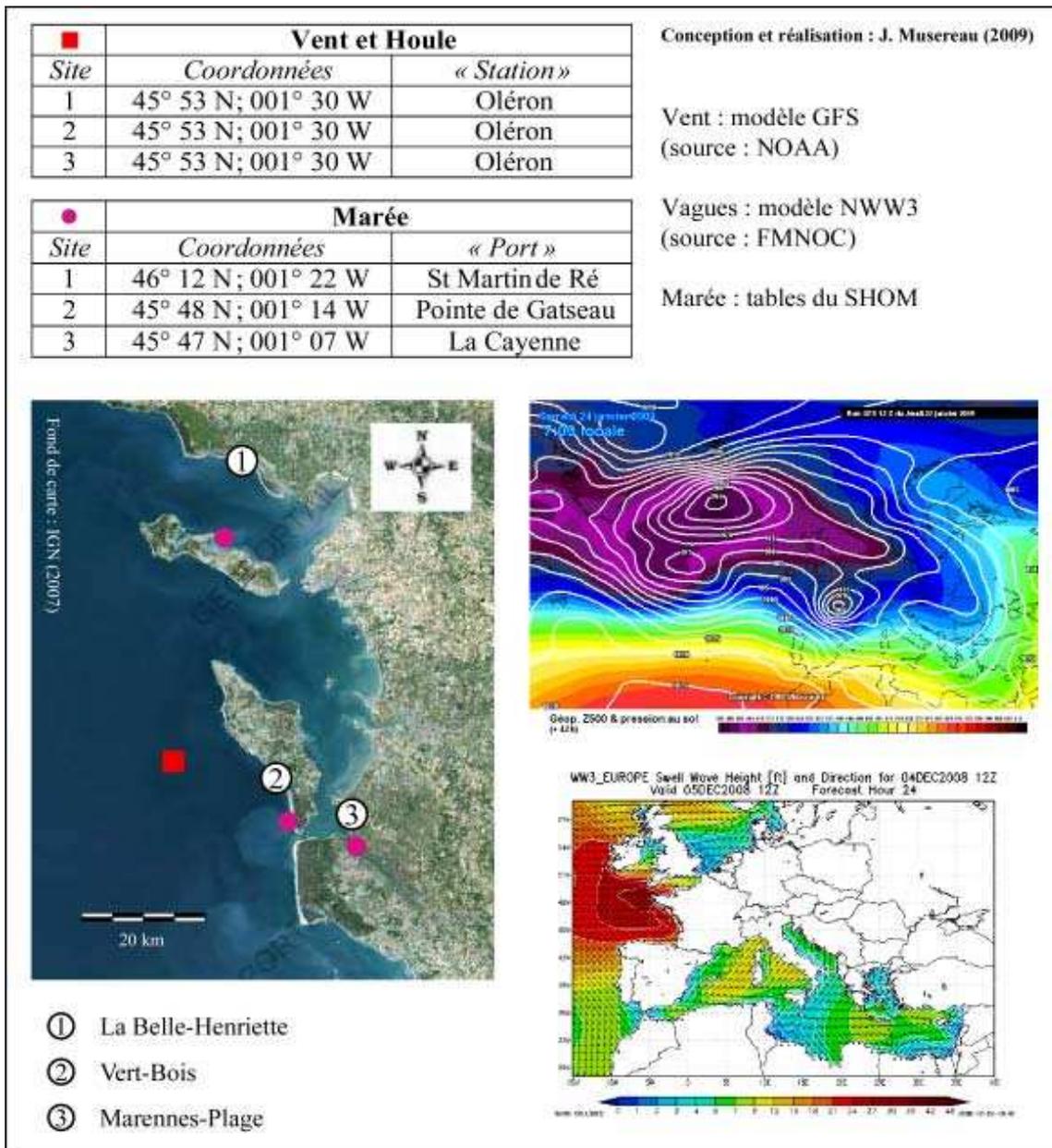


Figure 67 : Le réseau d'observation

⁵ Global Forecast System

⁶ National Oceanic and Atmospheric Administration

⁷ NOAA WaveWatch III

⁸ Fleet Numerical Meteorology and Oceanography Center

IV. 1. 2 Bilan du suivi à La Belle-Henriette

Les MNT construits à partir des six levés topographiques effectués durant la campagne de 2006-2007 sont présentés dans la Figure 68. Au mois d'octobre 2006 nous observons un profil assez régulier de la face externe du cordon littoral et calculons un volume de 27 850 m³. Une légère rupture de pente en son centre délimite l'avant-dune qui se développe à ce niveau. Le mois suivant, nous relevons une certaine régularisation de ce modelé, pour un volume à peu près équivalent. Une profonde ablation de l'avant-dune est par contre visible sur le MNT de décembre 2006, dont le volume est amputé de 1600 m³. La situation s'inverse au mois de janvier et cette dynamique se poursuit le mois suivant puisqu'un volume de 29 200 m³ est calculé à la mi-février. L'incision datant de décembre est alors réduite de moitié. Enfin, une évolution semblable à ce qui s'était produit à la fin de l'année 2006 est observée au mois de mars 2007. Une nouvelle ablation de l'avant-dune a eu lieu. Cet épisode morphogène implique lui aussi une réduction significative du volume que nous calculons à partir des reconstitutions numériques de la topographie du cordon littoral (environ 1200 m³).

Les MNT construits à partir des six levés topographiques effectués durant la campagne de 2007-2008 sont présentés dans la Figure 69. Une relative stabilité des formes littorales est observée durant l'automne 2007. Les volumes calculés aux mois octobre et de novembre sont très proches (respectivement de 26 750 m³ et de 26 600 m³). En revanche, une nouvelle régression de ce volume est calculée en décembre. Cette nouvelle phase d'érosion ne concerne que la plage et la partie inférieure de l'avant-dune. Le MNT du mois de janvier 2008 montre, comme l'année précédente, une tendance au rechargement sédimentaire (volume global de 27 550 m³). Le renouvellement du stock sédimentaire en haut de plage se poursuit au mois de février (*maxima* de 28 500 m³). A ce moment précis du suivi, après qu'un aplanissement progressif ait pu être observé les mois précédents, une accumulation d'origine éolienne est également perceptible au sommet de l'avant-dune. Cette morphogénèse est en partie liée à une réactivation des processus interactifs entre le vent et les plants d'agropyrum qui y prospèrent. Le MNT du mois de mars montre au contraire qu'une nouvelle ablation de l'avant-dune s'est manifestée entre temps. Elle est beaucoup plus marquée que celle du mois de décembre 2007 et s'accompagne d'une réduction sensible du volume global du modèle numérique de terrain (*minima* de 23 250 m³).

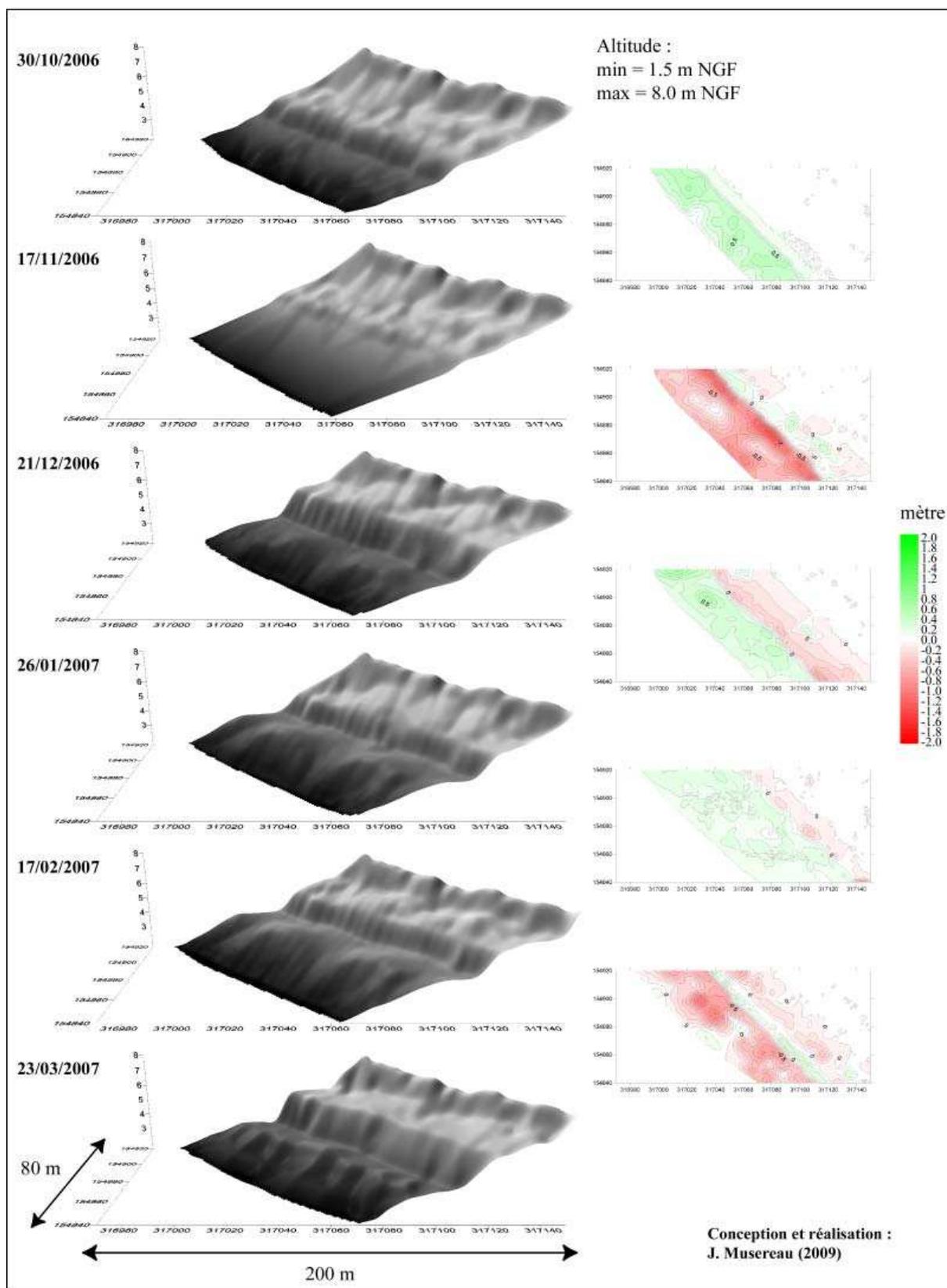


Figure 68 : MNT effectués sur le site de La Belle-Henriette, première campagne

IV. 1. 3 Bilan du suivi à Vert-Bois

En raison de la présence d'un platier rocheux situé sur l'avant-plage (le rocher du Jard), le profil de la plage de Vert-Bois, de type dissipatif, est exempt de barre intertidale (X. Bertin *et al.*, 2008). Lors des plus fortes tempêtes, le niveau de la plage peut s'abaisser brutalement et s'accompagner le cas échéant d'un net recul du front de dune. Lorsque les conditions sont à nouveau plus favorables, le sédiment extrait à la dune contribue à une réalimentation relativement rapide de la plage. Ce « va-et-vient » implique une grande variabilité dans la morphologie du système plage-dune à court terme (jours/semaines) mais un recul constant du trait de côte sur le moyen (mois/années) et long terme (années/décennies), à un rythme de plusieurs mètres par an. Nos récents relevés illustrent très bien cette morphodynamique.

Les MNT construits à partir des six levés topographiques effectués durant la campagne de 2006-2007 sont présentés dans la Figure 70. Durant l'automne 2006, le site est entré dans une phase de rechargement sédimentaire. Nous calculons une augmentation de son volume, de l'ordre de 1700 m³ sur la portion de littoral modélisée (12 900 m³ en octobre, 14 600m³ en novembre). Un épisode d'érosion est mesuré au contraire en décembre. Le haut de plage est atteint et le front de dune a reculé de près d'1 m. Sur le secteur suivi, cette ablation correspond à un volume d'environ 2600 m³. Jusqu'à la fin du mois de février 2007, la plage connaît à nouveau un renouvellement du stock sédimentaire qui la compose (apport se portant à 1 250 m³) alors qu'une seconde ablation a lieu au mois de mars 2007. Le volume de sédiments extraits du système est proche de 2500 m³. Dans le même temps, le front de dune a de nouveau reculé dans des proportions variant de 1 à 2 m selon le secteur concerné.

Les MNT construits à partir des six levés topographiques effectués durant la campagne de 2007-2008 sont présentés dans la Figure 71. Durant l'automne 2007, une évolution proche de celle que le site a connu l'année précédente est observée. Le secteur que nous suivons connaît une phase de reconstitution jusqu'à atteindre un volume de 14 300 m³. Une réduction sensible de ce dernier (de l'ordre de 1900 m³) est toutefois calculée au mois de décembre en raison d'une nouvelle ablation du haut de plage, mais sans qu'aucun recul de front de dune ne soit mesuré. Ce modelé persiste durant le mois de janvier 2008 alors qu'un nouveau rechargement s'opère en février. Enfin, un important épisode d'érosion est mesuré au mois de mars ; plus de 3000 m³ sont enlevés à la dune, qui a reculé de près de 3 m par rapport aux relevés précédents.

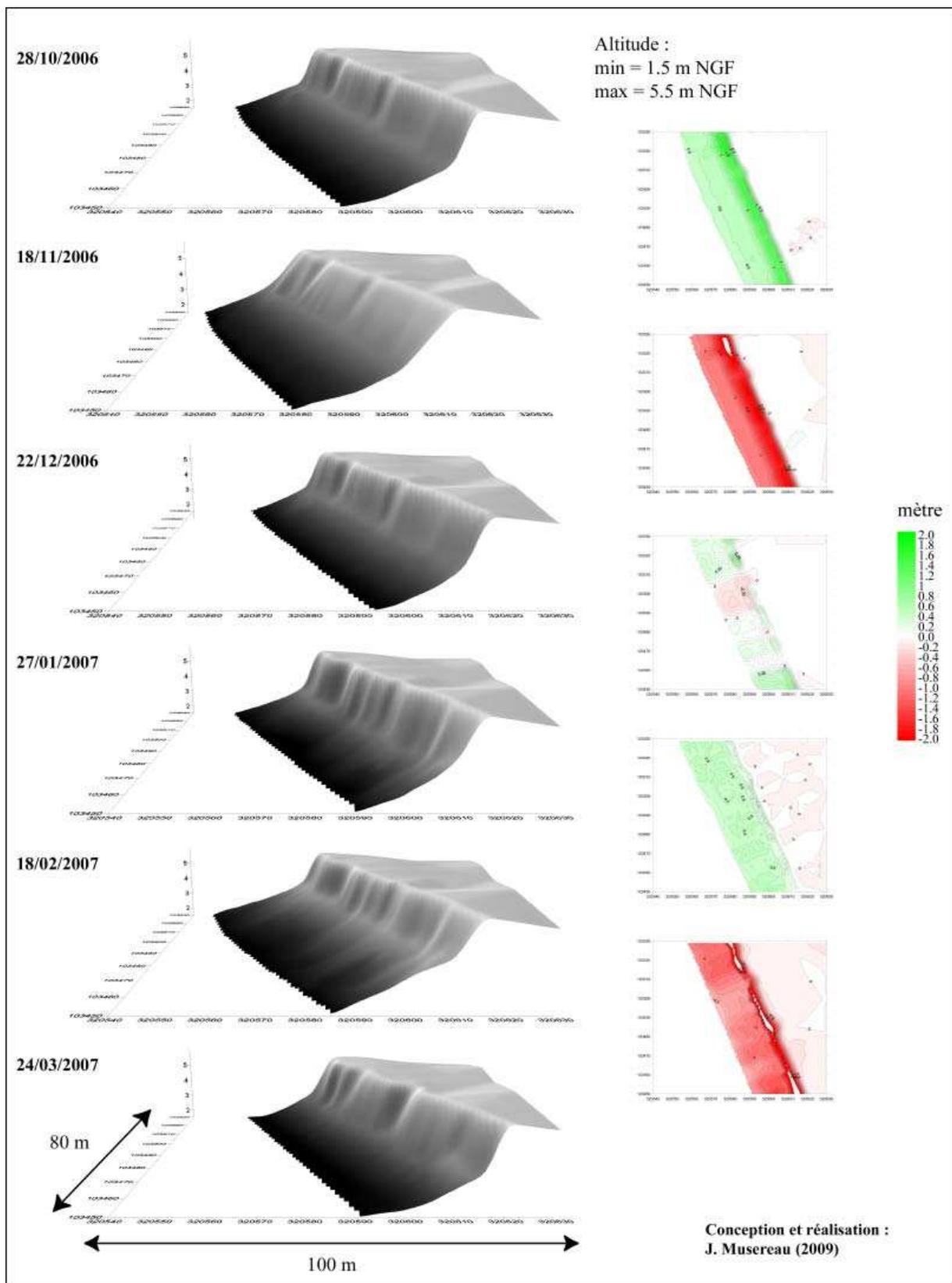


Figure 70 : MNT effectués sur le site de Vert-Bois, première campagne

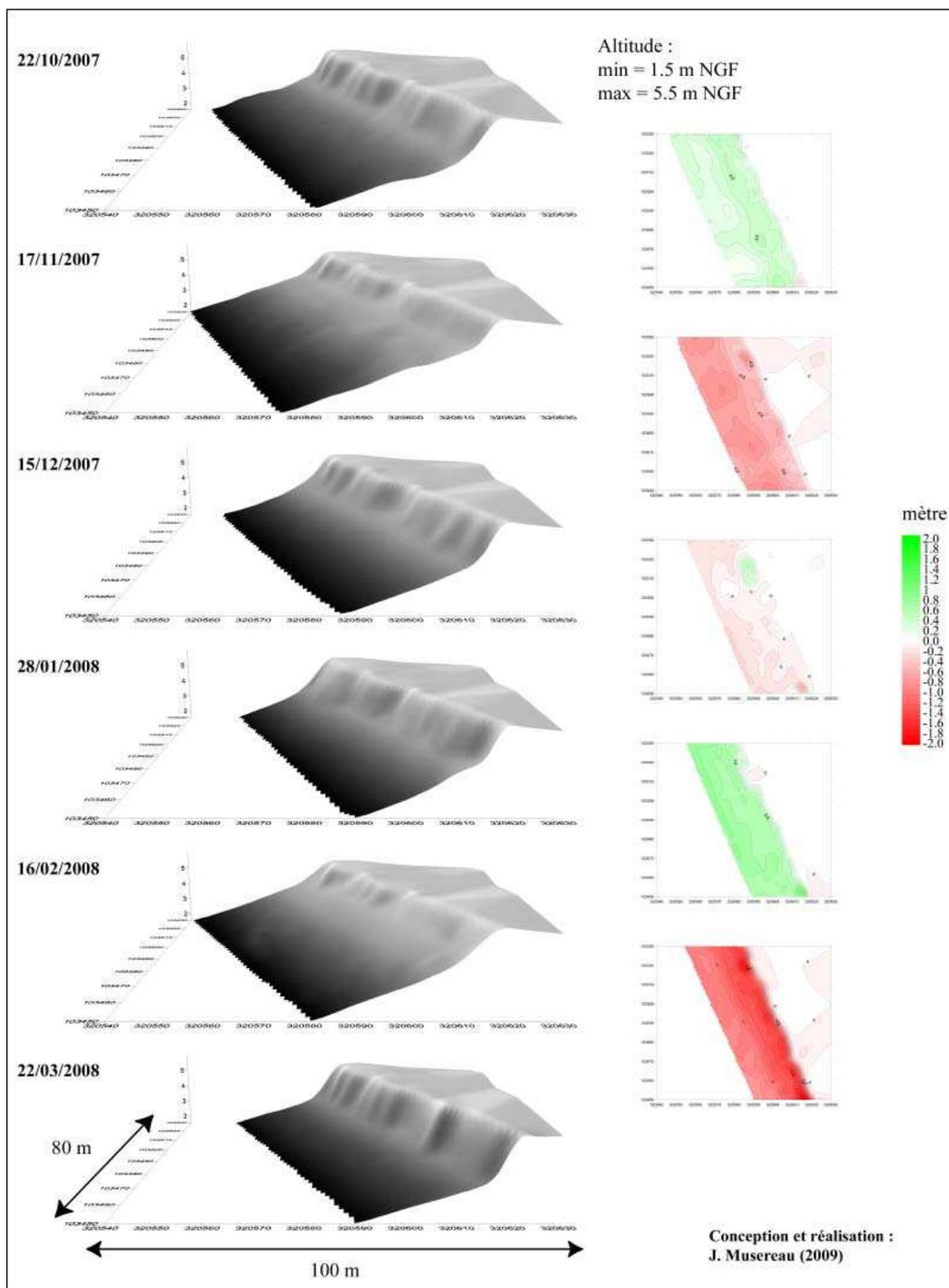


Figure 71 : MNT effectués sur le site de Vert-Bois, deuxième campagne

IV. 1. 4 Bilan du suivi à Marennes-Plage

Les MNT construits à partir des six levés topographiques effectués durant la campagne de 2006-2007 sont présentés dans la Figure 72. Au mois d'octobre 2006, le cordon littoral qui protège le bassin artificiel de Marennes-Plage présente un profil régulier. Son sommet atteint pratiquement 4 m NGF. Le volume global du MNT correspondant à ces levés est de 6550 m³. Le mois suivant, nous n'observons aucun changement majeur en ce qui concerne la morphologie de cet édifice. Des dégradations sont par contre visibles à partir de la lecture du MNT de décembre 2006, dont le volume est amputé d'environ 1000 m³ par rapport aux relevés précédents (ceux du mois de novembre). En dépit d'un léger fléchissement, cette tendance à la régression du volume sédimentaire qui compose le cordon littoral se poursuit au début de l'année 2007 (*minima* de 5450 m³). Au mois de février 2007, nous observons toutefois de nombreux changements sur sa face externe. Sur le MNT correspondant à ces levés DGPS, la présence d'une succession de buttes perchées sur le haut de plage témoigne d'une intervention humaine. Celle-ci a eu lieu au début du mois de février. Elle a consisté à transférer du matériel récupéré au fond du bassin (côté mer) pour consolider l'ouvrage et rétablir artificiellement le budget sédimentaire de la plage (Annexe 25). Au mois de mars, les « tas de sable » qui matérialisaient cette intervention sont plus ou moins amalgamés au noyau central de l'édifice alors qu'une nouvelle régression de son volume est calculée (de 6900 m³ à 5550 m³ en un mois).

Les MNT construits à partir des six levés topographiques effectués durant la campagne de 2007-2008 sont présentés dans la Figure 73. Aucune évolution marquante n'est observée durant la fin de l'année 2007 sur le cordon littoral de Marennes-Plage. Nos levés topographiques rendent simplement compte d'une forte accentuation de la pente de la plage sur sa face externe entre les mesures de novembre et décembre 2007. De nouveaux travaux de remise en forme ont tout de même eu lieu en janvier 2008 (du 9 au 11 plus précisément). Un transfert de 3500 m³ s'est avéré nécessaire pour rétablir le profil initial de la plage. Le volume que nous calculons à partir des MNT a logiquement augmenté. Sur la portion modélisée, l'apport d'origine anthropique se porte à 2300 m³. Le mois suivant (février), une relative stabilité prédomine à nouveau. Ce n'est pas le cas au mois de mars 2008. Nous constatons sur place une nette dégradation de l'ouvrage, qui ne culmine plus qu'à 3,3 m NGF. Dans le secteur que nous mesurons, son volume est amputé de 1850 m³. Le sédiment ramené à la pelle mécanique au mois de janvier a été totalement remanié.

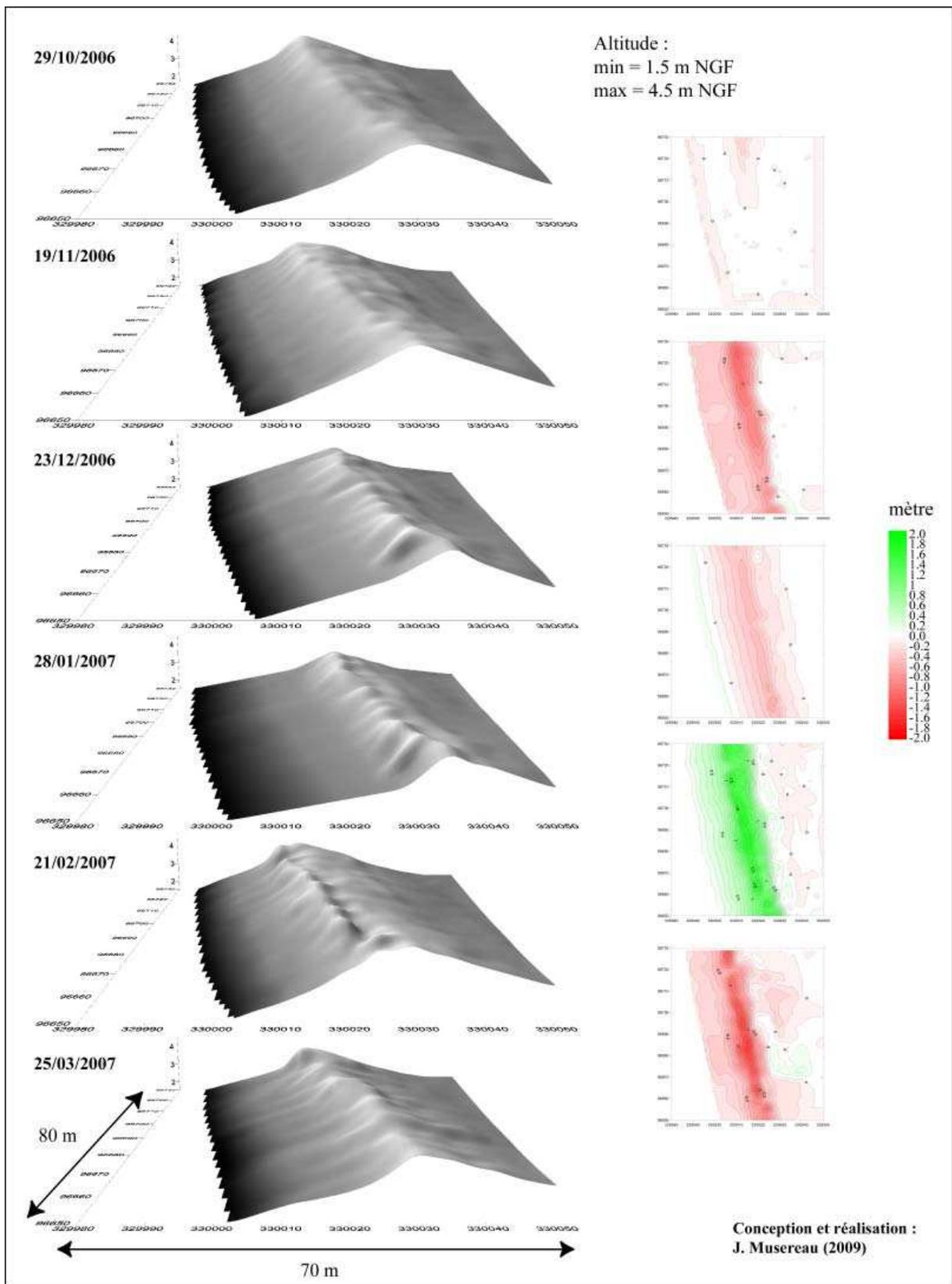


Figure 72 : MNT effectués sur le site de Marennes-Plage, première campagne

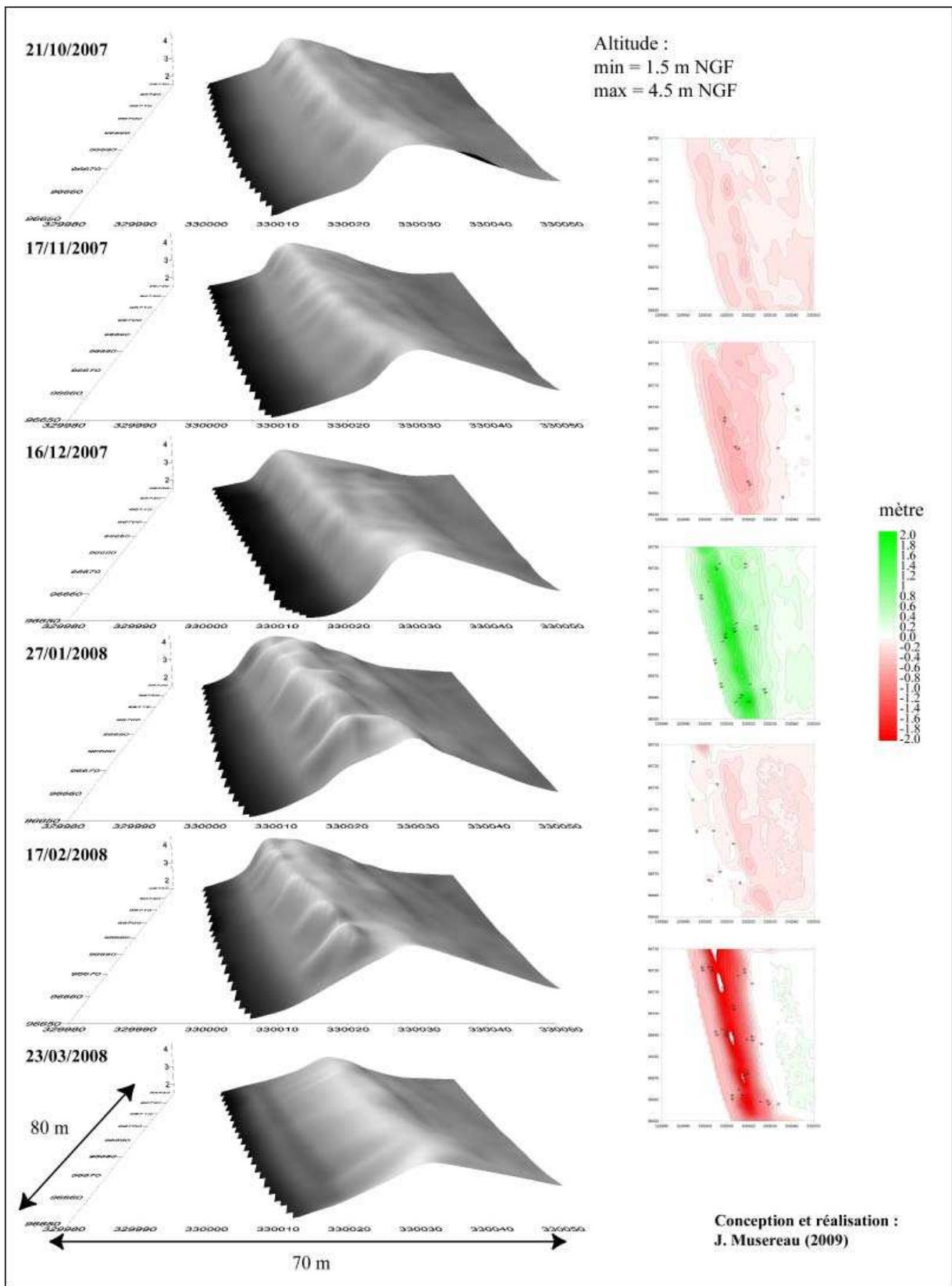


Figure 73 : MNT effectués sur le site de Marennes-Plage, deuxième campagne

IV 1. 5 Synthèse

L'objet de cette synthèse est de confronter les résultats du suivi topographique qui viennent d'être exposés aux enregistrements des conditions météo-marines qui ont prévalu sur la période. Plusieurs épisodes de forte agitation ont eu lieu durant ces deux campagnes de mesures. Les caractéristiques des événements les plus intenses (coups de vent, tempêtes) sont exposées ci-après (Tableau 8). Les données suivantes ont été acquises pour décrire ces événements : la vitesse des rafales maximales enregistrées au sémaphore de Chassiron (source : Météo-France) ; les hauteurs de vagues relevées par la bouée n° 62001 (« Bouée Gascogne »), située par 45.20 Nord - 5.00 Ouest (source : NOAA) ; les coefficients et heure de marée diffusés par le SHOM.

A priori, il paraît logique d'avancer l'idée que, si un coup de vent a lieu à marée basse, il ne sera pas susceptible d'attaquer la dune, et d'en déduire que l'inverse doit être valable. Mais ce type de relation n'est pas non plus systématique. Les processus à l'origine de tels événements sont en effet beaucoup plus difficiles à appréhender. A la lecture des documents qui suivent (Tableau 8, Figures 74 et 75), on remarque nettement que, dans ce secteur géographique, la marée joue un rôle prépondérant (régime de type méso à macrotidal). Comme sur bon nombre de littoraux, les conditions de survenue d'un aléa morphogène (l'érosion) y sont largement contrôlées par le phasage entre le paroxysme de l'aléa météo-marin (la tempête) et celui de la marégraphie (la pleine mer). Il apparaît également qu'il n'y a pas nécessairement de corrélation entre la magnitude de la tempête et celle des reculs que nous mesurons sur le terrain (J. Musereau *et al.*, 2007).

Date	Vent*	Vagues**	Marée et coefficients***	
08/12/2006	119 km/h	8 m	Haute	83
01/01/2007	87 km/h	6 m	Basse	75
18/01/2007	80 km/h	7 m	Basse	76
23/01/2007	ND	4 m	ND	91
12/02/2007	83 km/h	8 m	Basse	30
14/02/2007	ND	5 m	ND	51
25/02/2007	91 km/h	7 m	Haute	36
19/03/2007	107 km/h	6 m	Haute	117
02/12/2007	96 km/h	6 m	Haute	46
09/12/2007	104 km/h	10 m	Haute	75
05/01/2008	ND	5 m	ND	59
15/01/2008	87 km/h	6 m	Basse	64
10/03/2008	122 km/h	10 m	Haute	105

* Source : Météo-France ; ** Source : NOAA ; *** Source : SHOM ; ND : non disponible

Tableau 8 : Les principaux aléas météo-marins relevés durant le suivi

Nous assumons que la mise en relation entre ces divers aléas et les variations mensuelles des volumes calculés à partir des levés topographiques est insuffisante pour déterminer un lien de causalité probant entre les évolutions constatées sur le terrain et les conditions de forçage résumées dans le Tableau 8. Le temps écoulé entre la dernière période d'agitation enregistrée et les mesures *in situ* varie d'un mois à l'autre (Figures 74 et 75). Dans certains cas, les relevés ont eu lieu juste après un coup de vent. Son impact morphologique a alors pu être vérifié dans son intégralité. Dans d'autres cas, la plage a pu avoir le temps de se réalimenter. En nous appuyant sur une estimation qualitative, l'observation de certaines formes rémanentes (exemple : falaise dunaire en cours de comblement), nous pouvons tout de même montrer que les événements répertoriés dans ce tableau n'ont pas tous engendré le même type de réponse morphologique. Celle-ci varie bien entendu en fonction des sites. Mais nous constatons qu'elle peut aussi varier considérablement pour un même site. Cette variabilité dans le comportement du système plage-dune est largement contrôlée par le rôle majeur de la marégraphie. Dans les régions soumises à un régime de marée (*a fortiori* macrotidal), cette conjonction conditionne en grande partie la survenue de niveaux d'eau extrêmes et, par voie de conséquence, le potentiel érosif des tempêtes (P. A. Pirazzoli, 2000 ; P. Ruggiero *et al.*, 2001 ; A. M. Bernabeu *et al.*, 2003 ; H. Regnaud *et al.*, 2004a ; M. -H. Ruz et Meur-Férec C., 2004).

Au regard de la climatologie de la région, les périodes d'agitation ont été relativement nombreuses durant ces deux campagnes de mesure, sans pour autant atteindre une fréquence exceptionnelle (exemple : année 1988, cf. Tableau 2 et Figure 20). La série reconstituée à partir des simulations numériques (modèles GFS et NWW3) montre qu'il y a eu au moins une dizaine de coups de vent, deux tempêtes *stricto sensu* et près de 50 jours de forte houle (Figures 74 et 75). Toutefois, selon le site concerné, seules trois ou quatre phases significatives d'érosion ont pu être mesurées sur place. Ces épisodes morphogènes sont plus ou moins directement liés aux tempêtes du 08 décembre 2006, des 19 mars et 09 décembre 2007 et du 10 mars 2008. Tous ont été suivis d'une réalimentation plus ou moins rapide de la plage, qu'elle soit d'origine naturelle (La Belle-Henriette, Vert-Bois) ou artificielle (Marennes-Plage). Ces tempêtes partagent le fait d'être intervenues pendant des HMVE. Statistiquement, ce type de conjonction est assez rare dans la Zone des Pertuis Charentais (Annexe 20). Lorsqu'ils se répètent, ces aléas météo-marins peuvent engendrer d'importantes dégradations sur le littoral, comme ce fut le cas pendant le dernier trimestre 1999 sur le site de Vert-Bois (cf. III. 2 : récit du « drame de Vert-Bois »).

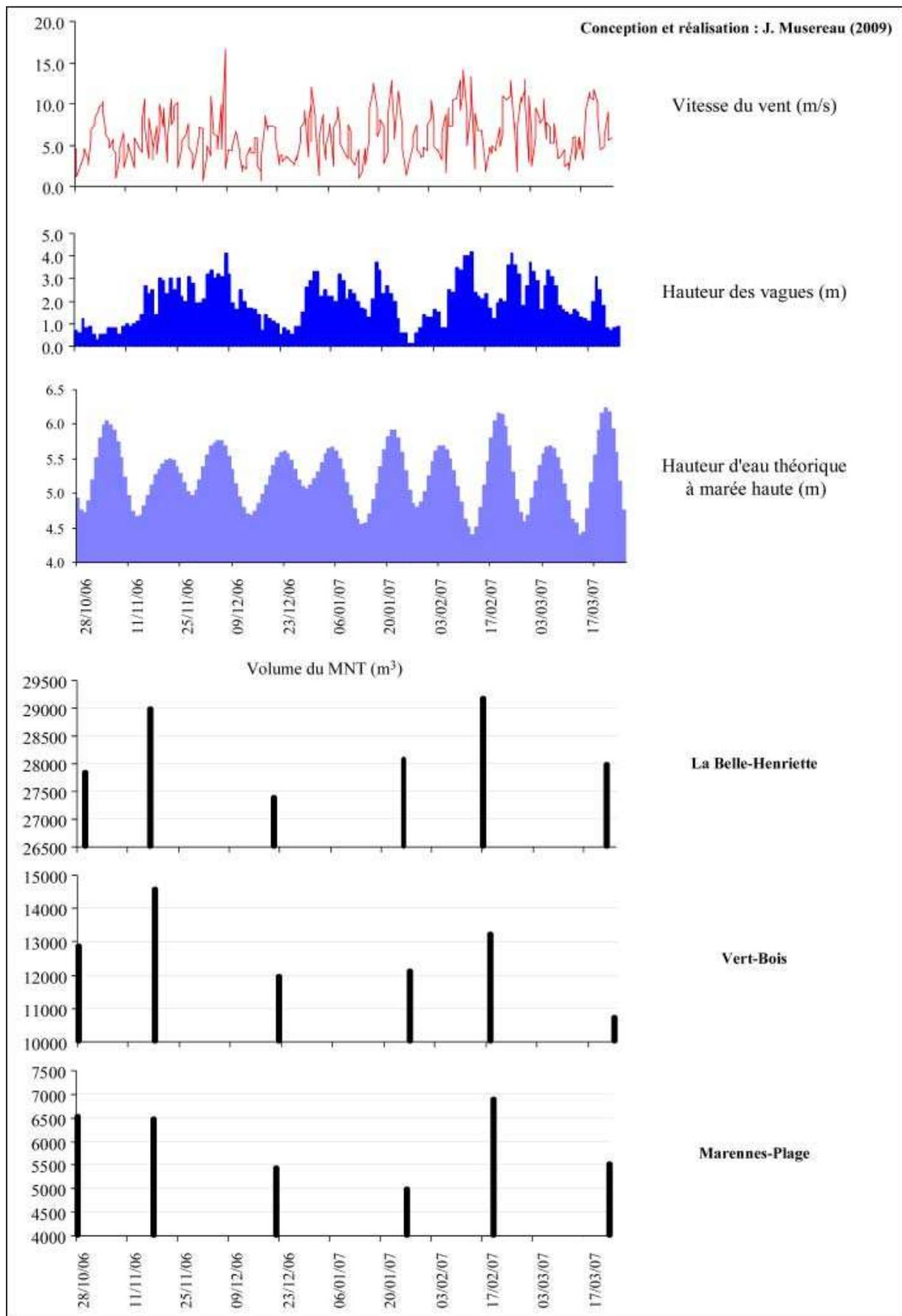


Figure 74 : Bilan de la première campagne de suivi (octobre 2006 à mars 2007)

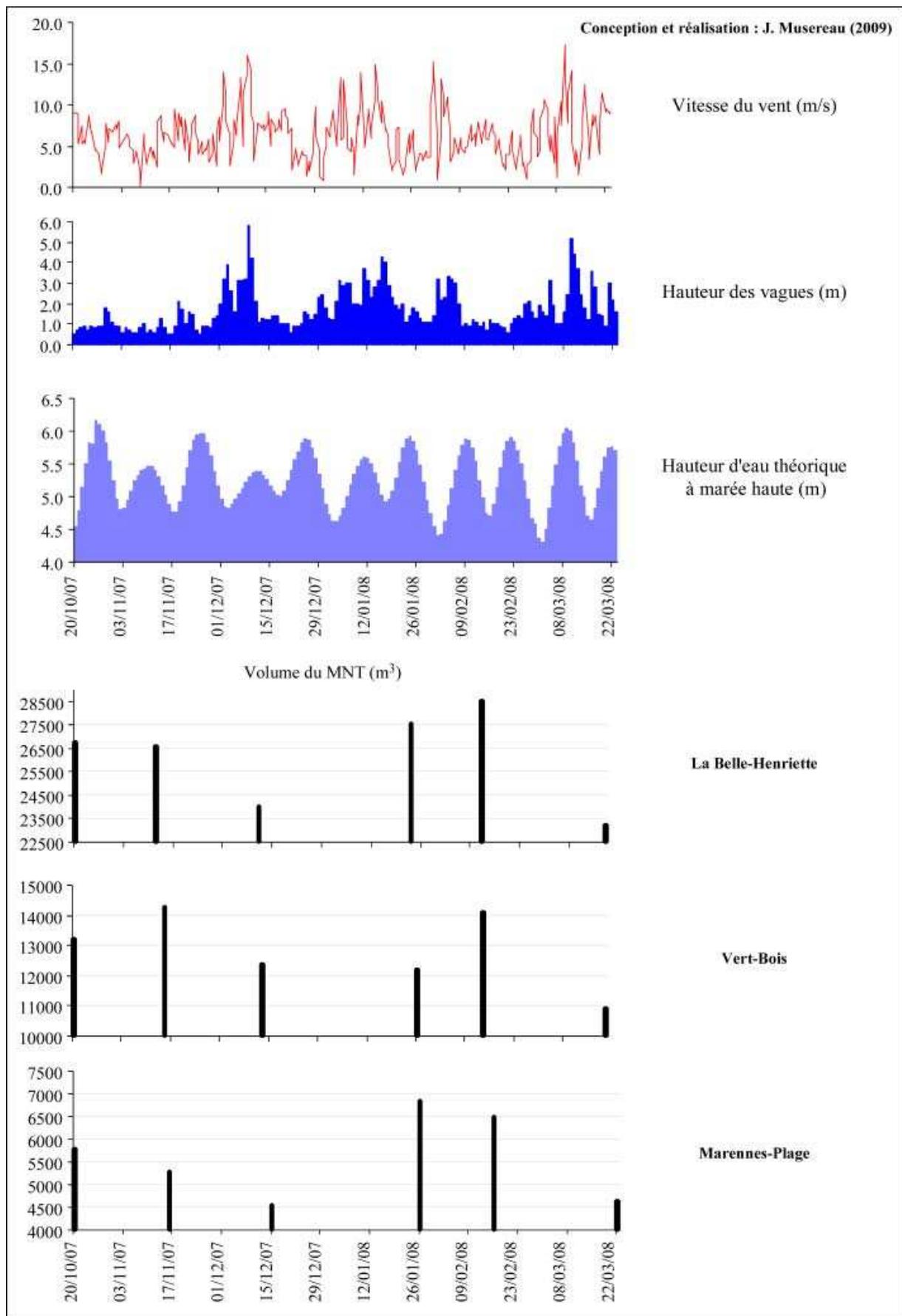


Figure 75 : Bilan de la deuxième campagne de suivi (octobre 2007 à mars 2008)

IV. 2 FORMALISATION D'UN MODELE DE FRANCHISSEMENT DE SEUIL

VI. 2. 1 Phénomènes de « rupture » observés sur le terrain

Au début de l'année 2003, une campagne de mesures de haute résolution temporelle (relevés quotidiens pendant deux mois) a été menée pour évaluer la fonctionnalité du projet de fixation du trait de côte sur la plage de Vert-Bois (description en III. 2. 2) : le « Chantier-Pilote » mis en œuvre par la Direction Départementale de l'Équipement de Charente-Maritime (J. Musereau, 2003). Une portion d'environ 80 m de linéaire côtier a été mesurée quotidiennement pendant 45 jours, entre le 9 janvier et le 27 février 2003. Les relevés topographiques ont eu lieu après chaque marée haute diurne dans un espace compris entre les coordonnées 103 450 m et 103 530 m (Système NTF, projection Lambert II), le front de dune et la cote 0 m NGF (Figure 76 et Annexe 21). En utilisant les piquets de bois qui composaient l'ouvrage de la DDE comme points de repères fixes (donc avec une marge potentielle d'erreur), des variations quotidiennes de hauteurs de sable ont été calculées pour dégager une approximation du volume du stock sédimentaire présent dans cette portion du littoral. Parallèlement à ces relevés, des données concernant les principaux agents dynamiques ont fait l'objet d'une acquisition : la vitesse et la direction du vent moyen maximal (Météo-France), la hauteur des vagues au large (NOAA) et la hauteur d'eau théorique à marée haute (SHOM). Durant cette campagne de mesures, trois phases d'érosion ont pu être mesurées (Figure 77) : du 17 au 23 janvier (1) ; du 1^{er} au 5 février (2) ; les 18 et 19 février (3).

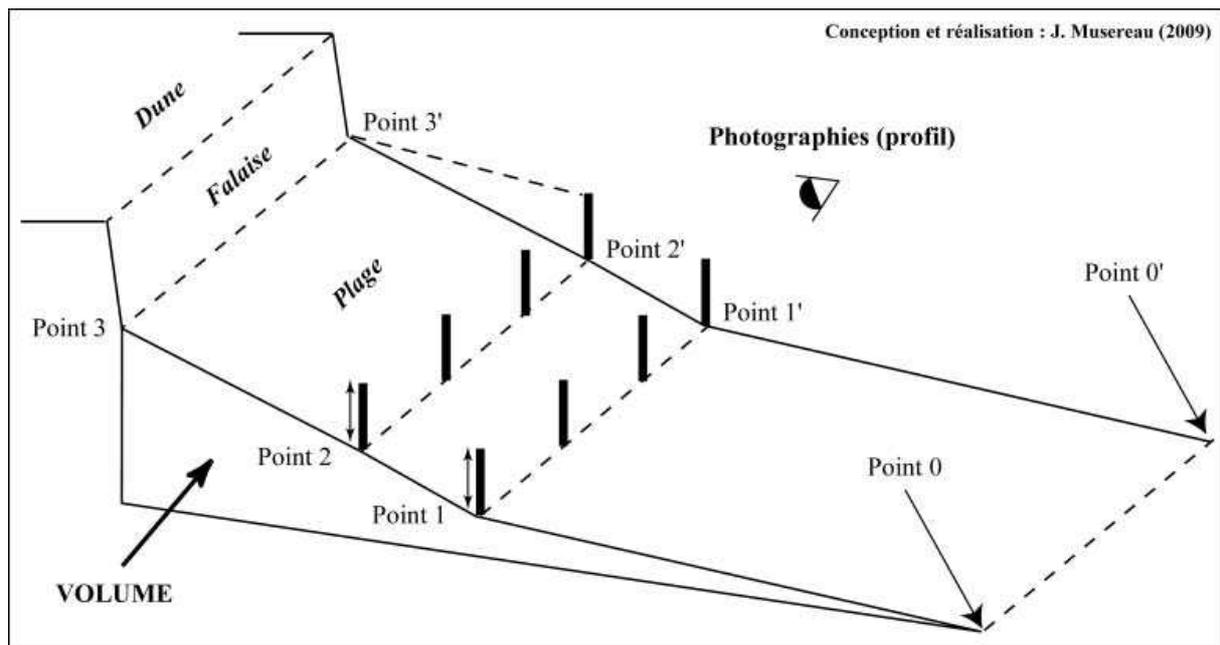


Figure 76 : Protocole de mesure adopté en 2003 (site de Vert-Bois)

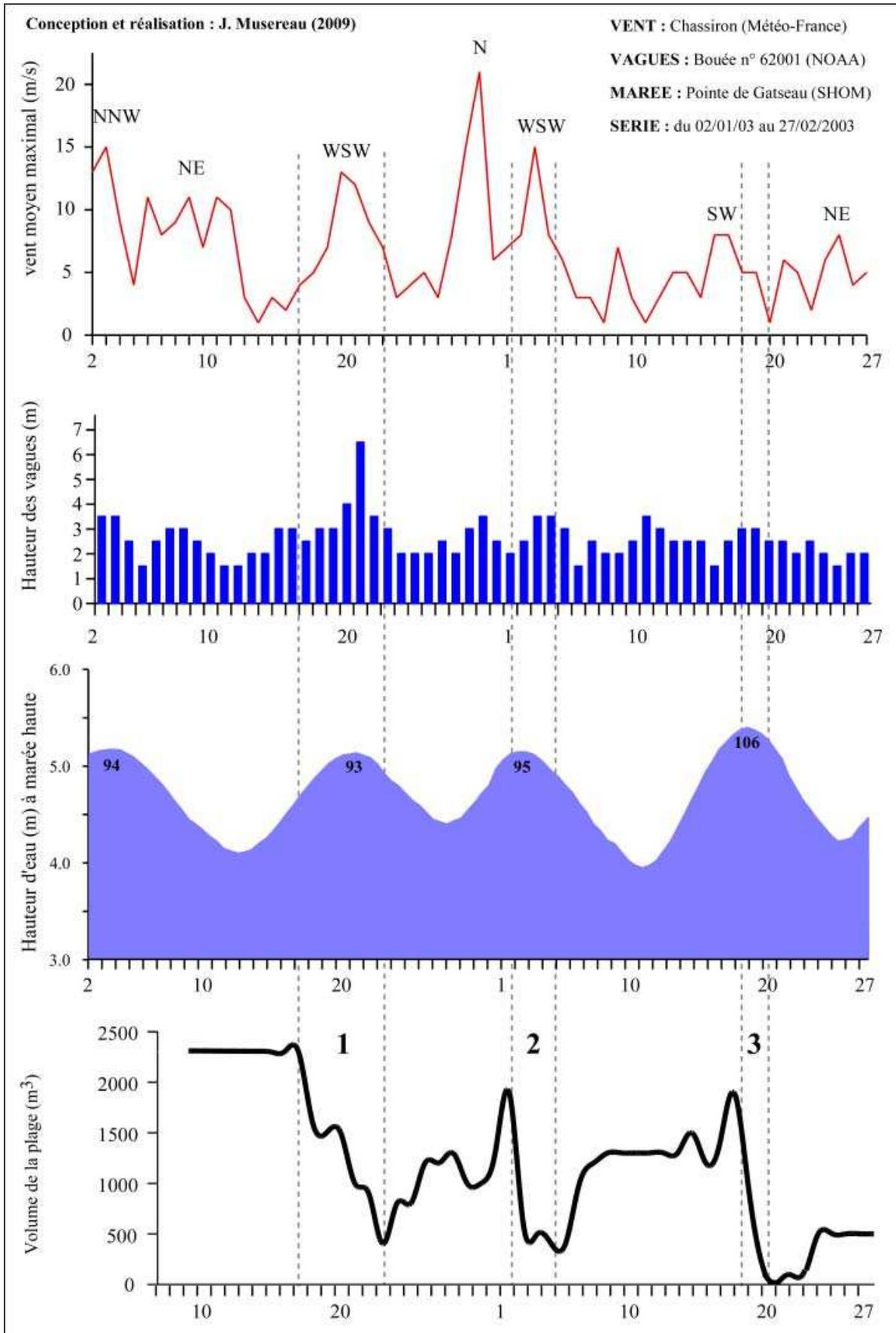


Figure 77 : Conditions météo-marines et variations du volume de la plage de (Vert-Bois)

Plusieurs épisodes de vents forts ont été enregistrés dans le même temps, en particulier les 20, 30 janvier et 03 février. En ce qui concerne la hauteur des vagues, un pic de 6 m a été atteint le 20 janvier. Durant le reste de la campagne, elle a généralement varié qu'entre 1 et 4 m. Trois cycles de vives-eaux se sont succédés durant cette période. Les coefficients de marée atteints pendant ces vives-eaux sont respectivement de 93 (le 20 janvier), 95 (le 02 février) et 106 (le 19 février).

La dépression responsable du coup de vent du 20 janvier 2003, en circulant très près des côtes atlantiques françaises (Annexe 26), a pu générer une houle qui n'a pas eu le temps de s'amortir dans le Golfe de Gascogne avant d'atteindre le rivage. Cette synoptique particulière contribue sans doute à expliquer pourquoi la bouée n° 62001 a enregistré un pic de houle d'une telle ampleur. Au-delà de la réduction du volume de la plage, cette longue période d'agitation (4 à 5 jours de vent fort en réalité) a également engendré un recul du front de dune, taillé une falaise dunaire et détruit certains éléments de défense mis en place au pied de la dune par la DDE (Figure 78). Les levés topographiques ont montré à l'inverse que la tempête du 30 janvier 2003 n'a engendré aucun phénomène majeur. Il s'agissait pourtant de l'épisode venteux le plus intense du suivi, avec un à 22 m.s^{-1} . Comme l'illustre la situation synoptique du 30 janvier, le système dépressionnaire à l'origine de la tempête a généré un fort flux de Nord (Annexe 26). La plage de Vert-Bois est située au fond d'une baie ouverte vers le sud-ouest. Cette situation d'abri vis-à-vis des vents de Nord contribue sans doute à expliquer pourquoi, en dépit d'une intensité absolue plus importante qu'au mois de janvier, cette seconde période agitée n'a eu pratiquement aucun impact sur la plage de Vert-Bois.



Figure 78 : Les dégâts causés par le coup de vent du 20 janvier 2003 (Vert-Bois)

Au mois de février, deux phases d'érosion ont été relevées. Celle du début du mois correspond à une situation proche de celle observée au cours du mois de janvier. Un violent vent d'Ouest a balayé le Golfe de Gascogne en raison du passage d'un minimum dépressionnaire sur les Iles Britanniques (Annexe 27). La mer était forte, avec des creux de 3 à 4 m. Cette troisième période d'agitation est à nouveau intervenue pendant un cycle de vive-eau. Le front de dune a une nouvelle fois été attaqué et taillé en falaise (Figure 79). La phase d'érosion mesurée sur le terrain entre les 18 et 19 février n'était elle pas liée à un épisode de vent fort (Figure 77), comme ce fut le cas au mois de janvier et au début du mois de février. La situation synoptique du 19 février montre un net ralentissement de la circulation d'Ouest et le développement d'une cellule de hautes pressions sur la Scandinavie (Annexe 27). Un vent d'afflux (Sud-Ouest) d'une vitesse modérée et une houle de l'ordre de 2 à 3 m ont tout de même été mesurés localement. Ces conditions d'agitation, d'un niveau relativement faible au regard des événements antérieurs, se sont par contre manifestées au sein d'un cycle de vive-eau particulièrement important (coefficients de marée supérieurs à 100, Figure 77).



Figure 79 : Les dégâts causés par le coup de vent du 02 février 2003 (Vert-Bois)

Plusieurs éléments peuvent être tirés de cette première campagne d'observations. Les phases d'érosion s'y sont manifestées de manière brutale (Figure 80). Alors que les conditions météo-marines et les configurations atmosphériques qui en sont à l'origine étaient très variées, il semble que le facteur marégraphique se soit avéré déterminant. Il est donc logique, à travers ces résultats, d'envisager que leurs effets combinés aient pu conduire à des situations propices à la manifestation de phénomènes de rupture. Dans cet exemple, le mot « rupture » ne correspond pas forcément à un changement catastrophique du fonctionnement du système, mais simplement à un enlèvement du matériel (falaise dunaire), à une diminution notable du volume de la plage. Ces phénomènes, classiquement décrits comme « seuils de

déclenchement des processus morphogéniques » par R. Neboit (1991, p. 230), ont déjà été utilisés pour classer des tempêtes en fonction de leur propension à éroder le littoral (exemple parmi d'autres J. C. Gibeaut *et al.*, 2002).

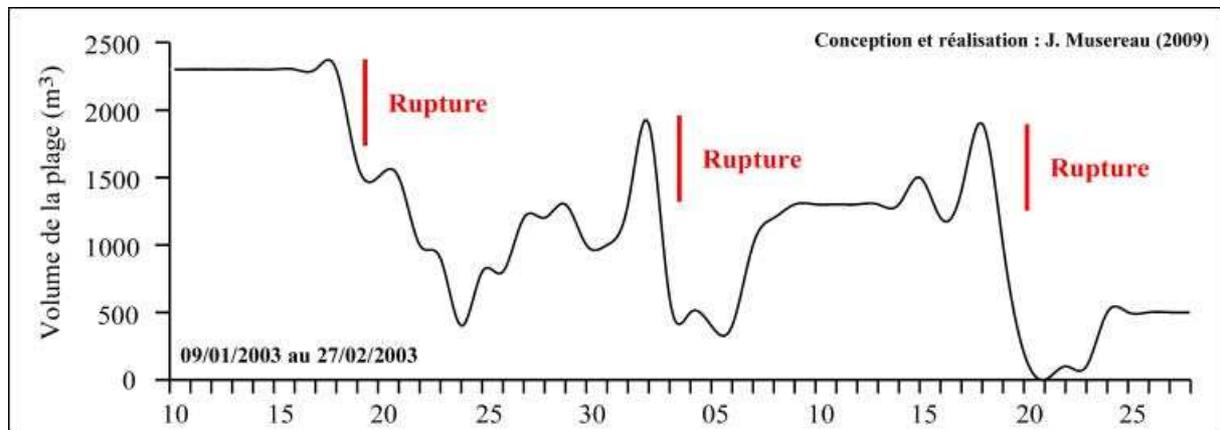


Figure 80 : Phénomènes de « rupture » observés sur la plage de Vert-Bois

Un point doit cependant être précisé. Au moment des mesures, la plage de Vert-Bois était aménagée. Si les piquets de bois du Chantier-Pilote ont pu faciliter le repérage et les relevés, d'une certaine manière, ils ont aussi contribué à perturber la morphodynamique de la plage. Les variations de volumes mesurées au cours de cette campagne étaient donc influencées par l'ouvrage (accélération des processus d'aggradation), en plus d'être relativement peu précises au regard de ce que l'on peut obtenir à partir de levés DGPS. Mais ces éléments ne remettent pas fondamentalement en cause la chronologie des phases d'enlèvement du matériel qui ont été mesurées au cours du suivi. En périphérie du dispositif de protection, les mêmes phénomènes d'érosion ont été observés aux mêmes dates que celles évoquées plus haut en ce qui concerne l'espace aménagé (Figure 81).



Figure 81 : Erosion observée en dehors de la zone aménagée (Vert-Bois, 25/02/2003)

IV. 2. 2 Conception d'un indice pour la prévision des aléas météo-marins

Un modèle volontairement simplifié pour en faciliter l'usage

Vert-Bois est une plage exposée aux houles et soumise aux marées. Comme nous venons de le montrer à partir d'un échantillon de mesures *in situ* (deux mois de relevés, début 2003), nous pouvons postuler que les conditions de survenue d'une tempête à impact y combinent au moins trois principaux facteurs : un fort vent d'afflux, une forte houle et une haute mer de vive-eau. Ainsi, partant du principe que l'érosion (E) est fonction du vent (V), de la houle (H) et de la marée (M), qu'elle se manifeste avant tout en raison d'un effet d'accumulation, il est possible de restituer la conjonction de ces trois fonctions de la manière suivante (Equation 14) :

Equation 14 $E = f(V) + f(H) + f(M)$

Emettre l'hypothèse selon laquelle la quantité d'érosion qu'une tempête va produire est proportionnelle au cumul des effets induits par le vent (s'il vient de la mer), par les houles et par la marée est certes une démarche intuitive mais elle se vérifie parfaitement sur le terrain. Cette relation générale est d'ailleurs assez proche des théories présentées dans le premier chapitre de cette thèse. Elle renvoie au principe de *Run-up*, à l'idée que l'érosion a lieu lorsque des niveaux d'eau extrêmes vont intervenir (cf. nombreux auteurs cités dans le chapitre 1).

Notre problématique est la suivante : nous souhaitons être en mesure de pouvoir distinguer, pour les prévoir, les événements qui vont effectivement engendrer de l'érosion. Il s'agit, autrement dit, de procéder au découplage des tempêtes à impact. Pour cela, nous avons choisi une méthode qui repose sur le principe de séparation graphique. Cela consiste à construire un modèle de franchissement de seuil qui serait capable de prédire les phénomènes de rupture évoqués plus haut (Figure 80, paragraphe IV. 2. 1). En superposant graphiquement les trois principaux facteurs dont il est fait mention, nous visons à construire une échelle de valeurs (sans dimension) qui nous permette de restituer le niveau (global) de la contrainte exercée par la tempête sur une forme littorale donnée, comme d'autres calculent une valeur de *Run-up* (qui elle est exprimée en mètre). La différence fondamentale entre ces deux méthodes réside donc dans le fait que la première est basée sur une démarche intuitive (modèle conceptuel) et que la seconde repose sur une démarche analytique (modèle physique).

D'un point de vue matériel, nous sommes pourtant capable d'appliquer un modèle physique, des GPS sont à notre disposition et nous disposons des logiciels nécessaires. D'un point de vue théorique, nous sommes même capables de proposer des améliorations aux équations existantes (cf. I. 2. 2). Pourquoi alors ne pas adopter une méthodologie qui, malgré le fait qu'elle comporte un certain nombre de limites, a déjà fait ses preuves ? Il s'avère que dans cet exercice, une autre exigence s'impose à nous, en tout cas à toute personne dont la principale préoccupation est l'applicabilité de sa méthode, de son outil. Elle implique la nécessité que son cheminement soit reproductible ; autrement dit, que cette méthode soit aisément applicable sur le terrain par d'autres utilisateurs qui n'auraient pas les mêmes moyens logistiques. Cette seconde dimension du modèle ne fait plus appel à la complexité des phénomènes physiques, ni à celle des processus qui en sont à l'origine ou à un quelconque mécanisme qui y participerait. Il s'agit en quelque sorte de sa « dimension sociale ». Comme nous l'évoquons dès les premières lignes de ce travail, cette attitude est pour nous essentielle. Elle participe d'une logique de partenariat et en conditionne la réussite (cf. chapitre 5).

Pour ce faire, notre choix s'est porté vers la définition d'un seuil (celui qui permet en théorie de découpler les tempêtes à impact) facile à interpréter. En effet, si les « experts » ont l'habitude d'utiliser des référentiels de toutes natures, comme les coordonnées géographiques ou les systèmes de nivellement, ces notions sont parfois complètement étrangères aux personnes vivent sur place, autrement dit les premiers concernés. Dire cela ne relève pas d'un quelconque complexe de supériorité. Cela ne doit en aucun cas être considéré comme une volonté de nuire aux rapports entre les deux « communautés ». Au contraire, cette démarche vise justement à les renouer.

Prenons l'exemple des référentiels choisis pour cette étude, les altitudes dites « NGF » (Nivellement Géographique de France) et les coordonnées géographiques dites « Lambert II étendu ». Elles nous ont servi à calculer des valeurs de *Run-up* pour les comparer à la morphologie de la dune de Vert-Bois (paragraphe I. 2. 2, Figure 7). Pour déterminer l'altitude du pied de cette dune, nous sommes passés par plusieurs étapes de conversion. Tout d'abord, les GPS que nous avons utilisés, dont la marque est américaine (Trimble©), nous donnent une position dans un premier type de références géodésiques. Il a donc fallu les rectifier (un simple paramétrage du logiciel de traitement des données facilite considérablement cette étape). Ensuite, il s'avère nécessaire d'harmoniser les données altitudinales en notre possession avec celles du SHOM, qui se base sur le niveau des cartes marines. C'est le traditionnel problème du « Zéro ». Le zéro des cartes marines n'est pas celui du système

NGF, qui n'est pas non plus celui du système IGN 69 ou d'autres encore plus anciens. L'écart relatif à ces nombreux zéros disponibles varie de surcroît selon les sites. Ainsi par exemple, N. Weber (2004) explique qu'il a dû procéder à un calage de 16 « zéros » dans sa zone d'étude en fonction des différents appareils qu'il a employés et du nombre de points de mesure qui lui ont été nécessaires pour mener son doctorat à bien. Moins exigeants sur la qualité du zéro en question, nos propres calculs postulent que la valeur du SHOM vaut -3,69 m NGF (écart qui correspond à celui relevé au port de La Pallice, à La Rochelle).

Pour éviter aux utilisateurs potentiels qui ne maîtriseraient pas parfaitement « l'art du zéro des cartes » de s'y perdre, et par souci d'efficacité, il a donc été choisi de définir une valeur seuil beaucoup plus simple à interpréter qu'une altitude NGF. Ce seuil a été fixé arbitrairement à 10 unités. La lecture de l'indice que nous cherchons à construire en est alors considérablement simplifiée. Les résultats obtenus se lisent de la manière suivante : en deçà de 10 points, la tempête n'est pas en mesure d'engendrer de phénomène érosif majeur ; si le seuil de 10 points est dépassé, la probabilité qu'un tel événement se produise devient importante. Bien entendu, le fait de passer d'un référentiel « réel » à un référentiel « conceptuel » implique qu'il faille effectuer quelques ajustements, une sorte de conversion entre la donnée physique (altitude, vitesse du vent, hauteur des vagues...) et la valeur virtuelle qui est censée la représenter dans l'espace conceptuel que nous avons construit.

A la recherche d'un certain réalisme

Des ajustements sont donc nécessaires pour notre indice soit, autant que possible, cohérent avec la réalité du terrain. Ces ajustements visent à isoler graphiquement les tempêtes à impacts, s'assurer que ces dernières soient bien situées au dessus de notre seuil de 10 points, et seulement celles-ci (Figure 82). Cela revient à appliquer consécutivement plusieurs types de transformation graphique :

- 1) le filtrage du vent en fonction de son orientation,
- 2) l'exagération de la marégraphie,
- 3) la minoration ou la majoration d'un ou plusieurs facteurs,
- 4) l'éventuelle omission d'un facteur si celui-ci n'a aucune incidence

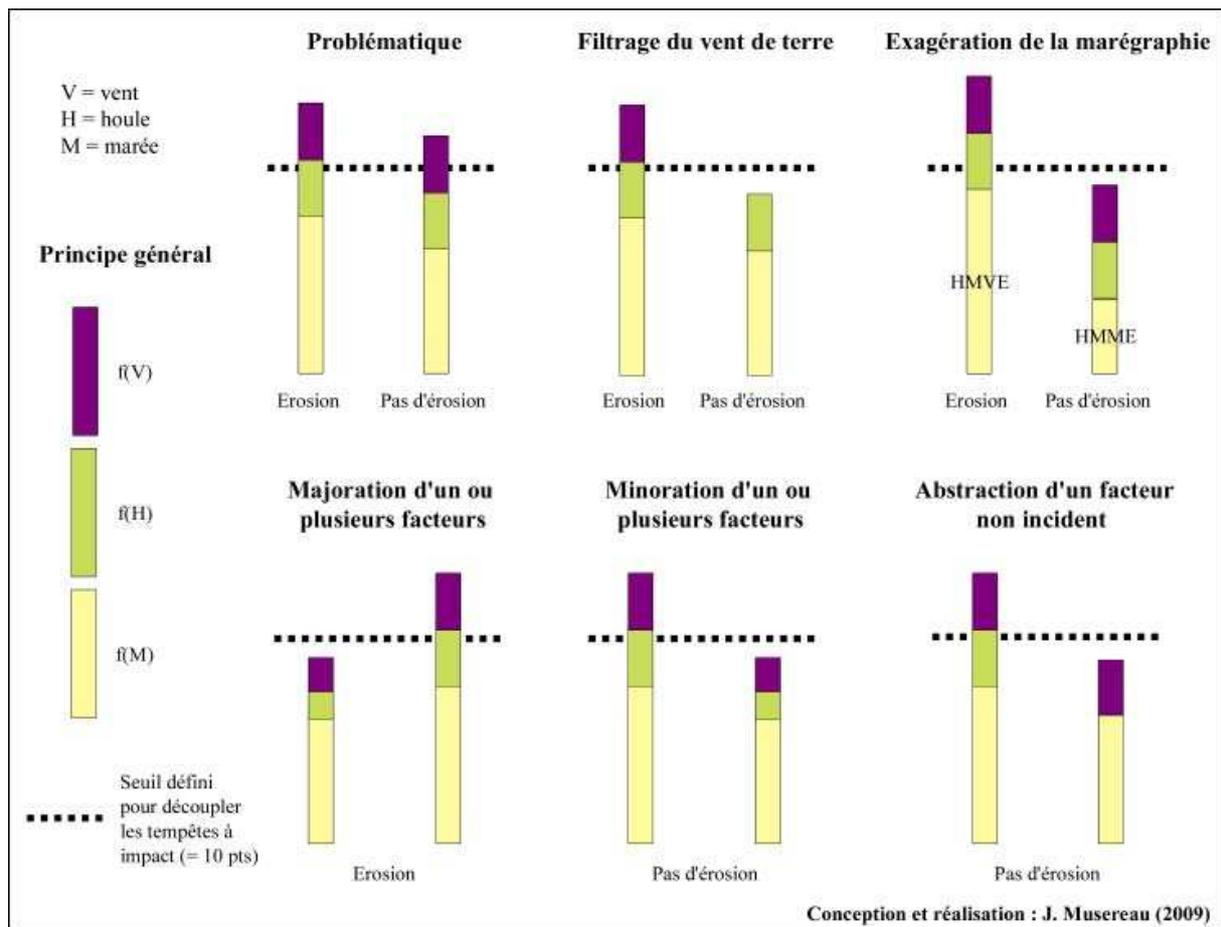


Figure 82 : Formalisation du modèle de franchissement de seuil

1) Nous avons pu voir à travers l'exemple de la plage de Vert-Bois que les tempêtes à impact sont le plus souvent accompagnées d'un vent d'afflux, que dans le cas contraire leur potentiel érosif s'en trouve réduit, et ce malgré des intensités parfois fortes (exemple de la tempête du 30 janvier 2003). D'un point de vue dynamique, il est d'ailleurs largement démontré, et admis, que les vents de mer (*onshore*) génèrent des courants orbitaux propices à un transport du sédiment vers le large (A. Héquette, 2001) et que les vents de terre ont des effets opposés (amortissement des houles, décote de la marée...). Afin de rendre compte de cette dichotomie, les vents de terre sont filtrés durant l'étape d'acquisition des données. Une valeur nulle leur est automatiquement attribuée.

2) Le recours à une valeur discriminante (seuil de 10 points) dans un espace graphique impose d'autres types d'ajustement, des ajustements scalaires. Le premier d'entre eux consiste à exagérer l'influence de la marégraphie. Si la mer est basse, la dune ne peut pas être touchée. Logiquement, nous faisons abstraction de ces situations et nous concentrons ce qu'il se passe au moment de la marée haute. Si la tempête intervient au cours d'une marée haute de morte-

eau (HMME), le niveau d'eau est aussi trop bas pour atteindre la dune, du moins le plus souvent. Pour qu'il y ait tout de même érosion, il faudrait, dans ce cas, que l'aléa en question soit d'une magnitude extrême (cas possible mais très rare). Dans le cas d'une haute mer de vive-eau (HMVE), même un aléa d'intensité moyenne peut conduire à la manifestation d'une rupture (érosion). Pour restituer ce *distinguo*, un opérateur de puissance est appliqué à la valeur qui sert à décrire ce facteur (en l'occurrence, il s'agit des hauteurs d'eau calculées par le SHOM). Dans ce nouveau référentiel, les écarts entre HMME et HMVE sont donc exagérés. Il est ainsi numériquement, et donc graphiquement, possible de montrer qu'une « petite tempête » peut avoir autant, si ce n'est plus d'impact qu'une « grosse tempête » si la première intervient pendant une HMVE alors que la seconde a lieu pendant une HMME.

3) Dans le même ordre d'idée, il peut s'avérer nécessaire de procéder à la minoration ou la majoration d'un ou plusieurs facteurs. Reprenons l'exemple de la plage de Vert-Bois. Notre base de données d'événements érosifs montre que, sur ce site, le front de dune est assez facilement attaqué dès lors que la houle est grosse, de par son exposition. A l'inverse, il semble que la vitesse du vent y soit un facteur moins déterminant, puisque des « ruptures » peuvent avoir lieu avec des vitesses relativement faibles (cas du 19 février 2003). Cela revient à dire et à prendre en compte le fait que le *Wave set-up* y joue un rôle prépondérant, ce que nous faisons en minorant V et en majorant H (voir détail en IV. 3. 1).

4) Le dernier type d'ajustement qui nous permette d'en faire un modèle « réaliste » consiste tout simplement à omettre une des trois fonctions. Dans le cas d'un rivage lacustre par exemple, il serait totalement absurde de prendre en compte le facteur marégraphique (voir également l'exemple de Marennes vis-à-vis des houles, IV. 3. 1).

Cet ensemble d'ajustements scalaires nous amène à proposer une nouvelle formulation de notre indice (Equation 15), où : ϕ , indice d'érosion (sans dimension) ; V, vitesse du vent moyen (en mètre par seconde) ; (V)', filtrage des vent de terre ; H, hauteur des vagues (en mètre) ; M, hauteur d'eau théorique à pleine mer (en mètre) ; a, variable d'ajustement appliquée au paramètre « vent » ; b, variable d'ajustement appliquée au paramètre « vague » ; c, variable d'ajustement appliquée au paramètre « marée » ; k, paramètre scalaire (constante).

Equation 15 $\phi = aV' + bH + M^c - k$

Même si, de prime abord, la démarche peu paraître quelque peu abstraite, la procédure que nous venons de décrire est paradoxalement très simple à mettre en œuvre. Elle ne demande pas à ce que l'on dispose d'un appui logistique ultra performant (un logiciel du type tableur suffit à opérer l'ensemble des traitements). Les calculs à effectuer sont simples et le temps imparti à cette étape est pratiquement négligeable (à peine quelques secondes avec un micro processeur de 1 MHz). L'acquisition des données présente, elle aussi, de nombreux avantages. Ces données sont totalement gratuites. Elles sont téléchargeables sur le Net (sources : <http://www.windguru.cz> ; <http://www.shom.fr>).

Sur la Figure 83, les variables d'ajustement propres au site de Vert-Bois ont été calibrées à partir des données topographiques acquises entre octobre 2006 et mars 2008 (cf. détail en IV. 3. 1). La confrontation de la série d'indices reconstituée *a posteriori* (c'est-à-dire au cours du doctorat) aux variations les plus significatives des volumes estimés pendant le suivi du Chantier Pilote de Vert-Bois (début de l'année 2003) montre une corrélation graphique étroite entre les phases d'érosion observées à cette époque et les niveaux atteints au regard du seuil théorique de résilience/rupture défini plusieurs années après.

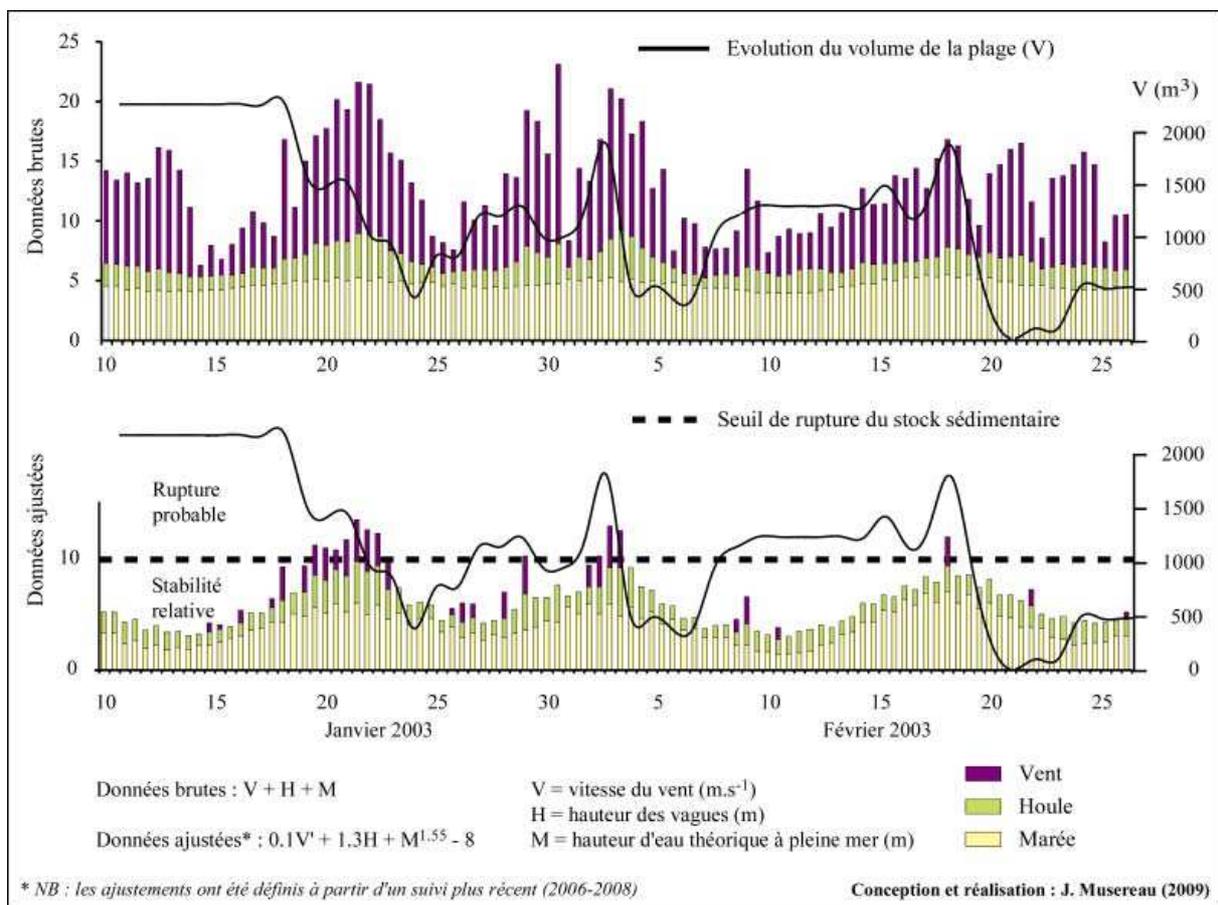


Figure 83 : Confrontation du modèle aux données d'observation (Vert-Bois)

IV. 3 CALAGE DU MODELE POUR LA PREDICTION DE L'IMPACT MORPHOLOGIQUE DES TEMPETES

IV. 3. 1 Ajustements locaux

Quatre événements particulièrement morphogènes ont été identifiés durant le suivi topographique effectué entre octobre 2006 et mars 2008. Les épisodes tempétueux qui en sont à l'origine sont ceux du 08 décembre 2006, des 19 mars et 09 décembre 2007 et du 10 mars 2008. Nous venons de montrer que les enregistrements des paramètres météo-marins (vent, houle, niveau de la mer), s'ils sont restitués séparément, sont insuffisants pour découpler ce type d'aléas à fort potentiel érosif, qu'il est nécessaire de les appréhender de manière interactive (vent + houle + niveau de la mer).

D'autres différences ont pu être relevées au cours de ce suivi. Chacun des trois sites ateliers n'a pas été affecté de la même manière par ces aléas météo-marins, car les phénomènes d'érosion qui en découlent sont aussi en grande partie déterminés par les caractéristiques géographiques et morphologiques de ces sites (N. L. Jackson et K. F. Nordstrom, 1998 ; A. H. Sallenger, 2000, A. Héquette *et al.*, 2001 ; R. A. Morton, 2002 ; J. Benavente *et al.*, 2002). Autrement dit, ils n'ont pas la même sensibilité aux tempêtes, aux processus qu'elles peuvent induire ; tout simplement parce que les sites de La Belle-Henriette, de Vert-Bois et de Marennes-Plage n'ont pas la même exposition. Le premier est situé sur la côte nord du Pertuis Breton, le second est situé sur la façade occidentale de l'île d'Oléron et le troisième se situe en zone estuarienne (Seudre). Il est donc normal que les tempêtes enregistrées durant ce suivi n'aient pas eu le même impact sur chacun d'entre eux. Pour rendre compte de cette variabilité locale de l'impact morphologique, nous proposons d'ajuster localement notre modèle de franchissement de seuil en nous appuyant sur l'analyse de profils antérieurs et postérieurs à chacune des quatre tempêtes citées plus haut (ces profils sont extraits des MNT effectués pour le suivi topographique).

Dans le cas de la Belle-Henriette (Figure 84), des quatre tempêtes qui viennent d'être évoquées, et pour lesquelles une ablation de l'avant-dune est systématiquement mesurée, seule celle du 10 mars 2008 a été en mesure d'engendrer un recul significatif du trait de côte. Pour les trois autres, cette ablation est également d'ampleur variable. Les 8 décembre 2006 et 19 mars 2007, celle-ci se manifeste sous la forme d'une rupture de pente particulièrement prononcée. Elle l'est beaucoup moins dans le cas de l'épisode du 9 décembre 2007.

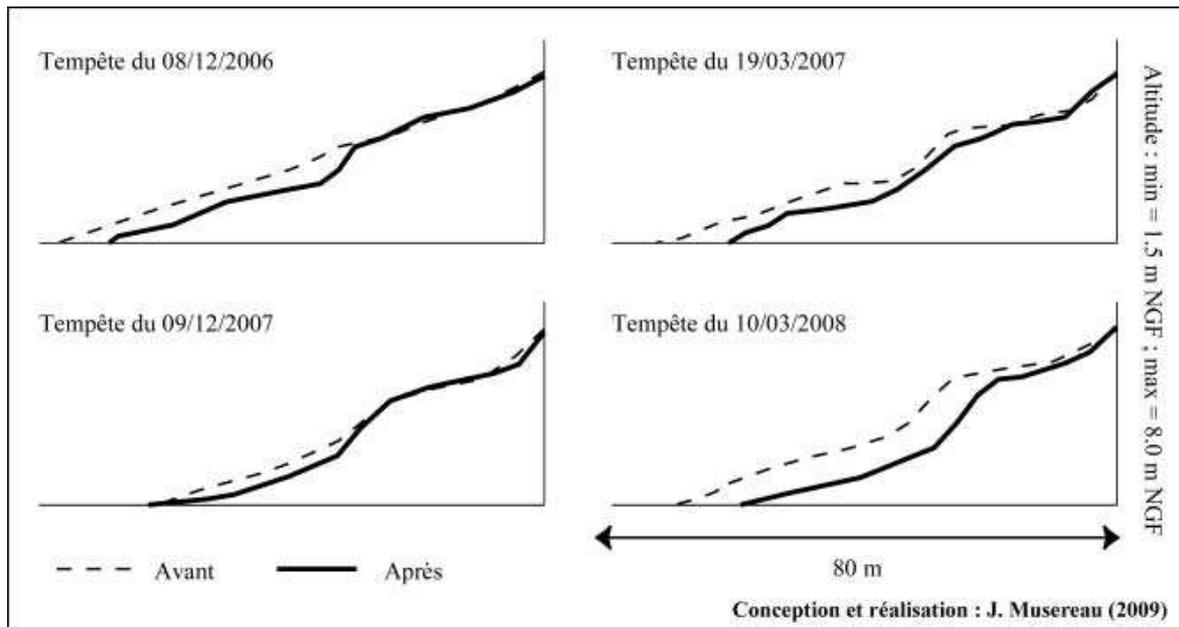


Figure 84 : Les quatre profils de tempête, site de La Belle-Henriette

A Vert-Bois (Figure 85), la tempête du 09 décembre 2007 a également eu un impact plus limité puisqu'elle n'a pas résulté, comme les autres, sur un recul du front de dune. Le volume sédimentaire retiré à la plage durant cet épisode est tout de même plus important que dans l'exemple vendéen. La tempête du 10 mars 2008 est aussi l'événement qui a eu le plus d'impact sur la morphologie du système plage-dune, avec comme principales conséquences un recul sensible du front de dune et une ablation massive du stock sédimentaire présent sur le haut de plage.

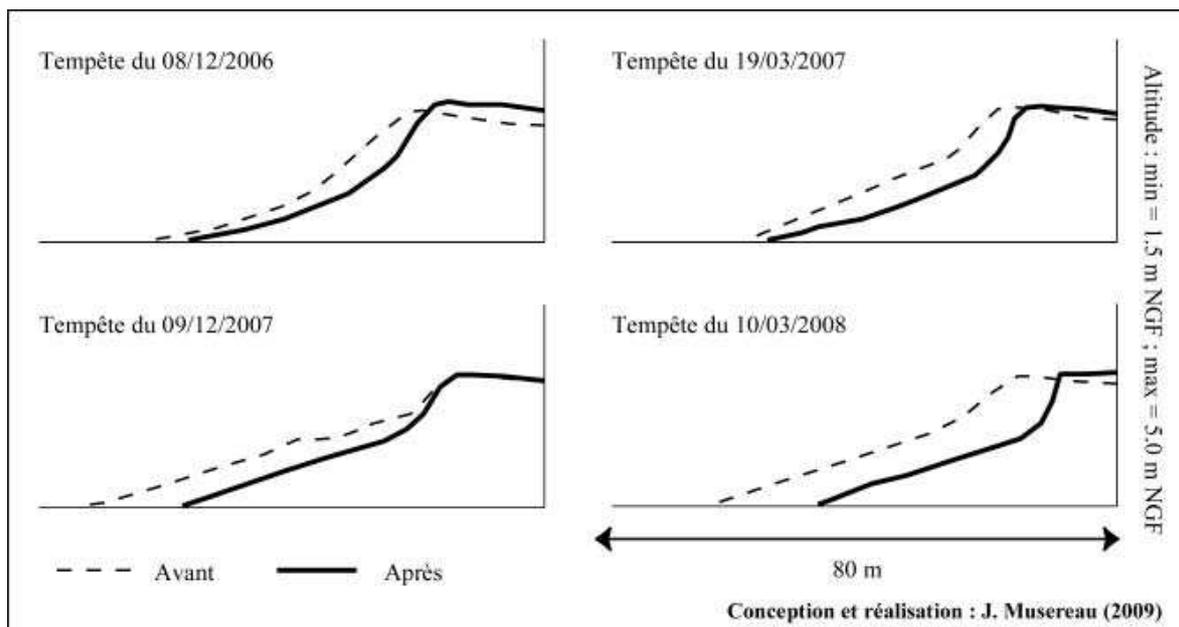


Figure 85 : Les quatre profils de tempête, site de Vert-Bois

Dans le cas de Marennes-Plage (Figure 86), la distinction entre ces quatre événements est moins prégnante. Toutes ces tempêtes ont bien eu un impact majeur sur la morphologie du cordon littoral qui protège le bassin de baignade. Certaines d'entre-elles ont d'ailleurs nécessité des interventions pour reconstituer artificiellement le profil de la plage. Notons à ce sujet que le transfert de sable qui a eu lieu quelques semaines avant la tempête du 10 mars 2008 a sans doute contribué à minimiser son impact. L'important stock de matériel ramené à pelle mécanique sur la face externe du cordon littoral a pu amortir une partie non négligeable des effets produits par les clapots. Sans cette intervention, l'état de dégradation du site aurait impliqué une plus large agression des agents marins sur son noyau central.

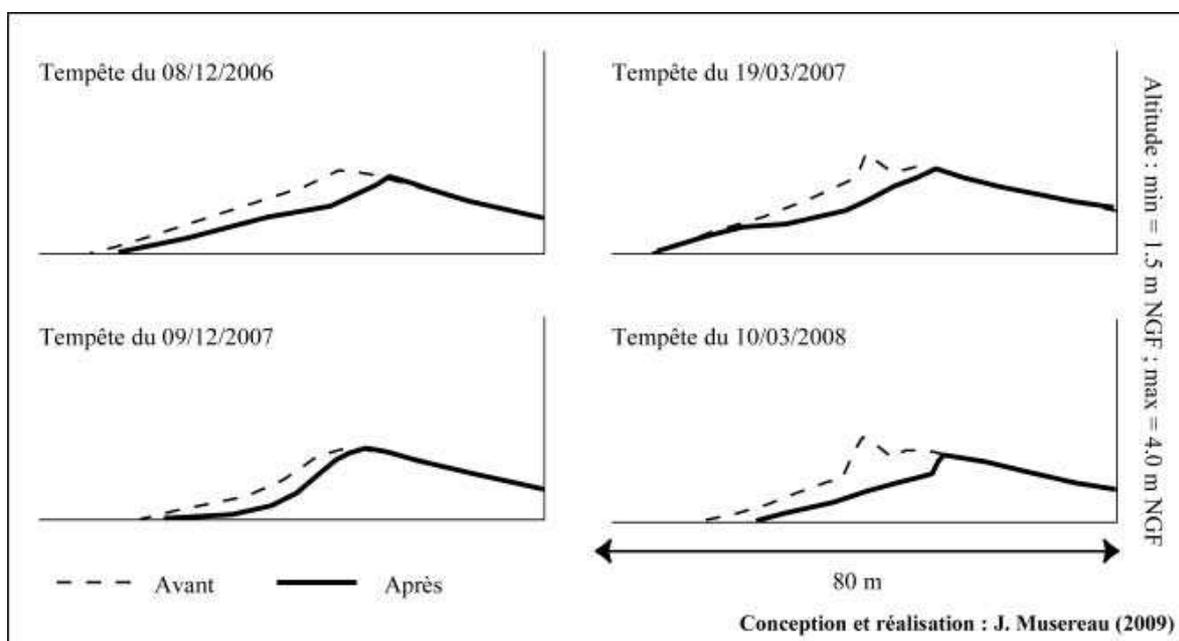


Figure 86 : Les quatre profils de tempête, site de Marennes-Plage

Afin de prendre en compte le degré de sensibilité à l'érosion de chaque site, des ajustements locaux de l'Equation 15 ont été fixés empiriquement en fonction de la base de données d'événements érosifs qui vient d'être décrite. Les paramétrages propres à chacun des trois sites ateliers sont répertoriés dans le Tableau 9.

NB : par souci de réalisme, la formulation du modèle de franchissement de seuil diffère un peu dans le cas de Marennes-Plage. Cette plage se situe dans un secteur où les houles océaniques sont presque intégralement amorties et où les agitations de surface (clapots liés au vent) ont une incidence beaucoup plus marquée. C'est pourquoi nous avons préféré ignorer le facteur houle (H) au profit d'une minoration moindre du facteur météorologique (V). De cette manière, nous restituons implicitement le rôle des clapots.

Equation générale	Equation 15	$\phi = aV' + bH + M^c - k$
La Belle-Henriette	Equation 16	$\phi_{BH} = 0.2V' + 0.4H + M^{1.44} - 8$
Vert-Bois	Equation 17	$\phi_{VB} = 0.1V' + 1.3H + M^{1.55} - 8$
Marennes-Plage	Equation 18	$\phi_{MP} = 0.5V' + M^{1.46} - 8$

Tableau 9 : Ajustements locaux de l'équation 15

IV. 3. 2 Validation *a posteriori*

Les séries d'indices reconstituées sur chacun des trois sites et correspondant aux deux campagnes de mesures *in situ*, nous permettent de valider *a posteriori* la pertinence de notre modèle de franchissement de seuil. La Figure 87 illustre la capacité de l'indice à découpler graphiquement les tempêtes à impact ($\phi > 10$).

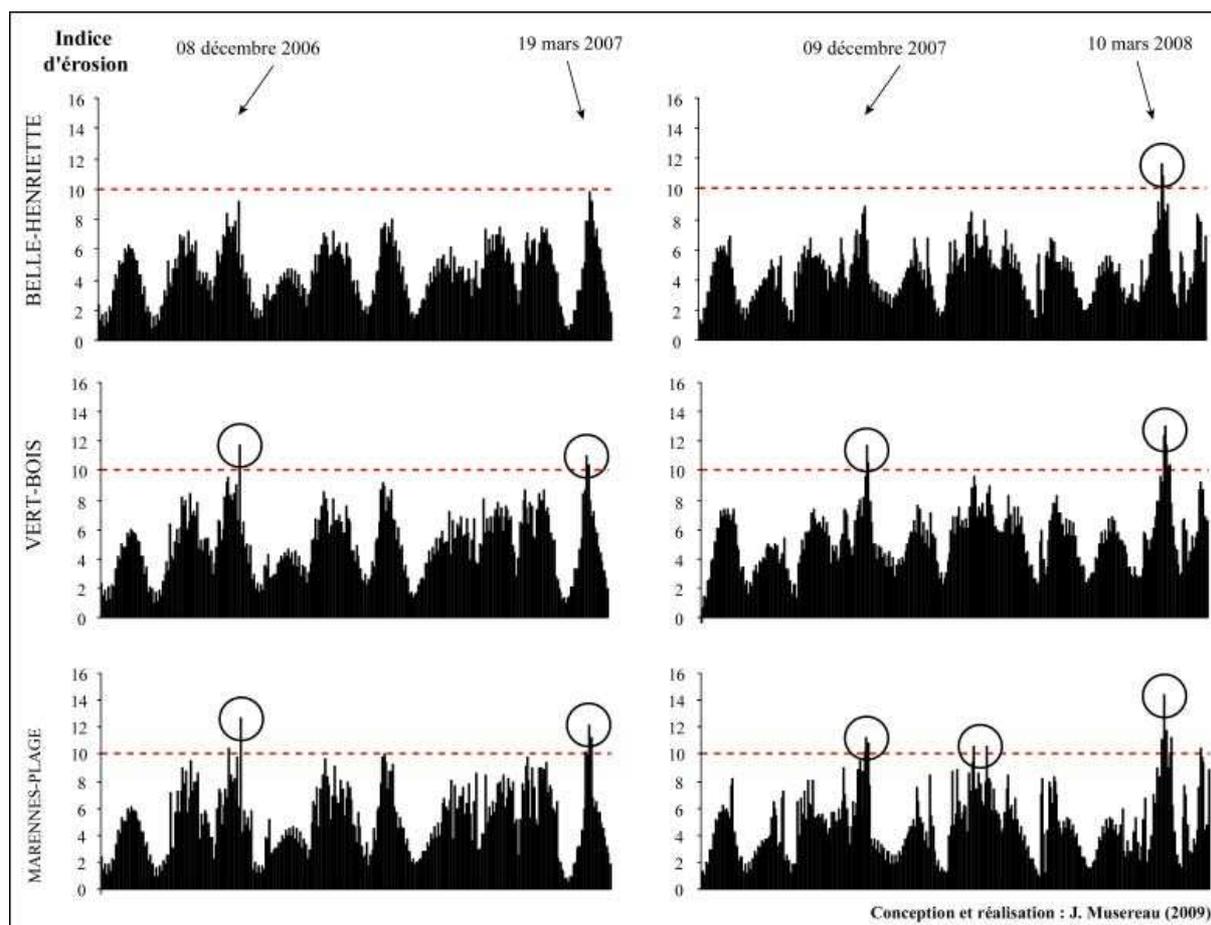


Figure 87 : Reconstitution des valeurs d'indice durant les deux campagnes de suivi

IV. 4 EXEMPLES DE PREDICTION

Le caractère prédictif du modèle de franchissement de seuil présenté dans ce travail de recherche a pu être vérifié à plusieurs reprises. Les premiers tests ont eu lieu à l'occasion de la tempête du 10 mars 2008. Il s'agit d'un événement très intense et faisant intervenir des niveaux d'eau exceptionnels, proche des seuils centennaux pour certaines régions de France, comme en Bretagne par exemple (P. Stéphan, 2008). Il paraissait donc évident que cette tempête allait éroder une grande partie du littoral, au moins les plus sensibles à ce type d'aléas. L'intérêt de notre méthode a alors consisté à détecter plusieurs jours à l'avance le risque d'érosion associé à cette tempête. Ce résultat encourageant a été comparé aux délais prévisionnels en vigueur pour la protection des biens et des personnes (vigilances de Météo-France), pour en évaluer l'intérêt. Les prédictions suivantes ont été effectuées en routine durant l'hiver 2008-2009 (novembre à février). Elles sont décrites sur la base d'une rétrospective mensuelle. Dans la plupart des cas, l'observation *in situ* (photographies) confirme et valide la simulation. Certains résultats nous incitent cependant à nuancer le bilan de cette expérience. Ainsi par exemple, à l'instar du modèle de *Run-up* présenté au début de cette thèse (P. Ruggiero *et al.*, 2001 ; cf. I. 2. 2), notre propre modèle de seuil a lui aussi sous-estimé l'impact de la tempête du 24 janvier 2009 (*Klaus*).

IV. 4. 1 Les premiers tests (tempête du 10 mars 2008)

Les premiers tests de prédiction ont été menés à l'occasion d'une tempête remarquable, celle du 10 mars 2008, baptisée *Johanna*. Cette tempête présente en effet toutes les caractéristiques d'un événement morphogène majeur. Sans être exceptionnelle, son intensité absolue la place au premier rang des épisodes de vent fort observés durant le suivi topographique. Plus encore, en Charente-Maritime, selon les archives de Météo-France, les rafales accompagnant *Johanna* sont les plus violentes que les stations locales aient enregistrées durant un mois de mars depuis au moins 1981, avec une maximum de 122 km/h à Chassiron. La tempête présente un autre caractère peu commun et sans aucun doute déterminant. Son paroxysme a coïncidé avec une HMVE d'un coefficient de 106.

Le Tableau 10 donne le détail de ce premier test. Les valeurs obtenues pour chacune des variables y sont présentées site par site à trois échéances volontairement excessives, à 96 h, 72 h et 48 h. Ces résultats sont également confrontés à ceux obtenus par l'intégration de

données de réanalyses⁹ pour les variables V (vent) et H (houle). Une réanalyse correspond à la reconstitution des états de l'atmosphère et de la mer en fonction des observations mondiales les plus récentes (en l'occurrence, il s'agit de celle du 10 mars 2008 à 06h UTC). En l'absence de relevés *in situ*, ces sources peuvent être considérées comme les plus fiables possibles. Dès le 6 mars, soit quatre jours avant la tempête, notre indice d'érosion montre combien la probabilité qu'un épisode érosif intervienne sur le littoral est déjà importante. A cette échéance, il est déjà envisagé qu'un phénomène majeur ait lieu sur les sites de Vert-Bois et de Marennes-Plage. Les jours suivants, ce risque est largement confirmé et affiné. A titre de comparaison, les vigilances actuellement en vigueur (Météo-France) ne sont opérationnelles qu'à de très courtes échéances de prévision. En général, les délais prévus à cet effet n'excèdent pas 24 h. Même si des efforts sont constamment réalisés au niveau de la prévision, qu'importe la dangerosité de l'événement, il est rare qu'une information aussi précieuse soit disponible à plus de 48 h d'échéance.

Prévision	Date	aV'	H	M ^c	k	φ	Réanalyse
La Belle-Henriette	06/03/2008	2.9	1.4	13.5	-8.0	9.8	<i>11.1</i>
	07/03/2008	3.0	2.2	13.5	-8.0	10.7	
	08/03/2008	3.4	2.0	13.5	-8.0	10.8	
Vert-Bois	06/03/2008	1.4	4.7	13.9	-8.0	12.0	<i>13.4</i>
	07/03/2008	1.5	7.0	13.9	-8.0	14.4	
	08/03/2008	1.7	6.4	13.9	-8.0	14.0	
Marennes-Plage	06/03/2008	7.2		13.7	-8.0	12.9	<i>14.1</i>
	07/03/2008	7.6		13.7	-8.0	13.3	
	08/03/2008	8.4		13.7	-8.0	14.1	
<i>Réanalyse : dernière simulation disponible (10/03/2008 à 00h UTC)</i>							

Tableau 10 : Impact de la tempête du 10 mars 2008, prédiction et réanalyse

Les résultats de ce premier essai sont donc encourageants. La tempête a bien eu un impact majeur sur nos sites ateliers (voir illustrations ci-après). Compte tenu de la complexité et de la variabilité des éléments pris en compte (conjugaison de plusieurs paramètres météo-marins), mais également des objectifs que nous nous sommes fixés en terme d'échéance de prédiction, la méthode peut être considérée comme assez performante. La tempête *Johanna* a d'ailleurs causé de nombreux dégâts et une érosion parfois spectaculaire sur la majeure partie des cordons littoraux sableux de Gascogne. Du cargo néerlandais échoué sur une plage des Sables-d'Olonne à la destruction de l'estacade de Capbreton, en passant par celle d'un muret de protection construit après la tempête de 2001 en presqu'île de Gâvres, cette tempête n'a pas

⁹ Source : NCEP (National Centers for Environmental Prediction)

non plus épargné les infrastructures côtières. Si les trois sites ateliers suivis dans ce travail de recherche ont tous été largement érodés, l'ampleur de l'impact de cette tempête s'est aussi avérée très variable d'un site à l'autre.

A la Belle-Henriette, le secteur où ont eu lieu les mesures (près du batardeau) a été relativement épargné par la tempête. A cet endroit précis, seule la partie basse du système est véritablement impactée, à savoir l'avant-dune. *Stricto sensu*, le cordon littoral n'a donc pas été atteint dans cette zone. En amont-dérive, en allant vers les Roulières (localisation en Annexe 16), la tempête a, par contre, eu un impact visible sur le cordon littoral. La dune y a été taillée en falaise sur plusieurs centaines de mètres. Cette ablation mesure en moyenne près d'1,5 m de haut, comme au niveau de la passe de Bellevue par exemple (Figure 88). En dépit de ces dégradations localisées, et même si plus de 5000 m³ ont pu être retirés à l'avant-dune dans le secteur que nous avons suivi, l'impact de *Johanna* peut être considéré comme assez limité au regard de certains constats effectués sur d'autres plages vendéennes.



Figure 88 : Impact de la tempête du 10 mars 2008, site de La Belle-Henriette

A Vert-Bois, la tempête a eu un impact bien plus significatif. Tout d'abord, elle a provoqué un net recul du trait de côte (Figure 89). Le retrait du front de dune varie toutefois d'un point à l'autre de la plage. Il atteint en moyenne 3 m. C'est la partie située à l'avant des blockhaus qui est la plus touchée. Ici également, la dune est taillée en falaise, mais son amplitude est bien plus marquée. Sa hauteur varie entre 1,5 m et 2,5 m. On peut également observer un abaissement significatif du haut de plage après la tempête. Au niveau de la section mesurée au DGPS, qui correspond à 80 m de linéaire côtier, le volume enlevé par la tempête est supérieur à 3000 m³. Il s'agit, de loin, du plus intense épisode que nous avons mesuré durant les deux hivers consacrés au suivi topographique.



Figure 89 : Impact de la tempête du 10 mars 2008, site de Vert-Bois

A Marennes-Plage, l'impact de *Johanna* est encore plus marquant. Même si aucune submersion du cordon littoral n'est à déplorer, la totalité du sable transféré sur sa face externe à la mi-janvier a été remobilisée par les vagues et le vent (Figure 90). Cela correspond au moins à la dispersion d'un volume de 3500 m³ de sédiment (quantité de sable transférée en janvier). Ce violent épisode d'érosion illustre en revanche la manière dont certaines formations pré-littorales vont protéger les reliefs qui se situent en arrière. La récente accumulation sablo-vaseuse, par sa présence et sa composition (matériel meuble), a vraisemblablement joué un rôle prépondérant. En amortissant les effets induits par les agents marins (vagues et surcote), ce stock sédimentaire artificiel a sans doute contribué à minimiser l'impact de la tempête dans des proportions non négligeables. Ces processus internes renvoient à la notion de *buffer zone*. Étudié depuis longtemps par les auteurs anglo-saxons (parmi d'autres : E. Rohr et N. P. Psuty N.P., 1998 ; J. Dahm *et al.*, 2005), ce concept est considéré comme un moyen efficace pour mitiger les phénomènes d'érosion marine. Dans le cas des plages rechargées artificiellement, ce type de mesure constitue donc une alternative crédible aux solutions consistant à multiplier les renforts frontaux constitués d'enrochements (brises lames et autres systèmes de défense).



Figure 90 : Impact de la tempête du 10 mars 2008, site de Marennes-Plage

IV. 4 .2 Novembre 2008

Le mois de novembre 2008 ne présente pas de caractère particulier. Aucune tempête notable n'est observée durant cette période. Nous relevons deux *maxima* d'une intensité comparable que nous qualifierons d'habituelle pour la saison. En l'absence de relevés fiables en ce qui concerne la météorologie et la houlographie locale (défaillance des appareils de mesure), nous nous référons aux données qui nous servent de source pour la paramétrisation de notre indice (les modèles GFS et NWW3). Cela donne un vent moyen maximal d'environ 12 m.s^{-1} (soit environ 45 km/h). A la côte, les hauteurs de vague simulées sont de l'ordre de 2,5 m. Ces deux périodes d'agitation interviennent au cours de cycles de marée d'une amplitude moyenne dont les coefficients respectifs sont de 76 et 60. Les valeurs d'indices prévues et les réanalyses relatives à ces deux « coups de vent » sont présentées dans les Tableaux 11 et 12. Les résultats afférents à ce travail de modélisation sont ensuite comparés à des données d'observation (photographies prises sur le terrain) qui nous permettent d'en vérifier la véracité sur chacun des trois sites ateliers (Figures 91, 92 et 93).

Prévision	Date	aV'	H	M ^c	k	φ	Réanalyse
La Belle-Henriette	07/11/2008	2.5	1.0	11.7	-8.0	7.2	7.1
	08/11/2008	2.5	1.1	11.7	-8.0	7.3	
	09/11/2008	2.4	1.1	11.7	-8.0	7.3	
Vert-Bois	07/11/2008	1.2	3.4	11.7	-8.0	8.3	8.5
	08/11/2008	1.2	3.6	11.7	-8.0	8.5	
	09/11/2008	1.2	3.8	11.7	-8.0	8.7	
Marennes-Plage	07/11/2008	6.2		11.7	-8.0	9.9	9.5
	08/11/2008	6.2		11.7	-8.0	9.9	
	09/11/2008	6.1		11.7	-8.0	9.8	

Tableau 11 : Impact du coup de vent du 11 novembre 2008, prédiction et réanalyse

Prévision	Date	aV'	H	M ^c	k	φ	Réanalyse
La Belle-Henriette	20/11/2008	2.3	0.9	10.6	-8.0	5.9	5.3
	21/11/2008	2.6	1.0	10.6	-8.0	6.2	
	22/11/2008	2.6	1.0	10.6	-8.0	6.2	
Vert-Bois	20/11/2008	1.2	3.2	10.5	-8.0	6.9	6.7
	21/11/2008	1.3	3.4	10.5	-8.0	7.2	
	22/11/2008	1.3	3.4	10.5	-8.0	7.2	
Marennes-Plage	20/11/2008	5.8		10.6	-8.0	8.4	7.1
	21/11/2008	6.4		10.6	-8.0	9.0	
	22/11/2008	6.4		10.6	-8.0	9.0	

Tableau 12 : Impact du coup de vent du 23 novembre 2008, prédiction et réanalyse

A La Belle-Henriette, les photographies qui nous permettent de constater si des changements ont bien eu lieu ont été prises de profil (vue vers le nord) et au niveau de la passe de Bellevue (localisation en Annexe 16). Ces photos ont été prises les 07, 13, 23 et 26 novembre. Elles confirment les résultats de la reconstitution relative à l'indice d'érosion. Aucun phénomène marquant n'a été relevé.

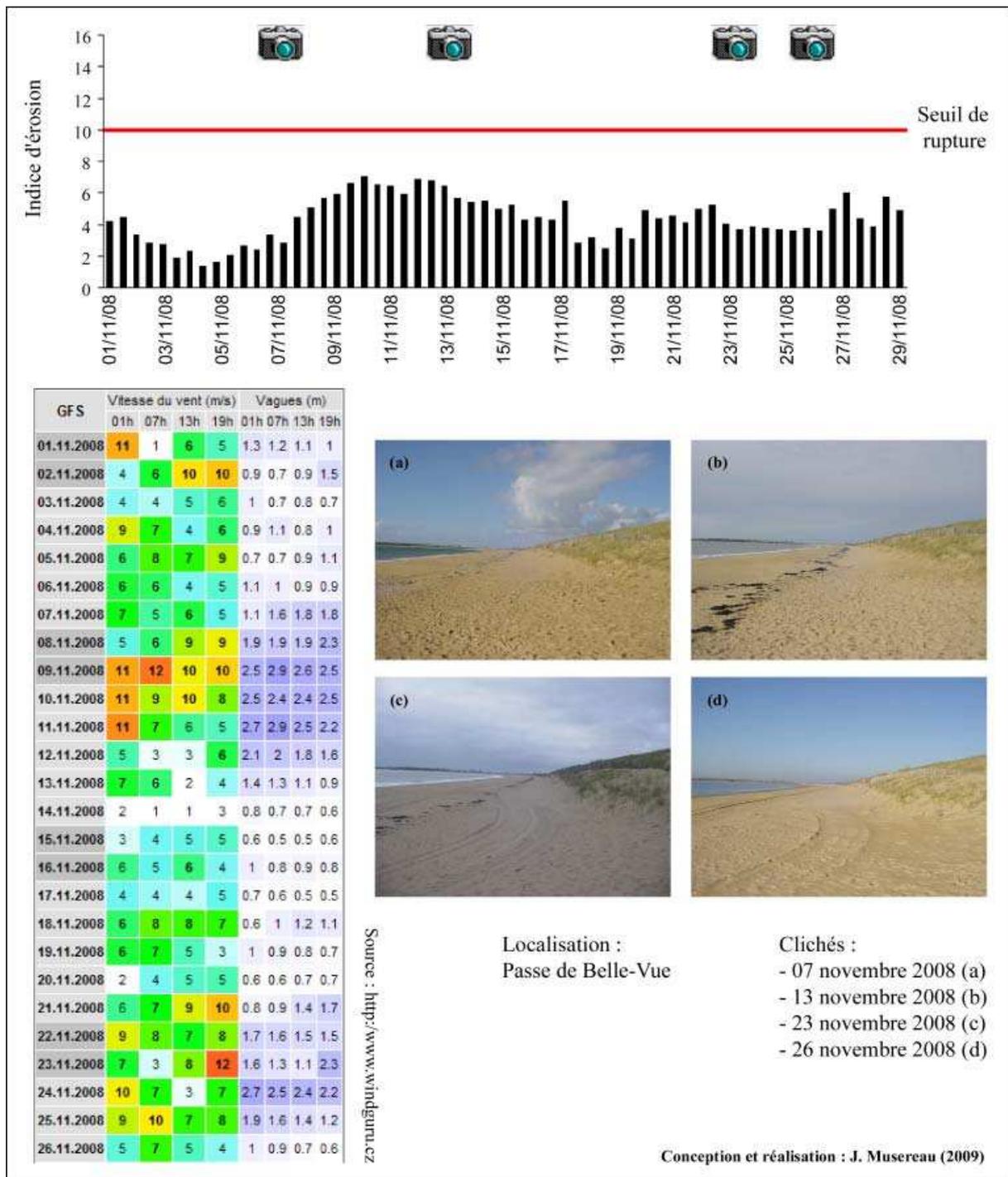


Figure 91 : Forçage météo-marin et réponse du milieu (La Belle-Henriette, novembre 2008)

A Vert-Bois, les photographies qui nous permettent de constater si des changements ont bien eu lieu ont été prises de profil (vue vers le nord), à l'endroit où les relevés topographiques ont été réalisés. Ces photos ont été prises les 07, 13, 23 et 26 novembre. Elles confirment les résultats de la reconstitution relative à l'indice d'érosion. Aucun changement majeur n'a été observé sur place.

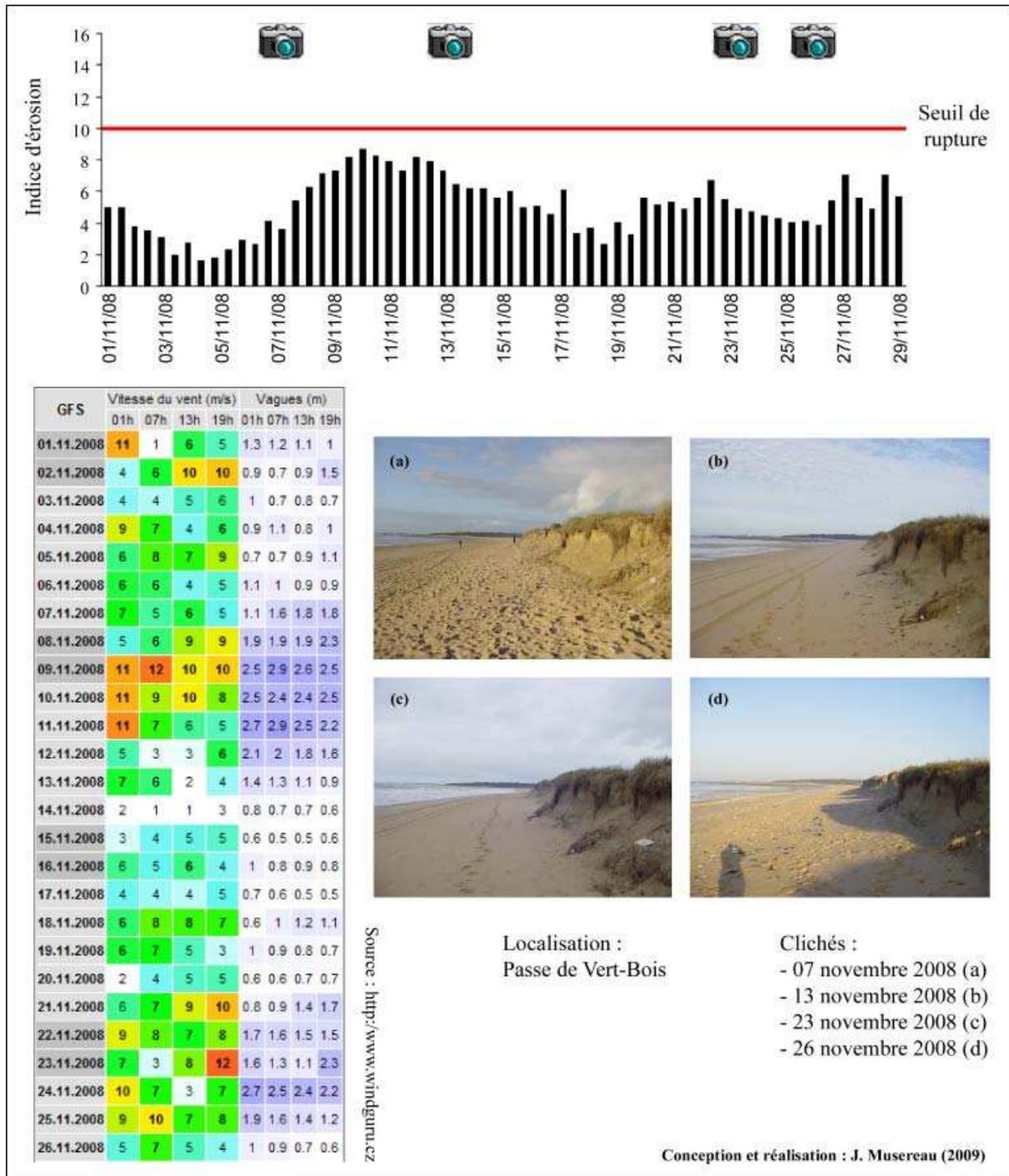


Figure 92 : Forçage météo-marin et réponse du milieu (Vert-Bois, novembre 2008)

A Marennes-Plage, les photographies qui nous permettent de constater si des phénomènes érosifs ont bien eu lieu ont été prises de profil (vue vers le nord), à l'endroit où les relevés topographiques ont été réalisés. Ces photos ont été prises les 07, 13, 23 et 26 novembre. Elles confirment les résultats de la reconstitution relative à l'indice d'érosion. Aucune érosion significative du cordon littoral n'a été relevée.

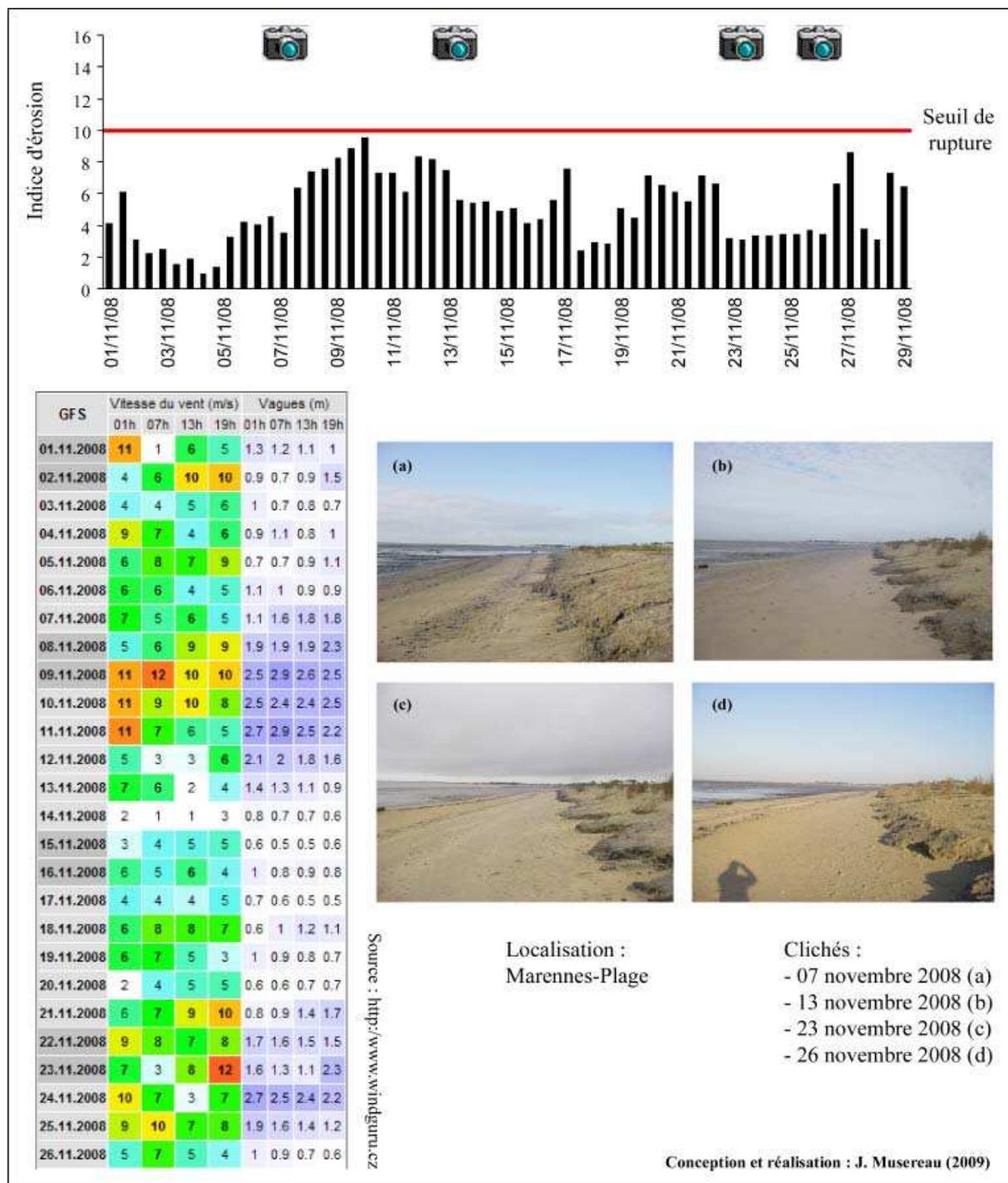


Figure 93 : Forçage météo-marin et réponse du milieu (Marennes-Plage, novembre 2008)

IV. 4 .3 Décembre 2008

Le mois de décembre 2008 est marqué par le passage de deux autres coups de vent, l'un le 5 décembre et l'autre, moins intense, le 13 décembre. Paradoxalement, le premier n'a eu aucun impact sur les cordons littoraux suivis dans ce travail alors que le second a localement engendré des phénomènes érosifs. Les Tableaux 13 et 14 présentent le détail des prédictions et des réanalyses correspondant à ces deux épisodes. Comparé à ce qui avait été calculé pour la tempête de mars 2008, le risque d'érosion n'a été perçu qu'assez tardivement. Toutefois, les observations *in situ* corroborent nos résultats en montrant que tous les sites n'ont pas été affectés de la même manière et que la magnitude de cet impact est proche de celle proposée par l'indice (Figures 94, 95 et 96). Le 5 décembre, les données du modèle GFS présentent un pic de vent de 14 m.s^{-1} . Au même moment, des hauteurs de vague supérieures à 4 m sont simulées. Le 13 décembre, les *maxima* relatifs à la vitesse du vent moyen et à la hauteur significative des vagues sont respectivement de 12 m.s^{-1} et 2,9 m. La différence majeure entre ces deux aléas tient au fait que le premier soit intervenu durant une PMME et le second durant une PMVE (coefficients respectifs de 45 et 97)

Prévision	Date	aV'	H	M ^c	k	φ	Réanalyse
La Belle-Henriette	01/12/2008	2.8	1.5	9.5	-8.0	5.9	6.4
	02/12/2008	2.9	1.5	9.5	-8.0	5.9	
	03/12/2008	3.1	1.7	9.5	-8.0	6.3	
Vert-Bois	01/12/2008	1.4	5.1	9.3	-8.0	7.8	9.2
	02/12/2008	1.4	5.1	9.3	-8.0	7.8	
	03/12/2008	1.6	5.6	9.3	-8.0	8.5	
Marennes-Plage	01/12/2008	7.1		9.5	-8.0	8.6	9.7
	02/12/2008	7.2		9.5	-8.0	8.7	
	03/12/2008	7.8		9.5	-8.0	9.3	

Tableau 13 : Impact du coup de vent du 5 décembre 2008, prédiction et réanalyse

Prévision	Date	aV'	H	M ^c	k	φ	Réanalyse
La Belle-Henriette	09/12/2008	1.1	1.2	13.7	-8.0	8.0	9.0
	10/12/2008	2.1	1.1	13.7	-8.0	8.9	
	11/12/2008	2.3	1.1	13.7	-8.0	9.1	
Vert-Bois	09/12/2008	0.6	3.5	13.7	-8.0	9.8	10.2
	10/12/2008	1.0	3.1	13.7	-8.0	9.8	
	11/12/2008	1.2	3.3	13.7	-8.0	10.2	
Marennes-Plage	09/12/2008	2.8		13.7	-8.0	8.5	11.3
	10/12/2008	5.2		13.7	-8.0	10.9	
	11/12/2008	5.8		13.7	-8.0	11.5	

Tableau 14 : Impact du coup de vent du 13 décembre 2008, prédiction et réanalyse

A La Belle-Henriette, les photographies qui nous permettent de constater si ces coups de vent ont eu un impact sur le cordon littoral ont été prises les 26 novembre, 08 et 20 décembre. Elles confirment les résultats de la reconstitution relative à l'indice d'érosion, qui montre un pic à la mi-décembre sans toutefois que le seuil de rupture n'ait été dépassé. Aucun phénomène marquant n'a d'ailleurs été relevé même si le coup de vent du 13 décembre a impliqué des niveaux d'eau importants, comme en témoigne la position des lais de mer.

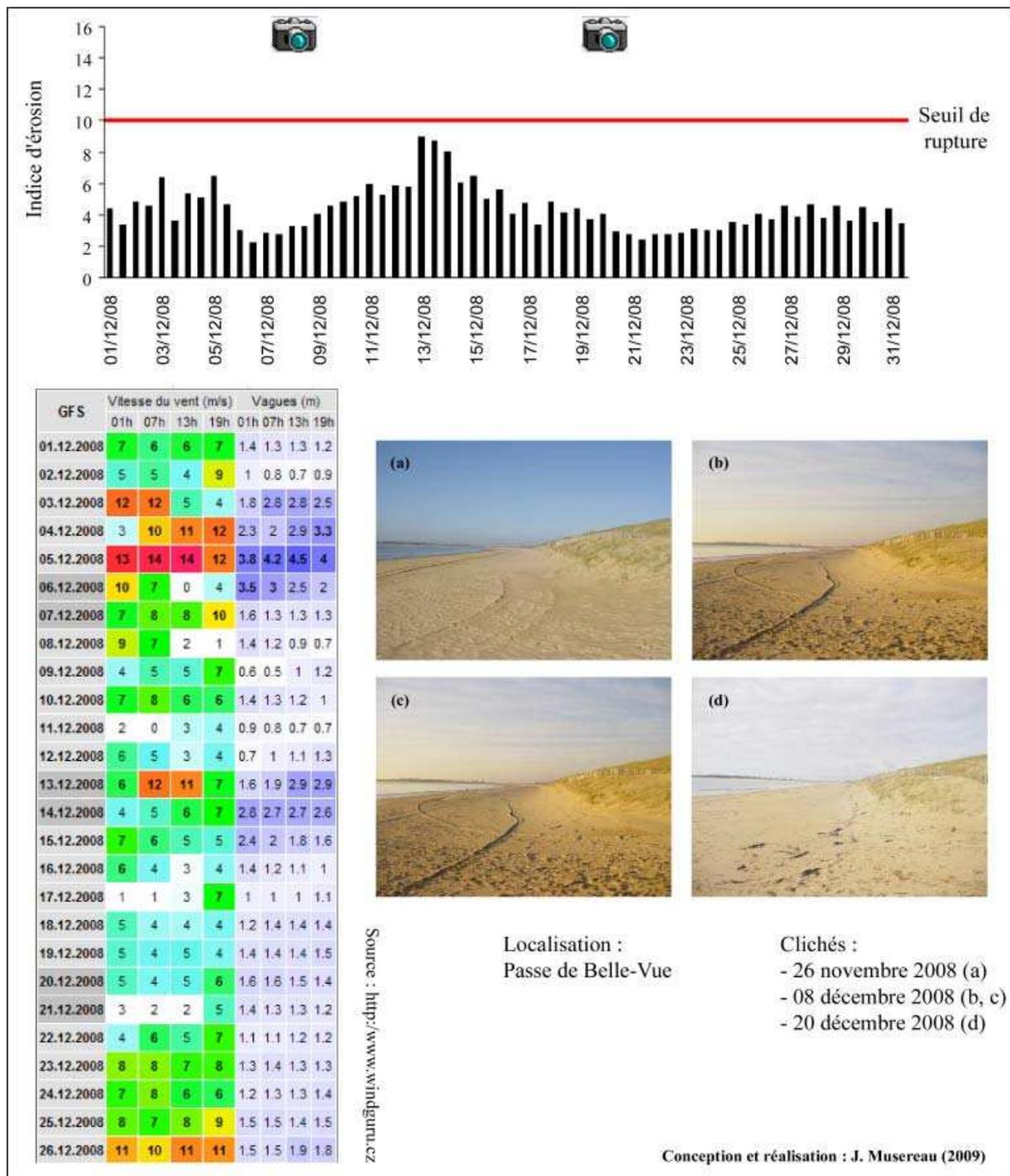


Figure 94 : Forçage météo-marin et réponse du milieu (La Belle-Henriette, décembre 2008)

A Vert-Bois, les photographies qui nous permettent de constater si ces coups de vent ont eu un impact sur le cordon littoral ont été prises les 26 novembre, 08 et 20 décembre. Elles confirment les résultats de la reconstitution relative à l'indice d'érosion, qui montre un pic à la mi-décembre et un dépassement du seuil de rupture le 13 décembre. Un phénomène érosif d'une ampleur relative a bien eu lieu. Le recul du front de dune engendré par cet événement est d'environ 2 m.

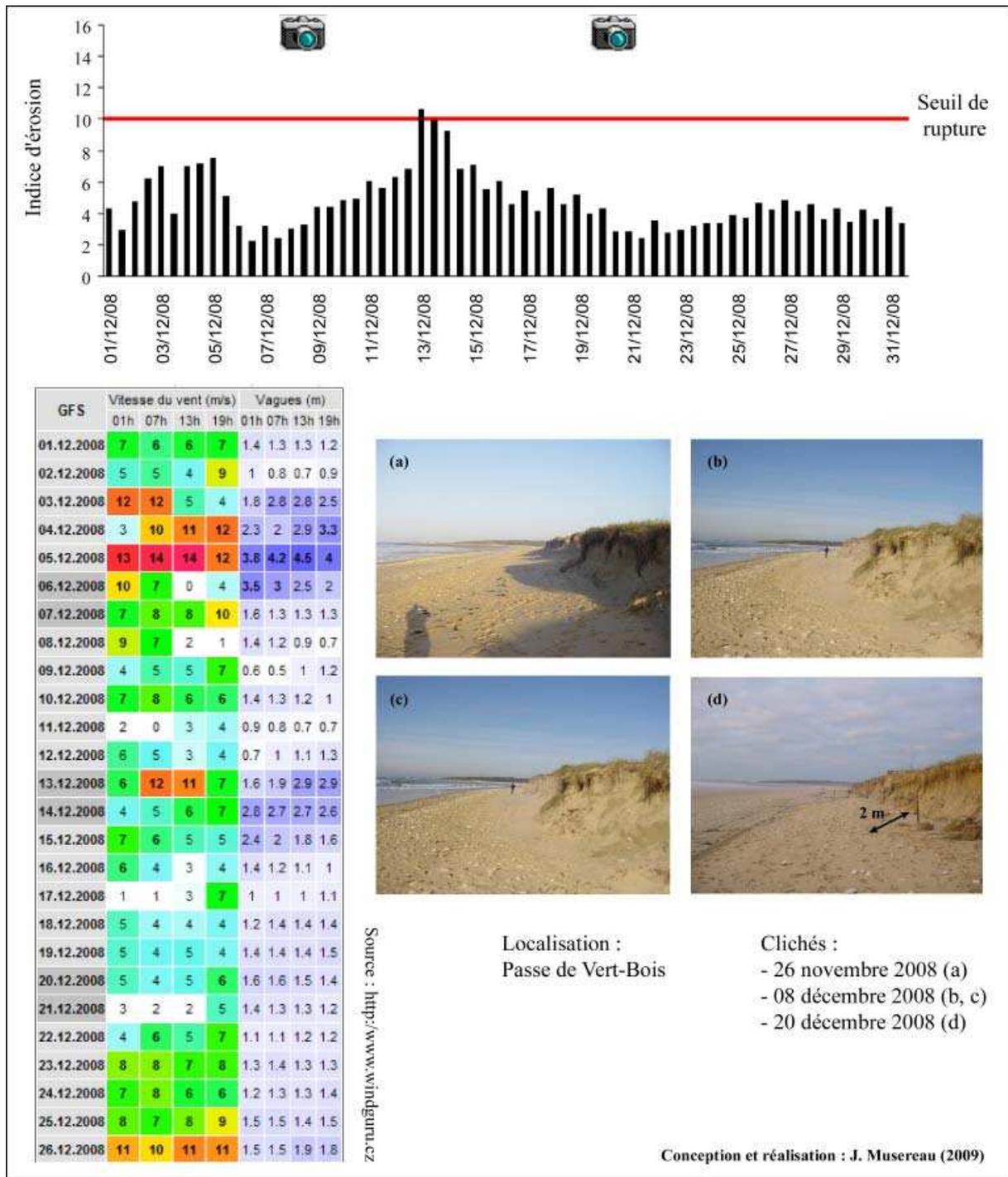


Figure 95 : Forçage météo-marin et réponse du milieu (Vert-Bois, décembre 2008)

A Marennes-Plage, les photographies qui nous permettent de constater si ces coups de vent ont eu un impact sur le cordon littoral ont été prises les 26 novembre, 08 et 20 décembre. Elles confirment les résultats de la reconstitution relative à l'indice d'érosion, qui montre un pic à la mi-décembre et un dépassement du seuil de rupture le 13 décembre. Un phénomène érosif d'une ampleur relative a bien eu lieu. Le recul du front de dune engendré par cet événement est d'environ 1,5 m.

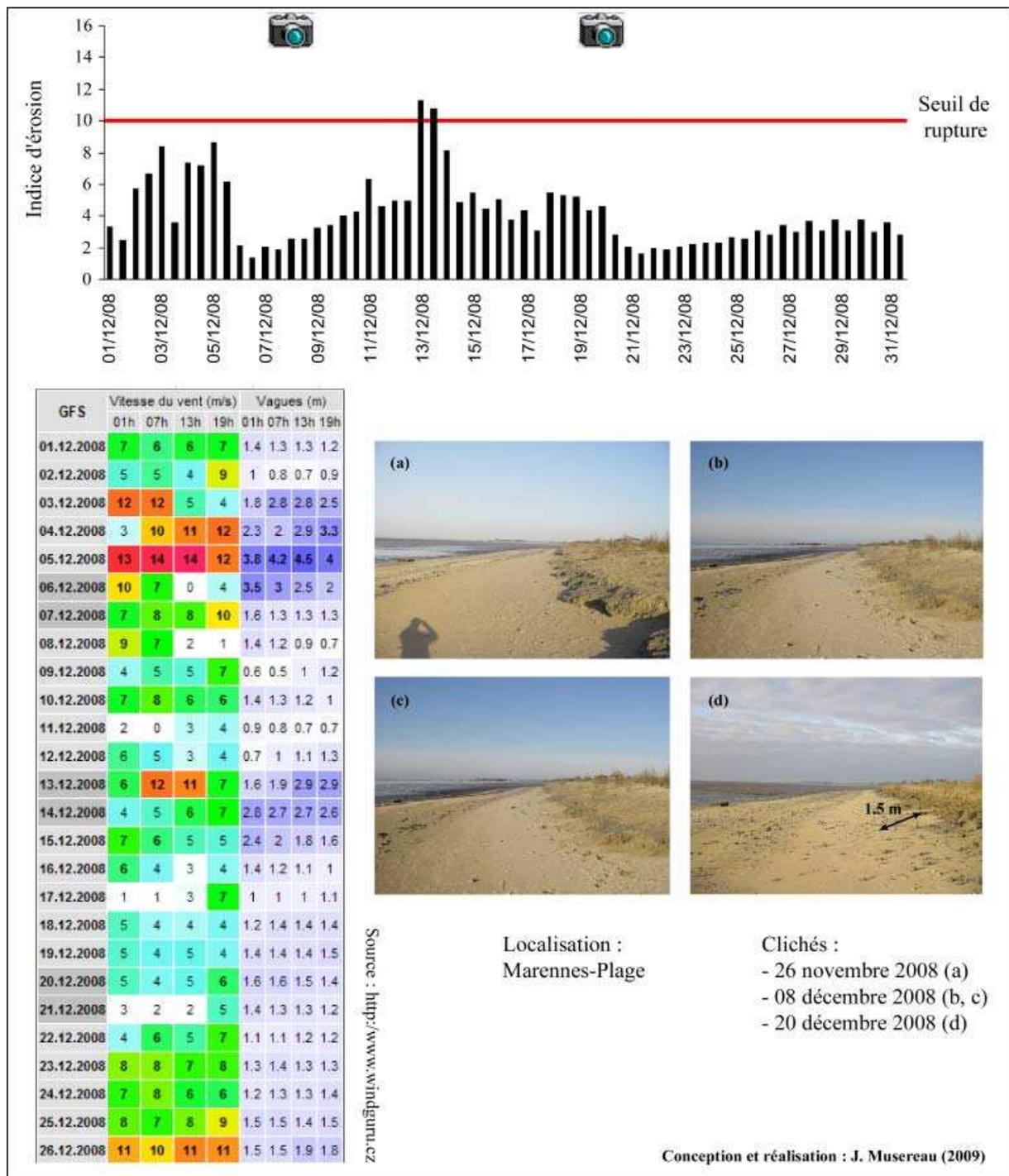


Figure 96 : Forçage météo-marin et réponse du milieu (Marennes-Plage, décembre 2008)

IV. 4. 4 Janvier 2009

De nombreuses périodes de forte agitation se sont succédées au mois de janvier 2009. D'un point de vue strictement météorologique, nous pouvons recenser trois épisodes de vent fort : le 8 janvier, puis les 18 et 19 janvier et enfin du 22 au 25 janvier (dont la tempête *Klaus*, sur laquelle nous reviendrons plus en détail). En ce qui concerne la vitesse du vent, les *maxima* qui leur correspondent sont respectivement de 11 m.s⁻¹, 13 m.s⁻¹ et 17 m.s⁻¹. Ils présentent par contre des caractéristiques houlographiques très différentes. En ce qui concerne la hauteur des vagues, les *maxima* qui leur sont associés sont respectivement d'1,5 m, 4,1 m et 4,7 m. Ces épisodes paroxysmiques partagent cependant le fait d'être intervenus durant des cycles de marée peu propices à la manifestation de niveaux d'eau extrêmes, les coefficients de marées étant alors compris entre 45 et 60.

Il y a par ailleurs un événement, bien plus atypique, sur lequel il est indispensable de revenir. Sa description nous permet de mieux comprendre pourquoi, en milieu littoral, les processus d'érosion ne sont pas systématiquement corrélés au passage d'une tempête ou d'un fort coup de vent, qu'il est donc préférable de chercher à construire un indice d'érosion et non un indice appliqué uniquement aux tempêtes. Le 13 janvier 2009, alors que le vent est relativement faible (compris entre 3 et 6 m.s⁻¹), la conjonction entre de très forts coefficients de marées (supérieurs à 100) et une grande houle de 2.5 m impliquait, selon nos propres calculs, un risque substantiel d'érosion sur le site de Vert-Bois. En dépit de conditions météorologiques locales que l'on peut qualifier de clémentes, cette plage est en effet suffisamment exposée aux houles pour que ce facteur, à lui seul, soit déterminant.

Un autre événement peu commun a eu lieu durant cette période. Il s'agit de la tempête du 24 janvier, baptisée *Klaus*. Son impact sur la plage de Vert-Bois a déjà été décrit rapidement dans cette thèse afin de mettre en exergue les limites de la modélisation prédictive des aléas littoraux (cf. I. 2. 2). Les principales caractéristiques de cette tempête (trajectoire, vitesse du vent en France et hauteur des vagues dans le Golfe de Gascogne) sont présentées en Annexe 28. En Charente-Maritime, même si l'intensité du vent n'avait rien d'exceptionnel (les rafales n'ont pas dépassé 120 km/h), une pression atmosphérique excessivement basse, de 965 Hpa, a été relevée à La Rochelle au passage du centre dépressionnaire à l'origine de la tempête. A lui seul, ce facteur a été responsable d'une surélévation du niveau marin proche de 40 cm. Il explique en grande partie pourquoi notre propre modèle de seuil n'a pas non plus obtenu de bons résultats, puisqu'il ne prend pas cet élément en compte.

Les Tableaux 15 et 16 donnent le détail des prédictions et des réanalyses correspondant aux trois aléas météo-marins qui, selon nous, présentaient un caractère potentiellement morphogène : la grande houle du 13, le coup de vent du 19 et la tempête du 24 janvier. Les Figures 97, 98 et 99 permettent de vérifier que la prédiction a été plutôt bonne pour le premier événement, qui n'a finalement impacté que le site de Vert-Bois, et pour le coup de vent du 19 janvier, qui n'a engendré aucun phénomène marquant. Ces illustrations montrent également combien la tempête *Klaus* a été mal appréhendée par le modèle.

Prévision	Date	aV'	H	M ^c	k	φ	Réanalyse
La Belle-Henriette	09/01/2009	1.4	1.1	14.0	-8.0	8.5	9.0
	10/01/2009	1.4	1.1	14.0	-8.0	8.5	
	11/01/2009	1.4	1.1	14.0	-8.0	8.5	
Vert-Bois	09/01/2009	0.7	3.6	13.9	-8.0	10.2	10.1
	10/01/2009	0.7	3.6	13.9	-8.0	10.2	
	11/01/2009	0.7	3.6	13.9	-8.0	10.2	
Marennes-Plage	09/01/2009	3.4		14.0	-8.0	9.4	9.5
	10/01/2009	3.5		14.0	-8.0	9.5	
	11/01/2009	3.5		14.0	-8.0	9.5	

Tableau 15 : Impact de la grande houle du 13 janvier 2009, prédiction et réanalyse

Prévision	Date	aV'	H	M ^c	k	φ	Réanalyse
La Belle-Henriette	15/01/2009	1.9	1.6	9.4	-8.0	4.9	5.5
	16/01/2009	3.1	1.4	9.4	-8.0	5.9	
	17/01/2009	2.6	1.3	9.4	-8.0	5.3	
Vert-Bois	15/01/2009	1.0	5.1	9.2	-8.0	7.3	7.4
	16/01/2009	1.5	4.7	9.2	-8.0	7.4	
	17/01/2009	1.3	4.9	9.2	-8.0	7.4	
Marennes-Plage	15/01/2009	4.8		9.4	-8.0	6.2	8.0
	16/01/2009	7.7		9.4	-8.0	9.1	
	17/01/2009	6.6		9.4	-8.0	8.0	

Tableau 16 : Impact du coup de vent du 19 janvier 2009, prédiction et réanalyse

Prévision	Date	aV'	H	M ^c	k	φ	Réanalyse
La Belle-Henriette	20/01/2009	2.8	1.8	10.6	-8.0	7.2	6.5
	21/01/2009	2.2	1.7	10.6	-8.0	6.5	
	22/01/2009	3.1	1.8	10.6	-8.0	7.5	
Vert-Bois	20/01/2009	1.4	5.7	10.5	-8.0	9.6	9.5
	21/01/2009	1.1	5.3	10.5	-8.0	8.9	
	22/01/2009	1.6	5.7	10.5	-8.0	9.8	
Marennes-Plage	20/01/2009	7.1		10.7	-8.0	9.8	9.1
	21/01/2009	5.6		10.7	-8.0	8.3	
	22/01/2009	7.8		10.7	-8.0	10.5	

Tableau 17 : Impact de la tempête du 24 janvier 2009, prédiction et réanalyse

A La Belle-Henriette, les photographies qui nous permettent de constater si les aléas météo-marins observés durant cette période ont eu ou non un impact sur le cordon littoral ont été prises les 04, 17, 23 et 27 janvier. Elles confirment les résultats de la reconstitution relative à l'indice d'érosion, qui ne montrent aucun dépassement de seuil. En effet, aucun phénomène d'érosion n'a été relevé sur ce site même si la position des lavis de mer témoigne de la manifestation de niveaux d'eau temporairement importants.

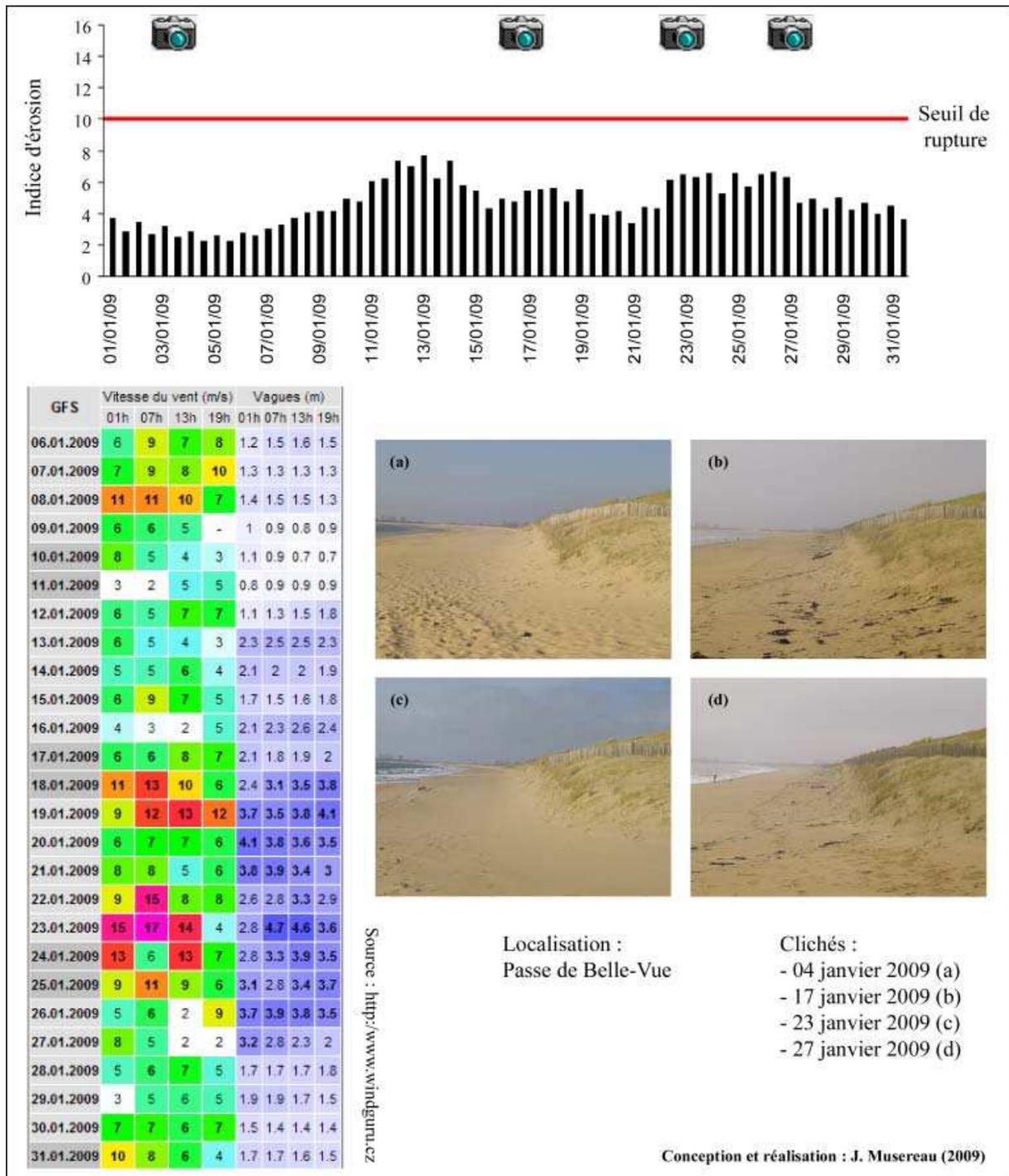


Figure 97 : Forçage météo-marin et réponse du milieu (La Belle-Henriette, janvier 2009)

A Vert-Bois, les photographies qui nous permettent de vérifier si les aléas météorologiques mesurés durant cette période ont bien eu un impact sur le cordon littoral ont été prises les 04, 17, 23 et 27 janvier. Elles confirment le léger dépassement de seuil simulé pour le 13 janvier puisqu'un recul de près d'1 m est observé par la suite. En revanche, situant cet événement à la limite du seuil de rupture, le modèle est mis en échec lors de la tempête du 24 janvier puisqu'un retrait de plus de 2 m est mesuré quelques jours plus tard.

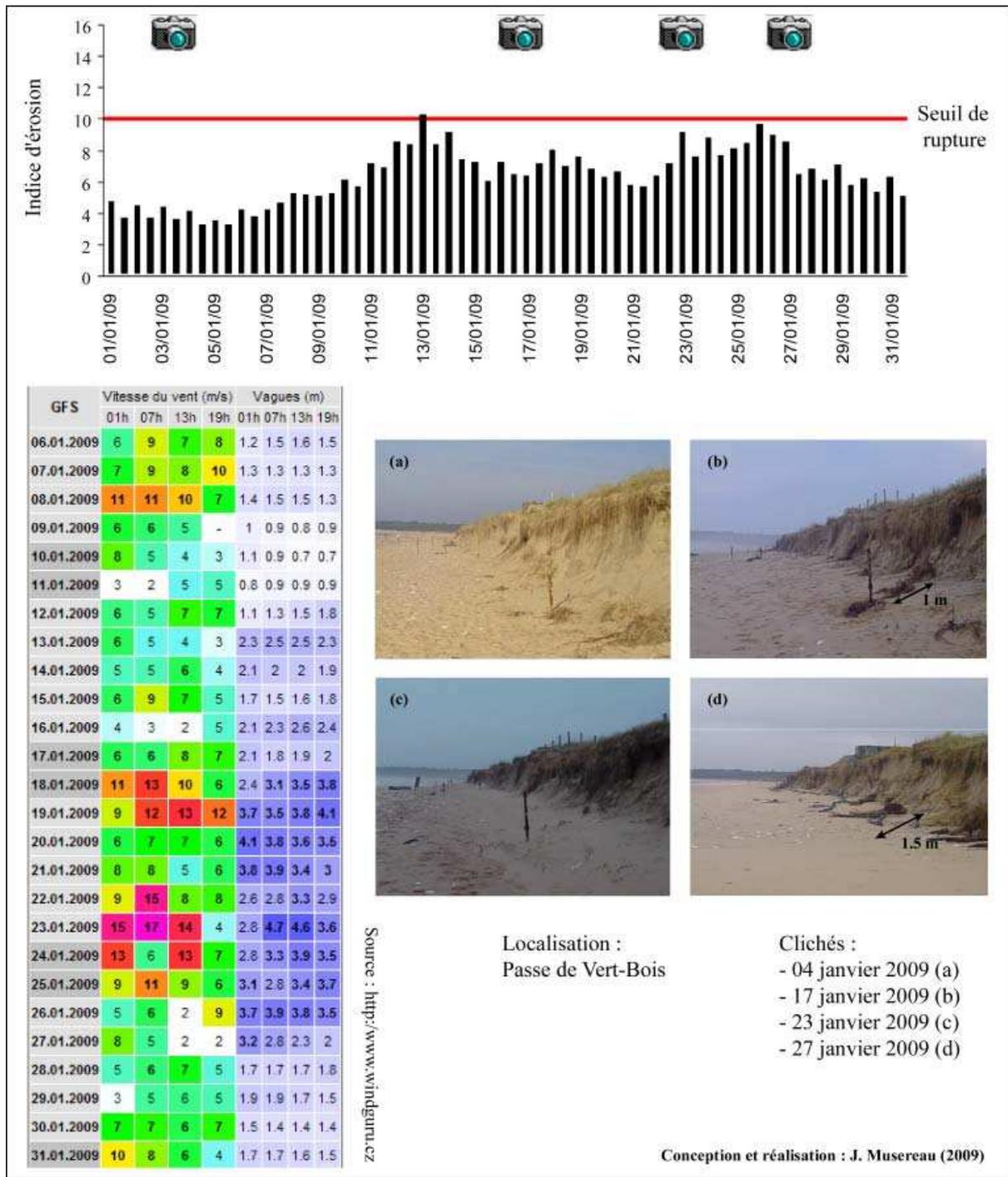


Figure 98 : Forçage météo-marin et réponse du milieu (Vert-Bois, janvier 2009)

A Marennes-Plage, les photographies qui nous permettent de constater si les aléas météo-marins observés au cours de ce mois ont eu un impact sur le cordon littoral ont été prises les 04, 17, 23 et 27 janvier. Dans ce cas précis, il est très difficile, voire impossible, de valider les résultats de la simulation car des travaux de remise en forme du cordon littoral ont eu lieu entre plusieurs points de comparaison. Ces interventions témoignent néanmoins de la fragilité du site au moment où les différents événements décrits plus haut se sont succédés.

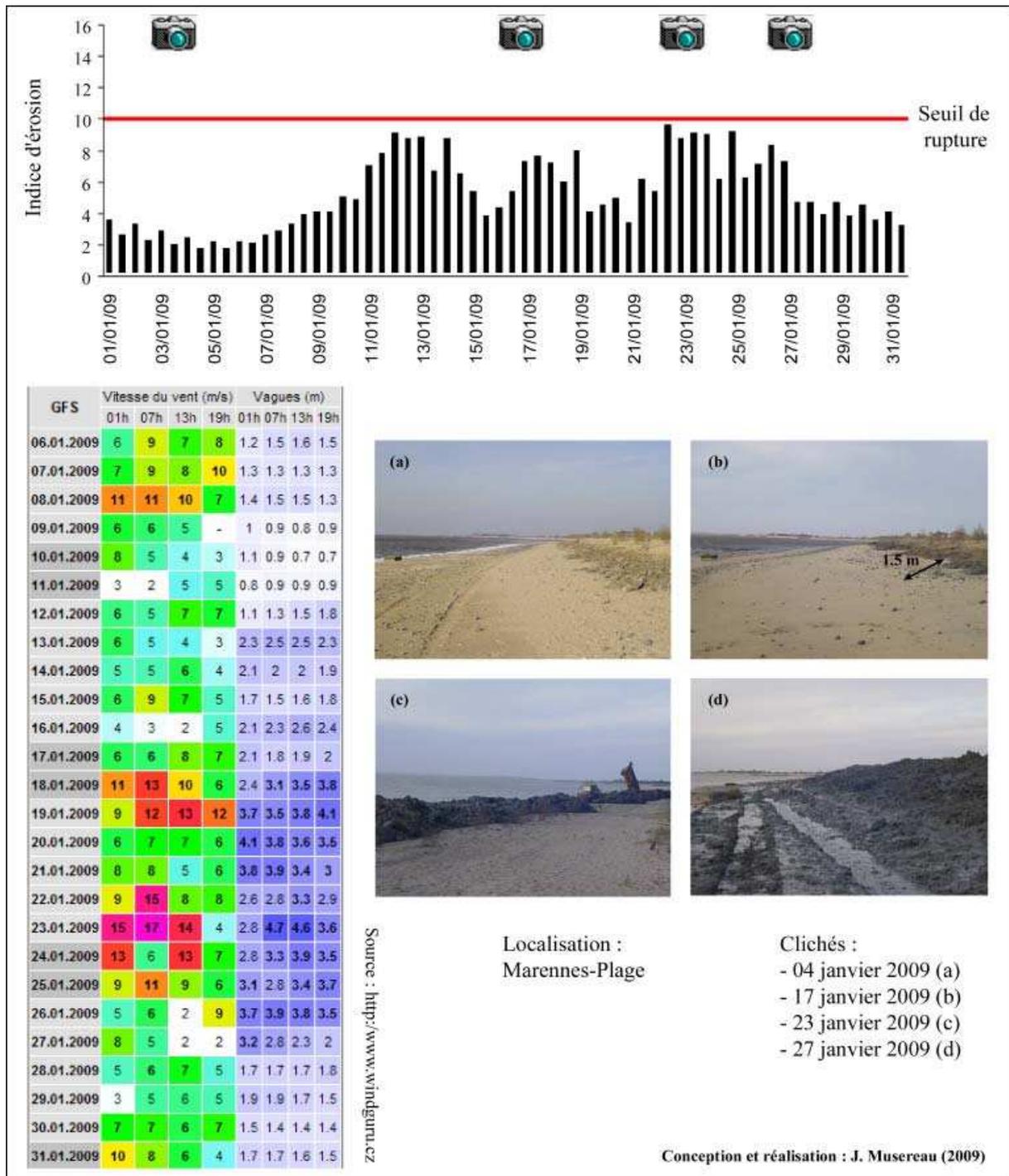


Figure 99 : Forçage météo-marin et réponse du milieu (Marennes-Plage, janvier 2009)

IV. 4. 5 Février 2009

Le mois de février 2009 est caractérisé par la succession de deux périodes en tous points différentes. La première quinzaine du mois est très agitée, avec un vent moyen souvent supérieur à 10 m.s^{-1} et des hauteurs de vague dépassant fréquemment 2 m. La seconde partie du mois est particulièrement calme, avec un vent moyen toujours inférieur à 10 m.s^{-1} et des hauteurs de vague ne dépassant que très rarement 1 m.

Cette analyse rétrospective est intégralement consacrée à la tempête du 10 février, baptisée *Quinten*. Ses principales caractéristiques (trajectoire, vitesse du vent en France et hauteur des vagues dans le Golfe de Gascogne) sont présentées en Annexe 28. Il s'agit tout d'abord de l'aléa météorologique le plus intense que nous ayons pu observer au cours du doctorat. Les rafales maximales sont mesurées durant la nuit du 9 au 10 février. Elles atteignent 137 km/h à la Pointe de Chassiron et 119 km/h au port de La Rochelle (source : Météo-France). La simulation des champs de vagues (modèle NWW3) affiche dans le même temps des valeurs supérieures à 5 m à proximité des côtes charentaises. Enfin, le cycle de marée au cours duquel cette tempête est survenue était particulièrement favorable à la manifestation de niveaux d'eau extrêmes, avec des coefficients de marée supérieurs à 100.

Fortement médiatisée en raison du passage récent de la tempête *Klaus*, l'information relative à la dangerosité de cet événement n'a cependant pas été transmise au grand public avant le 8 février (bulletins et vigilances de Météo-France). Nos propres expérimentations permettaient en revanche d'être plus précis et, surtout, d'anticiper plus en amont les risques induits par le potentiel érosif de cette tempête. Ainsi, dès le 4 février, nous étions en mesure d'affirmer que *Quinten* disposait de caractéristiques suffisamment alarmantes pour que le futur coup de vent soit pris très au sérieux. A partir de cette date les valeurs indiquées par notre indice d'érosion étaient sans équivoque. Quel que soit le site concerné, des dépassements de seuil proches ou supérieurs à ceux réanalysés après la tempête du 10 mars 2008 (qui avait elle-même provoqué de nombreux dégâts) ont été calculés et confirmés à chaque actualisation du modèle. Ainsi, les 4, 5, 6 et 7 février, avant que le dispositif national de mise en alerte n'entre réellement en vigueur, nous avons télédiffusé plusieurs BMS (Bulletin Météo Spéciaux) à destination des services communaux concernés par cette étude. Nous verrons plus tard que ces bulletins de vigilance ont été très précieux pour la municipalité de Marennes, qui a alors pu effectuer des travaux préventifs sur son cordon littoral et éviter tout risque de submersion.

Le bulletin envoyé le 04 février à la commune de Dolus-d'Oléron (plage de Vert-Bois) est présenté ci-après à titre indicatif (Figure 100). Ces bulletins d'alerte reposent sur une description générale du phénomène (la tempête) et des risques encourus dans les zones exposées aux aléas qu'ils concernent (recul du trait de côte et risque de débordement côtier). Ces risques sont illustrés à l'aide de graphiques représentant des valeurs de *Run-up* simulées à partir des Equations 1 et 2 (cf. I. 2. 2).

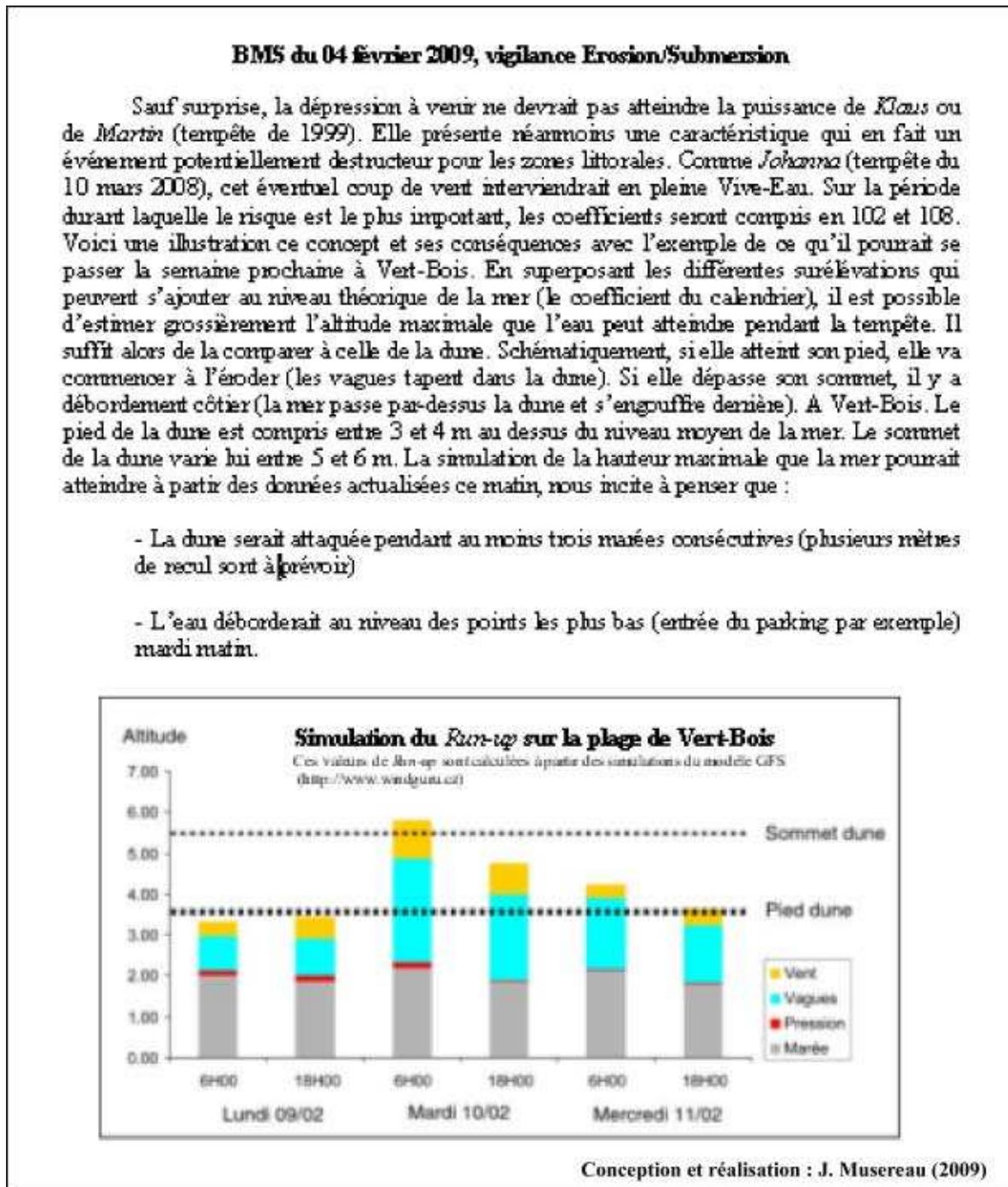


Figure 100 : Bulletin de vigilance diffusés 6 jours avant la tempête *Quinten*

Le Tableau 18 donne le détail des prédictions et des réanalyses correspondant à la tempête du 10 février 2009. Les Figures 102, 103 et 104 permettent de vérifier que l'indice d'érosion construit à partir des événements qui l'ont précédé n'a aucune difficulté à identifier les aléas littoraux (érosion/submersion) engendrés par la tempête *Quinten*.

Prévision	Date	aV'	H	M ^c	k	φ	Réanalyse
La Belle-Henriette	09/01/2009	3.7	2.0	14.0	-8.0	11.7	11.9
	10/01/2009	4.2	2.9	14.0	-8.0	13.1	
	11/01/2009	4.3	1.9	14.0	-8.0	12.2	
Vert-Bois	09/12/2008	1.8	6.4	13.9	-8.0	14.1	15.1
	10/12/2008	2.1	9.4	13.9	-8.0	17.4	
	11/12/2008	2.1	6.2	13.9	-8.0	14.2	
Marennes-Plage	09/12/2008	9.2		14.0	-8.0	15.2	15.5
	10/12/2008	10.6		14.0	-8.0	16.6	
	11/12/2008	10.8		14.0	-8.0	16.8	

Tableau 18 : Impact de la tempête du 10 février 2009, prédiction et réanalyse

Enfin, nous tenions à revenir sur des éléments qui seront discutés plus avant dans la partie consacrée aux incertitudes et aux développements nécessaires à ce travail de modélisation. Que ce soit par le biais d'un indice ou d'un modèle analytique (*Run-up*), de nombreux progrès sont à réaliser dans le domaine de la prédiction à court terme des aléas littoraux. L'exemple qui suit (Figure 101), montre combien les phénomènes et les processus qu'ils induisent sont extrêmement variables d'un point à l'autre du littoral, que les proportions du recul observé peuvent être radicalement différentes sur des périmètres pourtant particulièrement réduits.



Figure 101 : Variété et variabilité des processus érosifs (Quinten)

Photos :

09/02/2009 (à gauche)

12/02/2009 (à droite)

A La Belle-Henriette, les photographies qui nous permettent d'évaluer l'impact de la tempête du 10 février 2009 ont été prises les 9, 12 et 26 février. Elles confirment pleinement le dépassement de seuil simulé plusieurs jours à l'avance et reconstitué *a posteriori* sur le graphique qui suit. En effet, le cordon littoral a été taillé en falaise. L'amplitude du recul du front de dune est légèrement supérieure à celle observée en mars 2008. Par la suite, une phase de reconstitution des stocks sédimentaire a débuté.

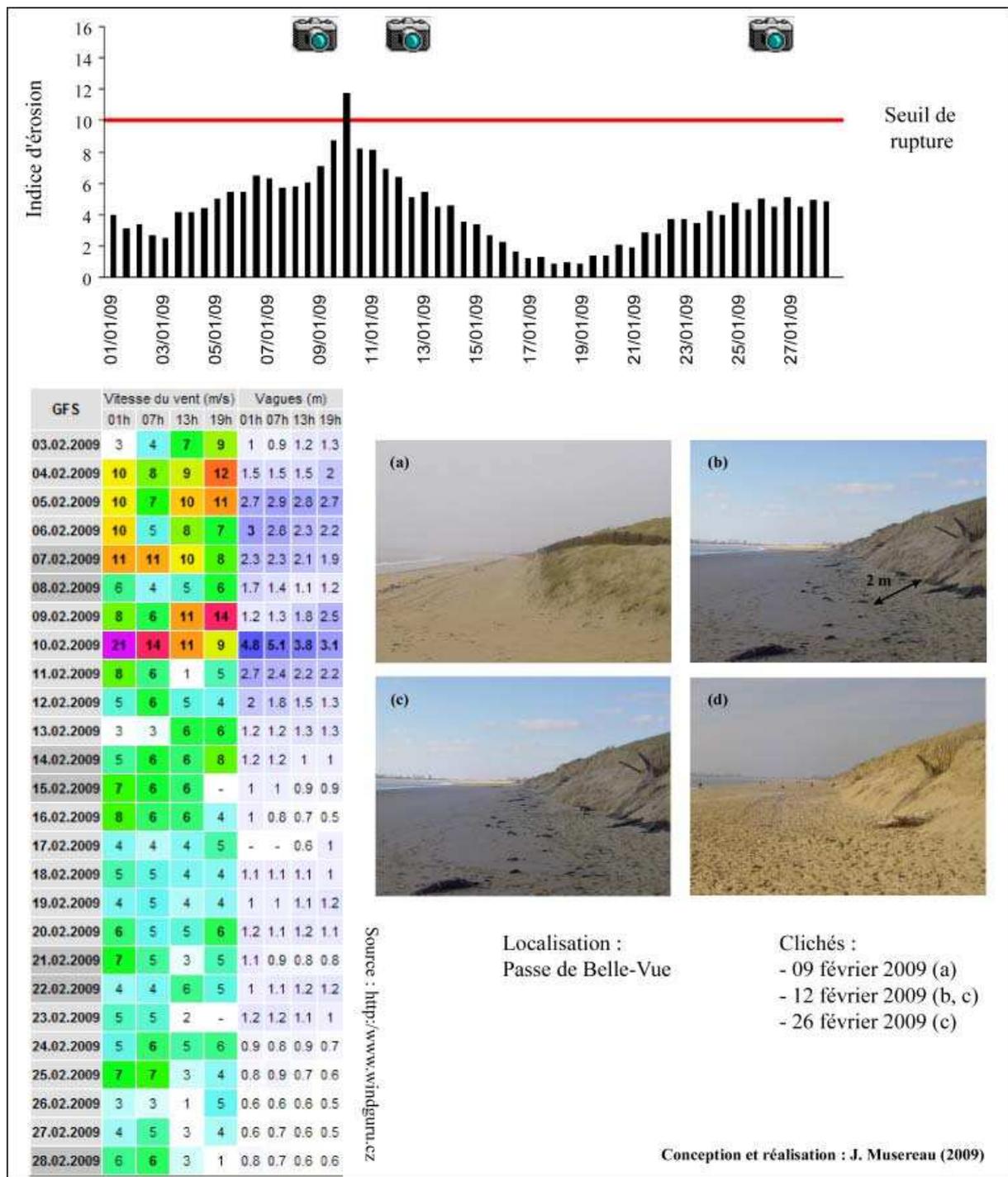


Figure 102 : Forçage météo-marin et réponse du milieu (La Belle-Henriette, février 2009)

A Vert-Bois, les photographies qui nous permettent d'évaluer l'impact de la tempête du 10 février 2009 ont été prises les 9, 12 et 26 février. Elles confirment pleinement le dépassement de seuil simulé plusieurs jours à l'avance et reconstitué *a posteriori* sur le graphique qui suit. L'amplitude du recul du front de dune est spectaculaire. Elle atteint environ 8 m au droit des blockhaus, qui ont certainement joué un rôle important de ce point de vue (perturbation local de l'hydrodynamisme et concentration du jet de rive).

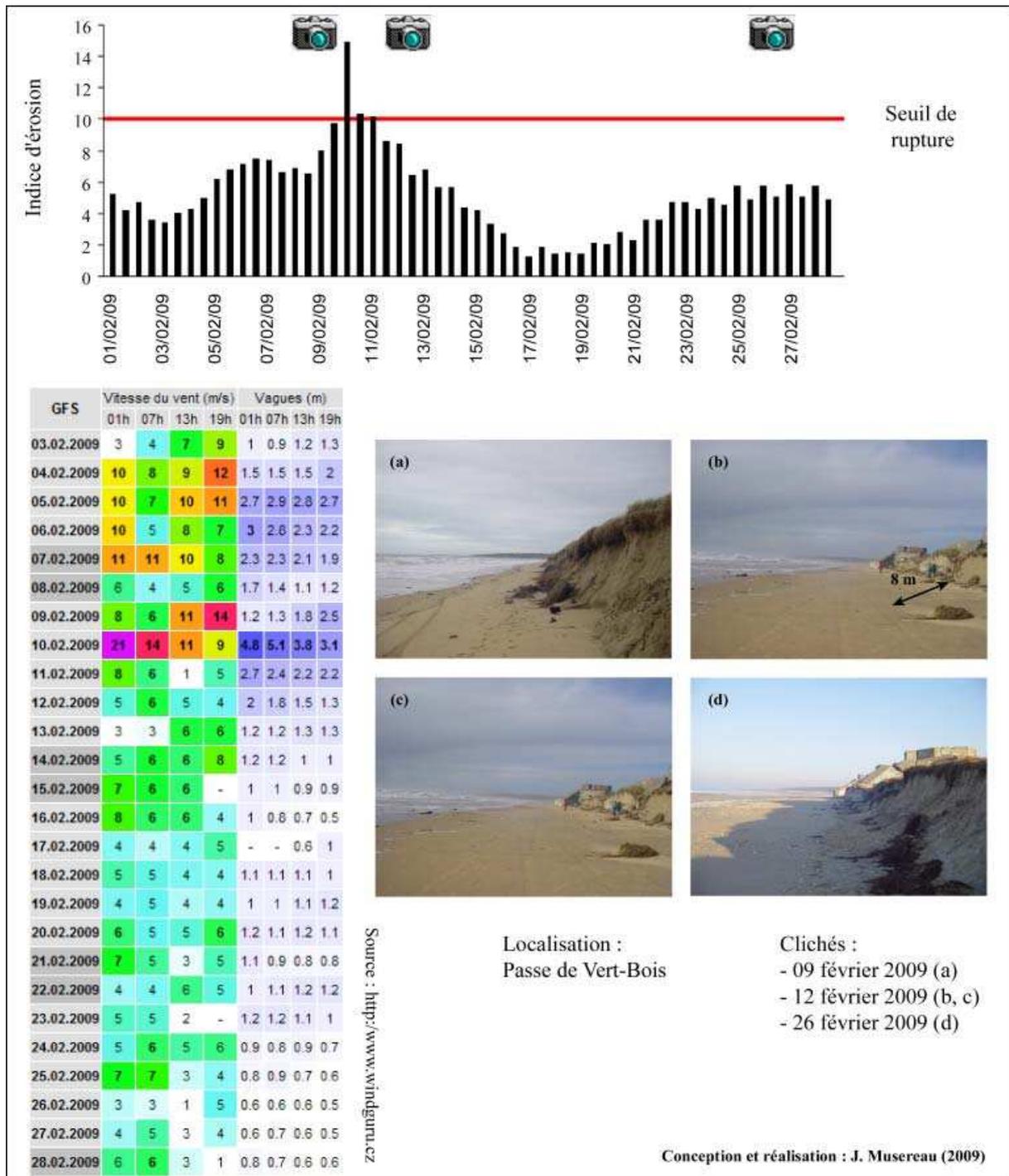


Figure 103 : Forçage météo-marin et réponse du milieu (Vert-Bois, février 2009)

A Marennes-Plage, les photographies qui nous permettent d'évaluer l'impact de la tempête du 10 février 2009 ont été prises les 9, 12 et 26 février. En raison des nombreux travaux de consolidation puis de reprofilage du cordon littoral qui ont été effectués dans le même temps, ces clichés ne sont certes pas très explicites. Ils montrent toutefois que ces interventions préventives (anticipées sur la base des BMS transmis plusieurs jours avant la tempête) ont été relativement efficaces compte tenu de la magnitude de cet aléa.

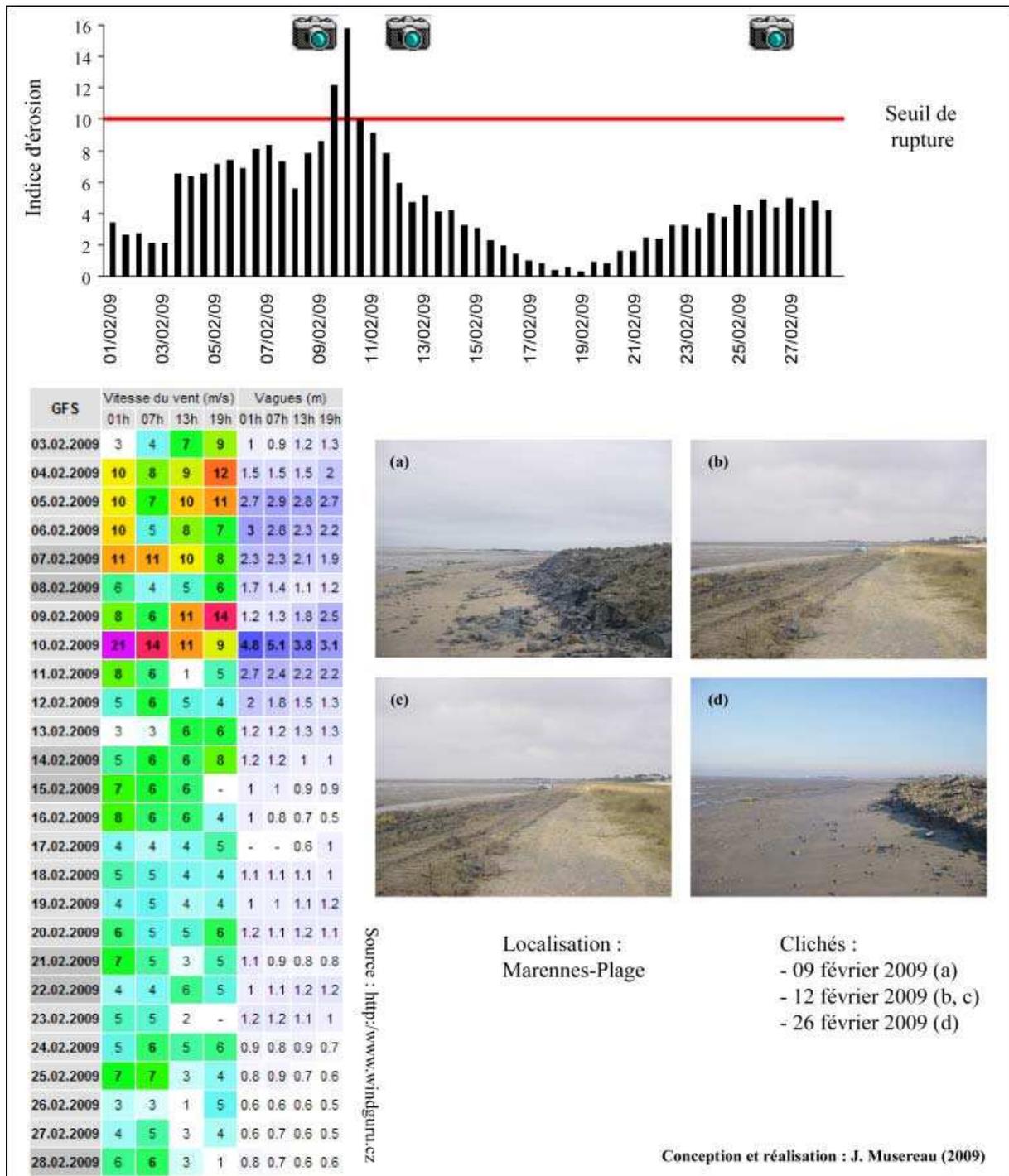


Figure 104 : Forçage météo-marin et réponse du milieu (Marennes-Plage, février 2009)

IV. 5 DEVELOPPEMENTS ET PERSPECTIVES DE L'OUTIL

Bien que des résultats très encourageants aient déjà été obtenus, notre méthode présente un certain nombre de limites qu'il est impératif d'évaluer avec rigueur. Grâce à cela, nous pensons qu'il est possible d'améliorer l'outil et envisageons qu'il puisse être employé de manière opérationnelle. Ces limites sont tout d'abord inhérentes à l'imprécision du modèle en lui-même, à sa dimension inévitablement réductrice et au fait qu'il soit alimenté par des données déjà simulées (modèles GFS et NWW3, marées calculées). En-dehors de cela, comme tout modèle basé sur des valeurs seuils, il subsiste un doute sur ses capacités à produire des résultats satisfaisants pour les conditions aux limites (lorsque les valeurs obtenues sont très proches du seuil de rupture). Ces imperfections d'ordre conceptuel peuvent aussi être exacerbées par un élément très difficile à appréhender : la résilience des plages. L'effet de cette variable est assez simple à définir. Si le site a été impacté récemment, il devient logiquement plus sensible à l'érosion ; autrement dit, son seuil de résilience/rupture est amoindri. En revanche, du fait de sa nature volatile, il n'est pas certain que ce facteur soit réellement quantifiable. Il est sans doute préférable de réfléchir à d'autres manières de l'estimer. L'indice que nous proposons présente néanmoins un double intérêt. Emanant d'un travail de modélisation plus simple à mettre en oeuvre, il permet aux experts d'affiner leurs simulations numériques (modèles de *Run-up* par exemple), en leur permettant notamment de mieux cibler quels sont les moments opportuns pour effectuer des mesures sur le terrain. Sur la base de ces premiers résultats, nous avons également construit une échelle de risques dans l'optique de développer un système de veille climatique appliqué plus spécialement aux aléas littoraux (érosion/submersion).

IV. 5. 1 Un modèle à affiner...

L'expérience des différents événements décrits dans le paragraphe précédent nous a permis de vérifier et valider la capacité prédictive de l'indice d'érosion mis au point au cours de cette thèse. L'outil doit cependant faire l'objet d'améliorations. Ses imperfections portent essentiellement sur trois domaines : la conception même du modèle à partir duquel les calculs sont effectués (la définition d'un seuil), la qualité des données qui alimentent ce modèle (les simulations numériques de la NOAA, modèle GFS) et le protocole employé pour définir un seuil local de rupture (la quantité et la qualité des observations nécessaires à sa validation par le terrain).

L'une des faiblesses de notre indice d'érosion, puisqu'il est basé sur l'interprétation d'un effet de seuil, réside dans l'incertitude concernant les conditions aux limites. Le choix méthodologique de séparation graphique entre deux états, un milieu résilient et une rupture, en est à l'origine. La marge d'erreur qui en découle reste difficilement quantifiable mais elle peut avoir une incidence notable sur l'interprétation des résultats. Cela ne pose pas de problème quand il est question d'anticiper un aléa de forte magnitude, un large dépassement de seuil (cas des tempêtes de mars 2008 et de février 2009). Cette problématique prend tout son sens dès lors qu'il s'agit de simuler un aléa dont la magnitude est très proche du seuil théorique de rupture (cas de la tempête de janvier 2009).

Des remarques du même ordre ont été développées par R. S. Young *et al.* (1995) à propos du modèle SBEACH (M. Larson et N. C. Kraus, 1989). Le modèle SBEACH repose sur une formule analytique destinée à prévoir, en terme d'érosion (recul du trait de côte), les incidences d'une tempête sur la plage et sur la dune. Dans la conception de SBEACH, Larson et Kraus ont mis au point une méthode de prédiction des phases d'érosion/accrétion du profil de la plage (Equation 19), en démontrant qu'il existe une relation entre, d'une part, une valeur déterminant la cambrure des vagues (H_0/L_0) et, d'autre part, le ratio entre leur hauteur (H_0) et le produit de leur vitesse d'effondrement (w) par leur période (T). L'ajustement de leur équation est tiré d'une séparation visuelle des situations qu'ils ont pu mesurer sur le terrain. Ils ont choisi de représenter le résultat de leurs mesures expérimentales dans un espace logarithmique afin de tirer une droite qui sépare les deux états possibles du système plage-dune. Avec les mêmes données, E. R. Thieler *et al.* (2000) ont employé une analyse discriminante linéaire (ADL) pour tracer objectivement la droite séparant les cas mesurés. Le résultat de cette discrimination montre que la droite de M. Larson et N. C. Kraus (1989) se situerait en dehors de la zone délimitant un degré de confiance de 95%.

Equation 19 $H_0/L_0 = 0.00070(H_0/wT)^3$

Il convient également de préciser que les données de simulation qui servent aux calculs (modèle GFS et NWW3) sont elles mêmes génératrices d'erreurs. L'imprécision du modèle GFS a pu être estimée en comparant les valeurs simulées par le modèle numérique aux relevés effectués au sémaphore de Chassiron (Météo-France). Cette évaluation concerne les vitesses et orientations du vent. Elle a été menée sur une période équivalente à celle du suivi topographique, à savoir durant les hivers 2006-2007 et 2007-2008 (Figure 105).

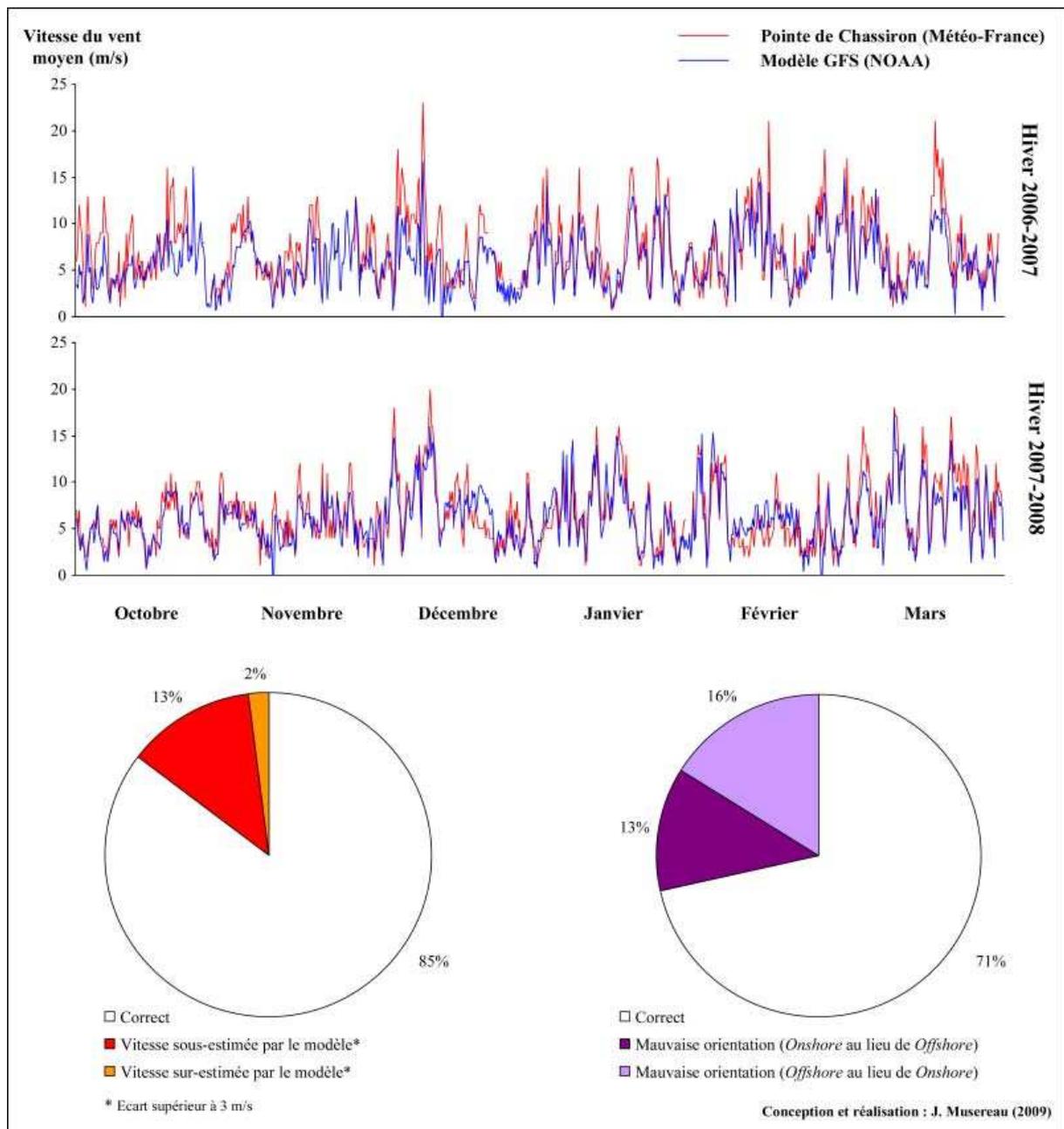


Figure 105 : Les imprécisions du modèle GFS

En ce qui concerne l'orientation du vent, deux types d'erreurs ont pu être identifiés : la simulation d'un vent de mer alors qu'il vient en réalité de la terre ; la simulation d'un vent de terre alors qu'il vient en réalité de la mer. Ces erreurs sont généralement associées à des vitesses très faibles et/ou lorsque les effets de brise côtière sont mal appréhendés par le modèle. Dans notre cas, cela n'a pratiquement aucune conséquence. Pour la vitesse du vent, deux types d'erreurs ont pu également être identifiés : une sous-estimation ou une surestimation de cette vitesse par rapport à la réalité. La principale limite du modèle GFS est qu'il sous-estime presque systématiquement la vitesse du vent lorsque celui-ci atteint une

forte intensité, à savoir en cas de tempête. Ce biais restreint d'autant plus les capacités de notre indice d'érosion que celui-ci est précisément destiné à prédire les effets induits par ce type d'aléas météo-marins.

Par ailleurs, notre indice ne peut être adapté aux conditions locales qu'au prix d'un long travail d'observation et de suivi. Autrement dit, il est presque indispensable de disposer d'une base de données d'événements érosifs, qu'il faut régulièrement mettre à jour. Cela nécessite à la fois une bonne connaissance des conditions géomorphologiques qui déterminent le processus de rupture et un archivage précis des conditions météo-marines qui y conduisent. Les limites de cette méthode relèvent des échelles spatio-temporelles choisies pour sa validation par le terrain. Les tendances établies à partir du calcul d'un volume (MNT) ne traduisent pas forcément la réalité d'un budget sédimentaire. Afin d'établir ce bilan, il serait utile de pouvoir disposer de données complémentaires, notamment une estimation fiable du budget sédimentaire de la cellule à laquelle appartiennent les parcelles où ont lieu les mesures. Comme nous avons pu le démontrer plus haut, lorsqu'une tempête impacte le littoral, celle-ci peut le faire de différentes manières (attaque du pied de dune, submersion partielle ou totale...), avec des conséquences tout aussi variées. Le cas de la tempête *Quinten* (10 février 2009) sur le site de Vert-Bois est un exemple tout à fait représentatif. Certes, son impact a pu être anticipé et décrit grossièrement plusieurs jours avant que la dune ne soit effectivement érodée. Par contre, il nous fut impossible de prévoir des taux de recul aussi variables que ceux mesurés par la suite sur le terrain. De près de 8 m au droit des blockhaus, le recul n'a pas dépassé 4 m au sud de la plage (avec une moyenne de 2 m dans ce secteur).

Sur ces différents points qui limitent l'efficacité de notre méthode, quelques pistes sont à développer. Les modes de calcul présentés plus haut peuvent sans doute être améliorés. Bien entendu, il n'est pas de notre ressort d'optimiser le réalisme du modèle GFS. Nous pouvons cependant renforcer la périodicité des « mesures ». En effet, les données de simulation des vitesses du vent et de hauteurs des vagues sont désormais disponibles sur un pas de temps tri-horaire. L'intégration de ces données intermédiaires permettrait d'affiner le calage entre les conditions d'agitation et la marégraphie. Comme cela a été évoqué à plusieurs reprises dans ce travail, la manifestation de niveaux d'eau extrêmes (ceux qui sont susceptibles de mettre en péril les formes littorales) est étroitement dépendante du phasage entre ces principaux facteurs dynamiques. Enfin, nous pensons que le protocole à mettre en place pour définir un seuil de rupture sur un site donné ne passe pas forcément par la multiplication de mesures de haute précision visant à obtenir des données quantitatives. Cette

méthodologie, qui n'est certainement pas transposable en l'état, peut éventuellement être adaptée à des contextes matériels peu favorables. Il suffit pour cela de disposer d'un archivage plus ou moins précis d'informations relatives aux tempêtes et à leurs conséquences spatiales (presse locale, témoignages, photographies, relevés éventuels...).

IV. 5. 2 La résilience des plages : un paramètre très difficile à quantifier

Il y a un autre facteur prépondérant qui n'est pas pris en compte par notre indice d'érosion, du moins sous sa forme actuelle. Il s'agit de la résilience des plages. Ce paramètre est pourtant essentiel. Il permet de répondre en partie à l'une des principales problématiques qui, selon nous, est à l'origine des limites actuelles de la modélisation prédictive des aléas littoraux, et ce quelque soit la méthode privilégiée. L'information qu'il comporte contribue notamment à expliquer pourquoi, à forçage équivalent (lorsque deux tempêtes comparables impactent le littoral), on peut observer des réponses morphologiques parfois très inégales.

La résilience (lat. « ressauter ») est, à l'origine, un terme utilisé pour décrire la résistance des matériaux aux chocs. En fonction du domaine étudié et du point de vue que l'on adopte, son sens peut évoluer considérablement (R. J. T. Klein *et al.*, 2003). En l'appliquant aux systèmes socio-écologiques, S. Carpenter *et al.* (2001) en ont proposé la définition suivante : il s'agit de « *la quantité de perturbation qu'un système peut absorber et cependant se maintenir au sein du même état ou domaine d'attraction (auto-organisation)* ». Conceptuellement, cette notion est très pertinente pour l'étude des systèmes côtiers (D. L. Forbes *et al.*, 1995 ; J. D. Orford *et al.*, 1995 ; J. D. Orford *et al.*, 2002 ; S. Trudgill et A. Roy, 2004 ; H. Regnauld *et al.*, 2004b ; A. J. Long *et al.*, 2006). Dans ce cas précis, il s'agit de mesurer la capacité des formes littorales à absorber un forçage incident (l'énergie d'une tempête) et retrouver ensuite leur état initial. En pratique, la résilience est le plus souvent appréhendée de manière qualitative (N. L. Betts *et al.*, 2004), car elle est interdépendante d'autres notions elles-mêmes difficilement quantifiables, la vulnérabilité et la capacité d'adaptation (G. C. Gallopin, 2006 ; W. N. Adger, 2006). Dans son application au comportement des systèmes littoraux, la difficulté vient de ce qu'il est délicat de prendre en compte un effet de mémoire vis-à-vis des événements passés. Cette relation mutuelle où « *les modifications des formes engendrées par les agents sont susceptibles d'engendrer des modifications sur les agents, qui peuvent engendrer en retour de nouvelles modifications sur les formes.* » (Tiré de P. J. Cowell et B. G. Thom, 1994) implique une grande incertitude.

Il existe tout d'abord un effet cumulatif lié à la durée de la tempête, un facteur qui peut fortement influencer l'extension géographique de son impact morphologique (J. H. Balsillie, 1986 ; H. Lamb et K. Frydendahl, 1991 ; R. Dolan et R. Davis, 1992 ; D. L. Kriebel *et al.*, 1997). Prenons l'exemple des tempêtes *Isaak* (09 décembre 2007) et *Johanna* (10 mars 2008). Hormis quelques dissemblances concernant l'amplitude de la marée au moment de leurs passages respectifs (ce qui explique pourquoi des phénomènes érosifs ont eu lieu ou non dans le cas de La Belle-Henriette par exemple ; cf. IV. 3. 1), ces deux événements présentent d'importantes similitudes en terme d'intensité. Les vitesses de vent et les hauteurs de vagues enregistrées au cours des deux tempêtes sont en effet très proches (Figure 106). Cependant, comme nous avons pu le constater sur le terrain, dans certains cas, leurs conséquences n'ont rien eu de comparable. En réalité, la première n'a pratiquement pas engendré d'érosion sur le littoral vendéo-charentais alors que la seconde est à l'origine d'un épisode d'érosion localement important (exemples de Vert-Bois et de Marennes-Plage ; cf. IV. 4. 1). Cette dichotomie s'explique en grande partie par le fait que les conditions de forte agitation ont été plus durables en mars 2008 qu'en décembre 2007.

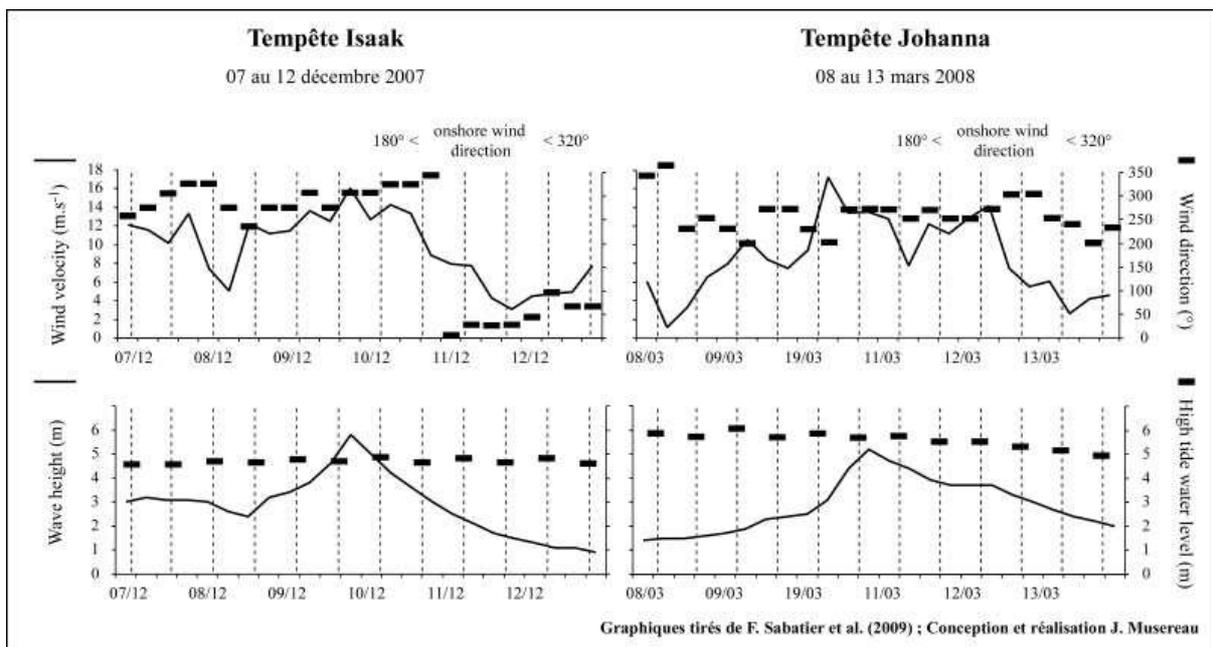


Figure 106 : Analyse comparative des tempêtes *Isaak* et *Johanna*

Au sein du protocole de calculs présenté auparavant, nous sommes en mesure d'apporter quelques améliorations à ce sujet. Comme l'illustre le Tableau 19, dans le cas où les conditions de tempête perdurent, en procédant au simple comptage des points d'indice situés au-delà du seuil de résilience/rupture (lorsque ϕ est supérieur à 10), on peut restituer

grossièrement l'effet cumulatif dont il est question. Cet apport méthodologique serait peu restreignant dans son application car il n'impose aucun recours à des données supplémentaires. La difficulté réside en revanche dans notre capacité à disposer de données suffisamment fiables pour effectuer ce comptage à des échéances de prédiction maximales (problème lié à la marge d'erreur du modèle source ; cf. IV. 5. 1).

<i>Sites concernés</i>	<i>Tempête Isaak</i>		<i>Tempête Johanna</i>	
	Cumul points	Erosion	Cumul points	Erosion
La Belle-Henriette	0.0	nul	1.1	Limitée
Vert-Bois	2.5	Limitée	7.9	Importante
Marennes-Plage	0.6	Limitée	7.2	Importante

Tableau 19 : L'impact fonction de la durée de l'aléa

Il est par ailleurs admis que l'impact d'une tempête sera potentiellement plus important si elle fait suite à un autre événement qui a déjà engendré des phénomènes d'érosion (M.-H. Ruz et C. Meur-Férec, 2004). La question du rapport entre la fréquence et la magnitude des aléas responsables de la dégradation du littoral n'est pas nouvelle (S. D. Halsey 1986 ; N. W. Scheffer, 1989). L'idée selon laquelle la succession de tempêtes, ou groupes de tempêtes (*storms group*), est plus influente que leur intensité absolue a été avancée récemment par de nombreux auteurs (N.P. Psuty et E. Rohr, 2000 ; D. L. Forbes *et al.*, 2004 ; O. Ferreira, 2006 ; J. Musereau *et al.*, 2007 ; V. Claudino-Sales *et al.*, 2008 ; D. P. Callaghan *et al.*, 2008). Selon R. A. Morton *et al.* (1995), la sensibilité d'une plage à l'érosion dépendrait avant tout du rapport entre la fréquence des tempêtes et la période nécessaire à sa reconstitution. Cette relation serait même dominante dans le cas des plages soumises à un déficit sédimentaire, une situation somme toute assez fréquente. Nous avons choisi l'exemple de la plage de Vert-Bois pour illustrer ce rôle de la fréquence des aléas sur le niveau de résilience du système. Il nous permet en premier lieu de formaliser ce concept à partir des enregistrements et des relevés effectués en 2003. Une analyse comparative des tempêtes *Johanna* (10 mars 2008) et *Quinten* (10 février 2009), en relation avec le contexte morpho-sédimentaire au sein duquel elles sont intervenues, nous permet ensuite de montrer combien il est délicat de s'essayer à quantifier un élément dont l'influence s'articule avant tout en fonction d'une temporalité.

En janvier et février 2003, au cours d'un suivi topographique quotidien, nous avons relevés plusieurs épisodes d'érosion successifs (celui du 18 au 22 janvier puis celui du 1^{er} au 5

février et enfin celui du 18-19 février). Au fil du temps, la plage de Vert-Bois est sans doute devenue de moins en moins apte à absorber un nouvel impact. En d'autres termes, à mesure que les tempêtes l'ont dégradé, la plage de Vert-Bois a souffert d'un déficit de résilience. Typiquement, cela s'est traduit par la présence d'une dune taillée en falaise et d'une plage aplatie dont l'altitude se réduit peu à peu. Ce défaut de résilience (Figure 107) explique en partie pourquoi l'événement de la fin février, pourtant moins durable et de moindre intensité que les deux précédents, a tout de même engendré une ablation très profonde du haut de plage et un recul significatif du front de dune. La magnitude de cet épisode morphogène a en effet été plus importante que celle des phases d'érosion que nous avons mesurées après les coups de vent de la fin janvier et du début février 2003. Dans cet exemple, le défaut de résilience ne fait aucun doute. Trois « coups de vent » fortement incidents se sont répétés en moins d'un mois. Naturellement, peu de plages sont en mesure de se reconstituer aussi rapidement. Qu'en est-il si ces épisodes sont plus espacés dans le temps ? Par quel moyen peut-on mesurer la relation que nous venons d'appréhender entre la fréquence des coups de vent et la durée nécessaire à la reconstitution du stock sédimentaire qui constitue la plage ?

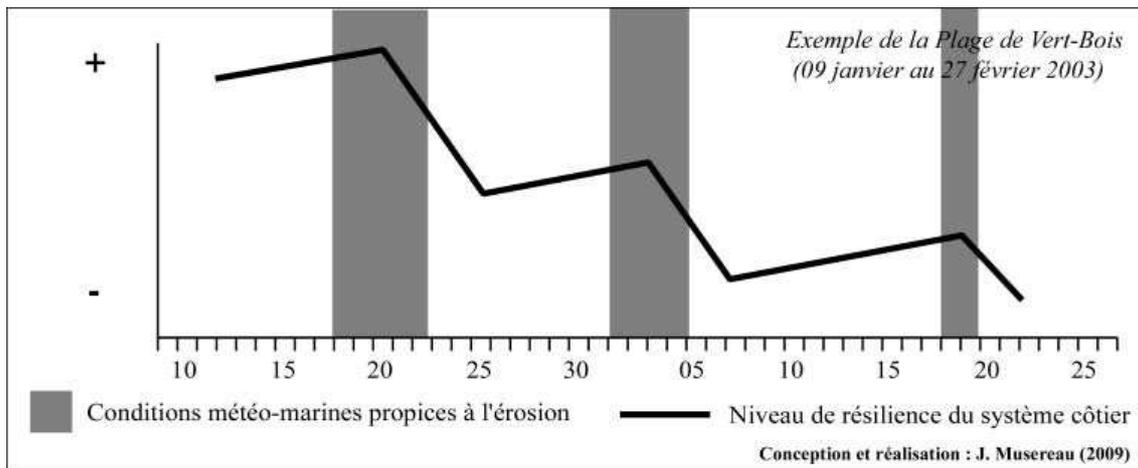


Figure 107 : Répétition d'événements morphogènes et résilience du système côtier

Pour tenter de répondre à ces questions, nous avons réuni différentes informations relatives à deux tempêtes récentes particulièrement morphogènes. Il s'agit de *Johanna* et de *Quinten* (Figure 108). Ces données sont, d'une part, la pression atmosphérique et la vitesse du vent moyen relevées au sémaphore de Chassiron et, d'autre part, la hauteur significative des vagues au large d'Oléron (réanalyse du modèle NWW3). Elles nous permettent de reconstituer *a posteriori* les valeurs de *Run-up* induites par les deux tempêtes. Là encore, les similitudes sont frappantes du point de vue intensité, avec cette fois une marégraphie pratiquement identique. En ce qui concerne la durée pendant laquelle des valeurs extrêmes de

Run-up sont enregistrées, ce comparatif montre clairement que *Johanna* aurait dû avoir un impact plus important que *Quinten*. Or, c'est bien le contraire qui est arrivé puisque les reculs engendrés par ces deux tempêtes sont respectivement de 3 et 8 m au droit des blockhaus. Il y a bien entendu la question de la variabilité spatiale des processus d'érosion que nous avons déjà évoqué précédemment. Mais cette illustration montre aussi qu'il est indispensable d'en restituer la dimension temporelle. Autrement dit, on ne peut prétendre prévoir l'impact d'une tempête si l'on ne dispose pas d'une information suffisante à propos du contexte au sein duquel elle intervient, si l'on ne connaît pas le passé récent de la plage.

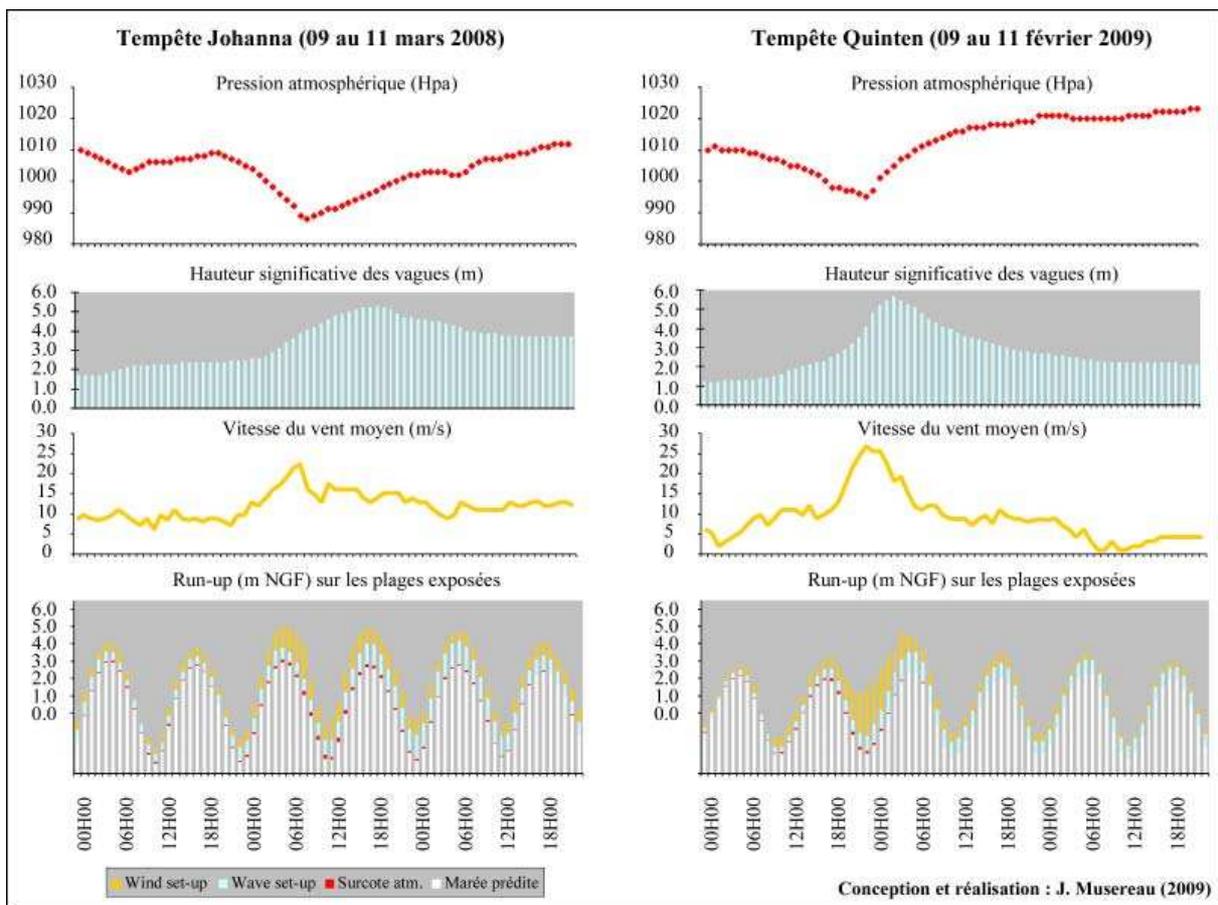


Figure 108 : Analyse comparative des tempêtes *Johanna* et *Quinten*

Au début de l'année 2008, avant l'arrivée de *Johanna*, nous relevions une longue période de temps relativement calme entrecoupée de périodes d'agitation dont la magnitude n'était cependant pas suffisante pour impliquer une rupture du système. Au contraire, nous pensons même que ces aléas d'intensité intermédiaire peuvent, dans une certaine mesure, contribuer au renouvellement du stock sédimentaire de la plage, en permettant notamment la captation de matériel au niveau des petits fonds [cf. coloris des MNT différentiels (Figures 70 et 71) et « pics » sur les graphiques (Figures 77 et 80)]. De plus, la dernière tempête ayant

érodé la dune de Vert-Bois datait de décembre 2007 (*Isaak*). C'est tout l'inverse qui s'est produit en 2009. Durant les semaines qui ont précédé l'arrivée de *Quinten*, il y a eu *Klaus* (fin janvier 2009) et, encore quelques jours avant, une puissante houle combinée à de très forts coefficients de marée (mi-janvier 2009). Ces deux passés radicalement différents sont sans doute à l'origine des résultats contradictoires que nous venons de présenter. A défaut de construire une méthode rigoureuse et quantitative pour intégrer ce paramètre à notre modèle, à ce stade, nous ne pouvons qu'éluder la question en invoquant l'intérêt de suivre régulièrement l'état du système plage-dune. Nous insistons également sur le fait qu'il faille être particulièrement vigilant vis-à-vis des données que l'on traite et sur leur limite explicative.

IV. 5. 3 Vers une échelle de risques à destination des collectivités

Dans le domaine de la prédiction des événements violents, l'approche probabiliste (exemple récent parmi d'autres : D. P. Callaghan *et al.*, 2008) s'est progressivement imposée comme une méthode de simulation fiable et suffisamment réaliste pour développer des outils d'aide à la décision (S. Suanez *et al.*, 2007). Cette démarche s'inspire directement de l'application de la théorie des valeurs extrêmes, comme l'avait fait en son temps E. J. Gumbel (1957) à propos des débits de crues. Celui-ci a toujours eu un regard critique sur la théorie qu'il cherchait à appliquer : « *D'abord, il nous faut des observations précises ; beaucoup ne le sont pas. Puis nous avons besoin de longues séries d'observations comparables. C'est rarement le cas puisque tout aménagement du cours d'eau change la rivière. Enfin, nous supposons que les observations initiales (les débits journaliers) dont on tire les plus grandes valeurs annuelles (les crues) sont indépendantes et que le nombre d'observations est très élevé. Ce n'est pas le cas.* » (Tiré de E. J. Gumbel, 1957).

Nous partageons le même constat en ce qui concerne nos propres données. Car, pour appliquer cette méthodologie aux tempêtes à impact, encore faut-il avoir observé et mesuré un nombre important d'événements de cette nature. Cela fut bien entendu impossible le temps d'un doctorat. De plus, l'essentiel des données recueillies par nos prédécesseurs (DDE de Vendée pour La Belle-Henriette ; le Laboratoire de Géographie Physique Appliquée et l'ONF pour la dune de Saint-Trojan ; le bureau d'étude CREOCEAN pour Marennes-Plage) ne concernent que des enregistrements de faible résolution temporelle, qui ne traduisent le plus souvent que des moyennes annuelles. Malgré l'information que fournissent ces données sur la dynamique à moyen et long terme du système plage-dune, force est de constater que celles-ci ne sont pas réellement adaptées à notre problématique, la prédiction des événements

morphogènes. Quand bien même disposerions nous d'archives bien documentées à ce sujet, nous serions confrontés à un autre problème. Il s'agit de l'aspect anthropique des milieux concernés par les aléas que nous proposons d'étudier et des perturbations que cela peut induire sur la dynamique littorale. Prenons l'exemple de la plage de Marennes. Celle-ci n'existe sous sa forme actuelle, celle d'un bassin de baignade protégé par un cordon pré-littoral, que depuis peu de temps. En une douzaine d'années environ, combien de tempêtes ont réellement eu un impact significatif sur ce cordon littoral artificiel ? Cet échantillon serait-il suffisant pour adopter une démarche probabiliste reposant sur la théorie des valeurs extrêmes ? Comment comparer ces tempêtes récentes à celles qui ont eu lieu avant l'aménagement de la plage ?

A l'évidence, l'ensemble de ces contraintes ne nous permet pas d'adopter une méthode probabiliste aussi rigoureuse que celle que requiert l'application de la théorie des valeurs extrêmes. Il a cependant été choisi de conserver le même principe de discrimination mais de ne prendre en compte que les événements dont nous avons la certitude qu'ils ont bien érodé le littoral et dont nous disposons d'un minimum d'informations quantitatives à ce sujet. Il s'agit des données d'observation provenant de cette étude (les tempêtes survenues entre octobre 2006 et février 2009) ainsi qu'une référence à une tempête antérieure assez bien documentée de ce point de vue, l'ouragan du 27 décembre 1999. A terme, pour remplir les critères qui s'imposent à la démarche probabiliste, il conviendra donc d'enrichir cette base de données à mesure que des événements de cette nature seront enregistrés ou « redécouverts » dans les archives.

Au nombre de sept au total, chaque cas expérimental a été classé en fonction de sa magnitude, en calculant la valeur d'indice maximale qui lui correspond (Tableau 20). Quand à leurs conséquences morphologiques, elles ont été restituées par l'intermédiaire de valeurs numériques (calculées à partir des MNT) ou sous la forme de courtes annotations en ce qui concerne le volume retiré aux formes littorales, que nous avons complétées par une estimation qualitative du recul du trait de côte. Bien qu'il repose sur un échantillon particulièrement réduit, cet ensemble de données nous a tout de même permis de construire une échelle de risque capable de servir de point d'entrée à la mise en application d'un dispositif de prévention. Etablie en fonction des divers degrés d'impact observés au cours de ces récentes tempêtes, cette échelle distingue plusieurs niveaux de risques desquels trois niveaux d'alerte équivalents à la graduation pratiquée par Météo-France (cartes de vigilance) ont été extraits de manière agrégative (Tableau 21).

		09/12/06	19/03/07	08/12/07	10/03/08	24/01/09	10/02/09	27/12/99
Belle-Henriette	<i>Indice</i>	9.2	9.9	9.2	11.0	6.5	11.7	12.2
	<i>Volume (m³)</i>	-2550	-1200	-1600	-5300	NS	M	I
	<i>Recul</i>	NS	NS	NS	L	NS	M	I
Vert-Bois	<i>Indice</i>	11.3	11.4	11.2	13.1	9.0	14.9	14.4
	<i>Volume (m³)</i>	-1900	-2500	-2600	-3150	L	I	I
	<i>Recul</i>	L	M	M	I	L	I	I
Marennes-Plage	<i>Indice</i>	11.2	12.2	12.7	14.4	9.3	15.5	18.7
	<i>Volume (m³)</i>	-750	1350	-1050	-1850	I	I	I
	<i>Recul</i>	L	M	M	I	M	I	I

NS : non significatif ; L : limité ; M : modéré ; I : important

Tableau 20 : Les tempêtes morphogènes et leurs conséquences spatiales

Indice d'érosion	Niveau de risque	Phénomènes à prévoir	Niveau d'alerte
$\varphi_3 < 9$	Nul	RAS	
$9 < \varphi_3 < 10$	Faible*	Recul du front de dune	
$10 < \varphi_3 < 11$	Faible	Recul du front de dune	
$11 < \varphi_3 < 12$	Modéré	Recul du front de dune	
$12 < \varphi_3 < 13$	Fort	Recul du front de dune	
$13 < \varphi_3 < 14$	Très Fort	Débordement côtier	
$\varphi_3 > 14$	Extrême	Débordement côtier	

* *Si le site est particulièrement sensible (impact récent)*

Tableau 21 : Echelle de risque établie à partir des archives climatiques et topographiques

IV. 6 SYNTHÈSE

En appliquant une méthode assez classique, celle qui consiste à comparer l'évolution des agents dynamiques, tels que le vent, la houle et le niveau d'eau (échelle quotidienne), à l'évolution morphologique du littoral (échelle mensuelle), nous avons pu extraire des points de similitude en ce qui concerne le comportement des cordons littoraux qui composent nos trois sites expérimentaux. En fonction de leur sensibilité aux aléas météorologiques, notamment ceux qui combinent un fort vent de mer (*Wind set-up*), un fort déferlement (*Wave set-up*) et une marégraphie que nous qualifierons de favorable (HMVE), nous y avons observé plusieurs événements morphogènes qui, même si leur ampleur est variable, font intervenir des processus communs (voir ci-après).

Nous pensons que ce type d'analogie n'est pas une coïncidence et qu'elle dépasse le cadre d'une simple concordance liée au fait que ces trois sites appartiennent au même ensemble régional (littoral vendéo-charentais), qu'ils aient été concernés par le même type de forçage incident à peu près au même moment. La preuve en est, ces multiples « tempêtes » (car dans certains cas il ne s'agit pas de tempête au sens strict du terme) n'ont pas eu le même impact sur chacun de ces trois sites. La nature des lieux, l'exposition du site ou bien encore son degré d'anthropisation (est-il aménagé ? De quelle manière ?) y diffère d'ailleurs fortement. Pourtant, les phénomènes érosifs que nous avons observés en parallèle sur ces sites nous ont aussi semblé très proches, voir similaires en ce qui concerne le mécanisme qui les déclenche. Nous avons alors tenté de formaliser ces rapports étroits entre l'aléa littoral et la manifestation des processus érosifs qu'il peut ou non induire, par la construction d'un modèle conceptuel.

En nous basant sur ce corpus de données récentes et certaines archives bien documentées (exemple : tempête du 27 décembre 1999), en observant à plusieurs reprises que les épisodes d'érosion interviennent essentiellement de manière ponctuelle et brutale (rupture), nous avons construit un indice d'érosion selon le postulat suivant : il existe un seuil au-delà duquel le système d'articulation entre la plage et la dune ne dispose plus des capacités suffisantes pour contenir l'énergie du forçage incident. Cette thématique n'est pas nouvelle. L'expérience a montré que le principal élément déclencheur des « ruptures » que nous observons sur le terrain est directement lié au niveau d'eau atteint au cours de l'*extremum* météo-marin. Il s'agit alors de calculer une valeur équivalente à une altitude, le *Run-up*, et de la comparer à celles des formes littorales impactées. De nombreux modèles de seuil ont déjà été proposés pour décrire et, dans certains cas, tenter de prévoir ces phénomènes ; que ces modèles soient de nature analytique et basés sur des relations physiques ou de type probabiliste et construits sous la forme d'indices synthétiques. L'exploration bibliographique de ces différentes méthodes visant (à peu de choses près) à mesurer la même chose nous a appris que, bien souvent, les outils qui s'en dégagent sont soit « trop simples », soit « trop compliqués » [exemple : R. Dolan et R. Davis (1992) n'utilisent qu'un seul paramètre, la hauteur significative des vagues alors que plus d'une vingtaine de paramètres doivent être maîtrisés pour appliquer le modèle de L. C. Van Rijn (2008)].

Tout en tenant à respecter un certain nombre de contraintes matérielles (car nous envisageons qu'il puisse être appliqué par des aménageurs locaux), mais aussi désireux d'atteindre un niveau de réalisme suffisant (intégration du phasage tempête/marégraphie par

exemple), nous avons proposé un type d'outil complémentaire. Sa spécificité est la suivante : il fonctionne à un niveau local, celui du site, et peut évoluer en fonction du lieu et au cours du temps (exemple : cas de Marennes où le facteur « houle » a été retiré de la formulation générale de l'indice). Car il faut se rendre à l'évidence, le « modèle universel », celui qui obtiendrait de bons résultats partout et tout le temps, n'est rien d'autre qu'une utopie. Ainsi, à contre courant d'un paradigme dont l'influence tend désormais à s'estomper, nous avons voulu faire de ce qui peut paraître être une faiblesse, une force. Quel serait l'intérêt d'un modèle qui ne marche qu'à un seul endroit et dont on n'est pas sûr que cela dure ? L'intérêt est qu'il sera précisément employé par les personnes qui vivent à cet endroit, dont on ne sait justement pas comment ils vont transformer leur proche environnement.

En réalité, l'objectif de cet outil est double. Il a d'abord vocation à participer à l'élaboration d'un dispositif de prévention appliqué aux aléas littoraux ; ce qui, en France, n'existe toujours pas de manière formelle et opérationnelle. Il permet également aux experts chargés de décrire les processus littoraux d'optimiser leurs résultats. Certes, l'indice se limite à proposer une probabilité (un niveau de risque). Mais il présente l'avantage d'être facile à mettre en œuvre. Il peut nous renseigner, en amont et sans contrainte matérielle (ou presque), sur le moment où il faut précisément effectuer les mesures nécessaires à la validation d'une prédiction analytique. En ce sens, il pourrait contribuer à améliorer la qualité des modèles dits « physiques ».

Aujourd'hui, on peut conclure que notre outil fonctionne, puisque la plupart des tests de prédiction ont été concluants. Une première alerte « officielle » a même permis aux services de la municipalité de Marennes d'anticiper une dégradation irréversible de sa plage à l'approche de la tempête du 10 mars 2009 (*Quinten*). Les observations faites sur le terrain avant et après cette tempête, les incitent à penser qu'une submersion aurait sans doute eu lieu. Cette fois, ils peuvent se féliciter d'être intervenus « à temps ». De notre côté, nous sommes satisfaits d'avoir pu contribuer à la réussite de cette opération. Cependant, un certain nombre d'améliorations doivent être apportées à l'outil. Ces développements futurs concernent tout d'abord sa précision. A ce stade, nous ne pouvons prétendre que toutes les prédictions seront bonnes, en particuliers pour les cas situés en limite de seuil. Ils concernent également l'intégration de la résilience des systèmes territoriaux, une notion pourtant très pertinente. Ce facteur est essentiel et explique une grande partie de nos erreurs. Le problème est qu'il n'existe pour le moment aucune méthode fiable pour le restituer « numériquement », l'intégrer au calcul d'un indice. La grande difficulté est que le concept de résilience articule

une conséquence spatiale (la magnitude de l'érosion) en fonction d'une temporalité (la fréquence des aléas précédents), qui détermine elle-même le degré de sensibilité de la plage à un instant donné.

**CHAPITRE V : ENJEUX
D'AMENAGEMENT ET
GOUVERNANCE DU LITTORAL**

INTRODUCTION DE CHAPITRE

*« Quel est le meilleur gouvernement ?
Celui qui nous enseigne à nous gouverner nous-mêmes »*

Johann Wolfgang von Goethe

Dans ce dernier chapitre, nous montrerons d'abord que les problématiques relatives à l'érosion marine sont autrement perçues, expérimentées et éventuellement résolues par les personnes directement concernées par ce risque (R. E. Kasperson *et al.*, 2005). Pour caractériser la vulnérabilité des territoires, il est donc indispensable de comparer plusieurs ensembles de données. Cette information intègre à la fois la morphologie du site et les enjeux qui y sont implantés (sensibilité du territoire), mais aussi la manière dont ses gestionnaires sont appelés à intervenir (sensibilité de la société). La mise en relation des seuils d'aléa météo-marin, de résilience morphologique et de tolérance sociale incite à proposer l'hypothèse d'un modèle conceptuel combinant ces trois ordres de réflexion.

Ces données complémentaires nous permettent ensuite d'élargir la démarche, de proposer une projection à moyen terme en fonction des problématiques actuelles et à venir. A La Belle-Henriette, l'hypothèse d'une réouverture de la lagune implique de possibles conflits d'intérêt au niveau de la gestion du site. A Vert-Bois, l'établissement d'une stratégie d'accompagnement du recul passe par une meilleure définition des enjeux, la localisation des infrastructures prochainement exposées pour éviter que l'erreur du parking ne soit réitérée. A Marennes, la discussion porte sur les incidences de l'entretien continu du cordon littoral artificiel, essentiellement sur les plans politique et financier.

Enfin, dans le but d'améliorer l'expérimentation locale qui en est faite (projet du Pays de Marennes-Oléron), il nous paraît essentiel de revenir sur les limites pratiques du concept de Gestion Intégrée des Zones côtières (GIZC). La liaison entre les concepts scientifiques de vulnérabilité, d'adaptation ou de résilience avec leur mise en pratique par les acteurs locaux n'est pas une tâche aisée. Elle repose avant tout sur une convergence d'intérêt (Vogel *et al.*, 2007). Dans les faits, la GIZC ne peut se décréter et doit absolument émaner d'une construction commune.

V. 1 SEUIL MORPHOLOGIQUE OU SEUIL SOCIAL ?

Durant l'hiver 2007-2008, nous avons effectué des sondages informels auprès des personnes présentes sur les plages lorsque nous réalisons nos levés DGPS (seconde campagne de mesures). Il ne s'agit pas d'une enquête répondant aux critères stricts du sondage d'opinion (large échantillon, pondération des résultats...) mais d'un recueil de témoignages faisant intervenir 2 à 10 personnes selon la fréquentation des sites et l'époque de l'année. Cette information complémentaire permet de caractériser sommairement la manière dont les riverains perçoivent l'érosion du littoral (Tableau 22). Seul l'avis le plus fréquemment prononcé a été retenu. Il a ensuite été comparé aux évolutions constatées dans le même temps par la mesure. Les variables morphologiques retenues sont : l'évolution mensuelle du volume de la forme littorale et la mobilité du trait de côte (estimation qualitative).

Site	Période	Volume (m ³)	Trait de côte	Erosion perçue
La Belle-Henriette	Nov. 2007	-200	stable	néant
	Déc. 2007	-2550	stable	inquiétant
	Jan. 2008	+ 3500	stable	inquiétant
	Fév. 2008	+ 1000	stable	néant
	Mar. 2008	-5300	recul	catastrophique
Vert-Bois	Nov. 2007	+ 1050	stable	néant
	Déc. 2007	-1900	recul	inquiétant
	Jan. 2008	-200	stable	inquiétant
	Fév. 2008	+ 1900	stable	néant
	Mar. 2008	-3150	recul	catastrophique
Marennes-Plage	Nov. 2007	-500	stable	néant
	Déc. 2007	-750	recul	catastrophique
	Jan. 2008	+ 2300	progression	rassuré
	Fév. 2008	-350	recul	néant
	Mar. 2008	-1850	recul	catastrophique

Tableau 22 : Mesure et perception des événements morphogènes

Ce bilan est assez représentatif de la manière dont est perçue l'érosion marine par les visiteurs assidus de la zone côtière. Quelque soit le site concerné, ceux-ci sont systématiquement préoccupés si le littoral présente des signes de dégradation. Il n'y a cependant pas nécessairement de corrélation entre le niveau d'inquiétude (impact perçu) et l'intensité du phénomène (impact réel). Même si les mesures montrent le contraire, la simple présence de formes d'érosion diverses et/ou héritées d'une tempête antérieure (ablation de l'avant dune, déflation au sommet de la dune) provoque un sentiment d'agression. Même si elles n'ont aucune incidence, pour eux, le site a bien été endommagé.

Au début de l'année, nous avons recueilli des avis majoritairement négatifs à propos de l'évolution du cordon qui protège la lagune de La Belle-Henriette. Dans le même temps, nous observions une aggradation du haut de plage. Les mesures effectuées au DGPS entre le 14 décembre 2007 et le 26 janvier 2008 montrent, sans équivoque, que le volume de l'avant-dune a progressé (près de 3500 m³). En désaccord avec cette mesure, le constat des riverains est finalement assez proche de celui que nous avons recueilli juste après le passage d'une tempête. La plupart des personnes sondées avaient la profonde conviction que le site venait de connaître un épisode d'érosion. Cette dichotomie entre la réalité physique des lieux et la perception de ces changements nous a incité à leur poser quelques questions subsidiaires en ce qui concerne la manière dont chacun estime s'il y a eu ou non érosion. Il s'agit en réalité d'une confusion induite par la présence de croissants de plage très prononcés (Figure 109). Les falaises que les vagues ont tranchées au pied de l'avant-dune étaient perçues comme un signe d'érosion du littoral, alors qu'elles sont justement liées à un renouvellement sensible du stock sédimentaire. Il s'agit simplement d'un remaniement local de cet apport sédimentaire. Les houles en sont la principale cause.



Figure 109 : Croissants de plage modelés par les houles

La situation est beaucoup moins nuancée à Marennes-Plage. Les dégradations sur le cordon littoral sont à chaque fois très mal perçues. Dans ce cas précis, une autre dimension intervient. La moindre altération du site est ressentie comme un échec de l'aménagement, avec l'idée qu'il faudra tôt ou tard « payer la facture ». La population semble par contre rassurée après chaque intervention de la municipalité, avec le sentiment qu'un « effort a été fait » pour maintenir le site dans un état acceptable.

D'après ce comparatif, seule la tempête du 10 mars 2008 a été suffisamment intense pour être perçue comme un événement majeur sur l'ensemble des sites ateliers. Son impact a souvent été qualifié de « *dramatique* » ou de « *catastrophique* » par les personnes sondées. L'érosion mesurée à La Belle-Henriette n'a toutefois rien de comparable avec ce qu'il s'était passé en décembre 1999 (surverse de la lagune). Il en va de même pour les autres sites, même si les explications sont un peu différentes. A Vert-Bois, la tempête du 10 mars 2008 a engendré un recul assez important du front de dune (environ 3 m) mais son impact est bien moindre que celui de la tempête du 10 février 2009 (recul atteignant localement 8 m). Sur la plage de Marennes, les rechargements préventifs effectués avant ces deux tempêtes ont contribué à limiter leur impact morphologique. Le cas particulier des blockhaus de Vert-Bois, leur désensablement suite à la tempête du 10 février 2009, permet d'enrichir ce débat sur la vision des phénomènes érosifs par la société locale. Il met en exergue le rôle très influent des repères et des indicateurs physiques qui témoignent d'une dynamique. La destruction du parking touristique est encore très prégnante dans la mémoire collective. Le fait que les fondations des blockhaus soient désormais côté plage a de nouveau fortement marqué les esprits. Cet événement a suscité de nombreuses réactions et une fréquentation inhabituelle du site. L'interprétation que nous en faisons mêle deux types de mécanismes mentaux articulés sur deux temporalités distinctes.

L'une porte sur l'évolution à court terme du front de dune. Le recul du trait de côte est plus rapide que ce que l'on pouvait imaginer et devient (redevient) donc préoccupant. Dans ce cas, l'inquiétude est pratiquement proportionnelle au nombre de points de comparaison dont on dispose. Ce qui a été révisé à propos de l'impact de la tempête du 27 décembre 1999 est aussi valable dans cet exemple récent. Plusieurs épisodes d'érosion ont eu lieu avant la tempête du 10 février (mi décembre, mi janvier et fin janvier). Ils participent pour moitié au bilan global que les visiteurs occasionnels ont pu estimer. Avec le temps, il est également envisageable qu'un amalgame soit fait avec la tempête exceptionnelle qui a touché l'Aquitaine le 24 janvier 2009. La tempête *Klaus* a en effet relativement épargné la plage de Vert-Bois.

L'autre porte sur l'évolution à long terme de la dune de Saint-Trojan. Si les blockhaus sont sur la plage, c'est que le trait de côte correspond peu ou prou à la situation d'avant guerre. A partir de ce repère historique, il devient possible d'imaginer le site dans un avenir assez lointain. Pour beaucoup, la tempête *Quinten* (10 février 2009) est une révélation. Elle les a sensibilisé à une problématique et, surtout, à son caractère durable dans ce secteur.

Ces échanges avec les riverains nous incitent à mettre en relation les seuils d'aléa météo-marin, la résilience morphologique et la tolérance sociale afin de proposer un modèle conceptuel combinant ces trois ordres de réflexion (Figure 110).

A La Belle-Henriette, l'amplitude des ablations engendrées par les tempêtes implique un sentiment de vulnérabilité vis-à-vis de l'érosion marine. Certains riverains nous ont d'ailleurs confié qu'ils étaient étonnés qu'aucune proposition ne soit faite pour stopper le recul du trait de côte. En réalité, ces phénomènes sont assez classiques et, le plus souvent, réversibles. Comme l'on souligné M. S. Fenster *et al.* (2001), rares sont les tempêtes qui, à elles seules, sont capables de remettre en cause la tendance évolutive d'un littoral donné. A l'heure actuelle, seul un premier seuil (A) a pu être atteint sur ce site.

A Vert-Bois, les tentatives de fixation du trait de côte ont toutes été soldées par un échec. Certains riverains, exaspérés, ont même demandé à ce que la plage de Vert-Bois soit enrochée. Rappelons simplement que le trait de côte y a déjà progressé de plusieurs mètres par an et que la mobilité est une caractéristique essentielle des dunes littorales. Actuellement, hormis la problématique des parkings touristiques, aucun enjeu majeur n'est directement concerné par l'érosion. Toutefois, les attaques sont si fréquentes et le recul de la dune si rapide qu'un second seuil (B) a été récemment franchi sur ce site.

A Marennes-Plage, les conditions de forte agitation provoquent presque systématiquement des dégâts sur le cordon littoral, en particulier si elles sont conjuguées à une PMVE. Les interventions de réfection sont de plus en plus fréquentes et, manifestement, ces travaux sont devenus indispensables pour que l'édifice soit opérant (protection contre les submersions marines). Un troisième seuil (C) a été atteint sur ce site.

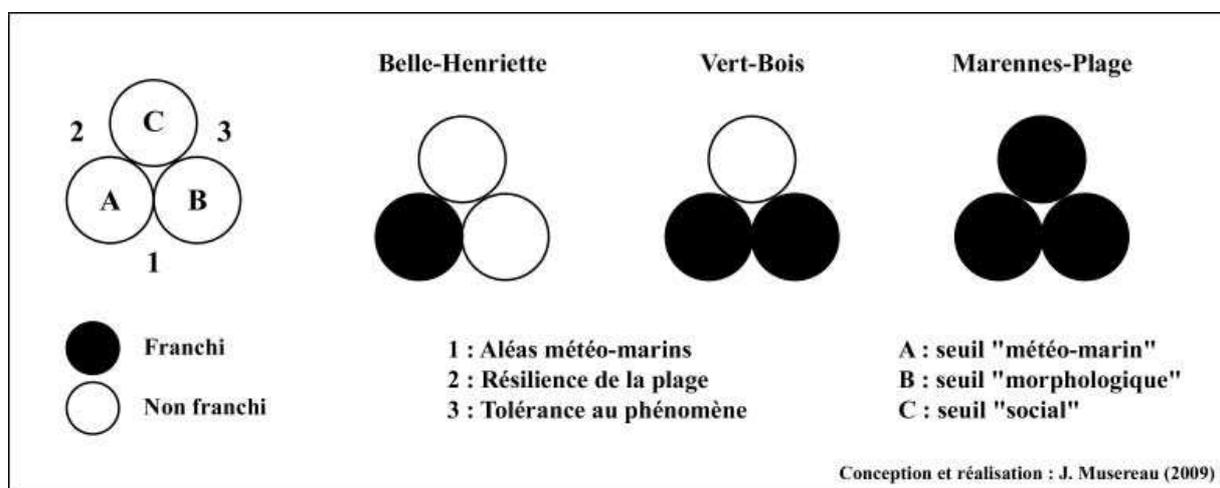


Figure 110 : Un autre type de modèle de seuil applicable à l'érosion du littoral

V. 2 L'AVENIR DES SITES ATELIERS : PROJECTION A MOYEN TERME

De nombreux indicateurs ont déjà été construits pour cartographier la vulnérabilité des littoraux (J. C. Bodéré, 1994 ; O. Monnier, 1999 ; V. Cazes-Duvat, 2001 ; M. R. Garcia-Mora *et al.*, 2001 ; K. Judge *et al.*, 2003 ; I. Lozano *et al.*, 2004 ; V. Claudino-Sales *et al.*, 2008). Ces travaux insistent tantôt sur les processus, tantôt sur les caractéristiques des aléas et/ou celles des milieux concernés. Leur point commun est de mettre en exergue la variabilité spatio-temporelle des facteurs de vulnérabilité et l'importance des échelles choisies pour leur caractérisation. De même, les rapports entre la société locale et l'érosion marine peuvent rapidement différer d'un point à l'autre du littoral, car ils dépendent aussi des expériences antérieures (exemple : le fait de vivre un événement traumatisant peut impliquer en retour une réponse disproportionnée). En intégrant ces différentes dimensions, il est possible d'exposer plus finement les enjeux et les problématiques spécifiques à chacune des trois localités où nous avons conduit notre expérimentation. L'état des lieux présenté ci-après nous permet d'envisager un certain nombre d'hypothèses et de scénarii quant à leur évolution à moyen terme (années, décennies).

V. 2. 1 Lagune de La Belle-Henriette

A la Belle-Henriette, le principal risque encouru est la submersion du cordon littoral et la (re)salinisation de la lagune qu'elle provoquerait. Le site a déjà connu récemment un épisode de ce type durant la tempête exceptionnelle du 27 décembre 1999 (Ouragan *Martin*). A l'horizon des prochaines décennies, la survenue d'autres surverses de la lagune pourrait avoir des conséquences irréversibles, comme celle de provoquer sa réouverture définitive. La manifestation de tels phénomènes est largement déterminée par une altitude critique, le seuil à partir duquel, en fonction des conditions de forçage, le sommet du cordon littoral peut être atteint. L'expérience montre que cette valeur est extrêmement variable d'un point à un autre du littoral, car elle dépend avant tout de la morphologie du cordon, elle-même très évolutive. La partie la plus sensible à cet aléa se situe aujourd'hui en direction des Roulières. A cet endroit, le cordon littoral est particulièrement dégradé (Photo de la Figure 111).

A l'aide de la formule du *Run-Up* de P. Ruggiero *et al.* (2001) que nous avons améliorée par l'intégration du *Wind Set-up* (équation d'E. Einarsson et A. B Lowe, 1968), il nous a été possible de reconstituer les niveaux maximums atteints par la mer lors des tempêtes *Johanna* (10 mars 2008) et *Quinten* (10 février 2008) pour les confronter à la topographie du

site (Figure 111). Les calculs que cette opération demande font intervenir les paramètres suivants : le niveau d'eau (m) prédit au port de Saint-Martin de Ré (SHOM), la pression atmosphérique (Hpa) et la vitesse du vent moyen ($m.s^{-1}$) au port de La Rochelle (Météo-France), les hauteur (m) et période (s) de la houle au large des côtes charentaise (réanalyses de la NOAA). Concernant ce dernier facteur, un ajustement local s'est avéré nécessaire pour obtenir des résultats suffisamment précis et réalistes dans le calcul du *Wave Run-up*. Cet ajustement repose sur une démarche empirique. Nous avons comparé à plusieurs reprises (à chaque visite sur le terrain) les hauteurs de houle au large (H_0) et celles des vagues déferlant à la côte (H). Certes, la relation qui régit les rapports entre ces deux éléments n'est pas linéaire et dépend fortement de la période des houles, qui définit elle-même la manière dont les ondes se réfractent et sont amorties sur les petits fonds. Dans ce secteur géographique, nous postulons tout de même que H vaut environ $0.3 H_0$.

La confrontation des valeurs extrêmes du *Run-up* à la topographie locale, celle du cordon littoral, met en exergue un niveau seuil. Il s'agit de la cote 4,5 m (NGF). Cette altitude se situe légèrement au-dessus du point le plus bas que nous avons mesuré lors des levés terrain (MNT datant d'août 2007). Il s'avère que les tempêtes *Johanna* et *Quinten* ont impliqué des niveaux d'eau très proches de ce seuil. Ces événements récents nous alertent encore d'avantage sur la probabilité qu'une submersion n'intervienne dans les années à venir. La mise en relation entre l'altitude critique de 4,5 m (NGF) et le suivi constant des agents de forçage (couplage indice d'érosion/modèle de *Run-up*) pourrait donc être un moyen efficace de prévenir la survenue d'un aléa dont la magnitude serait suffisante pour provoquer une submersion du cordon littoral. Il peut s'agir d'une tempête d'intensité semblable qui interviendrait pendant une HMVE un peu plus importante, d'une tempête plus intense qui interviendrait pendant une HMVE équivalente ou d'un événement qui combinerait ces deux facteurs aggravants.

Même si des résultats probants peuvent être obtenus sur le plan de la prédiction des aléas littoraux, il n'en demeure pas moins qu'une stratégie claire doit être proposée en amont en ce qui concerne la gestion à long terme de la lagune. La question se pose en ces termes : doit-on figer définitivement les formes littorales qui la protège ou peut-on envisager sa réouverture ? Ces deux positions sont respectivement partagées par l'ADEV (Association de Défense de l'Environnement en Vendée), qui s'occupe de la mise en valeur de la zone lagunaire, et par les services de l'Etat chargés de gérer le domaine public maritime (DPM), la Direction Départementale de l'Equipement.

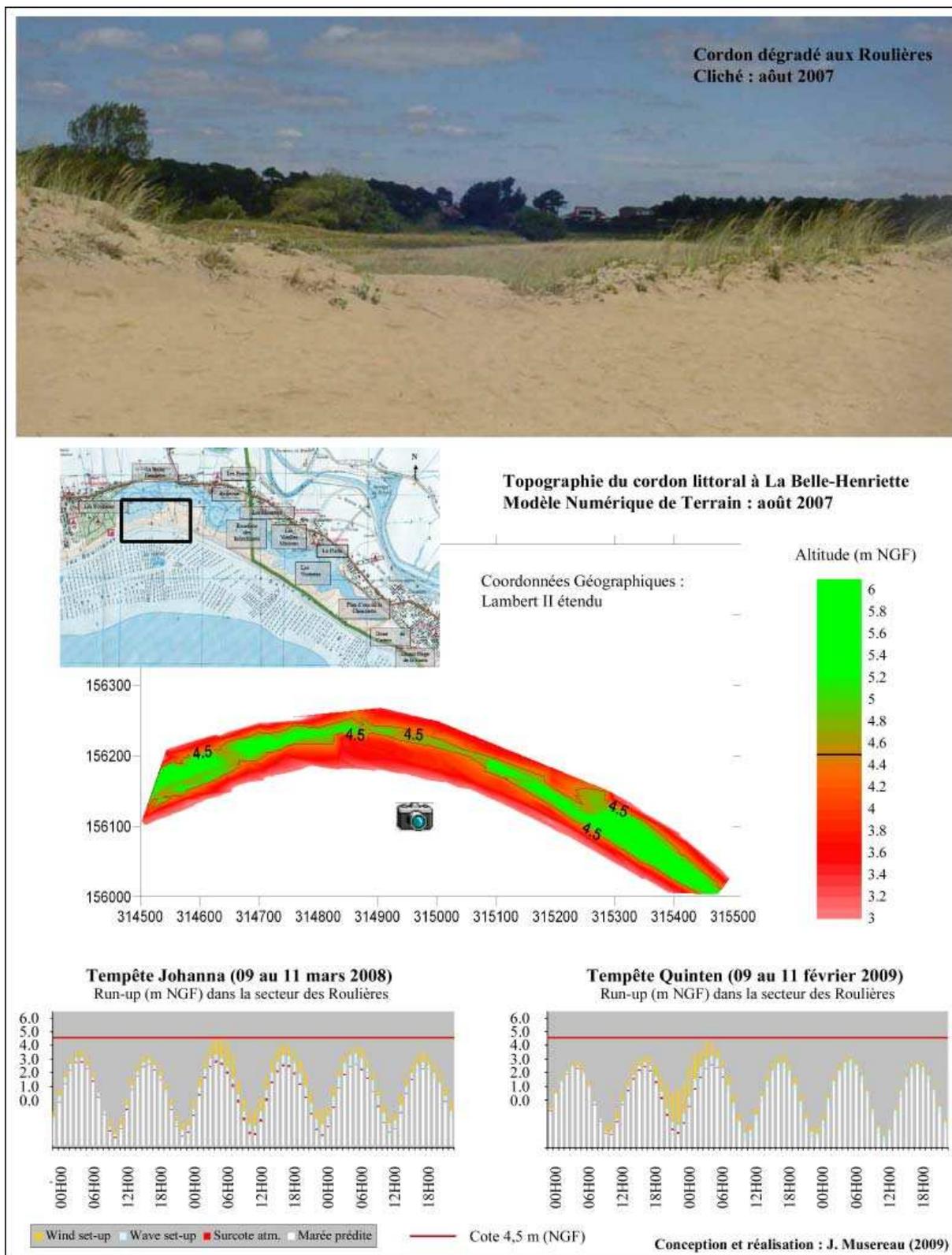


Figure 111 : Les Roulières, un secteur sensible à la submersion marine

Pour l'ADEV, la priorité absolue reste la préservation de l'écosystème lagunaire comme il se présente aujourd'hui, à savoir une lagune fermée. Selon eux, il est donc indispensable d'empêcher toute communication entre la mer et la lagune. Aussi radical que

cela puisse paraître, certains de ses membres ne sont finalement pas hostiles à l'idée qu'un nouvel endiguement soit opéré sur le site. Certes, dans ce cas de figure, le risque de submersion marine pourrait être durablement enrayé, mais à quel prix et pour quel résultat. Car les impacts négatifs que cet endiguement pourrait avoir sur la dynamique morphosédimentaire du site sont nombreux. Ils devront alors être assumés. Le principal effet de l'ouvrage se résume en une probable accentuation des processus d'érosion en aval-dérive de celui-ci, comme à chaque fois qu'un point dur est disposé au sein d'un milieu meuble. Cette solution, dont les conséquences seraient quasi irrévocables, comporte donc un risque. Comme cela a d'ailleurs été vérifié dans le passé (cf. III. 2. 1), elle pourrait impliquer une fuite en avant. Celle qui consisterait à multiplier le nombre d'ouvrages dont on ne sait pas précisément quelle sera l'extension géographique. On risque donc d'aboutir sur un nouveau bétonnage de la côte. *A contrario*, les services de la DDE estiment « *qu'il n'y a pas péril en la demeure* ». Tous arguments confondus, la réouverture de la lagune ne présente aucune menace pour les biens et les personnes (espace non urbanisé et protégé de ce point de vue par son statut de ZNIEFF). La DDE propose simplement d'accompagner le phénomène.

Nous avons exploré une autre piste, une stratégie médiane qui à notre connaissance n'a encore fait l'objet d'aucune étude préalable. Elle consisterait à consolider avec souplesse le cordon littoral dans ses parties les plus fragiles, en procédant à des transferts de sables internes. Cette procédure a pour objectif de limiter le risque de submersion dans ces secteurs sensibles, notamment la zone située en aval des épis des Roulières. Il serait ainsi tout à fait envisageable d'y apporter du sable en provenance d'accumulations adjacentes, celles dont le sommet dépasse largement la cote de 6 m (NGF) par exemple. Il s'agit en définitive de réaliser un nivellement du cordon littoral. Sur les quelques 200 m de linéaire concernés, l'établissement d'une altitude critique proche de 5,5 m (NGF) serait selon nous largement suffisante pour limiter significativement le risque de submersion marine. Car, à l'évidence, en cas d'altération supplémentaire de l'édifice sableux, des tempêtes d'une intensité semblable à celle de *Johanna* ou *Quinten* seraient suffisantes pour provoquer d'importants débordements dans ce secteur. Bien entendu, cette approche alternative n'est pas en mesure d'agir sur les causes profondes de l'érosion (un contexte sédimentaire déficitaire accentué par la présence des épis des Roulières). Elle consiste simplement à intervenir sur les symptômes et demande à ce qu'il faille assumer la nécessité que cette opération soit reconduite si des dégradations sont à nouveau observées et d'en anticiper le coût financier non négligeable.

V. 2. 2 Plage de Vert-Bois

Le recul de la dune de Saint-Trojan devrait en toute vraisemblance se poursuivre et pourrait même s'accroître dans les années à venir. Le report du trait de côte implique tout d'abord la remise en cause d'une logique longtemps portée vers la mer (Figure 112). La destruction du parking de Vert-Bois est révélatrice de cette récente opposition entre processus naturels et anthropiques, une situation qui peut localement résulter sur une sorte de « télescopage » (C. Meur-Férec et V. Morel, 2004). Après l'échec notoire des ouvrages destinés à fixer le trait de côte, les mentalités ont évolué. L'ONF et la DDE, qui se partagent la gestion de ce territoire (respectivement la dune boisée et le DPM), ont adopté une stratégie d'accompagnement du recul de la dune. Ils insistent d'ailleurs sur le fait que les enjeux, en particulier humains, y sont relativement limités. Ils justifient leur position en invoquant l'idée que la préservation des dunes littorales ne passe pas forcément par des mesures allant vers sa stabilisation (R. Paskoff et D. Terrasson, 2003).

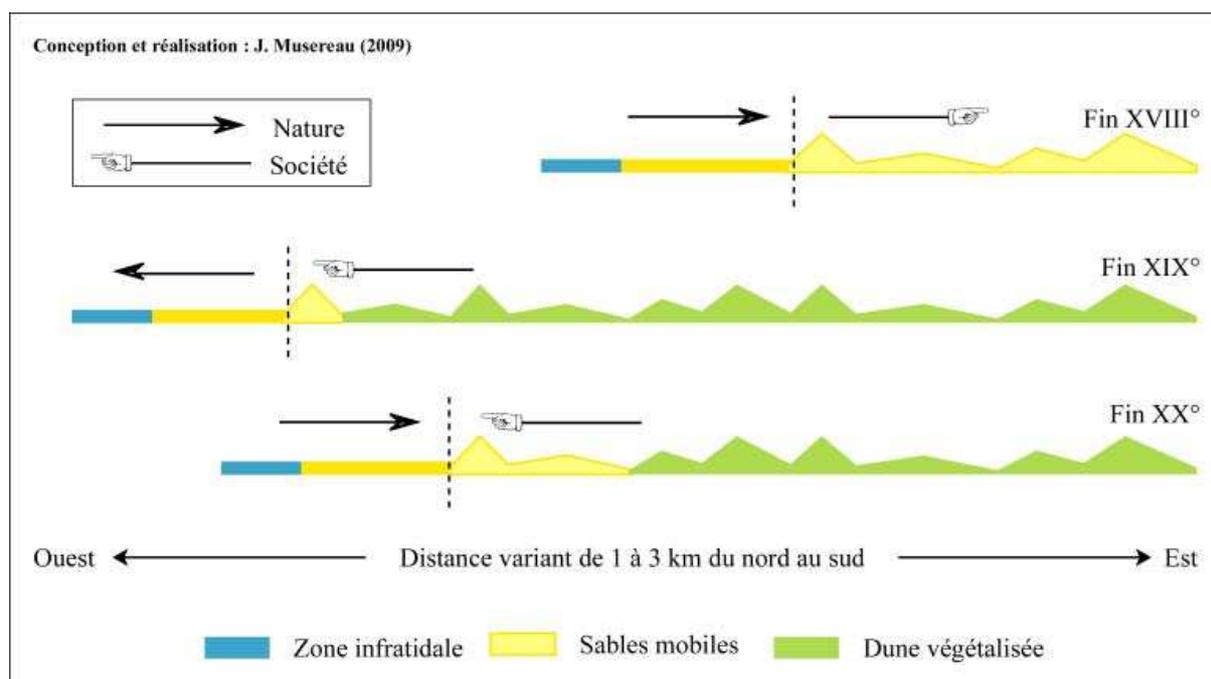


Figure 112 : Dynamiques physiques et sociétales sur la dune de Saint-Trojan

Au sujet de la dynamique actuelle de la dune de Saint-Trojan, il est aussi indispensable de revenir sur un élément essentiel. Comme la plupart des complexes dunaires littoraux, son évolution est soumise à une importante variabilité spatiale. En effet, si l'érosion marine est dominante au niveau de la plage de Vert-Bois, ces processus sont ensuite relayés par une intense dynamique éolienne dans le secteur des Préposés (Figure 113), puis deviennent à

nouveau très prégnants en direction de la pointe de Gatseau (extrémité sud du complexe dunaire). Cette trichotomie détermine en grande partie les modalités d'actions qui peuvent être entreprises au niveau du système dunaire pour mitiger les phénomènes d'érosion qui s'y manifestent. Ainsi par exemple, s'il n'y a d'une certaine manière « *pas grand chose à faire* » du côté de Vert-Bois tant le recul est rapide (cf. suivi de la présente étude, chapitre 4). Par contre, les processus éoliens peuvent être contrôlés avec une relative efficacité dans le secteur des Préposés. Tout en évitant une trop forte artificialisation du site, le recours aux ganivelles permettrait de se « *donner du temps* » pour réfléchir à un éventuel déplacement du parking touristique, menacé depuis peu par l'ensablement.

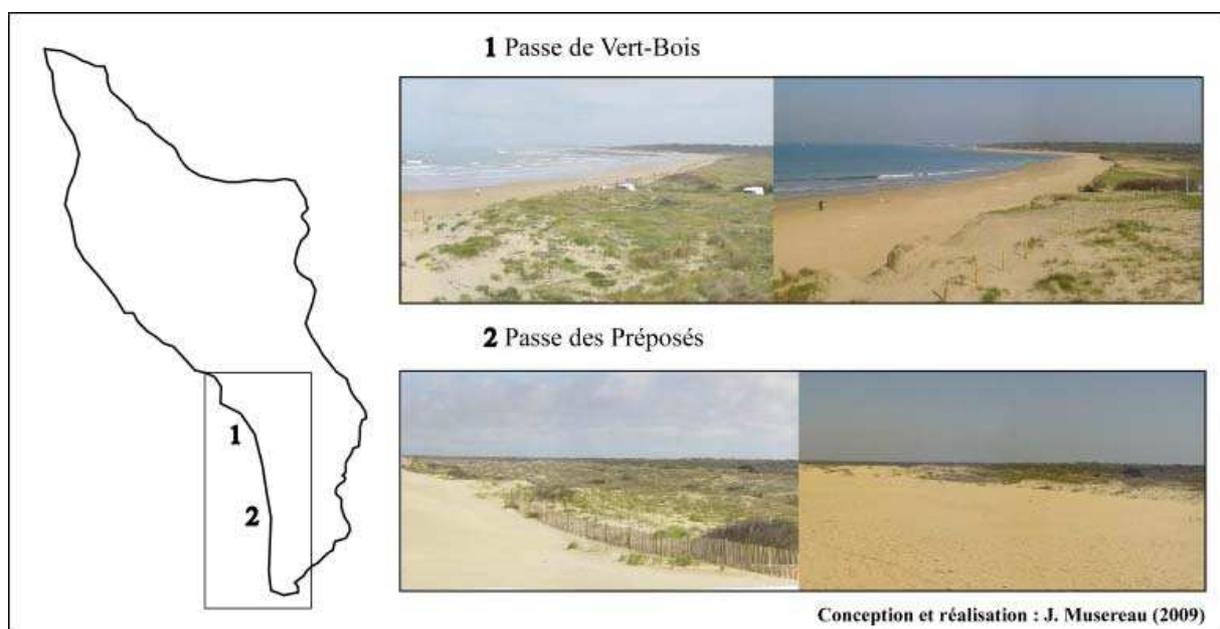


Figure 113 : Variabilité spatiale des processus érosifs sur la dune de Saint-Trojan

En ce qui concerne plus particulièrement la plage de Vert-Bois, les mesures topographiques menées au cours de ce travail de recherche ont permis de mettre en évidence un schéma d'évolution semblable à celui décrit par R. N. Dubois (1995). Parti de l'exemple des îles barrières situées devant Long Island (Etats-Unis), il a mis au point un modèle qu'il nomme « *the transgressive barrier model* » (Figure 114). A Vert-Bois, les tempêtes ont pour effet de retirer du matériel sur la face externe du système plage-dune. Si les conditions le permettent, on assiste à sa réalimentation, une aggradation assez rapide du haut de plage. En tendance, cela résulte sur une translation plus ou moins continue du système et implique donc un recul du trait de côte. A l'échelle du profil de la plage, des variations brutales (profil de tempête vs profil de temps calme) ou cycliques (mouvements saisonniers) se manifestent au cours du temps.

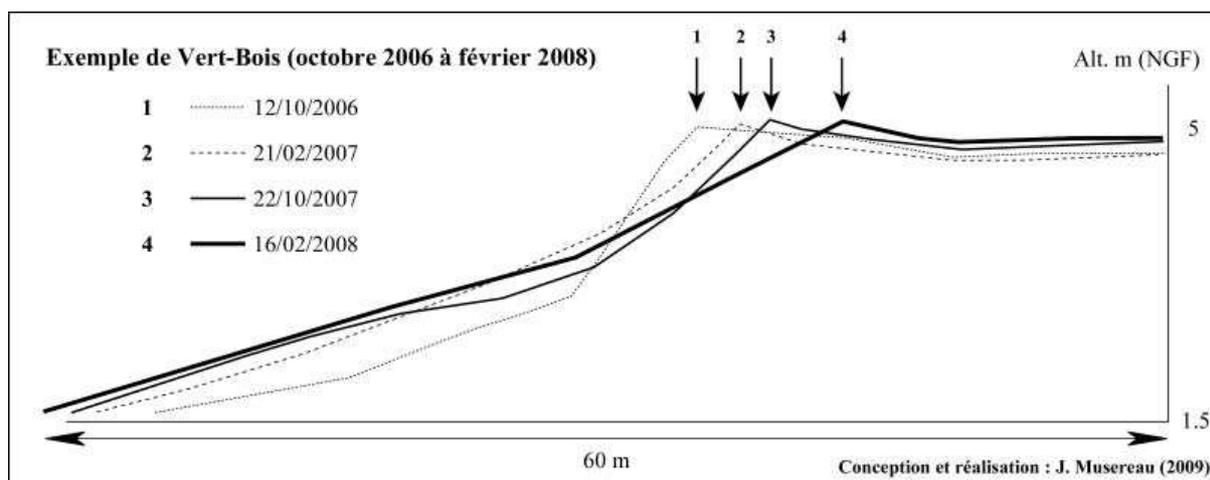


Figure 114 : Illustration du modèle transgressif de R. N. Dubois (1995)

En dehors des parkings de plage (dont le maintien est déjà fortement discuté depuis les événements de la fin de l'année 1999), selon nos dernières estimations, le risque d'invasion marine dans la zone lagunaire des Allassins n'est pas à écarter (Figure 115). De part et d'autre de la passe des Allassins, le relief du cordon dunaire est très peu prononcé et le recul accru. Aujourd'hui, la station de lagunage ne se situe plus qu'à quelques dizaines de mètres en contrebas d'une formation dunaire dont la surface diminue continuellement. Elle se situe également au niveau d'une frontière administrative, entre les communes de Dolus d'Oléron (au nord) et de Grand-Village (au sud). Il est donc impératif de penser dès aujourd'hui au probable démantèlement de cette infrastructure. Cette réflexion doit s'inscrire en priorité au niveau intercommunal pour éviter d'éventuels conflits induits par la localisation de la station de lagunage, notamment sur le plan du partage des responsabilités financières.



Figure 115 : Risque encouru au niveau de la station de lagunage des Allassins

V. 2. 3. Marennes-Plage

En dépit des récentes interventions destinées à consolider le cordon littoral qui protège le bassin de baignade, les dégradations observées suite aux tempêtes *Klaus* (24 janvier 2009) et *Quinten* (10 février 2009) préoccupent la municipalité de Marennes et, surtout, les riverains de la plage. Le fait que deux tempêtes majeures se soient succédées en moins d'un mois n'est pas une situation commune. Pour autant, cette situation révèle que le site souffre aujourd'hui d'un cruel déficit de résilience ; les unes après les autres, les tempêtes sont de plus en plus dommageables. A Marennes, plus qu'ailleurs, c'est l'alimentation en sédiments qui fait défaut, car celle-ci ne peut être qu'artificielle. Il y a bien sûr le sable qui a été repris par les derniers événements morphogènes, ceux de l'hiver 2008-2009. Mais, plus encore, au bout de dix ans de fonctionnement, c'est l'ensemble de la structure qui ne remplit plus son rôle protecteur et suscite une polémique.

La municipalité de Marennes est désormais confrontée à un réel problème de gestion. Deux possibilités s'offrent à elle pour ce qui est relève des travaux d'intendance : effectuer un remodelage complet du cordon après chaque hiver pour éviter que des brèches ne se forment ou intervenir au plus près des événements, c'est-à-dire à chaque fois qu'une tempête à impact est prévue. Dans l'absolu, il serait nécessaire de coupler ces deux modes de gestion, l'un étant une solution « statique » et l'autre une solution « dynamique ».

- En pratique, la première stratégie a un coût relativement faible et prévisible. Elle implique la mobilisation d'un budget pratiquement fixe, qu'il est donc possible de planifier à l'année. Dans cette hypothèse, le risque est qu'un (ou plusieurs) événement(s) très violent(s) et non prévu(s) puisse(nt) engendrer des dégâts irréversibles sur le site, comme l'ouverture de brèches ou la submersion totale du cordon littoral. Dans l'hypothèse où cela devait arriver, l'avenir même de l'aménagement pourrait être remis en cause car la commune ne pourrait assumer à elle seule le coût financier de sa réparation.

- La seconde stratégie présente elle aussi des avantages et des inconvénients. Son point fort est qu'elle est sans doute plus adaptée au fonctionnement du système, sa mobilité. Elle relève d'une philosophie générale qui a déjà fait ses preuves : « *mieux vaut prévenir que guérir* ». Mais, en pratique, cette manière de gérer le site serait beaucoup plus contraignante. Elle demande des moyens pour mettre en œuvre un dispositif de surveillance efficace. Ce mode de gestion implique de fait une incertitude dont il n'est pas certain que l'équipe

municipale soit prête à en assumer toutes les conséquences. Dans ce cas de figure, la fréquence des interventions dépendrait avant tout de celle des tempêtes érosives. L'effort qui en découle peut donc varier considérablement d'une année à l'autre. Si l'indice d'érosion que nous avons mis au point permet à très court terme de diffuser des alertes pour anticiper un endommagement du site (nous le définissons comme tel car chaque épisode morphogène est bien perçu de cette manière et s'avère, à chaque fois, très coûteux pour la communauté), il est par contre impossible de planifier à long terme ce type d'opération. Si des tempêtes se succèdent sur une courte période, comme au début de l'année 2009, des interventions répétées s'avèrent nécessaire, avec le prix que cela comporte.

Malgré son emplacement opportun, Marennes-Plage est donc devenu un site particulièrement vulnérable aux tempêtes. La pérennité de l'ouvrage est, par nature, totalement tributaire de son entretien et des futurs rechargements qui y seront opérés. A ce propos, il est à déplorer qu'aucune véritable étude n'ait été prévue pour évaluer à quel rythme les sédiments sont évacués du système, pour pouvoir ainsi estimer la « durée de vie » de ce stock sédimentaire artificiel. Ce type de démarche est pourtant une étape indispensable dans la mise en œuvre d'un rechargement de plage. De nombreuses études sont disponibles sur le sujet, comme celles de R. A. Davis *et al.* (2000), A. E. Browder et R. G. Dean (2000), M. Capobianco *et al.* (2002), K. F. Nordstrom *et al.* (2002), S. Pupier-Dauchez (2002), H. Hanson *et al.* (2002), R. G. Dean (2003), A. Matias *et al.*, (2006).

A l'évidence, l'aménagement de la plage de Marennes a longtemps souffert d'une carence en information à propos des méthodes et des pratiques qui relèvent de cette technique. En d'autre terme, à l'époque de sa construction, on n'a pas donné à ce projet les moyens de son ambition. L'exemple de Marennes n'est malheureusement pas un cas unique. En France comme ailleurs, la multiplication des structures dites « dures » pour protéger le littoral s'est soldée par un échec. Souvent, cela a engendré l'accélération des processus que ces dispositifs étaient pourtant censés stopper (ou du moins contenir). En Charente-Maritime, le rechargement de plage s'est imposé comme une alternative crédible à ce « barricadage » du littoral, en témoigne le nombre croissant d'opérations en cours ou projetées dans le département (Annexe 29). Mais cela demande aussi à ce qu'un ensemble d'éléments théoriques et que des moyens logistiques soient mobilisés pour pérenniser ces aménagements. L'expérience montre que n'est pas toujours le cas.

A Marennes-Plage, le recours à un mode de gestion diversifié et basé sur une surveillance continue et une anticipation des crises pourrait, selon nous, améliorer sensiblement la viabilité de l'ouvrage. Cette vision n'est pas forcément partagée par tous les acteurs locaux. Car, évidemment, tout cela a un coût. Jusqu'à présent, près d'1 000 000 d'euros ont déjà été dépensés dans ce projet ambitieux. Cela représente un effort financier considérable pour la commune. Pour certains riverains, « *cela en est trop !* ». La nouvelle équipe municipale, en place depuis le mois de mars 2008, est de surcroît confrontée à de nouvelles problématiques, notamment sur le plan financier, avec la crise de l'activité ostréicole (forte mortalité des coquillages en 2008) et, plus généralement, celui d'un contexte d'économie ralentie (crise mondiale). Une autre alternative serait celle d'enrocher la zone, avec les impacts environnementaux que cela comprend. De notre point de vue, cette solution n'en est pas une. Il est tout de même très rare d'observer que la source d'un problème se révèle aussi être le meilleur moyen de le résoudre. Or, il est clair que le durcissement de la côte est en partie à l'origine de la disparition de l'ancienne plage de Marennes (Annexe 30).

C'est pourquoi, afin de montrer à la population que cet aménagement est une solution coûteuse mais viable, tant sur le plan de la protection du littoral (jamais aucune habitation n'a été submergée depuis la création du site, ce qui n'est pas le cas des zones adjacentes) que d'un point de vue paysager (bien qu'artificielle, cette plage a permis de redonner au site une certaine « naturalité »), un débat avec la population marennaise a eu lieu le 09 avril 2008. Cette discussion n'était pas destinée à exposer tous les détails que requiert la gestion courante du site. Elle avait surtout pour principal objectif de présenter les enjeux d'un nouveau rechargement, d'un nouvel apport de sable exogène. En effet, quelque soit le mode de gestion choisi ultérieurement pour pérenniser l'assise du cordon artificiel, la première étape de sa réhabilitation passe par un remodelage et un renfort sédimentaire global. Le but est de lui redonner son profil initial, dont l'expérience a montré qu'il était plus résilient (Figure 116).

Comme l'ont décrit S. G. Sutton et S. L. Bushnell (2007) à propos des récifs coralliens, le fait de créer des sites artificiels à fort potentiel touristique implique l'émergence de nouveaux enjeux. Cette situation nouvelle suscite des controverses, notamment chez les usagers de longue date. Des conflits de toutes sortes et des visions divergentes en ce qui concerne leur gestion peuvent en découler. Dans le cas des littoraux vulnérables aux tempêtes, les effets combinés de l'accroissement de la pression anthropique, de la valeur attribuée à l'aménagement en question et (éventuellement) de l'activité des tempêtes conduisent à une exacerbation de l'endommagement. Le principe de mitigation est depuis longtemps préconisé

et considéré comme le moyen le plus efficace pour faire face à ce problème (Rorh et Pstuty, 1998). De plus en plus d'experts travaillant sur les risques s'accordent tout de même sur le fait que les communautés appliquent mal ce concept, qu'elles ont encore la fâcheuse habitude de n'intervenir qu'après les crises (C. Benson et J. Twigg, 2004). Marennes-Plage n'est donc qu'un exemple parmi beaucoup d'autres. Notre étude montre, qu'en dépit de bonnes intentions, chercheurs et collectivités se trouvent parfois confrontés à des obstacles qui ne tiennent pas uniquement à l'impérative définition d'une bonne pratique de gestion.

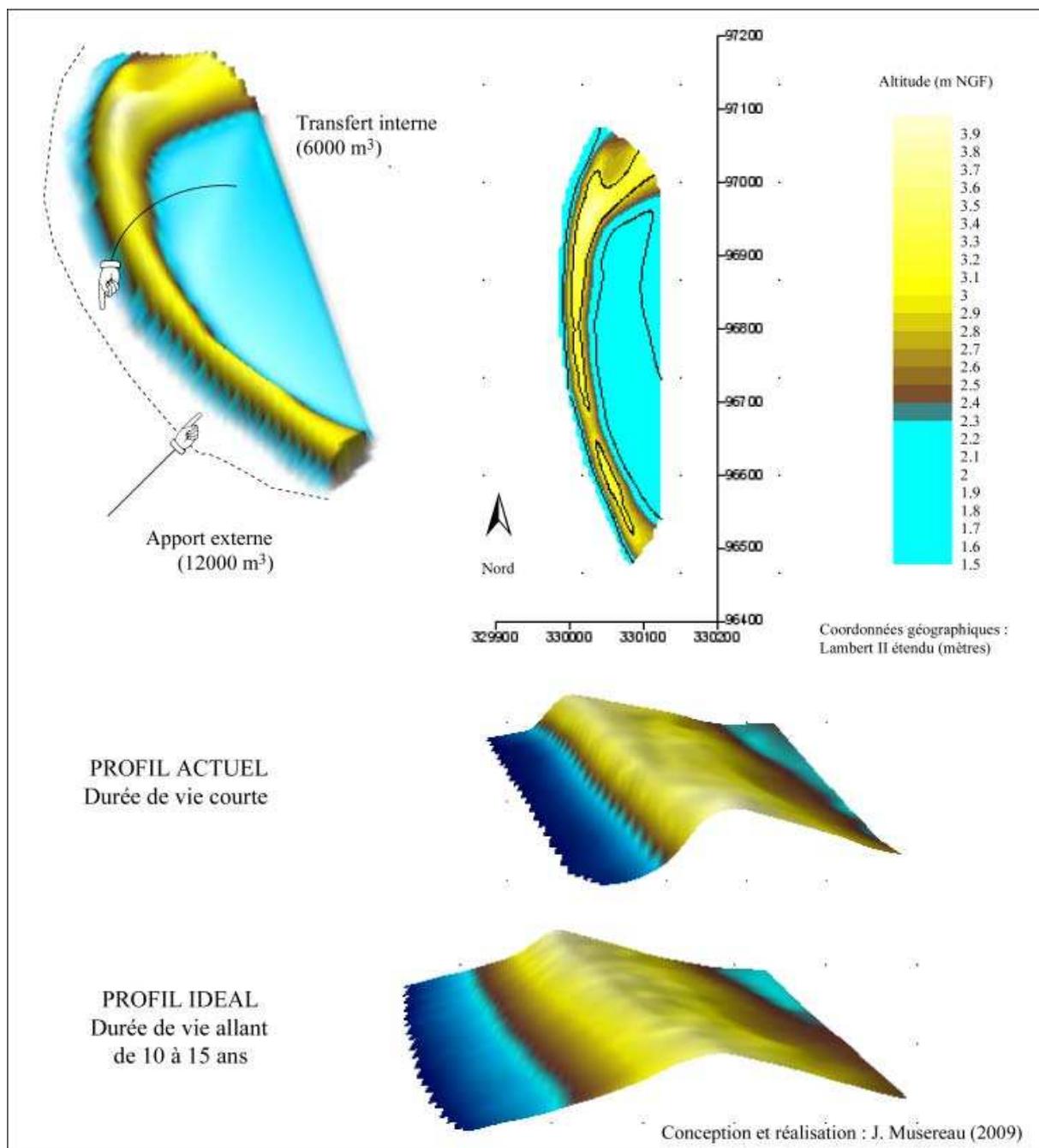


Figure 116 : Plan de réhabilitation du cordon littoral de Marennes-Plage

V. 3 RETOUR SUR UNE EXPERIENCE DE GIZC

L'objet de cette thèse est avant tout de présenter les fondements théoriques d'un outil de gestion, qui prend la forme d'un indice d'érosion. Néanmoins, son objectif est aussi de présenter les éléments qui en faciliteront la mise en œuvre. Tel un leitmotiv, les questions de mise en pratique des théories et des concepts ont d'ailleurs été largement évoquées dès le début de ce travail. Pour tenter d'y répondre, au moins partiellement, ce dernier chapitre sera consacré à la présentation du contexte institutionnel, politique et social dans lequel ce projet scientifique pourrait s'insérer. Car, pour que les acteurs locaux puissent le valoriser, ce travail doit aussi s'inscrire dans le cadre d'une construction collective, ce qui en théorie participe de la Gestion Intégrée des Zones Côtières (GIZC).

Le principe de GIZC est aujourd'hui adopté comme paradigme central du développement durable des littoraux. Pour progresser tant sur le plan théorique qu'opérationnel, la GIZC doit maintenant être soumise à des bilans critiques. A ce propos, R. Billé (2006) décrit quatre illusions tenaces : 1- l'illusion du tour de table comme solution à tous les problèmes, 2- le mythe du *coastal manager*, 3- l'illusion communautaire, 4- l'illusion positiviste. Toutes relèvent, selon lui, d'une conception naïve de l'action. Après une brève présentation du concept de Gestion Intégrée des Zones Côtières, nous proposons une illustration locale de ces limites essentielles, à travers les récentes expérimentations menées au Pays de Marennes-Oléron mais aussi à partir de notre propre expérience, celle de la construction d'un dispositif de vigilance appliqué aux aléas littoraux.

V. 3. 1 Le concept de Gestion Intégrée des Zones Côtières

Qu'est-ce que la GIZC ?

La plus ancienne définition de la « Gestion Intégrée des Zones Côtières », reprise au niveau international, énonce que cette expression désigne « *un processus dynamique dans lequel une stratégie coordonnée est développée et mise en application pour l'attribution des ressources environnementales, socio-culturelles et institutionnelles, afin de réaliser la conservation et l'utilisation multiple et soutenable de la zone côtière* »¹⁰. Cette définition permet de constater que la GIZC est un processus adaptatif (dynamique) qui oblige les

¹⁰ **Coastal area planning and management network**, "The status of integrated coastal zone management: a global assessment", Summary report of a workshop convened at Charleston, July 4-9 1989, *Rosenstiel School of Marine Sciences*, Miami, 13 p.

gestionnaires à adapter leur action au gré des évolutions constatées sur le terrain, autrement dit à « apprendre en faisant ». Elle présente aussi l'avantage de montrer un aspect fondamental de la GIZC, qui en constitue en quelque sorte la principale limite : la problématique institutionnelle. Car, si son principe est partagé depuis longtemps par l'ensemble des acteurs, en France en particulier, sa pratique est parfois le fruit d'une improvisation, d'essais hasardeux. Peut-être est-ce dû au fait que la GIZC, ou plutôt son ancrage institutionnel, n'a finalement été consacrée que très récemment au niveau national.

En effet, si les analyses, les politiques et les programmes internationaux relatifs aux régions et aux espaces littoraux sont fondés sur le concept de GIZC depuis la Conférence des Nations Unies sur l'Environnement et le Développement organisé (Rio de Janeiro, juin 1992), ce dernier n'a véritablement été consacré par les pouvoirs français que depuis le début des années 2000 (O. Lozachmeur, 2004). Lors du Comité Interministériel d'Aménagement et de Développement du Territoire du 9 juillet 2001, le Gouvernement a ainsi annoncé que la politique du littoral « *procède d'une philosophie nouvelle fondée sur le concept d'aménagement intégré des zones côtières* », en précisant que « *cette gestion intégrée doit désormais dépasser les approches strictement juridiques et réglementaires fondées sur la contrainte, pour privilégier les logiques de projet et de partenariat* » (DATAR, 2001).

Ces deux citations, qui nous renvoient principalement à des articles de loi, l'un de portée internationale et l'autre de portée nationale, nous permettent d'estimer assez rapidement combien il est délicat de s'attacher à donner une définition précise du concept de GIZC. Pour compléter ce cadrage sémantique, nous pouvons donc en proposer une troisième. Celle-ci a l'intérêt de présenter le caractère qui lie la GIZC à la notion de « Développement Durable » et nomme également plus ouvertement quels sont les acteurs qu'elle engage. La Gestion Intégrée des Zones côtières est un « *processus dynamique qui réunit gouvernement et société, scientifiques et décideurs, intérêts publics et privés en vue de la préparation et de l'exécution d'un plan de protection et de développement des systèmes et ressources côtières. Ce processus vise à maximiser les choix à long terme privilégiant les ressources et leur usage raisonné et raisonnable. La GIZC apparaît ainsi comme l'instrument privilégié du développement durable de cet « éco-socio-système » complexe, en réconciliant développement et équilibre biologique des ressources sur le long terme, et en liant définitivement les questions environnementales et sociales.* » (Traduit de : B. Cicin-Sain et R. W. Knecht, 1998).

En résumé, la définition la plus sommaire que l'on puisse donner à la Gestion Intégrée des Zones Côtières, mais aussi la plus intelligible, est tout simplement que ce concept n'est autre que l'application sur le littoral des principes du développement durable (C. Meur-Férec, 2007).

La GIZC en France

En 2004, l'état français, par le biais de la DIACT (Délégation Interministérielle à l'Aménagement et à la Compétitivité des Territoires - ex DATAR), précise et affine les principes énoncés par la recommandation européenne dans un rapport prospectif (« Construire ensemble un développement équilibré du littoral »). Suite à ce rapport, en 2005, la DIACT et le Secrétariat Général à la Mer lancent un appel à projets national intitulé « Un développement équilibré des territoires littoraux par une gestion intégrée des zones côtières ». 25 territoires littoraux français ont été retenus sur un total de 49 candidatures, pour expérimenter localement la GIZC (Figure 117).

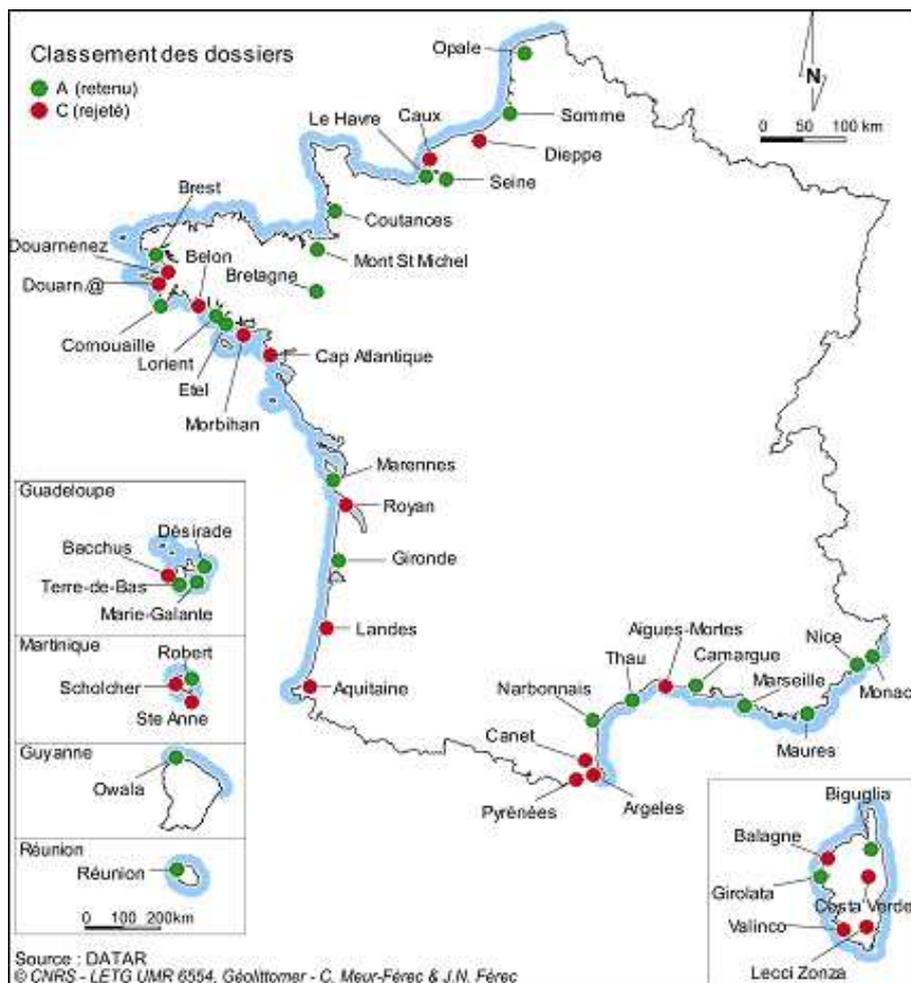


Figure 117 : Carte des projets GIZC proposés à la DIACT en 2005

T. Guineberteau *et al.* (2006) ont dégagé les points communs qu'il y avait entre ces différents dossiers pour étudier la manière dont la GIZC se pratique en France. Leurs principaux résultats sont les suivants :

- Le premier enseignement qui peut être tiré de l'appel à projets est la très large mobilisation que cette démarche a suscitée. Le nombre de réponses a largement dépassé les attentes des services de l'Etat. Cette réactivité, outre l'intérêt pour la question de la GIZC, révèle aussi le fait que beaucoup de collectivités locales ont intégré le principe de la recherche de financements via les appels à projets.

- Cette opération marque l'avènement des intercommunalités. Les réponses s'articulant au niveau intercommunal sont nettement prépondérantes puisque plus de la moitié des projets sont portés par des regroupements de communes. Comme dans l'exemple du Pays de Marennes-Oléron, que nous aborderons un peu plus loin, le choix de l'intercommunalité révèle aussi un problème de compétences et de capacités.

- Dans l'ensemble, les tailles des territoires de projet sont très hétérogènes.

- En ce qui concerne les principaux objectifs affichés dans les projets, la préservation de la nature, piliers du concept de Développement Durable et donc de la GIZC, est présente dans la très grande majorité des dossiers (85 %). Le développement économique et l'équité sociale sont finalement peu représentés. Les propositions qui leur correspondent désignent les effets pervers de la flambée des prix, la ségrégation sociale qu'elle provoque.

- Enfin, bien que la « participation de la population locale » soit affichée parmi les objectifs principaux dans près d'une candidature sur trois, au vu de la lecture approfondie des dossiers, il semble que cet objectif soit davantage un effet d'affichage qu'un véritable projet d'association des habitants et des usagers. Là encore, cela peut s'expliquer par les limites du système organisationnel, en l'occurrence celui qui permet d'animer le débat public. Ainsi par exemple, lors de notre participation à la consultation organisée par la commune de Marennes (9 avril 2009), nous constatons avec regret qu'aucune discussion collective n'avait encore été proposée au sujet de l'avenir du bassin de baignade depuis douze ans. A cette occasion, l'équipe municipale a donc réaffirmé sa volonté de consolider le débat démocratique ; mais elle a aussi avoué sa faible capacité logistique et son impossibilité de renouveler régulièrement ce type d'expérience au cours du mandat qui lui est confié.

V. 3. 2 La GIZC au Pays de Marennes-Oléron, premier bilan

Le Pays de Marennes-Oléron (PMO) fait parti des projets retenus par la DIACT. Il n'a réellement été mis en œuvre qu'à partir de 2007 et semble aujourd'hui « tourner au ralenti ». Le retour sur cette expérience nous permet de montrer quelles sont les principales avancées qui ont été faites dans le domaine. Il s'agit notamment d'un diagnostic territorial dont la mise en œuvre a été largement financée par l'enveloppe budgétaire mise à disposition par l'Etat. Cette étape était bien entendu indispensable pour définir les enjeux locaux de la GIZC. Mais ces premiers résultats ne pourront résoudre la problématique qui se pose désormais aux acteurs de l'époque : seront-ils en mesure de concrétiser les principes qu'ils ont défini ensemble, par l'action ?

Présentation du Pays de Marennes-Oléron

Le 1er janvier 2006, par Arrêté du Préfet de Charente-Maritime, le Syndicat Mixte du Pays Marennes-Oléron est créé pour donner à ce territoire une structure de gestion adaptée à ces missions. Pour simplifier l'organisation intercommunale, deux autres structures qui travaillaient depuis plusieurs années à l'élaboration du Schéma de COhérence Territoriale (SCOT) d'une part et à la promotion touristique du territoire d'autre part, ont été fusionnées dans cette nouvelle structure. Le PMO regroupe la Communauté de Communes d'Oléron et celle du Bassin de Marennes (Figure 118). C'est un territoire d'interfaces multiples entre terre et eau (Figure 119). Ses formes littorales sont nombreuses et les limites entre la terre et la mer y sont relativement floues : marais littoraux (notamment dans l'estuaire de la Seudre), estrans rocheux et sableux. Il comprend également plusieurs ensembles boisés, dont les ensembles domaniaux destinées à fixer le sable des dunes littorales situées sur l'espace insulaire (Domino, Saumonards, Saint-Trojan). Le Syndicat Mixte comprend 15 communes « littorales », dont les 8 communes oléronnaises. Il comptait 33 504 habitants au recensement de 1999. Parallèlement à la réduction significative de la part des résidences principales au profit des résidences secondaires, l'accroissement de sa population s'effectue à un taux nettement supérieur à la moyenne nationale (le double). Cette tendance générale masque cependant d'importantes disparités géographiques, notamment entre la partie insulaire et la partie estuarienne du Pays. Ainsi par exemple, l'apport touristique n'y est pas uniforme. Il représente plus de la moitié du chiffre d'affaires réalisé sur l'île d'Oléron. Cette proportion tombe à un quart sur le Bassin de Marennes.

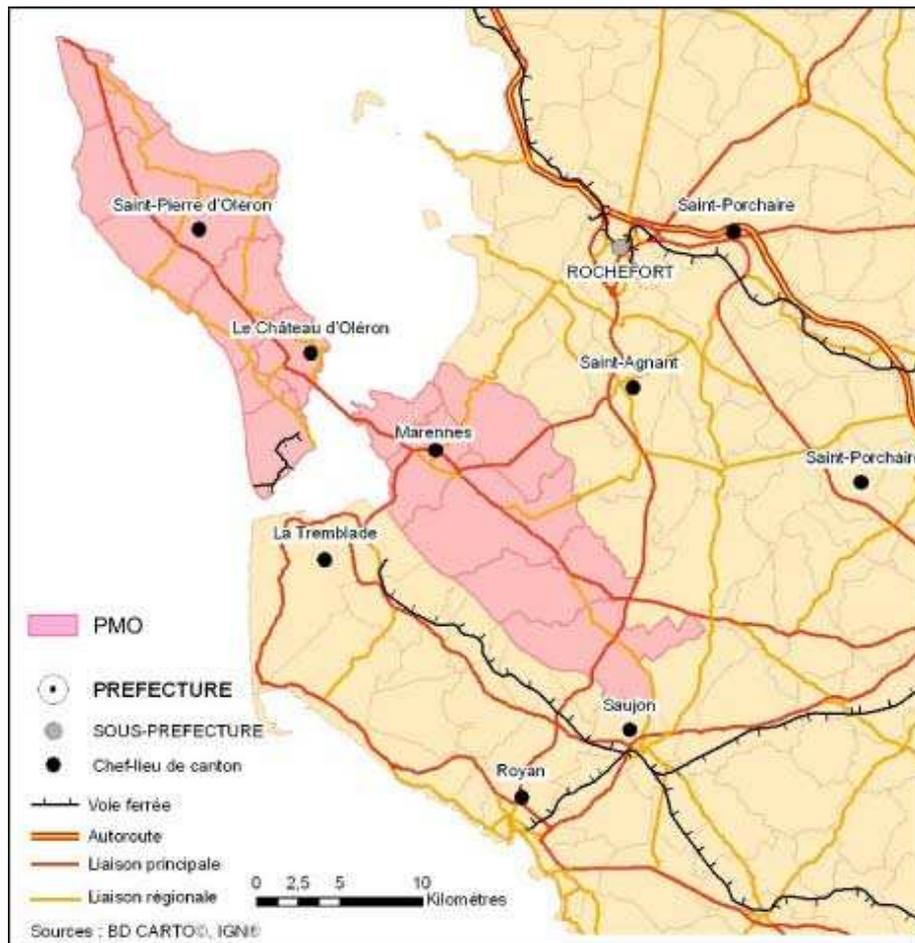


Figure 118 : Présentation générale du Pays de Marennes-Oléron

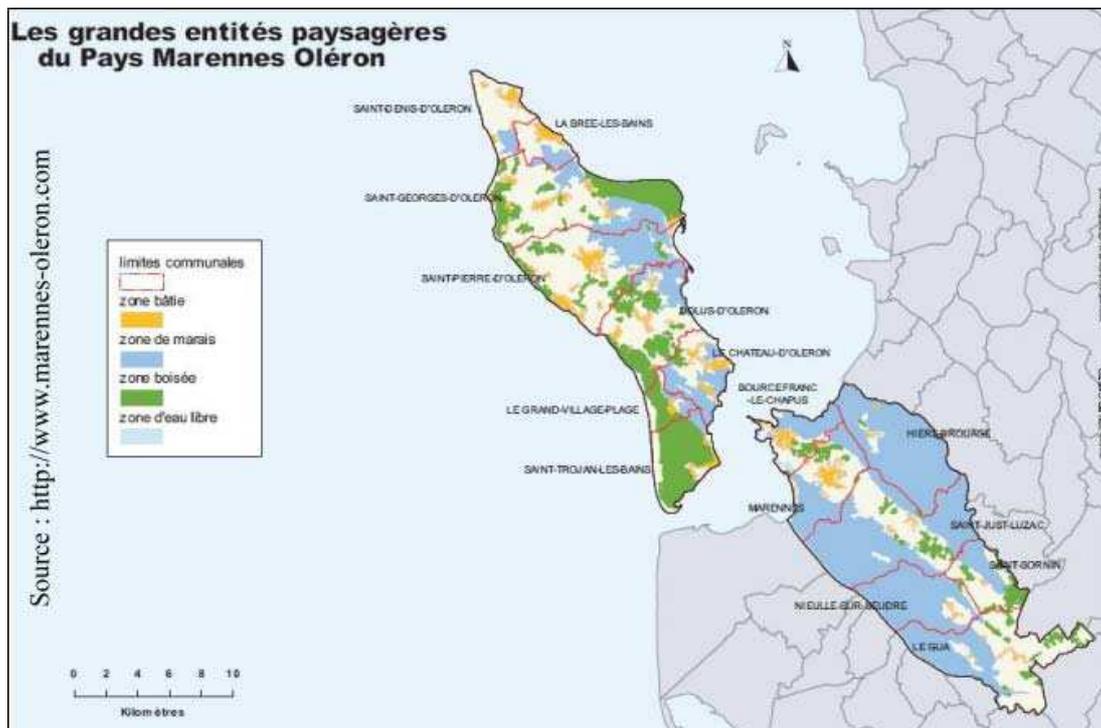


Figure 119 : Le Pays de Marennes-Oléron, un paysage varié

Les espaces naturels et agricoles occupent 93 % du territoire. La plupart sont reconnus d'intérêt écologique et paysager très fort ; le réseau des sites NATURA 2000 couvrant sur le territoire 19 943 ha, soit environ 55 % du territoire (Figure 120). L'espace maritime présente également une biodiversité exceptionnelle qu'il convient de gérer.

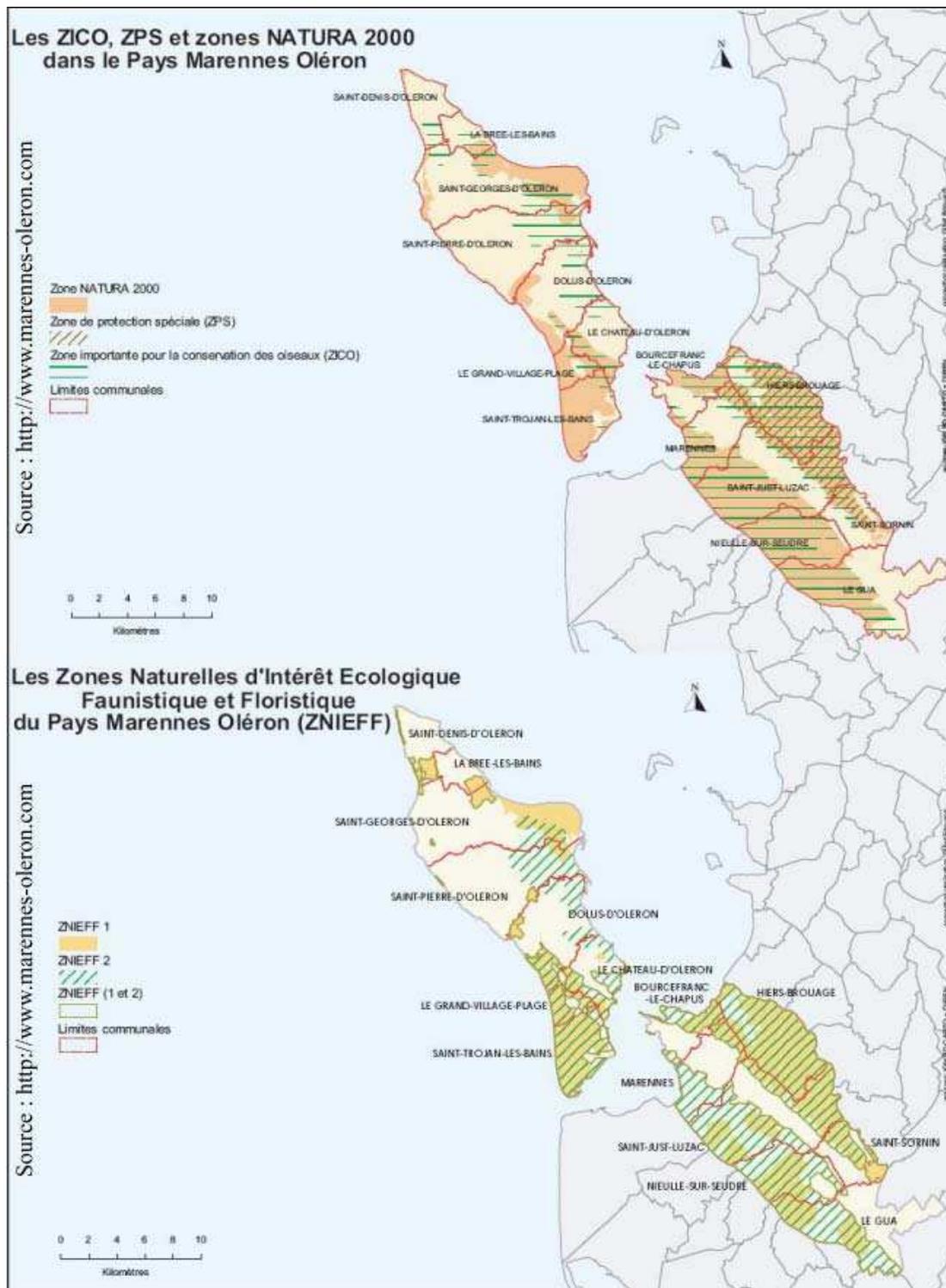


Figure 120 : Le PMO, un espace naturel faisant l'objet de nombreux classements

Le projet du PMO : premiers résultats et premières désillusions

Le projet du Pays de Marennes-Oléron a donc été retenu par la DIACT. De fait, la notion de Gestion Intégrée des Zones Côtières apparaît aujourd'hui dans beaucoup des discours et projets touchant à la gestion du littoral. Le président du Pays en a rappelé les principaux objectifs lors de sa prise de fonction, le 16 mai 2008 :

« La Gestion Intégrée des Zones Côtières est un enjeu mondial qui doit être appréhendé de façon locale. La régulation de l'attractivité touristique et résidentielle du territoire, le maintien des activités de pêche et de conchyliculture, la préservation des sites et paysages maritimes... sont autant de paramètres que doivent prendre en compte les acteurs du Pays Marennes Oléron et en premier lieu les élus du territoire dans leur projet d'aménagement et de développement. C'est pourquoi le Pays Marennes Oléron, territoire d'interface terre mer, a choisi d'expérimenter cette approche transversale du littoral, en rassemblant tous les acteurs concernés. Il s'agit de « co- construire » des outils de gestion efficaces et adaptés aux problématiques locales identifiées dans la Charte de Développement Durable et dans le Schéma de Cohérence Territoriale du Pays pour un développement équilibré de notre territoire littoral.» (M. Vallet, Président du Pays de Marennes-Oléron).

Auparavant, le Pays s'était déjà engagé dans une vaste réflexion sur l'application de la démarche GIZC et son intérêt pour le territoire. L'année 2007 a permis la réalisation d'une mission d'accompagnement des acteurs du territoire dans la construction d'outils méthodologiques. Nous en présentons ici les principaux mécanismes ainsi qu'un certain nombre des éléments qui ont contribué à établir ce que l'on pourrait qualifier de « diagnostic préalable à l'instauration d'une GIZC ».

Deux instances de concertation se sont réunies autour des élus du Pays de Marennes-Oléron. Il s'agit de groupes de travail composés de scientifiques, d'institutionnels, de professionnels, de collectivités territoriales, d'acteurs des politiques publiques de l'eau et de l'environnement : un comité de suivi méthodologique (20 partenaires), un comité de pilotage élargi (90 partenaires). Comme l'ont très justement souligné T. Guineberteau *et al.* (2006), on remarque que la population locale, même si sa participation est implicitement mentionnée à travers le qualificatif « collectivités territoriales » (certaines associations y étant intégrées), n'est pas formellement associée au projet. Néanmoins, des outils co-construits ont été initiés dans le cadre de ces instances de concertation : une base de données sur les documents de

cadrage du territoire, une enquête de perception auprès des acteurs/usagers du territoire, une synthèse des enjeux de territoire définis dans différents documents de cadrage (au regard des enjeux GIZC), des indicateurs de suivi du littoral sur le Pays.

La mise en place de ces outils procède d'une logique pyramidale (Figure 121). Il s'agit de répondre aux grands principes recommandés à l'échelle supranationale pour, dans un premier temps, définir les principaux enjeux de la gestion intégrée sur le territoire puis, dans un second temps, organiser des ateliers de travail en fonction de thématiques majeures. Ces ateliers ont pour objectif de définir des outils de « lecture du territoire ». La construction de ces indicateurs de suivi suit scrupuleusement la définition qu'en donne L'Institut Français de l'Environnement : « Donnée quantitative ou qualitative qui permet de suivre dans le temps et dans l'espace, et d'apprécier de manière synthétique, l'évolution d'un phénomène plus global ». Ces outils sont donc destinés à mesurer l'état d'avancement du projet, suivre les effets du projet sur le territoire et évaluer les politiques mises en oeuvre sur celui-ci.

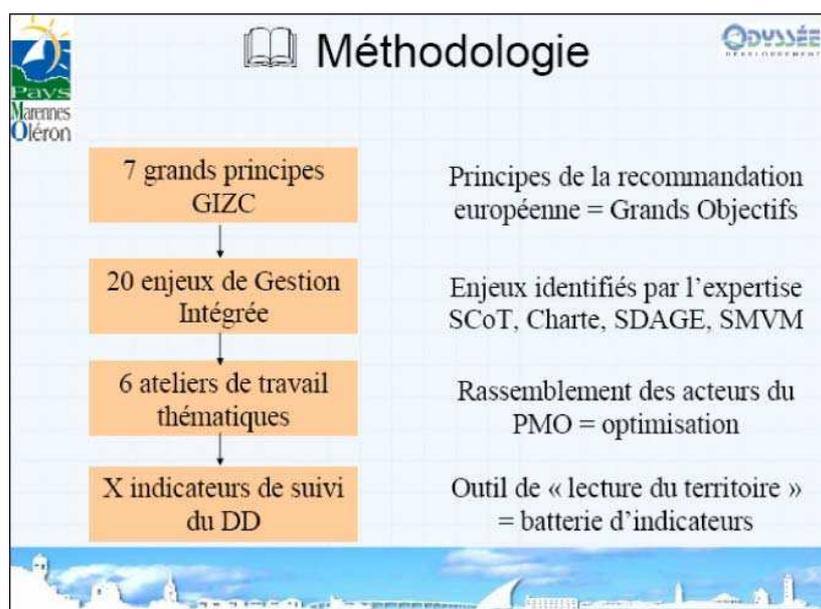


Figure 121 : Méthodologie adoptée au PMO pour initier la GIZC

L'ensemble de ce travail de diagnostic est coordonné par l'équipe technique du syndicat mixte du PMO et bénéficie de l'appui logistique et méthodologique du bureau d'étude *Odyssée Développement*, qui est chargé d'organiser des « séminaires ». Chaque séminaire s'articule autour de cinq ateliers de travail composés d'une dizaine de personnes chacun. Chaque atelier reprend une des thématiques majeures qu'aborde le principe de la GIZC. Il s'agit de confronter, sous la forme de tableaux de synthèse, les enjeux et les éléments de diagnostic en fonction des thématiques suivantes :

- 1) La maîtrise de l'urbanisation, des déplacements et suivi de l'emprise agricole et conchylicole,
- 2) Le maintien de la qualité paysagère et valorisation des sites et des produits,
- 3) La régulation de l'activité touristique et soutien des activités primaires, la réduction de l'exclusion sociale et promotion de la cohésion,
- 4) La gestion de l'eau et des autres ressources naturelles ainsi que la gestion des plages,
- 5) L'anticipation du changement climatique et des risques naturels qu'il peut induire.

Dans le cadre de ces séminaires, le travail produit a donné lieu à une retranscription en format informatique (pour une restitution de 10 min par atelier). Les restitutions ont été présentées par des rapporteurs désignés au sein de chaque groupe de travail. Un exemple des synthèses produites au cours de cette étape est présenté en Annexe 31. Nous proposons par ailleurs de reprendre intégralement l'extrait du compte-rendu du séminaire « Production d'indicateurs de suivi », qui a eu lieu le 30 octobre 2007 (source : Odyssée Développement), puis de le commenter succinctement :

M. Stéphane Gilbert (CdA de La Rochelle, service environnement), rapporteur de l'atelier n° 2, commence les restitutions et relève que si la diversification des compétences du groupe de travail a nécessairement mis en lumière une appréhension différente du travail à fournir, elle a également permis de mener une réflexion transversale dans la définition d'indicateurs qui peuvent ainsi être utilisés pour d'autres ateliers (ex : suivi des surfaces de Plan Locaux d'Urbanisme, suivi des actions de sensibilisation...).

M. Jean-Baptiste Bonnin (Association IODDE), rapporteur des ateliers n° 3 et 5, précise que de nombreux indicateurs existent et propose de ce fait des indicateurs nouveaux et plus adaptés au contexte local, par exemple : suivi des commerces ouverts à l'année, suivi du nombre d'installation en agriculture biologique... Une remarque est également faite sur la possibilité de définir des indicateurs de saturation (ex : indicateurs de saturation touristique...).

Mme Duvat-Magnan (Université de La Rochelle, Géographe) estime que la démarche GIZC doit permettre d'aboutir à la création d'indicateurs de suivi spécifiques aux

problématiques de territoire. Elle ajoute que l'Université travaille actuellement dans ce sens et que des subventions vont permettre à l'Université de créer des observatoires sur différentes thématiques qui intéressent particulièrement le Pays Marennnes Oléron. M. Mercier, Directeur du Pays, complète en indiquant que les réalités de fonctionnement obligent à disposer de données observables sur le long terme et que cela nécessite une mise à jour durable, ce qui pose des interrogations sur les possibilités pour le Pays de mobiliser les compétences techniques et financières nécessaires à ce travail.

M. Erbès (Elu Pays, adjoint à Dolus), souhaite que ces réflexions sur les indicateurs permettent d'anticiper les déséquilibres inéluctables qui s'opèrent sur le territoire sur les plans paysager, identitaire, démographique, économique...

Concernant l'atelier n° 4, il ressort de la restitution de Mme Koehren (Université de La Rochelle, étudiante) que le Pays a des besoins importants pour disposer de données fiables sur l'utilisation de l'eau (quantité et type de consommation...) et sur sa qualité (rejets eaux usées, eaux pluviales...), notamment au niveau des marais littoraux.

L'atelier n° 6, rapporté par M. Fichet (Université de La Rochelle, Ecologue), a orienté sa réflexion autour d'un enjeu commun : « Quelle stratégie d'adaptation territoriale face aux changements climatiques ? ». Il s'agit, grâce aux indicateurs, d'anticiper et de gérer les impacts positifs et négatifs des changements climatiques autant que leurs origines. Mme Duvat-Magnan précise par ailleurs que des tests grandeur nature pourrait être opérés sur le territoire, les données mesurées étant parfois plus parlantes que les modèles théoriques sur lesquels repose la question des bouleversements climatiques.

Mme Hemmerdinger (Vice-présidente Pays, adjoint à Saint Denis), rapporteur de l'atelier n° 1, précise que les conclusions du travail effectué rejoignent des indicateurs déjà abordés par les restitutions précédentes. De plus, il est rappelé que les situations d'urbanisation et de déplacement évoluent très rapidement notamment par la réalisation de différentes actions tels que le classement de l'Ile, la nouvelle génération de PLU, le schéma du CG17 sur les déplacements (à venir)... ; dans ce contexte, il est difficile d'anticiper sur des problématiques qui risquent d'évoluer. Enfin, il conviendrait également de développer des indicateurs de qualité environnementale.

Cette discussion, qui clôt en quelque sorte l'étape préalable à l'initiation du projet de GIZC du Pays de Marennes-Oléron, souligne à la fois les réussites et les freins à sa mise en œuvre. La méthodologie de définition d'indicateurs de suivi est relativement concluante. Elle a d'ailleurs été validée. L'assemblée se félicite également de la richesse des travaux produits, dont le succès est notamment lié au nombre et à la diversité des acteurs présents. Il subsiste toutefois quelques points de crispation. L'intervention de Mr Mercier est éloquente à ce sujet. Sans remettre en cause l'intérêt des indicateurs proposés par les scientifiques, il insiste à juste titre sur le hiatus qui régit les rapports entre les aspirations du monde universitaire et les contraintes politiques et financières qui s'imposent aux élus locaux, en plus du décalage entre les temporalités afférentes à leurs fonctionnements respectifs.

Plus récemment, Mr Mercier (Directeur du Pays) nous a fait part de son inquiétude vis-à-vis de ce qu'il présentait déjà lors de ces premiers débats. Dans les faits, le partenariat dont chacun a pourtant insisté sur la nécessité qu'il se poursuive assidûment, est désormais totalement dyspnéique ; l'adhésion et l'enthousiasme des participants pour le travail mené en ateliers ne se manifeste plus que par à coups, sans véritablement concertation au préalable, ni aucune planification. D'une certaine manière, si les indicateurs en question ont été parfaitement identifiés, il en va tout autrement en ce qui concerne leur suivi.

Ce premier volet de la GIZC laisse donc derrière lui un chantier inachevé. Jusqu'à présent, ses investigateurs peinent à concrétiser les principes et les mesures qu'ils ont définis. Ce qui est regrettable, c'est que cette évolution « malheureuse » du projet avait pourtant été anticipée dès l'époque des séminaires. Ainsi par exemple, dans le rapport sur les indicateurs de suivi (Odyssée Développement), on trouve mention de freins tels que la difficulté de se concentrer sur des indicateurs sans replonger dans un débat sur les enjeux du territoire, le problème des divergences d'appréhension selon les catégories d'acteurs, le besoin d'un temps d'échange important. Ce rapport préconisait d'ailleurs la nécessité de poursuivre l'expérience au-delà du calendrier défini au préalable et, surtout, l'exigence de mettre en place un schéma organisationnel autonome et durable.

Au-delà des questions d'incompatibilité des emplois du temps et de ses méfaits sur la pérennisation des projets, ce retour sur expérience renvoie à la difficulté de mettre en adéquation des principes généraux avec des pratiques (locales) de gestion. Autrement dit, les déclarations de principe sont toujours rapidement rejointes par la réalité, celle qui consiste à construire à plusieurs et, finalement, à gouverner ensemble.

V. 3. 3 Les limites de la GIZC à travers son expérimentation locale

Comme l'ont déjà énoncé de nombreux auteurs travaillant plus particulièrement sur la question relevant de la pratique du concept de GIZC, la question est désormais de savoir s'il s'agit plus d'un mythe pacificateur que d'un outil opérationnel, d'une *croyance* (G. Roland, 2005), ou si ce principe peut réellement être efficace sur le terrain. Nous proposons ici d'illustrer localement ce que R. Billé (2006) appelle les « quatre illusions » de la GIZC, qui selon lui freinent considérablement sa mise en œuvre.

L'illusion du tour de table comme solution à tous les problèmes

Cela présuppose que la gestion de l'environnement relève avant tout d'un problème de coordination ; que la réponse à ce problème passe par la concertation, avec l'idée qu'un consensus salvateur puisse en émaner. En pratique, la concertation ne se décrète pas, elle se construit, et même, dit-on, elle se « co-construit ». Il arrive par ailleurs que le consensus, en tant que solution médiane, n'améliore pas la situation. Prenons le cas d'une décision portant sur la mise en place d'un enrochement pour lutter contre l'érosion marine. Le projet est vivement critiqué par certains riverains, épargnés par le phénomène, mais fortement soutenu par d'autres, directement soumis aux risques qu'il engendre. Imaginons que la décision soit prise d'enrocher seulement la partie la plus sensible du site et de laisser l'autre en l'état. A court terme, chacun trouve une réponse à son problème. Mais au-delà d'un certain temps, des effets de l'ouvrage peuvent éventuellement induire un déplacement de l'érosion vers ceux qui auparavant avaient refusé l'enrochement, mais finiraient sans doute par en accepter l'extension.

Une problématique semblable s'est dessinée à Marennes-Plage. Suite aux fortes tempêtes du 10 mars 2008 et du début de l'année 2009, un débat public a été ouvert par la municipalité au sujet de l'avenir de ce site. Cette réflexion porte essentiellement sur le coût financier à long terme de l'opération, la procédure à adopter pour lui redonner son aspect initial et la capacité technique dont dispose la commune pour pérenniser l'ouvrage. Lors de la rencontre du 9 avril 2009, les questions posées par les intervenants ont été nombreuses et variées. Doit-on stopper le projet parce qu'il devient « trop cher » ? Doit-on enrocher le secteur pour être sûr d'être protégé efficacement contre le risque de submersion ? L'apport d'une grosse quantité de sable est-elle la seule solution pour préserver le site ? Quelles en seront les principales nuisances et quels résultats peut-on en attendre ? Les avis communiqués

par les marennais sont donc multiples et, pour certains, extrêmes. Pour la municipalité, la marge de manœuvre est courte car, sans intervention rapide de sa part, le cordon littoral artificiel risque de céder, ce qui augmenterait d'autant plus le risque de submersion des habitations du front de mer. Car visiblement, la solution proposée jusqu'à présent, celle qui consistait à effectuer des réparations de petite envergure, ne suffit plus. Au terme de cette réunion, l'équipe municipale (appuyée par le service maritime de la DDE) a finalement tranché. Contre une majorité d'avis divergents, malgré le coût très élevé que cela peut impliquer et en dépit des contraintes que cela peut engendrer, la plage fera l'objet d'un rechargement massif avant l'été 2010. En contrepartie, les services techniques de la commune se sont engagés à surveiller en permanence son évolution et à agir dès que nécessaire afin de ne pas réitérer les erreurs du passé (peu ou pas de surveillance, un entretien très limité, aucune planification des opérations). Cette position courageuse nous semble en effet être la plus adaptée à la problématique de ce site. Ici, la réponse consensuelle aurait sans doute abouti à ce qu'une digue ou tout autre type d'encrochement soit construit, en complète inadéquation avec le contexte environnemental dans lequel cet aménagement avait été intégré.

Le mythe du coastal manager

Etre « gestionnaire du littoral », cela veut dire quoi ? La notion de « gestionnaire du littoral » relève surtout d'une certaine vision de la gestion environnementale. L'idée qu'il puisse exister un gestionnaire du littoral sous-entend qu'il est possible, ou du moins souhaitable, de confier la gestion d'un littoral donné à une structure unique, structure qui peut ensuite être incarnée par un ou plusieurs « gestionnaires du littoral ». *A priori*, la structure unique serait donc la seule capable de gérer les problèmes. Comme un jardinier gère son jardin, « *l'idée de gestion est souvent prise dans le sens d'une maîtrise directe où le gestionnaire conduit la société et son environnement à l'état désiré, comme l'automobiliste mène son véhicule où il veut* » (L. Mermet, 1992). Selon ce schéma organisationnel, le gestionnaire du littoral n'est autre que la personne (physique ou morale) qui en porte le projet.

Mais cette idée selon laquelle il serait souhaitable (et surtout possible) d'intégrer formellement tous les acteurs exerçant un pouvoir sur les côtes et la mer relève d'un point de vue de spécialiste. Les concepts, les solutions qui en découlent et les échelles d'analyse des divers acteurs de la GIZC sont nécessairement différents : pour un hydrologue, le littoral n'est qu'une partie du bassin versant, qu'il faut absolument gérer dans son ensemble ; pour un aménageur, il peut s'agir d'un nœud de réseau de transport devant être traité comme tel ; pour

un géographe, il s'agit d'une interface protéiforme entre la terre et la mer, avec autant de problématiques possibles qu'il y a de spécificités locales ; pour une association de défense de l'environnement, il s'agit d'une zone plus ou moins étendue dont la naturalité doit être préservée ; pour une municipalité, il s'agit d'un espace parfaitement délimité (frontières administratives) et dont les contours sont parfois totalement inadaptés à la réalité physique des lieux, mais avec lesquels il faut composer ; etc... On retrouve assez clairement ces divergences de point de vue dans les débats qui ont eu lieu aux cours du séminaire dont nous avons proposé la retranscription plus haut. D'une certaine manière, chaque acteur (au sens de l'institution qu'il représente : association, élu, chercheur) a ses propres priorités et chacun désire, c'est normal, qu'elles soient mises en avant. Dans ces conditions, quel pourrait être le rôle du *coastal manager* ? A-t-on forcément besoin d'un arbitre ? Quelle personne, physique ou morale, disposerait d'une légitimité suffisante pour exercer ce rôle d'arbitrage ? L'idée qu'un acteur exerce un *leadership* sur l'ensemble des autres acteurs n'est-elle pas tout simplement contraire à l'aspiration même de la GIZC ?

Cet ensemble d'interrogations nous renvoie à une autre problématique qui se pose à la mise en œuvre des principes de la GIZC. Doit-on rechercher une intégration formelle ou effective des acteurs ? Le point de vue adopté dans ce travail de recherche est de soutenir l'idée qu'émergent des « facilitateurs de GIZC » (Tiré de R. Billé, 2006 ; suggestion d'Y. Hénocque dans une communication personnelle avec l'auteur) et non que l'initiative soit à la seule charge de « professionnels de la GIZC » (B. R. Crawford *et al.*, 1995). C'est pour nous l'occasion de citer le travail mené par l'association IODDE (Ile d'Oléron Développement Durable et Environnement). Primée pour la qualité de ses initiatives locales (lauréate du « Prix Micro-Environnement » du National Geographic Channel pour le projet « Reconquête Et Valorisation des Estrans » (7 mai 2008) et « coup de coeur 2008 » de la Fondation Nature & Découvertes), l'association participe activement au projet du Pays de Marennes-Oléron, en encadrant des travaux de recherches (partenariat avec l'université de La Rochelle) et en jouant le rôle clé d'interface entre les différents acteurs qui y participent : les citoyens, les experts et les élus. En pratique, ce rôle de complément est lui-même largement facilité par le fait que l'association soit composée de membres émanant des différentes sphères qui participent au projet GIZC (on y trouve aussi bien des élus, des professionnels de l'aménagement, des chercheurs universitaires que de « simples citoyens »). Ainsi, au-delà des séminaires annuels de la GIZC, le tissu associatif contribue à ce que les discussions se poursuivent et qu'une certaine continuité du débat soit garantie.

L'illusion communautaire

Il s'agit en réalité d'une assimilation abusive entre « communauté » et « échelle locale », née de l'idée que le consensus est plus facilement atteint dans les petits groupes (entre voisins, on se comprend mieux). Ce point concerne à nouveau une question d'échelle. Pour être efficace, la gestion du littoral doit relever en priorité de la « communauté locale ». Le problème réside alors dans la définition de l'aire que l'on associe à cette communauté locale, sa pertinence (géographique, sociologique, culturelle...) et la capacité de ses institutions à fonctionner correctement (d'un point de vue logistique notamment).

L'exemple du Pays de Marennes-Oléron est révélateur de cette extrême difficulté à « trouver la bonne échelle », le niveau scalaire qui, en pratique, sera le plus efficace. Comme nous l'avons déjà évoqué, le Pays a été défini au préalable comme le découpage géo-administratif le plus apte à traiter des questions de GIZC. D'un point de vue administratif, politique et financier, ce regroupement des compétences est clairement un atout. D'une certaine manière, il permet d'opérer des économies d'échelle, au même titre qu'une entreprise va effectuer des restructurations pour s'adapter au contexte dans lequel elle évolue. Mais cette démarche peut aussi limiter l'efficacité des décisions et des mesures qui seront prises. Car, comment (ré)concilier sur un projet commun, avec obligatoirement des priorités et des « laissés pour compte », des acteurs dont les préoccupations peuvent s'avérer très éloignées ? Ci-dessous, deux exemples nous permettent d'illustrer cette problématique. Ils ont vocation à montrer combien il est délicat d'articuler une politique commune (et donc un financement commun) sur un territoire hétérogène. Rappelons que le Pays de Marennes Oléron n'est autre que le regroupement de deux entités juxtaposées, une île et un estuaire, qu'elles ont jusqu'à présent toujours fonctionné de manière autonome ou presque.

La lutte contre l'érosion des dunes littorales est devenue, pour certains, un enjeu de gestion primordial. Au sein du Pays, cela ne concerne finalement que peu de communes, toutes situées de surcroît sur Oléron.

A l'inverse, il existe des problèmes liés à l'ensablement de certains secteurs littoraux bien précis. Cela ne concerne actuellement que les ports de la Cotinière (commune de Saint-Pierre d'Oléron) et de Saint-Denis d'Oléron. Les mesures nécessaires à la résolution durable de ces problèmes, réaliser régulièrement un *by-passing* de part et d'autre des digues portuaires, sont excessivement coûteuses ; ce qui n'est pas sans susciter quelques réactions de la part des partenaires situés de l'autre côté du pont.

La logique voudrait que la qualité de la gestion soit corrélative d'une connaissance aussi complète et précise que possible du problème. Quand on s'adresse à un aménageur, dans certains cas, il peut s'avérer plus efficace de modéliser les conditions de la mise en échec du système territorial (E. K. Judge *et al.*, 2003) plutôt que le fonctionnement exact des processus qui en sont à l'origine. Les acteurs locaux avec qui nous avons dialogué durant cette étude ont toujours insisté sur la nécessité qu'un effort soit fait pour faciliter la mise en pratique des outils que nous (les scientifiques) leur proposons. Ils partagent trois inquiétudes qu'ils associent volontairement à un discours qu'ils perçoivent comme « décalé ».

1- L'acquisition des données est actuellement vécue comme une forte contrainte, car elle reste le plus souvent du ressort du gestionnaire. Aussi pertinents qu'ils soient, il peut arriver que les projets scientifiques soient mal accueillis et considérés comme de gros consommateurs d'information payante à partir de laquelle il n'est pas certain qu'on obtienne des résultats satisfaisants. Comme cela a été abordé à plusieurs reprises dans cette thèse, nous pensons que l'emploi de sources aisément accessibles (quantité, délai, coût) doit être privilégié pour instaurer une dynamique de partenariat.

2- L'interprétation des résultats doit être mieux adaptée à l'objectif. En pratique, l'opacité des démonstrations présentées par les experts est encore trop souvent perçue comme un frein à la collaboration. Cette demande de simplification du discours ne doit pas en retour être considérée comme une limite à la créativité.

3- L'échelle de la société n'est pas celle du scientifique. Le cas typique (et polémique) de la plage bordant plusieurs entités administratives, dont les diagnostics et les propositions de réponses sont incompatibles, trouve son vis-à-vis dans le cas de la plage trop petite pour être intégrée à la modélisation numérique et pour laquelle aucune expertise ne sera disponible. Ce point est donc essentiel. Il conditionne en grande partie l'efficacité du travail accompli d'un côté comme de l'autre. Nous proposons d'illustrer cette affaire d'incompréhension mutuelle à partir d'exemples concrets. Ils concernent des problématiques déjà évoquées dans ce travail au sujet de l'avenir de nos sites ateliers : les opérations de rechargements de plage sur les sites de Marennes et de Bourcefranc, le démantèlement de la station de lagunage des Allassins. Dans les deux cas, l'espace concerné par les futurs aménagements correspond à une zone limitrophe. Il est séparé par une frontière administrative (Figure 122).

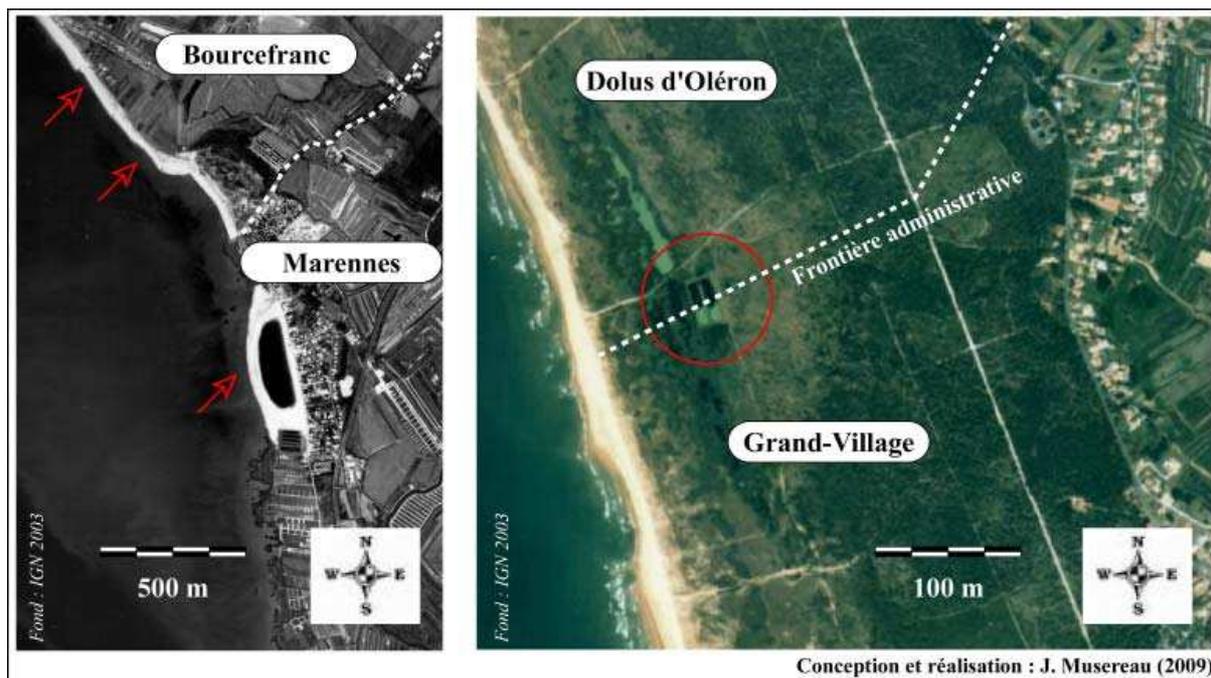


Figure 122 : Exemple d'enjeux dont il faudra partager les responsabilités

A travers l'historique de la plage de Marennes, nous avons pu démontrer qu'une part non négligeable des causes qui expliquent sa disparition au début des années 1980 était due aux effets pervers des aménagements réalisés auparavant sur la plage de Bourcefranc (un enrochement puis des épis). Ces deux plages fonctionnent donc de manière interdépendante. Plus tard, avec l'avènement de la technique du rechargement de plage, chacune des deux communes a procédé à son propre ouvrage, avec les réussites et les limites que l'on connaît. Réalisées à peu près à la même époque (milieu des années 1990), ces deux opérations sont aujourd'hui amenées à être reconduites. La municipalité de Marennes a déjà engagé le processus qui conduira au prochain rechargement. Compte tenu de l'état du stock sédimentaire rechargé à Bourcefranc (Figure 123), un nouvel apport exogène semble là aussi nécessaire. Ces rechargements présentent de nombreux effets bénéfiques, notamment d'un point de vue paysager et en ce qui concerne le confort balnéaire. Mais l'expérience a aussi montré qu'ils pouvaient induire des effets non désirés.

Au fil du temps, le sable est remanié et tend à se déposer entre les deux sites rechargés. L'ensablement de cette zone adjacente aux deux aménagements n'est pas *a priori* une problématique en soi. Mais il s'avère qu'un herbier de zostère prospère à cet endroit précis, qu'il est classé (ZNIEFF, NATURA 2000) et fait l'objet d'une protection spéciale au titre de Zone Sensible. L'étude menée par F. Brulay et S. Pupier-Dauchez (2006) a conclu que l'évolution des stocks sédimentaires ne présentait pas de risque majeur pour l'herbier.

Toutefois, les récentes tempêtes ont montré le contraire. Le risque n'est pas uniquement lié au fait que le substrat y soit passé d'un état vaseux à un état sablo-vaseux, que cela puisse gêner la croissance de l'appareil végétal. Offrant plus de solidité, cette évolution de la nature du sol a ouvert la possibilité aux visiteurs de traverser sans encombre cette zone sensible, et ainsi de dégrader l'herbier. Il serait donc souhaitable que cette problématique soit gérée de manière collective et, au-delà, que ces deux plages artificielles soient considérées comme un seul et même « éco-socio-système ». A l'heure actuelle nous sommes très loin de cet idéal de gestion que n'importe quel expert tendrait à soutenir. La question de la responsabilité de cette récente évolution commence à se poser. D'où vient le sable qui recouvre l'herbier, de Bourcefranc ou de Marennes ? Qui a le devoir d'agir ? En place depuis seulement quelques mois, les équipes municipales ont encore beaucoup de mal à communiquer. Elles sont, par la force des choses, encore contraintes de fonctionner « en se repliant sur soi », de gérer avant tout les problèmes spécifiques à leur propre territoire.



Figure 123 : Evolution récente du stock sédimentaire rechargé à Bourcefranc

L'exemple de la lagune des Allassins, qui (potentiellement) pourrait opposer les communes de Dolus et de Grand-Village, répond globalement aux mêmes exigences et s'articule autour de mécanismes politico-administratifs assez proches. Dans ce second cas de figure, il n'y a cependant pas véritablement d'urgence. Notre devoir était de souligner le risque induit par le recul du trait de côte à proximité de cet aménagement. Mais cela, fort heureusement, devrait prendre un peu de temps. Par ailleurs, la question n'est pas de rechercher une quelconque responsabilité qui engagerait l'une des deux communes à porter, à elle seule, l'intégralité de l'effort (notamment financier) que nécessiterait le probable démantèlement de l'ouvrage. Il s'agit simplement pour nous d'alerter les deux parties sur le fait qu'il soit impératif d'anticiper ces travaux et, éventuellement, d'en appeler à la coopération intercommunale comme le Pays, et son projet de GIZC, s'engage à le faire.

V. 3. 4 Quelques propositions pour relancer le projet du PMO

L'objectif des points que nous aborderons dans ce dernier paragraphe consacré aux questions de gestion et de gouvernance du littoral n'est pas d'améliorer le système « d'indicateurs de suivi » mis au point par les acteurs associés au projet GIZC du Pays de Marennes-Oléron. Cette démarche a plutôt vocation à apporter quelques compléments issus de l'expérience et des rencontres qui ont participé à faire évoluer le présent travail de recherche. En conséquence, il s'agit de s'appuyer exclusivement sur notre propre domaine de compétence. Deux propositions sont faites et il nous semble qu'elles pourraient contribuer, d'une certaine manière, à redynamiser le projet en question. Elles portent sur l'intérêt réciproque que peuvent présenter la construction d'un « observatoire participatif du littoral » (constitution d'une base de données élargie) et la façon dont nous comptons valoriser ultérieurement nos données (application du travail de modélisation à l'ostréiculture).

Vers la construction d'un « observatoire participatif du littoral »

Comme cela a été évoqué dans le paragraphe consacré aux développements et aux perspectives de notre outil, une des principales limites de la méthode qui en est à l'origine réside dans le fait qu'elle nécessite un long travail d'observation et de suivi. La base de données d'événements érosifs dont nous disposons actuellement pour évaluer la sensibilité des territoires aux aléas littoraux est relativement restreinte (les tempêtes qui ont eu lieu durant les trois derniers hivers et celle du 27 décembre 1999). Elle ne concerne pour le moment que trois sites expérimentaux. Outre la nécessité qu'il faille régulièrement la mettre à jour, nous manquons donc de recul et d'exemples pour en faire un véritable élément de gestion, ou tout du moins une méthodologie réellement exploitable.

Aux cours de nos investigations, à l'occasion de rencontres particulièrement enrichissantes, nous avons pu échanger des informations à propos de l'évolution morphologique des sites concernés par cette étude. Les personnes que nous avons rencontrées sur le terrain ne sont pas nécessairement des professionnels de la gestion, ni d'autres scientifiques intéressés par cette problématique. Il s'agit pour la plupart de riverains qui portent une attention particulière à l'évolution de leur proche environnement, celle du littoral qu'ils affectionnent. Tous nous ont confié qu'ils ne disposaient d'aucune information expertisée à ce propos, que d'une certaine manière on leur « cache ce qui est en train de se passer » et pourquoi cela arrive. De notre côté, nous ne pouvons que regretter qu'il faille

entamer un long travail d'archivage de l'existant avant de débiter notre recherche. La plupart des chercheurs connaissent bien ce problème et éprouvent parfois le sentiment d'avoir perdu du temps au cours de cette étape (ce qui est d'autant plus le cas quand on découvre, souvent un peu tard, voire trop tard, que le travail avait déjà été fait). Par manque de coordination entre les services compétents, entre les laboratoires scientifiques qui travaillent sur les mêmes thèmes, il faut parfois se résoudre à « tout recommencer depuis le début » (ou presque).

Ce constat nous oblige à réfléchir sur la manière dont l'information est manipulée, regroupée et restituée. Dans notre cas, il serait souhaitable de disposer de données aussi riches que possible à propos des tempêtes et de leurs impacts sur les littoraux, aussi loin que cela soit historiquement possible. Cela permettrait en outre d'optimiser considérablement la méthode statistique qui nous permet de discriminer ce type d'événements, d'appliquer avec plus de rigueur la théorie dite « des extrêmes ». Or, ces données existent. Elles sont parfois stockées dans le placard d'une institution locale (une mairie par exemple), dans le coffre des souvenirs familiaux ou, tout simplement, en première page d'un ancien numéro de la gazette du coin. Ce qui est d'autant plus dommageable, c'est que les personnes qui détiennent ces données sont justement désireuses de les partager, de participer à l'effort de compréhension des processus à l'origine des évolutions qu'ils constatent presque quotidiennement.

Aujourd'hui, l'informatique, la numérisation et l'Internet, permettent techniquement de s'affranchir de nombreuses barrières qui freinaient jusqu'alors la transmission de l'information. Nous proposons donc d'utiliser ce média pour procéder à l'échange dont l'impérativité vient d'être soulignée. Ainsi par exemple, via son site Web, le Pays pourrait proposer un accès libre à ses administrés, aux chercheurs et aux gestionnaires, autrement dit à tous les acteurs de la GIZC, vers une base de données que chacun peut contribuer à alimenter et consulter quand bon lui semble. Certes, ce procédé peut conduire à certaines dérives, la question récurrente de la propriété intellectuelle ou encore celle de la véracité des données. Quoi qu'il en soit, c'est aussi à ce prix que les connaissances pourront progresser. Reprenons l'exemple qui nous concerne plus particulièrement. Est-il raisonnable de penser qu'il faille effectuer systématiquement (et *a priori* en parallèle) des Modèles Numériques de Terrain sur toutes les plages vulnérables du Pays (et elles sont nombreuses) pour en déterminer leur niveau de sensibilité aux aléas météo-marins ? Combien d'appareils (GPS), combien de personnes, combien de mesures, combien de temps cela mobiliserait-il ? Qui serait en mesure de financer ce genre d'opération ? En proposant de créer cet « observatoire participatif du littoral », nous pensons répondre, au moins pour partie, à ce type de préoccupation.

Un bulletin pour l'activité ostréicole

Selon la même idée qu'il est possible de « faire du neuf avec du vieux », nous tenions, pour finir, à évoquer un autre projet, car il pourrait concerner une grande partie de la population locale. Il s'agirait de proposer un outil de prédiction à destination des professionnels de l'ostréiculture. L'ensemble des concessions ostréicoles du bassin de Marennes-Oléron occupe plus de 7800 ha dont 3000 de marais littoraux destinés à l'affinage des huîtres. Cela représente près de 10 000 emplois, dont 4 400 permanents. Sa production annuelle varie de 40 000 à 60 000 tonnes, ce qui représente environ 45 % de la production française et en fait le premier centre européen pour l'huître creuse. Durant son histoire, cette activité a connu de multiples crises. Les plus récentes sont l'épizootie qui a conduit à l'implantation de l'huître japonaise, les pertes engendrées par l'ouragan du 27 décembre 1999 (près de 80 %) et plusieurs années de forte mortalité, notamment en 2008.

Par ailleurs, les professionnels de l'ostréiculture sont quotidiennement confrontés à une problématique majeure qui influence considérablement la planification de leur activité. Nombre d'entre eux souhaiteraient disposer d'une information beaucoup plus précise en ce qui concerne la prévision des niveaux d'eau au moment où ils doivent se rendre sur leurs concessions (les parcs à huîtres). La consultation du calendrier des marées, qui reste la pratique la plus usitée, est très critiquée car ce moyen ne résout que très partiellement le problème qui leur est posé. A un instant donné, les conditions météo-marines locales et la morphologie du bassin induisent de fortes déviations entre le niveau d'eau théorique et le niveau réel de la mer. Celles-ci peuvent varier de plusieurs dizaines de centimètres, ce qui est loin d'être négligeable quand on sait que cela signifie pour un ostréiculteur qu'il lui faudra travailler à pied sec ou avec de l'eau jusqu'à la taille (et parfois plus) par exemple. En complément du traditionnel bulletin de Météo-France et du calendrier des marées proposé par le SHOM, il est donc indispensable que nous soyons en mesure de proposer une information plus riche et plus adaptée aux réalités de cette activité.

L'idée serait de diffuser par le même média des cartes du bassin ostréicole qui renseigneraient l'exploitant sur l'état d'émersion ou d'immersion de la parcelle dont il s'occupe (Figure 124). Les limites à modéliser, que l'expert nomme isohypses (partie émergée) et autres isobathes (partie immergée), sont à définir de manière aussi précise que possible, que ce soit dans l'espace où dans le temps. A partir de cette cartographie, une visite virtuelle des parcs à huîtres est rendue possible par le biais d'une interface graphique simple

d'utilisation et, si possible, interactive (les calculs sont paramétrés par l'utilisateur). Dans l'absolu, les résolutions dont il est question doivent au minimum être de 0,5 m pour l'altitude et d'1h (voir d'1/2h) pour les points de prévision.

Ce travail demande une grande rigueur et certainement plus de moyens que dans l'exemple précédent. Il demande, en amont, à ce que des Modèles Numériques de Terrain soient réalisés pour calibrer verticalement chaque zone à cartographier, l'altitude précise des parcs à huîtres. Dans sa phase opérationnelle, l'outil ne pourra reposer que sur des données de simulation du niveau de la mer. Ce type de modèle existe déjà (exemple : Mars 3D, disponible sur <http://www.premimer.fr> ; nos propre données sources). Cela demande simplement à ce que sa résolution spatiale soit affinée pour restituer les possibles effets de la morphologie et de la courantologie propres au bassin de Marennes-Oléron. Ce projet pourrait s'articuler sur une collaboration entre les différents organismes publics compétents dans le domaine (SHOM, CETMEF, IFREMER), les universitaires (à travers un ou plusieurs sujets de Master par exemple) et, bien entendu, les professionnels (leurs observations et leur témoignages étant indispensables pour la validation *in situ*). Plus généralement, l'intérêt de ce genre de projet est de permettre aux citoyens qui le désirent de participer plus activement aux projets locaux de GIZC ; cette démarche se limitant encore trop souvent aux simples déclarations d'intention de la part des acteurs qui y participent déjà depuis longtemps.

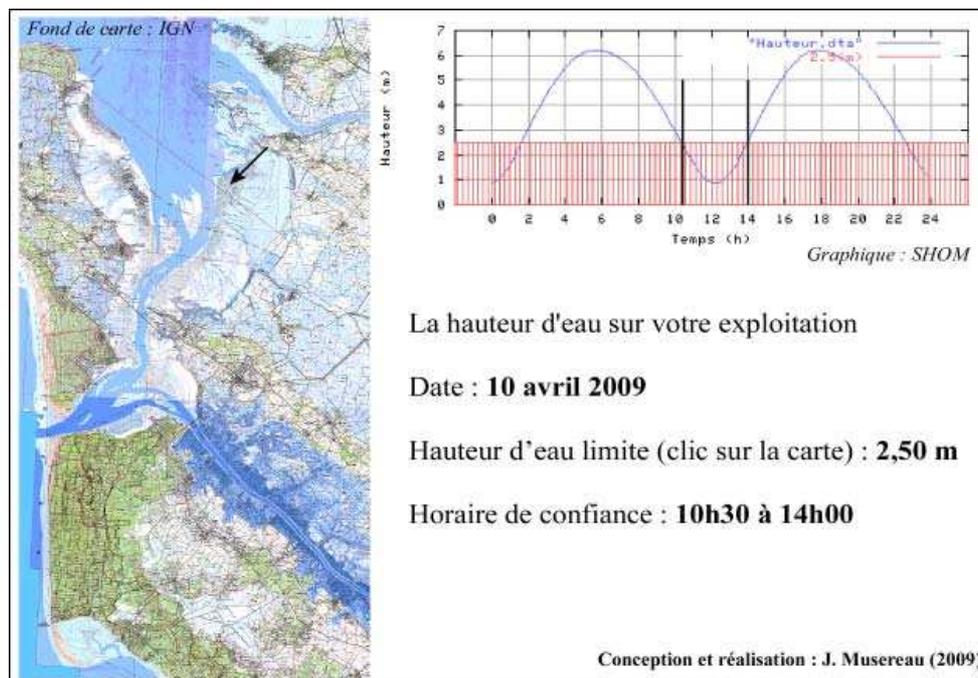


Figure 124 : Proposition d'un outil de prédiction à destination des ostréiculteurs

CONCLUSION GENERALE

Les phénomènes d'érosion du littoral, parce qu'ils concernent bien souvent un territoire aménagé par les sociétés qui l'occupent, doivent être appréhendés comme des aléas composites. En effet, s'il s'agit d'événements d'origine naturelle, leurs conséquences spatiales sont aussi en grande partie déterminées par le facteur anthropique. Cette particularité implique pour le scientifique qui cherche à en comprendre les mécanismes, les processus, à adopter une lecture avant tout sociale de ces faits. C'est ce que certains géographes, les « littoralistes » qui sont affiliés à la branche de la « Géographie des Risques », s'efforcent de faire, avec plus ou moins de réussite. Cette filiation nous a poussé à adopter dans cette thèse un discours orienté et nécessairement subjectif, à critiquer, parfois avec insistance, certaines démarches, certaines méthodes, certains outils qui émanent des sciences dites « naturalistes ». Cette position est assumée mais elle demande néanmoins à être nuancée. Ces deux manières de « chercher » ne doivent pas être opposées. L'expérience montre clairement qu'elles sont complémentaires.

Si l'une permet de décrire finement les processus érosifs, elle n'est pas en mesure d'estimer efficacement en quoi ils peuvent être dangereux, voire dommageables pour une société donnée. Elle n'explique pas pourquoi certaines réponses apportées pour mitiger l'érosion peuvent paraître disproportionnées, voire incongrues. De surcroît, elle est incapable de donner du sens à une évolution qui ne semble pas logique vis-à-vis des phénomènes physiques dont elle cherche à explorer les mécanismes. En d'autres termes, cette vision est incomplète, certains facteurs explicatifs lui font défaut.

Ainsi, peut-on se demander si l'inversion de la dynamique morphosédimentaire observée depuis quelques années à Saint-Trojan n'était pas aussi implicitement comprise dans sa genèse. L'« Homme Aménageur », en accompagnant avec insistance la dynamique naturelle, a peut-être bousculé un équilibre établi. La manifestation actuelle de ce bouleversement se traduit alors par un rythme de recul largement supérieur aux retraits mesurés ailleurs dans la région. A La Belle-Henriette, on assiste actuellement à un déplacement de la zone la plus sensible à la submersion marine. Autrefois, celle-ci se situait au niveau de l'extrémité d'une flèche littorale en progradation. Depuis la fermeture artificielle de la lagune, les problèmes se sont concentrés au niveau de son ancienne racine, notamment en raison des effets induits par l'implantation d'autres aménagements littoraux, en amont-dérive du site (les épis situés à proximité des Roulières). Il existe enfin des formes totalement artificielles, comme le cordon littoral de Marennes-Plage, dont le fonctionnement défie, d'une certaine manière, les lois de la physique.

Mais il serait tout aussi malvenu d'avancer que l'autre manière de faire, celle qui consiste à donner plus de poids aux interactions Nature/Société, se suffit à elle-même. Expliquer que tel ou tel territoire n'est pas exclusivement « naturel », qu'il s'agit d'un système complexe, qu'il serait illusoire de prétendre qu'on y trouvera « l'ordre derrière le désordre », cela ne représente bien entendu qu'une partie du travail. Ce constat nous a donc amené à tenter un rapprochement entre ces deux conceptions de la science des lieux.

A notre manière, nous avons bien construit un modèle physique, puisqu'il décrit un phénomène physique. En l'occurrence, sous la forme d'un indice synthétique, il vise à prédire l'impact morphologique des tempêtes. Certes, de nouvelles avancées seront nécessaires dans ce domaine, mais l'outil en question apporte un certain nombre de réponses au sujet des problématiques liées la complexité des aléas littoraux. Comment spatialiser leur impact ? Comment prévoir leur intensité et le moment où elle sera la plus importante ? Comment mesurer la gravité de l'impact ? Au moins partiellement, il repousse aussi certaines limites inhérentes à la démarche analytique, en expliquant notamment pourquoi, à forçage équivalent, on peut observer plusieurs types de réponse morphologique. Ainsi, la méthode probabiliste de découplage des tempêtes que nous avons mise au point montre que seuls des aléas bien spécifiques sont susceptibles d'éroder le littoral, parfois même indépendamment de leur intensité absolue. Enfin, sans que nous puissions à l'heure actuelle proposer une méthode rigoureuse et fiable (à savoir quantitative) pour intégrer ce facteurs essentiel, le travail de modélisation a permis d'ouvrir une porte sur l'appréhension de la notion de résilience. Ce concept fait appel à une dimension qui, d'une certaine manière, mais c'est aussi compréhensible, est un peu délaissée par le géographe. Il s'agit du temps, de la durée. Dans ce cas précis, cela correspond à un rapport défini par la fréquence des aléas météo-marins et la durée nécessaire au renouvellement d'un stock sédimentaire. Il s'avère que de ce point de vue, la meilleure solution consiste pour le moment à préconiser une démarche de suivi et à en appeler à la vigilance quant aux travaux dont les conclusions pourraient émaner de mesures ponctuelles, à savoir lorsque celles-ci sont concentrées dans l'espace et/ou dans le temps.

Cet appel à la démarche de suivi est d'ailleurs un des points sur lesquels l'autre partie de ce travail (s'il en est une) insiste tout particulièrement. Car, force est de constater qu'il fallait aller plus loin, qu'il ne fallait pas se contenter de décrire des processus et leurs conséquences spatiales pour analyser un phénomène qui, rappelons-le, s'articule autour d'un problème de société. Or, justement, le problème est de taille. Il n'engage plus le scientifique dans une démarche « isolée », même si nous convenons volontiers que ce terme est impropre.

Les questions qui se posent à nous, voire qui s'imposent à nous, sont d'une tout autre nature, mais elles n'en sont pas moins empreintes d'une grande complexité, celle, cette fois, de la « nature humaine ». Comment répondre efficacement à une exigence sociale ? Sommes-nous capable de prévoir ce qu'est un dommage ? Comment orienter une politique de prévention de ce dommage ? Face à ce type de préoccupations, la modélisation des processus, quelqu'en soit l'origine, nous apparaît clairement comme insuffisante. C'était l'occasion de revenir sur le mythe du modèle universel, celui qui serait capable de tout expliquer. La topographie sous-marine, le profil de la plage, la surface de la dune (etc...) ne sont pas des données constantes. Le comportement des sociétés qui l'occupent l'est encore moins. Il nous paraît totalement illusoire qu'en ajoutant indéfiniment des paramètres à un modèle on pourra lui faire prendre en compte tous les changements qui sont susceptibles d'intervenir en milieu instable (si tant est d'ailleurs qu'il existe un penchant réel de ce que la théorie nomme « milieu stable »). Dans un but applicatif, il est sans doute plus logique de raisonner différemment, de s'attacher à modéliser les conditions nécessaires à la survenue d'une situation de crise, tout simplement parce que ce sont les questions qui importent le plus pour les personnes qui, concrètement, occupent, pensent et aménagent leur territoire. Il existe là un risque de dérive qui tendrait à aggraver un « malentendu » déjà prégnant entre les acteurs locaux et les experts. Les uns font de plus en plus souvent part d'un problème de mise en pratique des méthodes qui leurs sont proposées. Les autres estiment, et c'est légitime, que le fruit de leur travail n'est pas toujours valorisé, du moins à la hauteur de leurs attentes.

En théorie, l'application des préceptes de la Gestion Intégrée des Zones Côtières (GIZC) doit permettre de résoudre ce type de problème. Mais, à dire vrai, l'expérience a souvent montré qu'il ne s'agissait que d'une vertu potentielle. Le projet du Pays de Marennes-Oléron en est un exemple assez représentatif. Malgré les bonnes volontés, en dépit de nombreuses avancées, de la multiplication d'échanges enrichissants, des rapprochements qui ont pu s'opérer entre les différents acteurs au cours de son lancement, cette entreprise n'évolue plus qu'à dose thérapeutique. A partir d'une documentation bien fournie, et en nous reposant sur une expérience personnelle non moins instructive, nous avons tenté d'en reconstituer l'anamnèse. Il n'y a pas lieu dans cette conclusion de revenir en détail sur les raisons qui expliquent cet échec partiel, car finalement, tout peut se résumer dans la phrase suivante : la GIZC n'est pas uniquement une question de principe, c'est avant tout une nécessité d'agir.

Cette philosophie de « la construction par l'action », qui ne doit bien évidemment pas non plus s'exempter d'une réflexion au préalable, nous la partageons pleinement. C'est pourquoi, au-delà de la présentation du travail scientifique *stricto sensu*, nous avons cherché à plusieurs reprises à alerter le lecteur sur la nécessité que les résultats de ce travail soient en mesure d'être reproduits, réappropriés. Cette exigence nous a incité à proposer une méthodologie nouvelle. A certains moments, elle nous a aussi conduit à simplifier volontairement le discours qui l'accompagne. Mais cet impératif nous a surtout poussé à réfléchir à la manière dont les travaux scientifiques peuvent être valorisés. C'est ainsi que nous avons soulevé la question épineuse de la gratuité des données. Ce constat nous a enfin amené à émettre des propositions qui, si leur contenu déborde du cadre défini pour le travail de thèse, montrent comment on peut imaginer produire de la recherche en impliquant d'avantage le citoyen. En matière de GIZC, de nombreux auteurs ont en effet ouvertement critiqué le fait que cet acteur, pourtant principal, soit encore trop souvent « éloigné » des projets.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AAGAARD T., KROON A., ANDERSEN S., SORENSEN R. M., QUARTEL S., VINTHERA N.** (2005). Intertidal beach change during storm conditions; Egmond, The Netherlands. *Marine Geology*, n° 218, pp. 65–80.
- ADGER W. N.** (2006). Vulnerability. *Global Environmental Change*, vol. 16, n° 3, pp. 268-281.
- ALLARD J.** (2008). *Enregistrements des changements environnementaux dans les sédiments littoraux : cas des Pertuis Charentais et du Bassin d'Arcachon*. Thèse de Géologie Marine, Université de La Rochelle, 278 p.
- ALLARD J., BERTIN X., CHAUMILLON E., POUGET F.** (2008). Sand spit rhythmic development: A potential record of wave climate variations? Arçay Spit, western coast of France. *Marine Geology*, vol. 253, n° 3-4, pp. 107-131.
- ALLEN J. R.** (1981). Beach erosion as a function of variations in the sedimentary budget, Sandy Hook, New Jersey, USA. *Earth, Surface and Landforms*, n° 6, pp. 139-150.
- ALLEN G. P., CASTAING P.** (1977). Carte de répartition des sédiments superficiels sur le plateau continental du Golfe de Gascogne. *Bulletin de l'Institut de Géologie du Bassin d'Aquitaine*, n° 21, pp. 255-260.
- ANDERSEN U. V.** (1995). Resistance of Danish coastal vegetation types to human trampling. *Biological Conservation*, n° 71, pp. 223-230.
- ANDRE X.** (1986). *Elaboration et analyse de cartes bathymétriques détaillées du proche plateau Vendéo-Charentais (Golfe de Gascogne) - Reconstitution des paléorivages de la transgression Holocène*. Thèse de Doctorat d'Océanologie/Sédimentologie, Université de Bordeaux 1, 274 p.
- BAGNOLD R. A.** (1941). *The physics of blown sand and desert dunes*. Methuen, London, 265 p.
- BALSILLIE J. H.** (1986). Beach and coast erosion due to extreme event impact. *Shore and Beach*, vol. 54, n° 4, pp. 22-37.
- BARON-YELLES N.** (2000). *Recréer la nature. Ecologie, paysage et société au marais d'Orx*. Collection Coup d'essai, Paris, 216 p.

- BARUSSEAU J. P.** (1973). *Evolution du plateau continental rochelais (Golfe de Gascogne) au cours du Pléistocène terminal et de l'Holocène*. Thèse de Doctorat d'Océanologie/Sédimentologie, Université de Bordeaux 1, 488 p.
- BARUSSEAU J. P., MARTIN G.** (1971). Esquisse géologique et structurale des pertuis charentais et de leurs abords (Golfe de Gascogne, France). *Revue de Géographie Physique et de Géologie Dynamique*, n° 13, pp. 403-411.
- BELLIARD V.** (1908). *Saint Trojan les Bains – Son histoire*. Rupella (réed., 1983), La Rochelle, 300 p.
- BENAVENTE J., DEL RIO L., ANFUSO G., GRACIA F. J., REYES J. L.** (2002). Utility of Morphodynamic Characterisation in the Prediction of Beach Damage by Storms. *Journal of Coastal Research*, Special Issue 36, pp. 56-64.
- BENSON C., TWIGG J.** (2004). Measuring mitigation: methodologies for assessing natural hazard risks and the net benefits of mitigation - a scoping study. Provention Consortium, Geneva, Switzerland. [Cited: 2004 December]. Available from: http://www.proventionconsortium.org/themes/default/pdfs/MM_synthesis.pdf.
- BERTALI Y., LAHONDERE C., BURNELEAU G., MICHENEAU C., DAUGE C.** (2002). De la dune à la forêt. *Les cahiers d'Oléron*, n° 9, pp. 6-29.
- BERTIN X.** (2008). *Morphodynamique séculaire, architecture interne et modélisation d'un système baie/embouchure tidale: le Pertuis de Maumusson et la baie de Marennes-Oléron*. Thèse de doctorat de Géologie Marine, Université de La Rochelle, 198 p.
- BERTIN X., CHAUMILLON E., SOTTOLICHIO A., PEDREROS R.** (2005). Tidal inlet response to sediment infilling of the associated bay and possible implications of human activities: the Marennes-Oléron Bay and the Maumusson Inlet, France. *Continental Shelf Research*, vol. 25, pp. 1115–1131.
- BERTIN X., CHAUMILLON E., CASTELLE B., BUTEL R., QUIQUE R.** (2008). Estimation and inter-annual variability of the longshore transport at a high-energy dissipative beach: the St Trojan beach, SW Oléron Island, France. *Continental Shelf Research*, *Continental Shelf Research*, *Continental Shelf Research*, vol. 28, pp. 1116–1132.

- BESSEMOULIN P.** (2002). Les tempêtes en France. *Annales des Mines*, août 2002, pp. 9-14.
- BETTS N. L., ORFORD J. D., WHITE D., GRAHAM C. J.** (2004). Storminess and surges in the South-Western Approaches of the eastern North Atlantic: the synoptic climatology of recent extreme coastal storms. *Marine Geology*, vol. 210, n° 1-4, pp. 227-246.
- BIGOT S.** (2002). *Détection des discontinuités temporelles au sein des séries climatiques : point méthodologique et exemple d'application*. Acte des « Journées de Climatologie », Strasbourg, 21-23 mars 2002, pp. 27-46.
- BREMONTIER N. T.** (1796). *Mémoire sur les dunes : et particulièrement sur celles qui se trouvent entre Bayonne et la pointe de Grave, à l'embouchure de la Gironde*. Impr. de la République, Paris, 73 p.
- BRESSOLIER C.** (1979). Processus d'actions dynamiques et réponses sédimentaires à la pointe de la Coubre. *Mémoires du Laboratoire de Géomorphologie de l'E.P.H.E.*, n° 27, 157 p.
- BRYAN K. R., COCO G.** (2007). Detecting nonlinearity in run-up on a natural beach. *Nonlinear Processes in Geophysics*, n° 14, pp. 385–393.
- BILLE R.** (2006). Gestion intégrée des zones côtières : quatre illusions bien ancrées. *Vertigo*, vol. 7, n° 3, 12 p.
- BODERE J. C.** (1994). Vulnérabilité des dunes littorales : mise au point d'une méthode d'évaluation. *Cahiers Nantais*, n° 41/42, pp. 197-203.
- BORJA F., ZAZO C., DABRIO C. J., DIAZ DEL OLMO F., GOY J. L., LARIO J.** (1999). Holocene aeolian phases and human settlements along the atlantic coast of southern Spain. *The Holocene*, n° 9, pp. 333-339.
- BOUHIER A.** (1957). Aspects morphologiques de la partie occidentale du Marais Poitevin. *Noroît*, n° 4, pp. 175-207.
- BOURGUEIL, B. ET MOREAU P.** (1974). Carte géologique de la France à 1/50 000, Feuille 657/Ile d'Oléron. Editions du BRGM, Orléans.

- BOUSQUET B., MIOSSEC A.** (1990). Défense de la côte ou protection de l'espace littoral, peut-on parler d'une politique française ? In *Littoral 90*, Marseille : EUROCOAST, pp. 363-640.
- BROWDER A. E., DEAN R. G.** (2000). Monitoring and comparison to predictive models of the Perdido Key beach nourishment project, Florida, USA. *Coastal Engineering*, vol. 39, n° 2-4, pp. 173-191.
- BRULAY F., PUIPIER-DAUCHEZ S.** (2006). From Marennes to Marennes-Plage, the management of a mud-flat, *Cahiers de Biologie Marine*, vol. 47, n° 1, pp. 79-84
- BRUUN P.** (1992). Representing equilibrium beach profiles with an exponential expression. *Journal of Coastal Research*, 8, n° 3, p. 752.
- BUTEL P.** (1953). Les formations d'âge secondaire du Sud de la Vendée, entre le massif ancien et l'océan (feuille des Sables d'Olonne au 1/80 000). *Bulletin du Service de la Carte Géologique de France*, vol. 51, pp. 239.
- BUTMAN B., SHERWOOD C. R., DALYANDER P. S.** (2008). Northeast storms ranked by wind stress and wave-generated bottom stress observed in Massachusetts Bay, 1990–2006. *Continental Shelf Research*, Vol. 28, n° 10-11, pp. 1231-1245.
- CALLAGHAN D. P., NIELSEN P., SHORT A., RANASINGHE R.** (2008). Statistical simulation of wave climate and extreme beach erosion. *Coastal Engineering*, vol. 55, n° 5, pp. 375-390.
- CALLAGHAN D. P., RANASINGHE R., SHORT A. A** (2009). Quantifying the storm erosion hazard for coastal planning. *Coastal Engineering*, vol. 56, n° 1, pp. 90-93.
- CANIZARES R., IRISH J.** (2008). Simulation of storm-induced barrier island morphodynamics and flooding. *Coastal Engineering*. vol. 55, n° 12, pp. 1089-1101.
- CAPOBIANCO M., HANSON H., LARSON M., STEETZEL H., STIVE M. J. F., CHATELUS Y., AARNINKHOF S., KARAMBAS T.** (2002). Nourishment design and evaluation: applicability of model concepts. *Coastal Engineering*, vol. 47, n° 2, pp. 113-135.

- CAZES-DUVAT V.** (2001). Evaluation de la vulnérabilité des plages à l'érosion : application à l'archipel des Seychelles. *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, vol. 7, n° 1, pp. 31-40.
- CHARBONNIER J.** (2004). *Dictionnaire de la gestion des risques et des assurances*. La Maison Du Dictionnaire, 558 p.
- CICIN-SAIN B., KNECHT R. W.** (1998) *Integrated coastal and ocean management, concepts and practices*. Island press, Washington D.C., 518 p.
- CLARKE M., RENDELL H. M., TASTET J. P., CLAVET B., MASSE L.** (2002). The Late-Holocene sand invasion and North Atlantic storminess along the Aquitaine Coast, southwest France, *The Holocene*, vol. 12, n° 2, pp. 231-238.
- 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*, vol. 95, n° 3-4, pp. 295-315.
- COLMOU P.** (1983). La presqu'île d'Arvert, des milieux fragiles perturbés par 20 ans d'ouverture au tourisme. *Noréis*, n° 117. pp. 39-56.
- COSTA S., CANTAT O., PIRAZZOLI P. A., LEMAITRE M., DELAHAYE D.** (2004). Vents forts et submersions de tempête en Manche orientale : analyse météo-marine sur la période historique récente. *Actes du XVIIe Colloque International de Climatologie : « Climat : mémoire du temps »*, pp. 277-280.
- CREOCEAN** (1996). *Projet d'aménagement de Marennes-Plage*. Etude n° 62223, commandé par la municipalité de Marennes.
- CREOCEAN** (2003). *Gestion dynamique des sédiments sur les côtes Ouest et Nord de l'île d'Oléron*. Etude n° 99102, commandé par le Conseil Général de Charente-Maritime.
- COQUE R.** (1993). *Géomorphologie*. 5^{ème} édition, Armand Colin, Paris, 503 p.
- COWELL P. J., THOM B. G.** (1994). Morphodynamics of coastal evolution. In *Carter, R.W.G. and Woodroffe, C.D. (eds), Coastal Evolution*, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 33-86.

- CRAWFORD B. R., COBB J. S., MING C. L.** (1995). *Educating coastal managers. Proceedings of the Rhode Island workshop*. Coastal Resources Center / USAID, W. Alton Jones Campus, University of Rhode Island.
- CROWELL M., LEATHERMAN S. P., BUCKLEY M. K.** (1991). Historical shoreline change: error analysis and mapping accuracy. *Journal of Coastal Research*, vol. 7, n° 3, pp. 839-852.
- DAHM J., JENKS G., BERGIN D.** (2005). *Community-based Dune Management for the Mitigation of Coastal Hazards and Climate Change Effects: A Guide for Local Authorities*. Report of the Ministry for the Environment, New Zealand, 38 p.
- DARS M., BESSERO G., GUENVEL D.** (1979). *Cours de marée* (Tome 1). Ecole Nationale Supérieure de Techniques Avancées, Paris.
- DATAR** (2001). *Dossier de presse du Comité interministériel d'aménagement et de développement du territoire de Limoges du 9 juillet 2001*. Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, 44p. Disponible sur : <http://www.datar.gouv.fr>.
- DAUPHINE A.** (2000). *Risques et catastrophes: observer, spatialiser, comprendre-gérer*. Armand Colin, Paris, 288 p.
- DAVID R.** (1994). La fixation des dunes maritimes de Gascogne. *La Vie des Sciences*, vol. 11, n° 2, pp. 123-147.
- DAVIS R. A., WANG P., SILVERMAN B. R.** (2000). Comparison of the Performance of Three Adjacent and Differently Constructed Beach Nourishment projects on the Gulf Peninsula of Florida. *Journal of Coastal Research*, vol. 16, n° 2, pp. 396-407.
- DAWSON A. G., HICKEY K., HOLT T., DAWSON S., FOSTER I. D. L., WADHAMS P., JONSDOTTIR I., WILKINSON J., MCKENNA J., DAVIS N. R., SMITH D. E.** (2002). Complex North Atlantic Oscillation (NAO) Index signal of historic North Atlantic storm tracks. *The Holocene*, vol. 12, n° 3, pp. 363-369.
- DAY J. W., BOESCH D. F., CLAIRAIN E. J., KEMP G. P., LASKA S. B., MITSCH W. J., ORTH K., MASHRIQUI H., REED D. J., SHABMAN L., SIMENSTAD C. A., STREEVER B. J., TWILLEY R. R., WATSON C. C., WELLS J. T., WHIGHAM**

- D. F.** (2007). Restoration of the Mississippi Delta: Lessons from Hurricanes Katrina and Rita. *Science*, vol. 315, n°5819, pp. 1679-1684.
- DEAN R. G.** (1991). Equilibrium beach profiles: characteristics and applications. *Journal of coastal research*, vol. 7, n° 1, pp. 53-84.
- DEAN R. G.** (2003). *Beach Nourishment: Theory and Practice*. World Scientific, Singapore, 399 p.
- DEAT E.** (1995). *Morphogenèse et évolution récente de la flèche sableuse et de la lagune de la Belle-Henriette, Propositions de restauration et de gestion du site PNR du Marais Poitevin Val de Sèvre et Vendée*. Mémoire de DEA, Université de Brest, 142 p.
- DIREN Pays de Loire** (2000). Lagune de la Belle Henriette (Vendée), projet de Réserve Naturelle, demande de prise en considération du projet, 42 p.
- DOLAN R., FENSTER M. S., HOLME S. J.** (1991). Temporal analysis of shoreline recession and accretion. *Journal of Coastal Research*, vol. 7, n° 3, pp. 723-744.
- DOLAN R., FENSTER M. S., HOLME S. J.** (1992). Spatial analysis of shoreline recession and accretion. *Journal of Coastal Research*, vol. 8, n° 2, pp. 263-285.
- DOLAN R., DAVIS R.** (1992). An intensity scale for Atlantic Coast northeast storms. *Journal of Coastal Research*, vol. 8, n° 4, pp. 840-853.
- DOLIQUE F.** (2007). *Articulations morphodynamiques : exemples en milieux littoraux tempérés et tropicaux*. Habilitation à Diriger des Recherches, Université du Littoral Côte d'Opale, vol. 1, 233 p.
- DUBOIS R. N.** (1995). The transgressive barrier model: An alternative to two-dimensional volume balance models. *Journal of Coastal Research*, vol. 11, n° 4, pp. 1272-1286.
- DUHAMEL P., KNAFOU R.** (2003). Tourisme et littoral : intérêts et limites d'une mise en relation. *Annales de Géographie*, n° 629, pp. 47-67.
- DUPUIS J.** (1974). Carte Géologique : Feuille de Marans, Orléans.
- DUPUIS H., MICHEL D., SOTTOLICHIO A.** (2006). Wave climate evolution in the Bay of Biscay over two decades. *Journal of Marine Systems*, n° 63, pp. 105-114.

- EDLIN H. L.** (1976). *The natural history of trees*. London, 269 pp.
- EINARSSON E., LOWE A. B.** (1968). Seiches and set-up on Lake Winnipeg. *Limnology and Oceanography*, vol. 13, n° 2, pp. 257-271.
- FENSTER M. S., DOLAN R., MORTON R. A.** (2001). Coastal storms and shoreline change: Signal or Noise?. *Journal of Coastal Research*, vol 17, n° 3, pp. 714-720.
- FERREIRA O., T. GARCIA, A. MATIAS, R. TABORDA, J. A. DIAS** (2006). The role of storm groups in the erosion of sandy coasts. *Earth Surface Processes and Landforms*, vol. 31, n° 8, pp. 1058-1060.
- FLAMENT E.** (1977). La pression touristique littorale. *Cahiers Nantais*, n° 13, pp. 21-26.
- FORBES D. L., ORFORD J. D., CARTER R. W. G., SHAW J., JENNINGS S. C.** (1995). Morphodynamic evolution, self-organisation, and instability of coarse-clastic barriers on paraglacial coasts. *Marine Geology*, vol. 126, n° 1, pp. 63-85.
- FORBES D. L., PARKES G. S., MANSON G. K., KETCH L. A.** (2004). Storms and shoreline retreat in the southern Gulf of St. Lawrence. *Marine Geology*, vol. 210, n° 1-4, pp. 169-204.
- GALICHON P.** (1984). *Hydrodynamique sédimentaire des flèches littorales sableuses : cas de la pointe d'Arçay (Vendée)*. Thèse d'Etat en Sciences de la Terre, Paris XI, 234 p.
- GALLOPIN G .C.** (2006). Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity. *Global Environmental Change*, vol. 16, n° 3, pp. 293-303.
- GARCIA-MORA M. R., GALLEGO-FERNANDEZ J. B., WILLIAMS A. T., GARCIA-NOVO F.** (2001). A coastal dune vulnerability classification. A case study of the SW Iberian Peninsula. *Journal of Coastal Research*, vol. 17, n° 4, pp. 802-811.
- GERSTENGARBE F. W., WERNER P. C.** (2005). *Katalog der Grosswetterlagen Europas (1881-2004)*. PIK Report n° 100, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, 153 p.
- GIBEAUT J. C., GUTIERREZ R., HEPNER T. L.** (2002). Threshold Conditions for Episodic Beach Erosion along the Southeast Texas Coast. *Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions*, vol. 52, 13 p.

- GLASER B. G., STRAUSS, A. S.** (1967). *The Discovery of Grounded Theory: Strategies for Qualitative Research*. Aldine Publishing Company, Chicago.
- GODET L.** (2003). *Impacts et interactions des activités humaines sur un site à forte valeur écologique, quelles solutions pour un développement durable ? L'exemple de la lagune de la Belle Henriette (Vendée)*. Mémoire de Maîtrise de Géographie, Université de Paris I, 281 p.
- GRIVEL S.** (2000). *La Grande Plage, de Vert-Bois à la pointe de Gatseau : dynamique et enjeux d'un système littoral*. Mémoire de Maîtrise de Géographie, Paris 8, 201p.
- GUERRIER N.** (1686). *Carte de l'île d'Oléron, éch. 1/22 500*. Paris, BNF.
- GUILLEMETTE F.** (2006). L'approche de la Grounded Theory ; pour innover ?. *Recherches Qualitatives*, vol.26, n° 1, pp. 32-50.
- GUINAUDEAU J.** (1974). Fixation des dunes de Gascogne en France. *International Journal of Biometeorology*, vol.18, n° 2, pp.133-136
- GUINEBERTEAU T., MEUR-FEREC C., TROUILLET B.** (2006). La gestion intégrée des zones côtières en France : mirage ou mutation stratégique fondamentale ? *Vertigo*, vol. 7, n° 3, 14 p.
- GUMBEL E. J.** (1957). Méthodes graphiques pour l'analyse des débits de crues. *Revue de Statistique Appliquée*, vol., 5 n° 2, pp. 77-89.
- HALSEY S. D.** (1986). Proposed classification scale for major northeast storms: East coast, USA based on extent of damage. Geological Society of America, Abstracts with Programs (Northeastern Section), pp.18, 21.
- HANSON H., BRAMPTON A., CAPOBIANCO M., DETTE H. H., HAMME L., LAUSTRUPF C., LECHUGAG A., SPANHOF R.** (2002). Beach nourishment projects, practices, and objectives - a European overview. *Coastal Engineering*, vol. 47, n° 2, pp. 81-111.

- HEQUETTE A.** (2001). Courants et transports sédimentaires dans la zone littorale : le rôle des courants orbitaux et de downwelling. *Géomorphologie : relief, processus et environnement*, vol. 7, n° 1, pp. 5-16.
- HEQUETTE A., DESROSIERS M., HILL P. R., FORBES D. L.** (2001). The influence of coastal morphology on shoreface sediment transport under storm-combined flows, Canadian Beaufort Sea. *Journal of coastal research*, vol. 17, n° 3. pp. 507-516.
- HESS P., BREZOWSKY H.** (1952). *Katalog der Grosswetterlagen Europas*. Bibliothek des Deutschen Wetterdienstes in der US-Zone, n° 33, 39 p.
- HOLTHUIJSEN L. H., BOOIJ N., HERBERS T. H. C.** (1989). A prediction model for stationary, short-crested waves in shallow water with ambient currents. *Coastal Engineering* 13, 1, 23-54.
- IDIER D., PEDREROS R., OLIVEROS C., SOTTOLICHIO A., BERTIN X.** (2006). Contributions respectives des courants et de la houle dans la mobilité sédimentaire d'une plate-forme interne estuarienne. Exemple : le seuil interinsulaire, au large du pertuis d'Antioche, France. *Comptes Rendus Géosciences*, n° 338, pp. 718-726.
- IPCC [Intergovernmental Panel on Climate Change]** (2007). *Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability*. Genève, 1000 p.
- JACKSON N. L., NORDSTROM K. F.** (1998). Aeolian transport of sediment on a beach during and after rainfall, Wildwood, NJ, USA. *Geomorphology*, vol. 22, n° 2, March 1998, pp 151-157.
- JOUAN D.** (2005). *Evolution de la variabilité de la fréquence et de l'intensité des tempêtes en Europe de l'ouest*. Thèse de Doctorat de Géographie, Université de Haute Bretagne Rennes 2, 167 p.
- JUDGE E. K., OVERTON, M. F., FISHER, J. S.** (2003). Vulnerability indicators for coastal dunes. *Journal of Waterway Port Coastal and Ocean Engineering*, vol. 129, n° 6, pp. 270-278.
- KASPERSON R. E., DOW K., ARCHER E., CACERES D., DOWNING T., ELMQVIST T., ERIKSEN S., FOLKE C., HAN G., IYENGAR K., VOGEL C.,**

- WILSON K., ZIERVOGEL G.** (2005). *Vulnerable people and places*. In: Hassan R., Scholes R., Ash N. (Eds.), *Ecosystems and Human Wellbeing: Current State and Trends*, vol. 1. Island Press, Washington, DC, pp. 143-164.
- KLEIN R. J. T., NICHOLLS R. J., F. THOMALLA** (2003). Resilience to natural hazards: How useful is this concept? *Environmental Hazards*, vol. 5, n°1-2, pp.35-45.
- KRIEBEL D., DALRYMPLE R., PRATT A., SAKOVICH V.** (1997). A shoreline risk index for northeasters. In *Proceedings ASCE International conference on Natural Disaster Reduction* (ed. ASCE), pp. 251–252.
- KUTIEL P., EDEN E., ZHEVELEV Y.** (2000). Effect of experimental trampling and off-road motorcycle traffic on soil and vegetation of stabilized coastal dunes, Israel. *Environmental Conservation*, vol. 27, n° 1, pp. 14-23.
- LAMB H. H., FRYDENDAHL K.** (1991). *Historic storms of the North Sea, British Isles and Northwest Europe*. Cambridge, Cambridge University Press, 203 p.
- LARSON M., KRAUS N. C.** (1989). *SBEACH: Numerical Model for Simulating Storm-Induced Beach Change*. Technical Report CERC-89-9, US Army Engineer Waterways Experiment Station, Coastal Engineering Research Center, Vicksburg, MS.
- LARSON M., ERIKSON L., HANSON H.** (2004). An Analytical Model to Predict Dune Erosion Due to Wave Impact. *Coastal Engineering*, vol. 51, n° 8-9, pp. 675-696.
- LCHF [Laboratoire Central d'Hydraulique de France]** (1987). *Catalogue sédimentologique des côtes françaises : Côtes de la Manche et de l'Atlantique*. Collection de la Direction des Etudes et Recherches d'Electricité de France, 559 p.
- LHF [Laboratoire d'Hydraulique de France]** (1994). *Estimation des houles résiduelles dans le bassin de Marennes-Oléron*. Contrat LHF/Ifremer n° 92 5 526049.
- LEATHERMAN S. P.** (1983). Shoreline mapping: A comparison of techniques. *Shore and Beach*, vol. 51, n° 3, pp. 28-33.
- LEMASSON L.** (1998). *Vents et tempêtes sur le littoral de l'ouest de la France : variabilité, variations et conséquences morphologiques*. Thèse de Géographie, Université de Rennes 2, 183 p.

- LEVEQUE C., MUXART T., ABBADIE L., WEIL A., VAN DER LEEUW S.** (2003). *L'anthroposystème : entité structurelle et fonctionnelle des interactions sociétés - milieux*. In Lévêque C. et Van Der Leeuw S. (éds) *Quelles natures voulons-nous ?* Elsevier, Paris, pp. 110-129.
- LONG A. J., WALLER M. P., PLATER A. J.** (2006). Coastal resilience and late Holocene tidal inlet history: The evolution of Dungeness Foreland and the Romney Marsh depositional complex (U.K.) *Geomorphology*, vol. 82, n° 3-4, pp. 309-330.
- LOZACHMEUR O.** (2004). La consécration du concept de « Gestion intégrée des zones côtières » en droit international, communautaire et national. Thèse de doctorat de Droit Public, Université de Nantes, 817 p.
- LOZANO I., DEVOY R. J. N., MAY W., ANDERSEN U.** (2004). Storminess and vulnerability along the Atlantic coastlines of Europe: analysis of storm records and of a greenhouse gases induced climate scenario. *Marine Geology*, vol. 210, n° 1-4, pp.205-225.
- LUETTICH R., WESTERINK J.** (2007). *Formulation and numerical implementation of the 2D/3D ADCIRC finite element model version 44.xx*. <http://www.adcirc.org>.
- LE COEUR C.** (1998). Paysages et érosion, la Terre à visage découvert. Textes et Documents pour la Classe, n° 749, pp. 6-48.
- LE THERIZIEN J. Y.** (1974). *Etude de l'évolution géographique, foncière, technique, depuis le 18^{ème} siècle, du littoral de la Charente-Maritime – Massifs domaniaux de la presqu'île d'Arvert et de l'île d'Oléron*. Mémoire de 3ème année, IGRF, 164 p.
- MAIGROT J. L.** (2007). Modélisation de l'évolution d'un finage, du rural au périurbain (Montagne bourguignonne). *Mappemonde*, vol. 85, n° 1.
URL : <http://mappemonde.mgm.fr/num13/articles/art07101.pdf>
- MALVAREZ G. C., COOPER J. A. G.** (2000). A Whole surf zone modelling approach as an aid to investigation of nearshore and coastal morphodynamics. *Journal of Coastal Research*, vol. 16, n° 3, pp. 800-815.

- MARCHAND J. P.** (1980). Les contraintes physiques et la géographie contemporaine. *L'Espace Géographique*, vol. 9, n° 3, pp. 231-240.
- MARQUES M. A., PSUTY N. P., RODRIGUEZ R.** (2001). Neglected effects of aeolian dynamics on artificial beach nourishment: The Case of Riells, Spain. *Journal of Coastal Research*, vol. 17, n° 3, pp. 694-704.
- MASSE C.** (1715). *Mémoire géographique sur partie de Bas-Poitou, pays d'Aunis et Saintonge*. Tome 2, 246 p.
- MASSELINK G.** (1992). Longshore Variation of the Sediment Grain Size Distribution along the Coastal of the Rhône Delta, Southern France: A test of the "Mc Laren Model". *Journal of Coastal Research*, vol. 8, n° 2, pp. 286-291.
- MATHYS N., POESEN J.** (2005). Ravinement en montagne : processus, mesures, modélisation, régionalisation. *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, vol. 11, n° 1, pp.3-6.
- MATIAS A., FERREIRA A., ALVEIRINHO DIAS J., VILA-CONCEJO A.** (2006). Development of indices for the evaluation of dune recovery techniques. *Coastal Engineering*, vol. 51, n° 3, pp. 261-276.
- MCLAREN P., BOWLES D.** (1985). The effects of sediment transport on grain-size distributions. *Journal of Sedimentary Petrology*, vol. 55, pp. 457-470.
- MERMET L.** (1992). *Stratégies pour la gestion de l'environnement. La nature comme jeu de société ?* L'Harmattan, Collection Environnement, Paris, 205 p.
- MEUR-FEREC C., RUZ M. H.** (2002). Transports éoliens réels et théoriques en haut de plage et sommet de dune (Wissant, Pas-de-Calais, France). *Géomorphologie : Relief et Processus*, vol. 8, n° 4, pp. 321-324.
- MEUR-FEREC C., MOREL V.** (2004). L'érosion sur la frange côtière : un exemple de gestion des risques. *Natures Sciences Sociétés*, n° 12, pp. 263-273.
- MEUR-FEREC C.** (2007). La GIZC à l'épreuve du terrain : premiers enseignements d'une expérience française. *Développement durable et territoire*, Varia, mis en ligne le 28 septembre 2007. URL : <http://developpementdurable.revues.org/document4471.html>

- MIOSSEC A.** (1987). Conséquences de la pression touristique sur l'espace physique littoral. *Norois*, n° 133/135, pp. 153-163.
- MIOSSEC A.** (1994). La défense de côtes en France, d'abord un problème de société. *Cahiers Nantais*, n° 41/42, pp. 341-348.
- MIOSSEC A.** (1995). Le traitement du recul de la ligne de rivage en France : pratiques sociales autour d'un problème de nature. *Norois*, n° 165, pp. 153-172.
- MIOSSEC A.** (1998). La question du recul des côtes - Erosion marine, les réponses. *Mappemonde*, vol. 52, n° 4, pp. 1-6.
- MOORE B. D.** (1982). *Beach profile evolution in response to changes in water level and wave height*. Master Thesis, Department of Civil Engineering, University of Delaware, Newark, DE.
- MORTON, R. A., GIBEAUT, J. C., PAINE, J. G.** (1995). Meso-scale transfer of sand during and after storms: implications for prediction of shoreline movement. *Marine Geology*, n° 126, pp. 161–179.
- MORTON R. A.** (2002). Factors controlling storm impacts on coastal barriers and beaches - a preliminary basis for real-time forecasting. *Journal of Coastal Research*, vol. 18, n° 3, pp. 486-501.
- MORTON R. A., SALLENGER H. A.** (2003). Morphological impacts of extreme storms on sandy beaches and barriers. *Journal of Coastal Research*, vol. 19, n° 3, pp. 560–573.
- MUSEREAU J.** (2003). *Lutte contre l'érosion du littoral oléronais et projet de fixation du trait de côte. Méthodologie pour l'analyse du Chantier Pilote de Vert-Bois*. Mémoire de DEA de Géographie, Université de Rennes 2, 69 p.
- MUSEREAU J., REGNAULD H., PLANCHON O.** (2007). Vulnérabilité aux tempêtes des dunes littorales : développement d'un modèle de prédiction du dommage à travers l'exemple de Saint-Trojan (Ile d'Oléron, France). *Annales de l'Association Internationale de Climatologie*, n° 4, pp. 145-166.

- MUSEREAU J., REGNAULD H.** (2009). Coastal artificialization and public policies: the example of the beach of Marennes (Seudre estuary, France). *The Open Geography Journal* (accepté).
- NEBOIT R.** (1991). L'homme et l'érosion. *Bulletin de la Faculté des Lettres et des Sciences Humaines*, Université de Clermont-Ferrand II, (deuxième édition), 269 p.
- NEBOIT R.** (1999). Autour d'un concept d'érosion accélérée : l'homme, le temps et la morphogénèse. *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, vol. 5, n° 2, pp. 159-172.
- NICHOLLS R. J., HANSON S., HERWEIJER C., PATMORE N., HALLEGATTE S., CORFEE-MORLOT J., CHATEAU J., MUIR-WOOD R.** (2008). Ranking port cities with high exposure and vulnerability to climate extremes exposure estimates environment working papers. n° 1, OECD working paper, 63 p.
- NORDSTROM K. F., JACKSON N. L., BRUNO M. S., DE BUTTS H. A.** (2002). Municipal initiatives for managing dunes in coastal residential areas: a case study of Avalon, New Jersey, USA. *Geomorphology*, vol. 47, n° 2-4, pp. 137-152.
- ORFORD J. D., CARTER R. W. G., JENNINGS S. C., HINTON A. C.** (1995). Processes and timescales by which a coastal gravel dominated barrier responds geomorphologically to sea level rise: Story head barrier, Nova Scotia. *Earth Surface Processes and Landforms*, vol. 20, n° 1, pp. 21-37.
- ORFORD J. D., WILSON P., WINTLE A. G., KNIGHT J., BRALEY S.** (2000). Holocene coastal dune initiation in Northumberland and Norfolk, eastern UK: climate and sea-level changes as possible forcing agents for dune initiation. In Shennan, I. & Andrews, J. (Eds): *Holocene Land-Ocean Interaction and Environmental Change around the North Sea*. Geological Society, London, Special Publications, n° 166, pp. 197-217.
- ORFORD J. D., FORBES D. L., JENNINGS S.C.** (2002). Organisation controls, typologies and time scale of paraglacial gravel-dominated coastal systems. *Geomorphology*, n° 48, pp. 51-85.
- ORRE S., GJEVIK B., LACASCE J. H.** (2006). Characterizing chaotic dispersion in a coastal tidal model. *Continental Shelf Research*, vol. 26, n°12-13, pp.1360-1374.

- PARKER B. B.** (2002). The difficulties in measuring a consistently defined shoreline – the problem of vertical referencing. *Journal of Coastal Research, Special Issue 36*, pp. 44-56.
- PASKOFF R.** (1985). *Les littoraux. Impact des aménagements sur leur évolution*. Armand Colin, Paris, 260 p.
- PASKOFF R.** (1989). Evolution des espaces littoraux et problèmes d'aménagement. *XYZ Association Française De Topographie*, n° 38, pp. 7-17.
- PASKOFF R.** (1998). La crise des plages : pénurie de sédiments. *Mappemonde*, vol. 52, n° 4, pp. 11-15.
- PASKOFF R., TERRASSON D.** (2003). La conservation des dunes littorales implique-t-elle leur stabilisation ? L'exemple de la côte atlantique. *Natures sciences sociétés*, vol. 11, n° 3, pp. 288-297
- PECHIER M.** (1954). *Géologie de l'île d'Oléron*. Diplôme d'Etude Supérieure, Université Bordeaux 1, 73 p.
- PEDREROS R.** (2000). *Quantification et modélisation du transport éolien au niveau des zones côtières : application au littoral girondin*. Thèse d'Océanographie, Bordeaux 3, 195. p.
- PIGEON P.** (2002). Réflexions sur les notions et les méthodes en géographie des risques dits naturels. *Annales de Géographie*, vol. 111, n° 627-628, pp 452-470.
- PIGEON P.** (2005). *Géographie critique des risques*. Economica-Anthropos, Paris, 217 p.
- PILKEY O. H., R. S. YOUNG, S. R. RIGGS, A.W. S. SMITH, H. WU, W. D. PILKEY** (1993). The Concept of Shoreface Profile of Equilibrium: A Critical Review. *Journal of Coastal Research*, vol. 9, n° 1, pp. 255-278.
- PILKEY O. H.** (1994). Mathematical Modeling of Beach Behavior Doesn't Work. *Journal of Geological Education*, n° 42, pp. 358-361.
- PIRAZZOLI P. A.** (2000). Surges, atmospheric pressure and wind change and flooding probability on the Atlantic coast of France. *Oceanologica Acta* 23, 643–661.

- PLANTON S. (2002).** Le changement climatique et la probabilité des tempêtes sur l'Atlantique Nord. *Annales des Mines*, août 2002, pp. 15-19.
- PRAT M.-C., SALOMON J. N. (1997).** L'évolution récente du littoral charentais. Lignes de rivage et systèmes dunaires. *Quaternaire*, vol. 8, n°1, pp. 21-38.
- PRAT M.-C. (2001).** La côte charentaise : une dynamique littorale exacerbée (côte sud-ouest de l'île d'Oléron et côte d'Arvert). *Bulletin des Travaux du Laboratoire de Géographie Physique Appliquée*, n° 19, pp. 73-84.
- PROUST W. (2004).** Gestion intégrée des sédiments sur le littoral Charentais. *Actes des VIII^{èmes} Journées Nationales Génie Civil – Génie Côtier, Compiègne, 7-9 septembre 2004*, pp. 817-829.
- PSUTY N. P., ROHR E. (2000).** *Coastal Dunes: A Primer for Dune Management with Models of Dune Response to Storm Frequencies*. Institute of Marine and Coastal Sciences, Rutgers, The State University of New Jersey, 40 p.
- PUPIER-DAUCHEZ S. (2002).** *Le rechargement sédimentaire : de la défense des côtes à l'aménagement du littoral: analyse des pratiques sur la côte atlantique française* ». Thèse de doctorat de Géographie, Brest, 510 p.
- RAISON S. (2008).** Le classement des digues littorales au titre de la sécurité civile : un exemple de mise en oeuvre en Vendée. *X^{èmes} Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil, 14-16 octobre 2008, Sophia Antipolis*, pp. 283-292.
- REGNAULD H., PIRAZZOLI P. A., MORVAN G., RUZ M. (2004a).** Impacts of storms and evolution of the coastline in western France. *Marine Geology*, vol. 210, n° 1-4, pp. 325-337.
- REGNAULD H., HUBERT-MOY L., MUSEREAU J. (2004b).** Risque littoral, évolution climatique et naturalité du dommage. *Information Géographique*, n° 68, pp. 40-56.
- RESIO D. T., PERRIE W. (1989).** Implication of an f^{-4} equilibrium range for wind-generated waves. *Journal of Physical Oceanography* 19, 2, 193-204.
- ROBERT E. (1904).** La densité de la population en Bretagne calculée par zones d'égal d'éloignement de la mer. *Annales de Géographie*, vol. 13, n° 70, pp. 296-309.

- ROHR E., PSUTY N. P.** (1998). *Coastal Dunes: A Mitigation Approach to the Effects of Coastal Storms*. The Coastal Society, Williamsburg, pp. 154-160.
- ROLAND G.** (2005). *Synthèse bibliographique sur la gestion intégrée des zones côtières. Etat des lieux en France dans son contexte européen et international*. Rivages de France, 37 p.
- ROUSSEAU H.** (1986). *Aux premiers temps de Keremma : mythe et réalité*. C. Descamps, 107 p.
- RUESSINK B. G.** (2005). Predictive uncertainty of a nearshore bed evolution model. *Continental Shelf Research*, vol. 25, n° 9, pp. 1053-1069.
- RUGGIERO P., KOMAR P. D., MARRA J. J., MCDUGAL W. G., BEACH R. A.** (2001). Wave runup, extreme water levels and the erosion of properties backing beaches. *Journal of Coastal Research*, vol. 17, n° 2, pp. 407-419.
- RUZ M. H., MEUR-FEREC C.** (2004). Influence of high water levels on aeolian sand transport: upper beach/dune evolution on a macrotidal coast, Wissant Bay, Northern France. *Geomorphology*, vol. 60, n° 1-2, pp. 73-87.
- SABATIER F., ANTHONY E. J., HEQUETTE A., SUANEZ S., MUSEREAU J., RUZ M. H., REGNAULD H.** (2009). Morphodynamics of beach/dune systems: examples from the coast of France. *Géomorphologie : relief, processus, environnement* (accepté).
- SALLENGER A. H.** (2000). Storm impact scale for barriers islands. *Journal of Coastal Research*, vol. 16, n° 3, pp. 890-895.
- SALOMON J. -N.** (1996). L'évolution du littoral et des milieux dunaires de la côte charentaise. *Bulletin des Travaux du Laboratoire de Géographie Physique Appliquée*, Hors-série, 179 p.
- SANNASIRAJ S. A., BABOVIC V., CHAN E. S.** (2005). Local model approximation in the real time wave forecasting. *Coastal Engineering*, vol. 52, n° 3, pp. 221-236.
- SCHEFFER N. W.** (1989). *Dune erosion frequency of storm occurrence relationships*. In: Coastal Zone '89, Proceedings of the 6th Symposium on Coastal and Ocean Management, Charleston, July 1989, American Society of Civil Engineers, pp. 595-606.

- SEDRATI M., ANTHONY E. J.** (2007). Storm-generated morphological change and longshore sand transport in the intertidal zone of a multi-barred macrotidal beach. *Marine Geology*, vol. 244, pp. 209-229.
- SHERMAN D. J., BAUER B. O.** (1993). Coastal geomorphology through a looking glass. *Geomorphology*, vol. 7, n°1-3, pp. 225-249.
- SHERMAN D. J., JACKSON D. W. T., NAMIKAS S. L., WANG J.** (1998). Wind-blown sand on beaches: an evaluation of models. *Geomorphology*, vol. 22, n° 2, pp. 113-133.
- SHOM** (2003). *Annuaire des marées : Ports de France*. Paris, 192 p.
- SIMPSON R. H.** (1974). The hurricane disaster potential scale. *Weatherwise*, vol. 27, n° 169, pp. 169-186.
- SMALL C., GORNITZ V., COHEN J. E.** (2000). Coastal hazards and the global distribution of human population. *Environmental Geosciences*, n° 7, pp. 3-12.
- SNEDDEN J. W., NUMMEDAL D., AMOS A. F.** (1988). Storm- and fair-weather combined flow on the central Texas continental shelf. *Journal of Sedimentary Petrology*, vol. 58, n° 4, pp.580-595.
- SORNIN J. M., FAZILLEAU J.** (1994). *Utilisation des matériaux de dragage pour le réensablement des plages : un exemple dans le bassin de Marennes-Oléron*. Actes des III^{èmes} Journées Nationales Génie Civil – Génie Côtier, Sète, 2-4 mars 1994, pp. 205-210.
- STEPHAN P.** (2008). *Les flèches de galets de Bretagne : morphodynamiques passée, présente et prévisible*. Thèse de doctorat de Géographie, Université de Bretagne Occidentale (Brest), 558 p.
- STOCKDON H. F., HOLMAN R. A., HOWD P. A., SALLENGER A. H.** (2006). Empirical parameterization of setup, swash, and runup. *Coastal Engineering*, vol. 53, n° 7, pp. 573-588
- STOCKDON H. F., SALLENGER A. H., HOLMAN R. A., HOWD P. A.** (2007). A simple model for the spatially-variable coastal response to hurricanes. *Marine Geology*, vol. 238, pp. 1-20.

- SUANEZ S., FICHAUT B., SPARFEL L.** (2007). Méthode d'évaluation du risque de submersion des côtes basses appliquée à la plage du Vougot, Guissény (Bretagne). *Géomorphologie : relief, processus, environnement* 4, 319-334.
- SUTHERLAND J., PEET A. H., SOULSBY R. L.** (2004). Evaluating the performance of morphological models. *Coastal Engineering*, vol. 51, n° 8-9, pp. 917-939.
- SUTTON S. G., BUSHNELL S. L.** (2007). Socio-economic aspects of artificial reefs: Considerations for the Great Barrier Reef Marine Park. *Ocean & Coastal Management*, vol. 50, n°10, pp. 829-846.
- THIELER E. R., DANFORTH W. W.** (1994). Historical shoreline mapping: Improving techniques and reducing positioning errors. *Journal of Coastal Research*, vol. 10, n° 3, pp. 549-563.
- THIELER E., PILKEY O. H., YOUNG R. S., BUSH D. M., CHAI F.** (2000). The use of mathematical models to predict beach behavior for U.S coastal engineering: a critical review. *Journal of Coastal Research*, vol. 16, n° 1, pp. 48-70.
- TRUDGILL S., ROY A.** (2003). *Contemporary meanings in Physical Geography: From what to Why?*. London, Arnold Hodder, 292 p.
- UNITED STATES DEPARTMENT OF THE INTERIOR** (2006). Wave Energy Potential on the U.S. Outer Continental Shelf, 11 p. Available on: http://www.ocsenergy.anl.gov/documents/docs/OCS_EIS_WhitePaper_Wave.pdf
- VAN HEERDEN I., KEMP G. P., MASHRIQUI H., SHARMA R., PROCHASKA B., CAPOZZOLI L., THEIS A., BINSELAM S. A., STREVA, K., BOYD E.** (2006). *The Failure of the New Orleans Levee System during Hurricane Katrina*. Team Louisiana Final Report to the LA DOTD, Project 704-92-0022.
- VAN RIJN L. C.** (1993). *Principles of sediment transport in rivers, estuaries and coastal seas*. Aqua Publications, Amsterdam.
- VAN RIJN L. C.** (2008). Prediction of dune erosion due to storms. *Coastal Engineering* (Available online November 2008).

- VELLINGA P.** (1986). *Beach and dune erosion during storm surges*. Doctoral dissertation, Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Delft University of Technology, The Netherlands, 200 p.
- VERGER F., WANG L., CUQ F., HE D. C.** (1987). Données multitemporelles SPOT-I pour l'étude du régime des côtes sableuses : la pointe d'Arcay (Vendée, France). *Photo-interprétation*, vol. 26, n° 2, pp. 29-38.
- VERGER F.** (2005). *Marais maritimes et estuaires du littoral français*. Belin, Paris, 335 p.
- VIDAL R.** (2003). *La construction paysagère d'une identité territoriale imaginaire et réalité dans une station balnéaire des Côtes-d'Armor : Sables-d'Or-Les-Pins*. Thèse de doctorat en Sciences de l'environnement, Eaux et Forêt. ENGREF, Université de Versailles, 281 p
- VOGEL C., MOSER S. C., KASPERSON R. E., DABELKO G. D.** (2007). Linking vulnerability, adaptation, and resilience science to practice: Pathways, players, and partnerships. *Global Environmental Change*, vol. 17, n° 3-4, pp. 349-364.
- WANG L., VERGER F.** (1985). Classification des paysages et cinématique de la pointe d'Arcay par traitement automatique d'images aériennes et spatiales. *Photo-interprétation*, vol. 24, n° 4, pp. 1-10.
- WEBER N., GARLAN T.** (2000). L'évolution du littoral charentais depuis 1820 : un aperçu de la dynamique sédimentaire. *Journal de recherche Océanographique*, vol. 36, n°3, pp. 206-209.
- WEBER N.** (2004). *Morphologie, architecture des dépôts, évolution séculaire et millénaire du littoral charentais : apports de la sismique réflexion combinée à des suivis bathymétriques et validée par des vibrocarottages*. Thèse de doctorat de Géologie Marine, La Rochelle, 372 p.
- WEBER, N., CHAUMILLON, E., TESSON, M., GARLAN, T.** (2004). Architecture and morphology of the outer segment of a mixed tide and wave-dominated-incised valley, revealed by HR seismic reflection profiling: the paleo-Charente River, France. *Marine Geology*, vol. 204, n° 1-2, pp. 17-38.

- WELSCH J.** (1919). L'argile à Scrobiculaires des marais maritimes du centre-ouest de la France. *Bulletin de la Société Géologique de France*, n° 19, pp. 46-61.
- WILSON P., MCGOURTY J., BATEMAN M. D.** (2004). Mid- to late-Holocene coastal dune event stratigraphy for the north coast of Northern Ireland. *The Holocene*, vol. 12, n° 14, pp. 406-416.
- WINTLE A. G., CLARKE M., MUSSON F. M., ORFORD J., DEVOY R. J.** (1998). Luminescence dating of recent dune formation on Inch Spit, Dingle Peninsula, Ireland, *The Holocene*, vol. 8, n° 3. pp. 331-339.
- WISE R. A., SMITH, S. J., LARSON M.** (1996). SBEACH - Numerical model for simulating storm-induced beach change. Report 4, *Technical Report CERC 89-9*.
- WL|DELFT HYDRAULICS** (2001). *User manual Delft3D-FLOW*. WL|Delft Hydraulics, Delft, The Netherlands.
- WRIGHT L. D., BOON J. D., KIM S. C., LIST J. H.** (1991). Modes of cross-shore sediment transport on the shoreface of the Middle Atlantic Bight. *Marine Geology*, vol. 96, pp.19-51.
- YOUNG S., PILKEY O. H., BUSH R. D. M., THIELER E. R.** (1995). A Discussion of the Generalized Model for Simulating Shoreline Change (GENESIS) – *Journal of Coastal Research*, vol. 11, n° 3, pp. 875-886.
- ZHANG K., DOUGLAS B. C., LEATHERMAN S. P.** (2001). Beach erosion potential for severe nor'easters. *Journal of Coastal Research*, vol. 17, n° 2, pp. 309-321.

Table des figures

Figure 1 : Localisation générale de la zone d'étude et des sites ateliers	18
Figure 2 : <i>Katrina</i> , des prévisions justes et une alerte justifiée.....	28
Figure 3 : <i>Katrina</i> , les facteurs d'endommagement à l'échelle régionale.....	29
Figure 4 : <i>Katrina</i> , les facteurs d'endommagement à l'échelle locale	30
Figure 5 : Le littoral et sa dimension anthropique.....	36
Figure 6 : Principe et exemple de formulation du <i>Run-up</i>	37
Figure 7 : Le modèle de <i>Run-up</i> , un paramétrage insuffisant	39
Figure 8 : Le modèle de <i>Run-up</i> , des données manquantes.....	40
Figure 9 : Les houlographes dans le Golfe de Gascogne, un réseau discontinu.....	41
Figure 10 : <i>Run-up</i> et érosion de la dune, l'approche analytique	47
Figure 11 : Démarche méthodologique adoptée pour la thèse	51
Figure 12 : Localisation générale de la zone d'étude et des sites ateliers	53
Figure 13 : Géologie de la zone d'étude.....	55
Figure 14 : Sismicité de la région d'étude.....	56
Figure 15 : Contexte sédimentologique de l'étude.....	58
Figure 16 : Bathymétrie des Pertuis Charentais	59
Figure 17 : Paléogéographie du littoral vendéo-charentais	62
Figure 18 : Typologie des situations à fort gradient de pression (Golfe de Gascogne).....	64
Figure 19 : Rose des vents au large des côtes charentaises	65
Figure 20 : Distribution des jours de vent fort au sémaphore de Chassiron.....	67
Figure 21 : Trajectoires des tempêtes associées aux jours de vent fort observés à Chassiron	67
Figure 22 : Distribution des situations à fort gradient de pression (Golfe de Gascogne).....	68
Figure 23 : Les types de circulation en Europe de l'Ouest depuis 50 ans (période hivernale).....	69
Figure 24 : Synoptique et vitesse du vent lors de l'ouragan <i>Martin</i>	70
Figure 25 : Caractéristiques des houles au large des côtes charentaises	72
Figure 26 : <i>Wave Power</i> , hauteur et période des houles au large de la Zone d'Etude	73
Figure 27 : Epure des houles d'Ouest et rôle de la dérive littorale dans les pertuis charentais.....	74
Figure 28 : Déviation du niveau marin par rapport à la marée astronomique	76
Figure 29 : Situations isorabiques associées aux principales déviations du niveau marin	77
Figure 30 : Présentation générale de la lagune de la Belle Henriette	78
Figure 31 : La Belle Henriette, un écosystème lagunaire remarquable.....	79
Figure 32 : Présentation générale de la dune de Saint-Trojan.....	80
Figure 33 : Présentation générale de la plage de Marennes	81
Figure 34 : Principe de la synthèse systémique.....	87
Figure 35 : Mode d'extraction des composantes littorales sur les cartes anciennes.....	90
Figure 36 : Evolution séculaire du littoral sud-vendéen.....	93
Figure 37 : Le littoral sud-vendéen en 1767.....	94
Figure 38 : Le littoral sud-vendéen en 1850.....	94
Figure 39 : Les aléas météo-marins à l'origine de l'endiguement du cordon interne.....	97
Figure 40 : Construction d'un batardeau pour obstruer la lagune (de 1971 à 1973)	98
Figure 41 : Le site de La Belle-Henriette, évolution entre 1961 et 1999	99
Figure 42 : La Belle-Henriette, altimétrie du cordon littoral.....	100
Figure 43 : Variété des processus à l'origine de l'ensablement de Saint-Trojan	103
Figure 44 : Méthodes employées pour fixer le sable des dunes littorales de Gascogne.....	105
Figure 45 : Accrétion de la dune de Saint-Trojan, coupe schématique	107
Figure 46 : Rôle probable des palissades dans l'accrétion de la dune de Saint-Trojan.....	108
Figure 47 : Erosion marine observée à Vert-Bois entre 2004 et 2009	110
Figure 48 : Conditions météo-marines et estimation du <i>Run-up</i> pendant l'ouragan <i>Martin</i>	114
Figure 49 : Inadéquation des infrastructures touristiques implantées à Vert-Bois	115
Figure 50 : Le Chantier-Pilote de Vert-Bois et ses premiers échecs	117
Figure 51 : L'estuaire de la Seudre en 1766.....	119
Figure 52 : L'estuaire de la Seudre en 1845.....	119
Figure 53 : Enrochements et budget sédimentaire sur la plage de Marennes.....	121

Figure 54 : Lieux d'extraction sélectionnés pour réalimenter la plage de Marennes.....	124
Figure 55 : La transformation de plage de Marennes suite à son rechargement	125
Figure 56 : Lagune de La Belle-Henriette, synthèse systémique	126
Figure 57 : Lagune de La Belle-Henriette, synthèse historique	127
Figure 58 : Dune de Saint-Trojan, synthèse systémique	129
Figure 59 : Dune de Saint-Trojan, synthèse historique	130
Figure 60 : Plage de Marennes, synthèse systémique	132
Figure 61 : Plage de Marennes, synthèse historique	132
Figure 62 : Localisation des secteurs mesurés au DGPS.....	136
Figure 63 : Protocole adopté pour les mesures topographiques	138
Figure 64 : Secteur mesuré sur le site de La Belle-Henriette	139
Figure 65 : Secteur mesuré sur le site de Vert-Bois	139
Figure 66 : Secteur mesuré sur le site de Marennes-Plage	140
Figure 67 : Le réseau d'observation	141
Figure 68 : MNT effectués sur le site de La Belle-Henriette, première campagne	143
Figure 69 : MNT effectués sur le site de La Belle-Henriette, deuxième campagne.....	144
Figure 70 : MNT effectués sur le site de Vert-Bois, première campagne	146
Figure 71 : MNT effectués sur le site de Vert-Bois, deuxième campagne.....	147
Figure 72 : MNT effectués sur le site de Marennes-Plage, première campagne.....	149
Figure 73 : MNT effectués sur le site de Marennes-Plage, deuxième campagne.....	150
Figure 74 : Bilan de la première campagne de suivi (octobre 2006 à mars 2007)	153
Figure 75 : Bilan de la deuxième campagne de suivi (octobre 2007 à mars 2008).....	154
Figure 76 : Protocole de mesure adopté en 2003 (site de Vert-Bois).....	155
Figure 77 : Conditions météo-marines et variations du volume de la plage de (Vert-Bois)	156
Figure 78 : Les dégâts causés par le coup de vent du 20 janvier 2003 (Vert-Bois)	157
Figure 79 : Les dégâts causés par le coup de vent du 02 février 2003 (Vert-Bois).....	158
Figure 80 : Phénomènes de « rupture » observés sur la plage de Vert-Bois	159
Figure 81 : Erosion observée en dehors de la zone aménagée (Vert-Bois, 25/02/2003).....	159
Figure 82 : Formalisation du modèle de franchissement de seuil	163
Figure 83 : Confrontation du modèle aux données d'observation (Vert-Bois)	165
Figure 84 : Les quatre profils de tempête, site de La Belle-Henriette.....	167
Figure 85 : Les quatre profils de tempête, site de Vert-Bois.....	167
Figure 86 : Les quatre profils de tempête, site de Marennes-Plage.....	168
Figure 87 : Reconstitution des valeurs d'indice durant les deux campagnes de suivi.....	169
Figure 88 : Impact de la tempête du 10 mars 2008, site de La Belle-Henriette	172
Figure 89 : Impact de la tempête du 10 mars 2008, site de Vert-Bois	173
Figure 90 : Impact de la tempête du 10 mars 2008, site de Marennes-Plage	173
Figure 91 : Forçage météo-marin et réponse du milieu (La Belle-Henriette, novembre 2008)	175
Figure 92 : Forçage météo-marin et réponse du milieu (Vert-Bois, novembre 2008)	176
Figure 93 : Forçage météo-marin et réponse du milieu (Marennes-Plage, novembre 2008)	177
Figure 94 : Forçage météo-marin et réponse du milieu (La Belle-Henriette, décembre 2008).....	179
Figure 95 : Forçage météo-marin et réponse du milieu (Vert-Bois, décembre 2008).....	180
Figure 96 : Forçage météo-marin et réponse du milieu (Marennes-Plage, décembre 2008).....	181
Figure 97 : Forçage météo-marin et réponse du milieu (La Belle-Henriette, janvier 2009)	184
Figure 98 : Forçage météo-marin et réponse du milieu (Vert-Bois, janvier 2009)	185
Figure 99 : Forçage météo-marin et réponse du milieu (Marennes-Plage, janvier 2009)	186
Figure 100 : Bulletin de vigilance diffusés 6 jours avant la tempête <i>Quinten</i>	188
Figure 101 : Variété et variabilité des processus érosifs (<i>Quinten</i>).....	189
Figure 102 : Forçage météo-marin et réponse du milieu (La Belle-Henriette, février 2009).....	190
Figure 103 : Forçage météo-marin et réponse du milieu (Vert-Bois, février 2009).....	191
Figure 104 : Forçage météo-marin et réponse du milieu (Marennes-Plage, février 2009).....	192
Figure 105 : Les imprécisions du modèle GFS	195
Figure 106 : Analyse comparative des tempêtes <i>Isaak</i> et <i>Johanna</i>	198
Figure 107 : Répétition d'événements morphogènes et résilience du système côtier	200
Figure 108 : Analyse comparative des tempêtes <i>Johanna</i> et <i>Quinten</i>	201

Figure 109 : Croissants de plage modelés par les houles	211
Figure 110 : Un autre type de modèle de seuil applicable à l'érosion du littoral	213
Figure 111 : Les Roulières, un secteur sensible à la submersion marine	216
Figure 112 : Dynamiques physiques et sociétales sur la dune de Saint-Trojan.....	218
Figure 113 : Variabilité spatiale des processus érosifs sur la dune de Saint-Trojan	219
Figure 114 : Illustration du modèle transgressif de R. N. Dubois (1995)	220
Figure 115 : Risque encouru au niveau de la station de lagunage des Allassins.....	220
Figure 116 : Plan de réhabilitation du cordon littoral de Marennes-Plage	224
Figure 117 : Carte des projets GIZC proposés à la DIACT en 2005.....	227
Figure 118 : Présentation générale du Pays de Marennes-Oléron.....	230
Figure 119 : Le Pays de Marennes-Oléron, un paysage varié.....	230
Figure 120 : Le PMO, un espace naturel faisant l'objet de nombreux classements.....	231
Figure 121 : Méthodologie adoptée au PMO pour initier la GIZC	233
Figure 122 : Exemple d'enjeux dont il faudra partager les responsabilités.....	242
Figure 123 : Evolution récente du stock sédimentaire rechargé à Bourcefranc	243
Figure 124 : Proposition d'un outil de prédiction à destination des ostréiculteurs	247

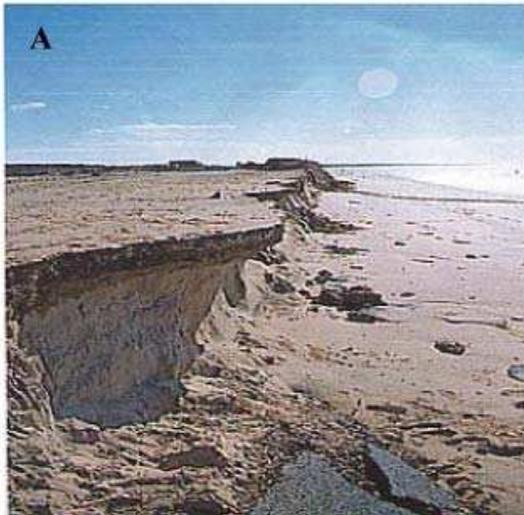
Liste des tableaux

Tableau 1 : L'échelle de Beaufort, une graduation de l'endommagement.....	31
Tableau 2 : Climatologie des jours de vent fort au sémaphore de Chassiron.....	66
Tableau 3 : Extraction des « groupes de tempêtes » (20 ^{ème} siècle, d'après Annexe 5).....	69
Tableau 4 : Hauteur d'eau et amplitude de la marée au port de La Rochelle.....	75
Tableau 5 : Les travaux antérieurs à la Thèse (bibliographie non exhaustive)	86
Tableau 6 : Acquisition de cartes anciennes.....	88
Tableau 7 : Photographies aériennes, acquisitions et prétraitements	89
Tableau 8 : Les principaux aléas météo-marins relevés durant le suivi	151
Tableau 9 : Ajustements locaux de l'équation 15	169
Tableau 10 : Impact de la tempête du 10 mars 2008, prédiction et réanalyse.....	171
Tableau 11 : Impact du coup de vent du 11 novembre 2008, prédiction et réanalyse.....	174
Tableau 12 : Impact du coup de vent du 23 novembre 2008, prédiction et réanalyse.....	174
Tableau 13 : Impact du coup de vent du 5 décembre 2008, prédiction et réanalyse	178
Tableau 14 : Impact du coup de vent du 13 décembre 2008, prédiction et réanalyse	178
Tableau 15 : Impact de la grande houle du 13 janvier 2009, prédiction et réanalyse	183
Tableau 16 : Impact du coup de vent du 19 janvier 2009, prédiction et réanalyse	183
Tableau 17 : Impact de la tempête du 24 janvier 2009, prédiction et réanalyse.....	183
Tableau 18 : Impact de la tempête du 10 février 2009, prédiction et réanalyse	189
Tableau 19 : L'impact fonction de la durée de l'aléa	199
Tableau 20 : Les tempêtes morphogènes et leurs conséquences spatiales	204
Tableau 21 : Echelle de risque établie à partir des archives climatiques et topographiques	204
Tableau 22 : Mesure et perception des événements morphogènes.....	210

Liste des équations

Equation 1	$R_{2\%} = 0.27(SHL)^{1/2}$	37
Equation 2	$\Delta H = 0.1707 + 0.00349V_{\omega}^2$	38
Equation 3	$P = \frac{\rho g^2 TH^2}{32\pi}$	40
Equation 4	$h = Ay^n$	42
Equation 5	$Q = C A/g V^*$	45
Equation 6	$Vc = K \sqrt{((\rho_s / \rho_a)gd)}$	45
Equation 7	$Q = C_1 (V_1 - V_c)^3$	45
Equation 8	$A_{d,t-5} = A_{d,ref} (D_{50,ref} / D_{50})^{\alpha 1} (S / S_{ref})^{\alpha 2} (H_{s,o} / H_{s,o,ref})^{\alpha 3} (T_p / T_{p,ref})^{\alpha 4} (\tan \beta / \tan \beta_{ref})^{\alpha 5} (1 + \vartheta_o / 100)^{\alpha 6}$	47
Equation 9	$V_{max}^3 \times A_{max} \times D$	48
Equation 10	$SI = (n / N)v^2$	48
Equation 11	$Q_{avg} = 1/1622(g^{1/2} t_r S^2)^{4/5}$	48
Equation 12	$P = (H_{1/3})^2 t_D$	49
Equation 13	$I = SH(t_D)^{0.3}$	49
Equation 14	$E = f(V) + f(H) + f(M)$	160
Equation 15	$\varphi = aV' + bH + M^c - k$	164
Equation 16	$\varphi_{BH} = 0.2V' + 0.4H + M^{1.44} - 8$	169
Equation 17	$\varphi_{VB} = 0.1V' + 1.3H + M^{1.55} - 8$	169
Equation 18	$\varphi_{MP} = 0.5V' + M^{1.46} - 8$	169
Equation 19	$H_0 / L_0 = 0.00070(H_0 / wT)^3$	194

ANNEXES



Conception et réalisation : J. Musereau (2009)

Plage de Vert-Bois (Oléron)

A : Photo, octobre 1999

Les destructions antérieures à l'ouragan

B : Photo, mai 2006

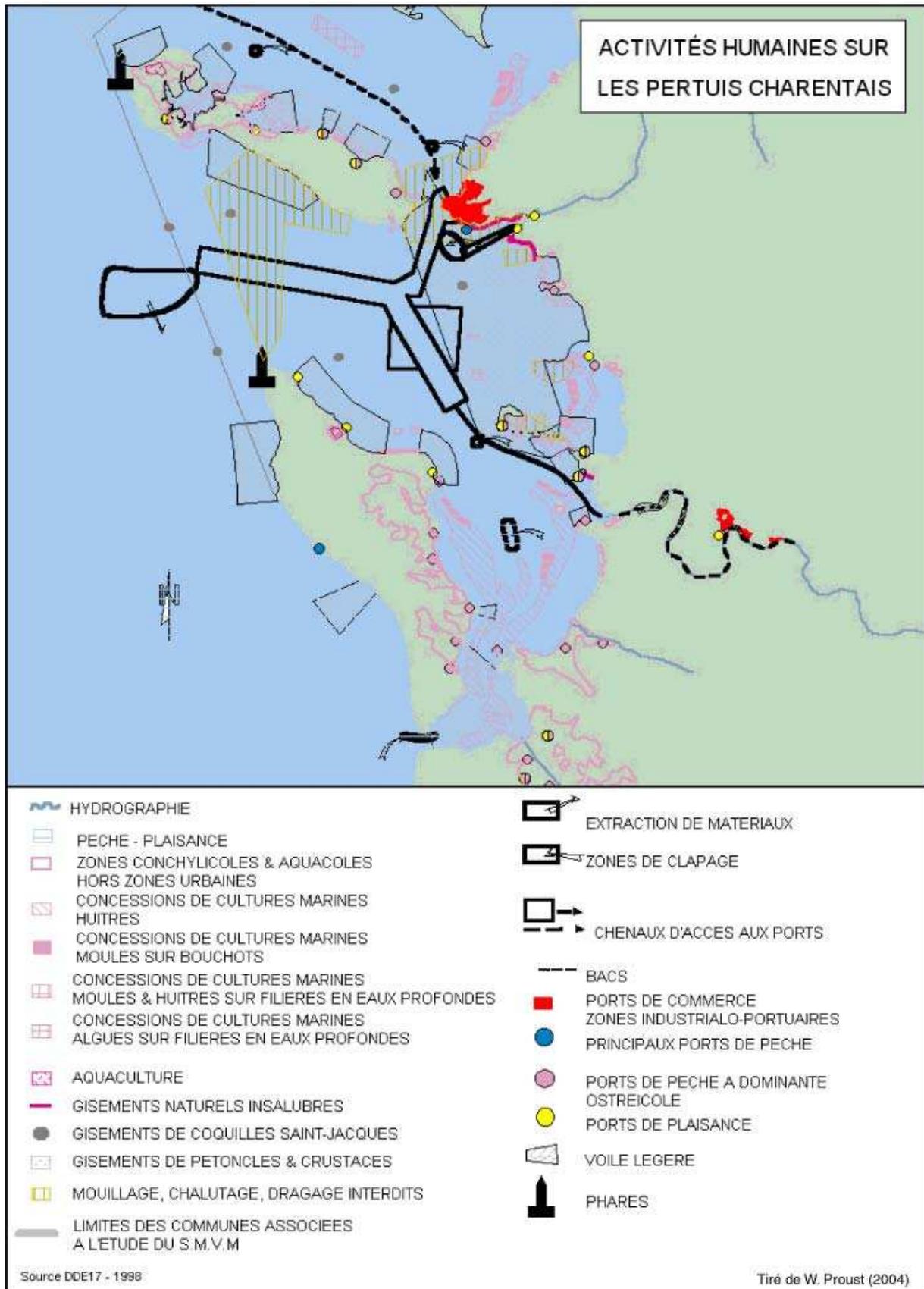
Les stigmates dans la forêt d'aujourd'hui

C : Photo, février 2008

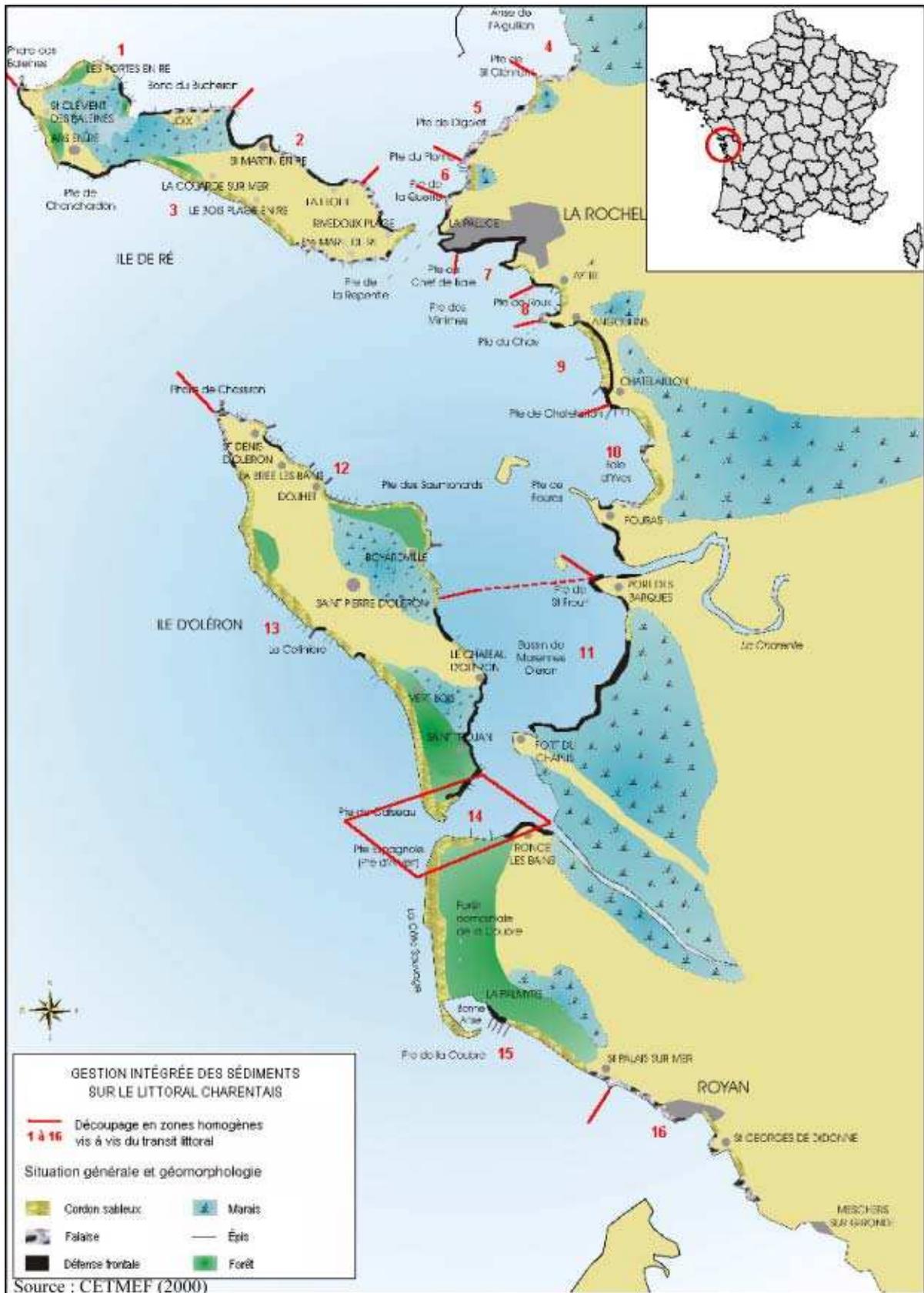
Le profil de plage 10 ans après l'ouragan



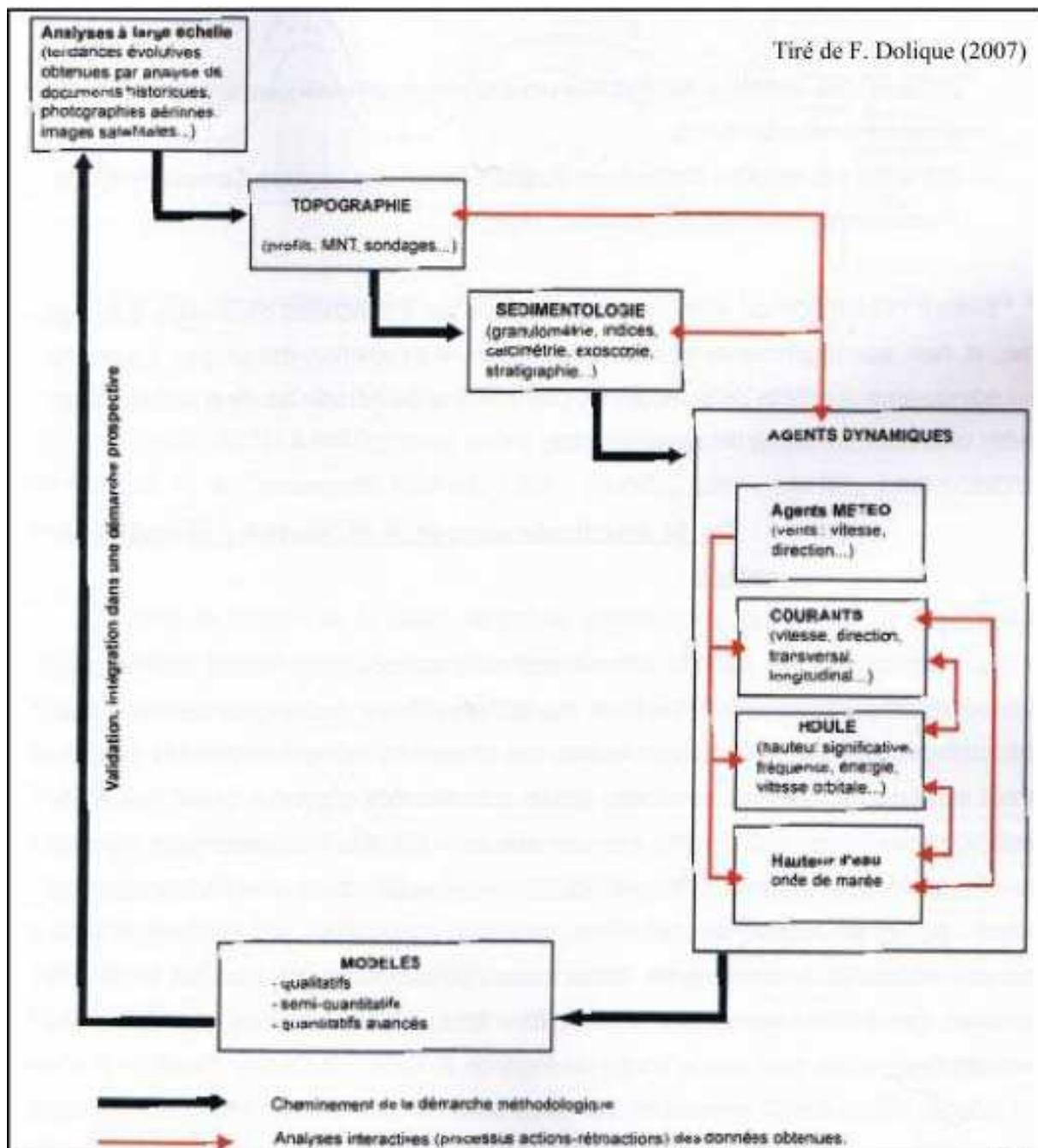
Annexe 1 : La tempête de 1999 et la dune de Saint-Trojan (île d'Oléron)



Annexe 2 : Les Pertuis Charentais, des activités multiples et imbriquées



Annexe 3 : Eléments de gestion du littoral sur le littoral charentais



Annexe 4 : Démarche méthodologique adoptée en morphodynamique

Situations à fort gradient de pression (20 ^{ème} siècle)*						Fréquence annuelle	
15/02/1900	10/01/1920	23/11/1938	11/02/1958	27/01/1975	28/10/1990	1900 : 3	1950 : 7
19/02/1900	11/01/1920	15/01/1939	16/12/1958	02/12/1975	02/01/1991	1901 : 5	1951 : 5
20/12/1900	27/01/1920	17/01/1939	19/12/1958	13/02/1976	10/01/1991	1902 : 0	1952 : 4
27/01/1901	30/12/1921	20/01/1939	22/01/1959	13/03/1976	28/09/1991	1903 : 6	1953 : 2
02/03/1901	02/02/1922	23/01/1939	05/03/1959	30/11/1976	15/04/1992	1904 : 4	1954 : 4
13/12/1901	08/03/1922	05/11/1939	07/12/1959	02/12/1976	02/12/1992	1905 : 5	1955 : 5
24/12/1901	06/11/1922	20/01/1941	08/12/1959	06/12/1976	30/08/1992	1906 : 2	1956 : 3
30/12/1901	22/12/1922	10/11/1941	23/12/1959	08/12/1977	11/03/1993	1907 : 4	1957 : 8
31/01/1903	29/12/1922	10/12/1942	26/12/1959	11/01/1978	13/09/1993	1908 : 2	1958 : 5
24/02/1903	07/02/1923	12/01/1943	28/12/1959	24/01/1978	16/12/1993	1909 : 2	1959 : 7
27/02/1903	26/02/1923	13/01/1943	24/01/1960	28/01/1978	21/12/1993	1910 : 2	1960 : 3
02/03/1903	27/02/1923	31/01/1943	01/11/1960	29/01/1978	24/12/1993	1911 : 7	1961 : 3
25/03/1903	23/10/1923	08/05/1943	02/11/1960	16/03/1978	02/01/1994	1912 : 5	1962 : 9
09/12/1903	24/10/1923	19/10/1943	03/01/1961	12/12/1978	05/01/1994	1913 : 0	1963 : 4
13/01/1904	27/10/1923	24/11/1943	30/01/1961	13/12/1978	03/02/1994	1914 : 3	1964 : 0
10/02/1904	15/11/1923	25/01/1944	13/07/1961	14/12/1978	01/04/1994	1915 : 6	1965 : 4
13/02/1904	08/01/1924	18/10/1944	10/01/1962	15/12/1978	04/04/1994	1916 : 5	1966 : 7
06/12/1904	27/12/1924	20/10/1944	11/01/1962	10/12/1979	09/04/1994	1917 : 2	1967 : 5
16/01/1905	28/12/1924	20/11/1944	16/01/1962	11/12/1979	29/12/1994	1918 : 0	1968 : 2
10/03/1905	02/01/1925	09/01/1946	22/01/1962	15/12/1979	20/01/1995	1919 : 1	1969 : 3
15/03/1905	24/02/1925	03/02/1946	05/04/1962	28/12/1979	22/01/1995	1920 : 3	1970 : 1
30/04/1905	26/02/1925	04/02/1946	18/11/1962	21/01/1980	23/01/1995	1921 : 1	1971 : 5
26/11/1905	29/12/1925	08/02/1946	21/11/1962	22/01/1980	25/01/1995	1922 : 5	1972 : 6
09/01/1906	30/12/1925	24/11/1946	12/12/1962	31/01/1980	26/01/1995	1923 : 7	1973 : 1
10/02/1906	10/11/1926	08/12/1946	16/12/1962	15/01/1981	28/01/1995	1924 : 3	1974 : 8
02/01/1907	20/11/1926	08/01/1947	10/03/1963	22/03/1981	24/02/1995	1925 : 5	1975 : 3
18/10/1907	28/02/1927	28/12/1947	11/03/1963	14/12/1981	08/02/1996	1926 : 2	1976 : 5
08/12/1907	25/03/1927	30/01/1948	11/11/1963	30/12/1981	20/11/1996	1927 : 3	1977 : 1
14/12/1907	22/12/1927	01/04/1948	18/11/1963	14/10/1982	25/02/1997	1928 : 5	1978 : 9
22/02/1908	10/02/1928	07/12/1948	17/01/1965	07/11/1982	02/01/1998	1929 : 5	1979 : 4
10/12/1908	29/03/1928	11/12/1948	21/01/1965	10/12/1982	13/01/1998	1930 : 7	1980 : 3
04/12/1909	16/11/1928	01/01/1949	01/01/1965	27/11/1982	03/04/1998	1931 : 2	1981 : 4
22/12/1909	23/11/1928	03/02/1950	29/11/1965	06/04/1983	04/04/1998	1932 : 2	1982 : 4
18/01/1910	25/11/1928	06/02/1950	21/02/1966	22/04/1983	17/04/1998	1933 : 1	1983 : 5
24/01/1910	11/11/1929	11/02/1950	22/02/1966	16/10/1983	16/01/1999	1934 : 5	1984 : 7
15/02/1910	23/11/1929	13/02/1950	25/02/1966	27/11/1983	13/04/1999	1935 : 2	1985 : 3
18/02/1910	25/11/1929	13/11/1950	18/10/1966	20/12/1983	12/12/1999	1936 : 2	1986 : 3
19/02/1910	05/12/1929	20/11/1950	05/11/1966	05/11/1984	25/12/1999	1937 : 3	1987 : 3
20/02/1910	08/12/1929	21/11/1950	02/12/1966	24/01/1984	26/12/1999	1938 : 3	1988 : 8
01/11/1910	11/01/1930	05/02/1951	12/12/1966	24/01/1984	27/12/1999	1939 : 5	1989 : 8
07/11/1910	12/01/1930	21/02/1951	24/01/1967	07/02/1984		1940 : 0	1990 : 5
13/12/1910	31/01/1930	14/03/1951	21/02/1967	26/03/1984		1941 : 2	1991 : 3
16/12/1910	02/11/1930	27/12/1951	28/02/1967	23/11/1984		1942 : 1	1992 : 2
18/02/1911	22/11/1930	29/12/1951	09/03/1967	30/11/1984		1943 : 4	1993 : 5
23/02/1911	24/11/1930	11/01/1952	02/11/1967	24/12/1985		1944 : 4**	1994 : 7
27/10/1911	30/12/1930	14/10/1952	07/01/1968	26/12/1985		1945 : 0**	1995 : 7
18/11/1911	23/01/1931	23/10/1952	17/12/1968	02/01/1986		1946 : 6	1996 : 2
10/12/1911	03/11/1931	17/12/1952	13/01/1969	23/01/1986		1947 : 2	1997 : 1
18/12/1911	06/01/1932	09/02/1953	16/01/1969	19/12/1986		1948 : 4	1998 : 5
21/12/1911	10/01/1932	10/02/1953	15/12/1969	08/10/1987		1949 : 1	1999 : 6
06/01/1912	17/03/1933	27/11/1954	19/11/1970	16/10/1987			
07/02/1912	14/01/1934	28/11/1954	22/01/1971	12/11/1987			
04/03/1912	16/03/1934	29/11/1954	24/01/1971	03/01/1988			
21/03/1912	17/03/1934	30/11/1954	25/01/1971	04/01/1988			
26/12/1912	15/12/1934	14/01/1955	27/01/1971	25/01/1988			
15/11/1914	18/12/1934	16/01/1955	18/03/1971	29/01/1988			
30/11/1914	20/02/1935	04/02/1955	27/01/1972	01/02/1988			
04/12/1914	22/02/1935	05/02/1955	12/02/1972	02/02/1988			
01/01/1915	24/02/1935	30/12/1955	07/03/1972	12/02/1988			
03/02/1915	27/02/1935	10/01/1956	13/11/1972	16/03/1988			
05/02/1915	01/12/1935	11/01/1956	20/11/1972	26/02/1989			
13/02/1915	30/12/1935	30/12/1956	28/12/1972	27/02/1989			
12/11/1915	05/01/1936	01/02/1957	15/01/1973	03/03/1989			
24/12/1915	09/01/1936	08/02/1957	05/01/1974	16/12/1989			
01/01/1916	11/11/1936	13/02/1957	01/02/1974	17/12/1989			
16/02/1916	14/12/1936	14/02/1957	06/02/1974	20/12/1989			
27/10/1916	17/12/1936	15/02/1957	11/02/1974	21/12/1989			
30/10/1916	20/01/1937	04/11/1957	15/02/1974	25/12/1989			
05/11/1916	24/01/1937	05/11/1957	24/09/1974	25/01/1990			
08/01/1917	22/02/1937	11/12/1957	20/10/1974	31/01/1990			
12/10/1917	09/01/1938	07/01/1958	14/11/1974	07/02/1990			
14/04/1919	23/01/1938	11/01/1958	14/01/1975	12/02/1990			

* Orientations comprises entre 180° et 360°

** Données manquantes : du 01/12/1994 au 31/12/1945 (inclus)

Source : réanalyses NCEP (<http://www.wetterzentrale.de/topkarten>)

Recensement : J. Musereau (2009)

Annexe 5 : Situations à fort gradient de pression dans le Golfe de Gascogne

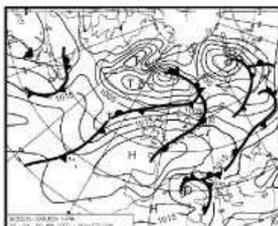
Localisation			
Nom Code Département Commune	Chassiron 17323001 Charente-Maritime Saint-Denis-d'Oléron	X (Lambert II Etendu) Y (Lambert II Etendu) Altitude	310.1 km 2123.2 km 11 m
Equipement			
du 01/08/1975 au 31/07/1994: Anémomètre Type S-1 à partir du 01/08/1994 : Anémomètre TAVID			
Type de données			
Paramètres	Format	Période	Périodicité
Vitesse (m. s ⁻¹) et Direction (degrés) du vent maxi moyen	Numérique (.xls)	1977 à 2003 (mois de Septembre à Avril uniquement)	Quotidienne
Données Manquantes			
Vitesse : 75 Direction : 75 Total : 150 Perte : 1.18 %	23/09/1977 (2) 06/03/1978 (2) 10/03/1979 (2) 21/02/1980 (2) 05/04/1980 (2) 06/11/1981 (2)	16/12/1990 (2) 17/09/1995 (2) 18/09/1995 (2) 30/10/1995 (2) 01/11/1995 (2) 02/11/1995 (2)	28/12/1999 au 31/12/1999 (8) 01/01/2000 au 04/01/2000 (8) 21/11/2000 (2) 14/12/2000 (2) 15/12/2000 (2) 19/04/2001 (2)
Comptage et synthèse : J. Musereau (2009)	07/09/1982 au 06/10/1982 (60) 24/12/1982 au 31/12/1982 (16) 11/12/1986 au 14/12/1986 (8) 19/01/1989 (2) 31/10/1989 (2)	22/12/1995 (2) 14/03/1996 (2) 20/11/1997 (2) 21/11/1997 (2) 03/12/1997 (2) 04/12/1997 (2)	26/12/2002 (2)

Annexe 6 : Détails sur les données d'observation de Météo-France

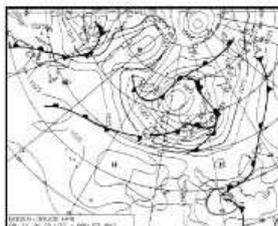
	Groupe	Abrev.	Désignation de la Situation (P. Hess et H. Bresowsky, 1957)
1	Circulation zonale	WA	Situation d'Ouest, Anticyclonique
2		WZ	Situation d'Ouest, Dépressionnaire
3		WS	Situation d'Ouest Méridionale
4		WW	Situation d'Ouest « formant un angle »
5	Circulation intermédiaire	SWA	Situation du Sud-Ouest, Anticyclonique
6		SWZ	Situation du Sud-Ouest, Dépressionnaire
7		NWA	Situation du Nord-Ouest, Anticyclonique
8		NWZ	Situation du Nord-Ouest, Dépressionnaire
9		HM	Anticyclone sur l'Europe Centrale
10		BM	Pont de hautes pressions sur l'Europe Centrale
11		TM	Dépression sur l'Europe Centrale
12	Circulation méridienne	NA	Situation du Nord, Anticyclonique
13		NZ	Situation du Nord, Dépressionnaire
14		HNA	Anticyclone sur Mer du Nord – Island, Anticyclonique
15		HNZ	Anticyclone sur Mer du Nord – Island, Dépressionnaire
16		HB	Anticyclone sur les Iles Britanniques
17		TRM	Thalweg sur l'Europe Centrale
18		NEA	Situation du Nord-Est, Anticyclonique
19		NEZ	Situation du Nord-Est, Dépressionnaire
20		HFA	Anticyclone sur la Scandinavie, Anticyclonique
21		HFZ	Anticyclone sur la Scandinavie, Dépressionnaire
22		HNFA	Anticyclone sur Mer du Nord – Scandinavie, Anticyclonique
23		HNFZ	Anticyclone sur Mer du Nord – Scandinavie, Dépressionnaire
24		SEA	Situation du Sud-Est, Anticyclonique
25		SEZ	Situation du Sud-Est, Dépressionnaire
26		SA	Situation du Sud, Anticyclonique
27		SZ	Situation du Sud, Dépressionnaire
28		TB	Dépression sur les Iles Britanniques
29	TRW	Thalweg sur l'Europe Occidentale	
		U	Non répertorié

Annexe 7 : Classification des type de situation atmosphérique

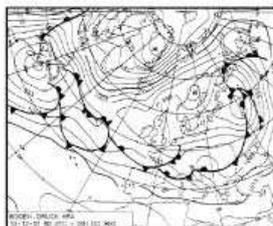
Circulation Zonale :



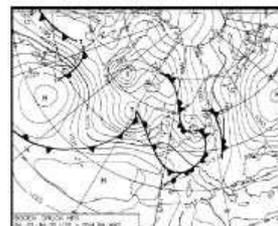
WA



WZ



WS

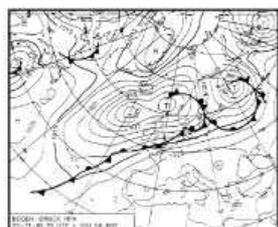


WW

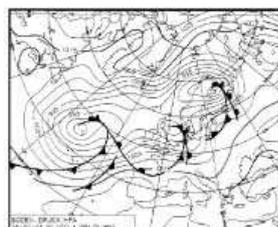
Source : <http://www.pik-potsdam.de/research/publications/pikreports/.files/pr100.pdf>

Annexe 8 : Types de situation associés à une circulation zonale

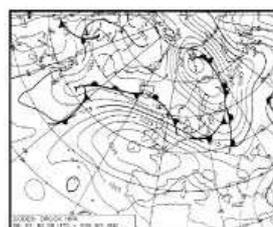
Circulation Intermédiaire :



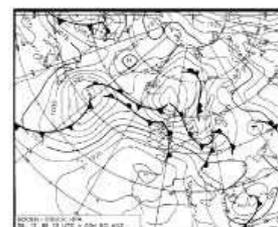
SWA



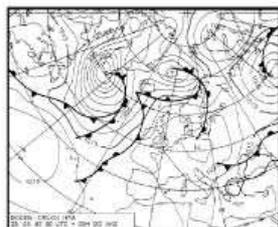
SWZ



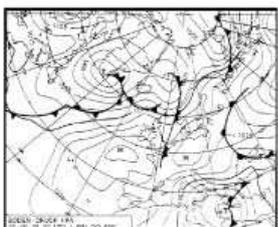
NWA



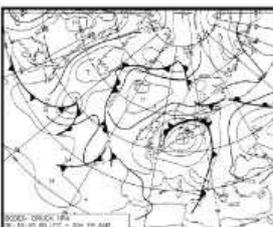
NWZ



HM



BM

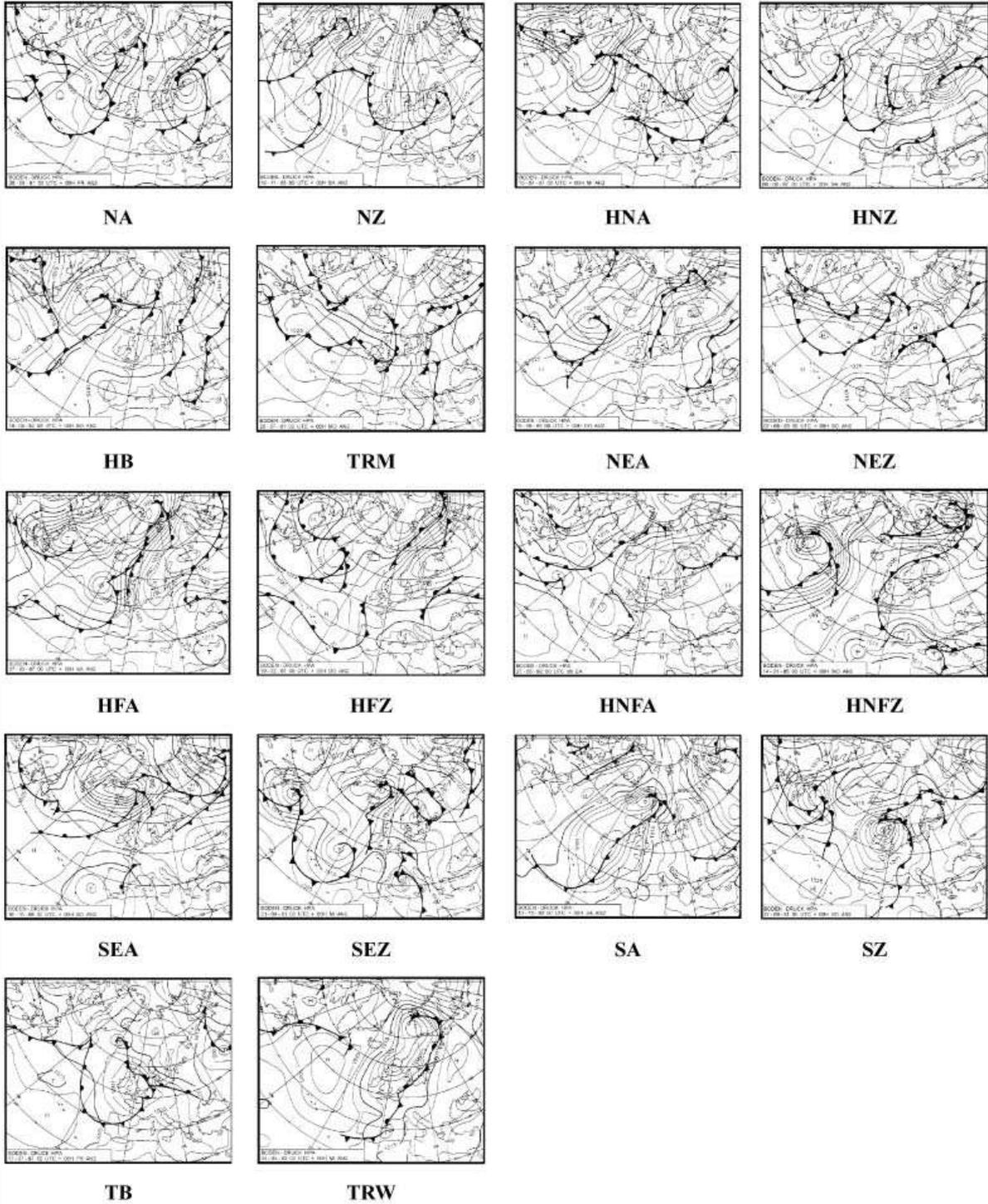


TM

Source : <http://www.pik-potsdam.de/research/publications/pikreports/.files/pr100.pdf>

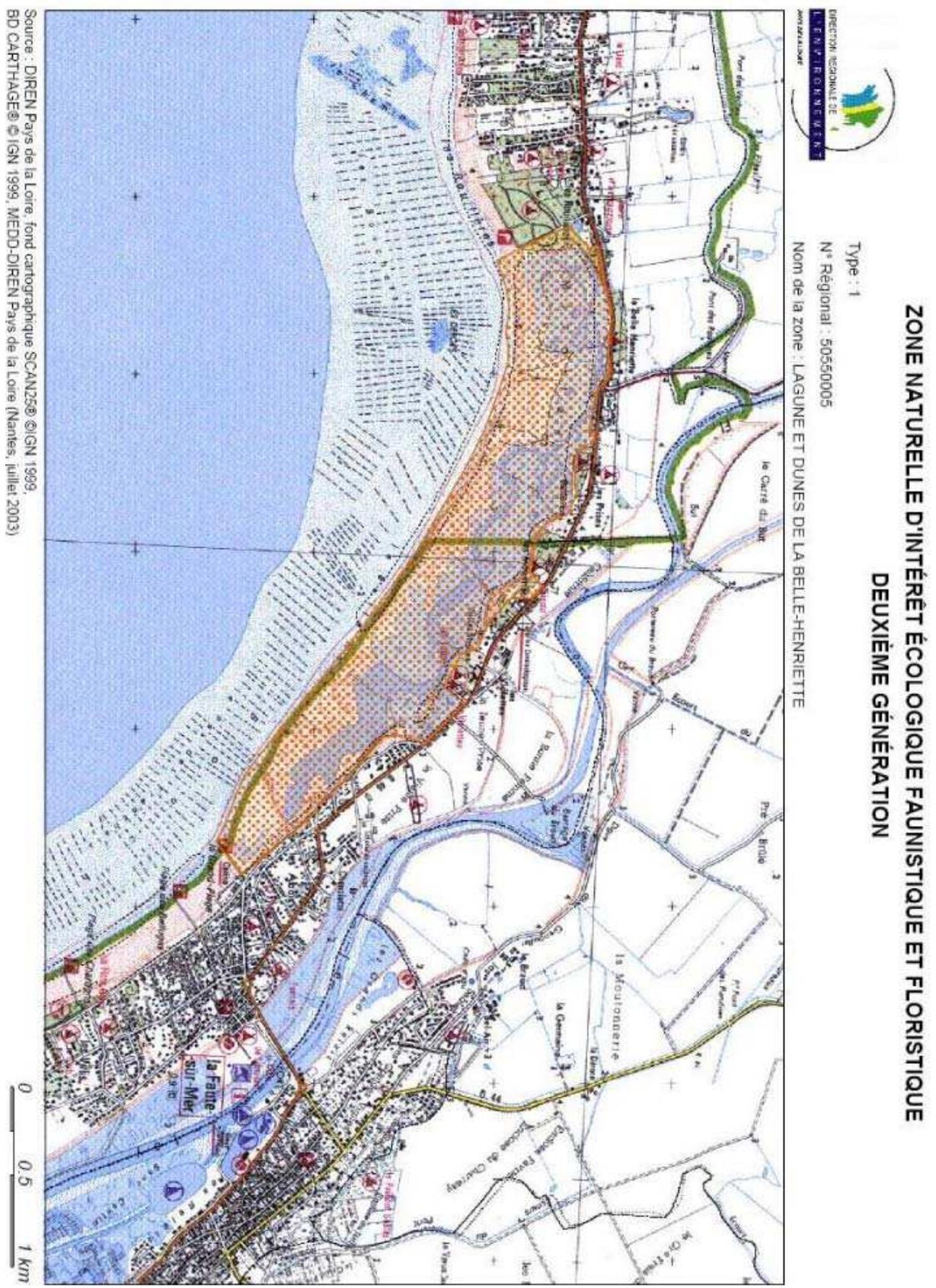
Annexe 9 : Types de situation associés à une circulation intermédiaire

Circulation Méridienne :

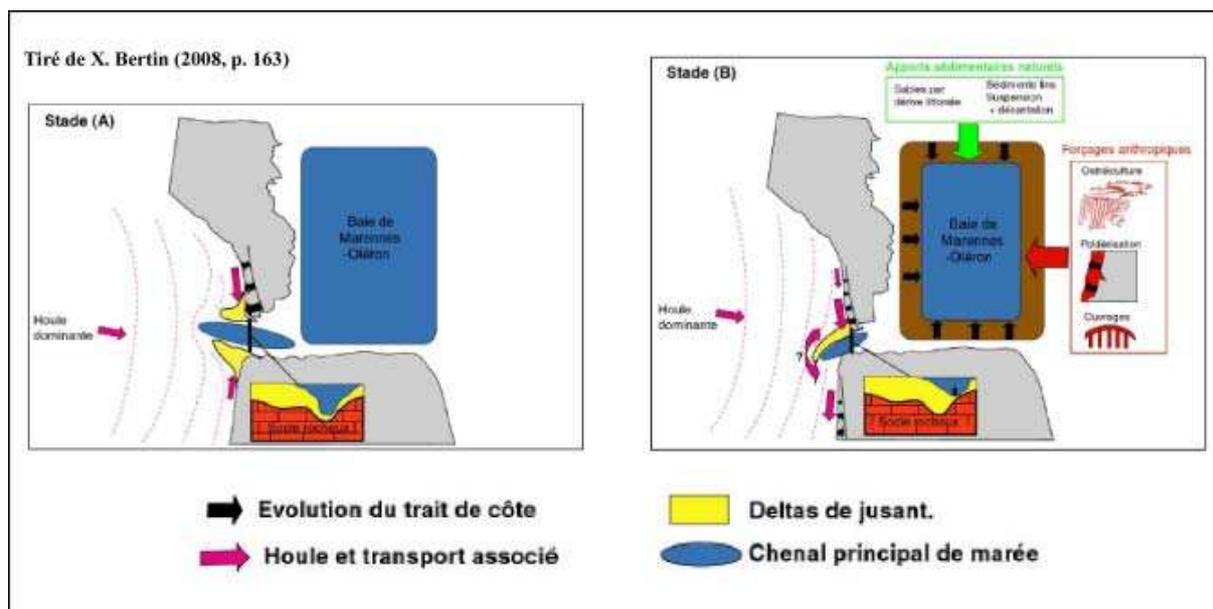


Source : <http://www.pik-potsdam.de/research/publications/pikreports/.files/pr100.pdf>

Annexe 10 : Types de situation associés à une circulation méridienne



Annexe 11 : Lagune de la Belle Henriette et son classement en ZNIEFF

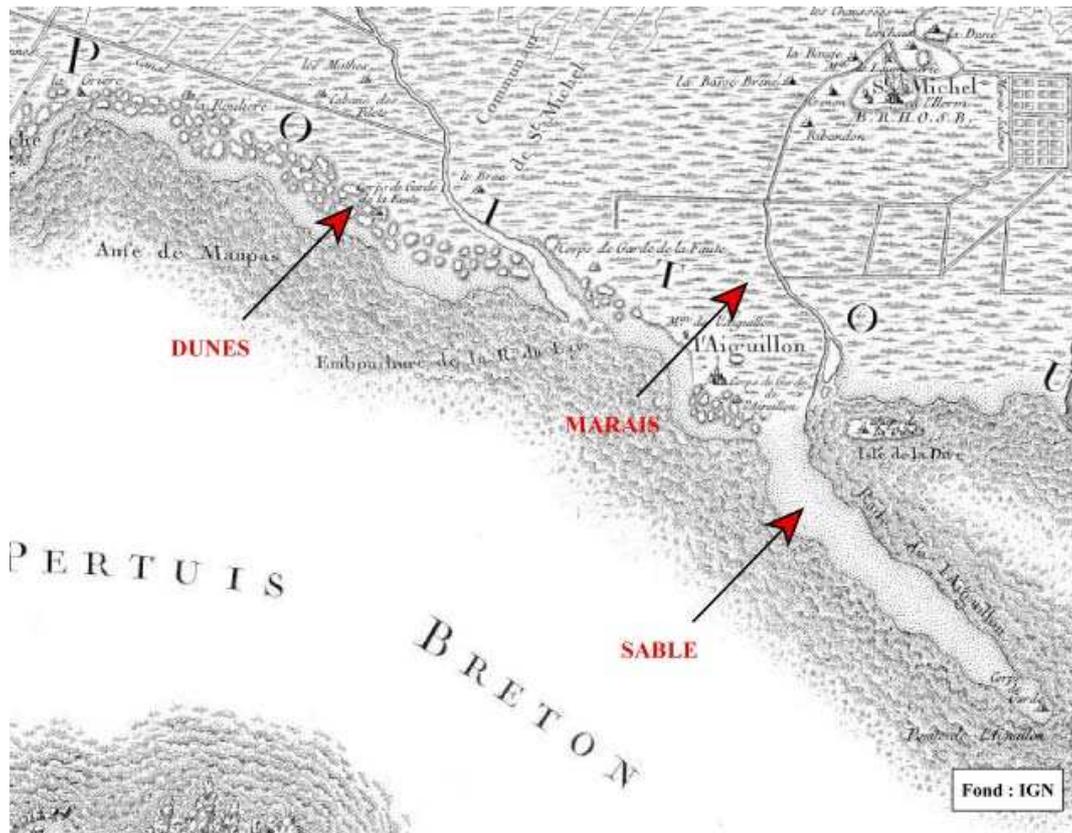


Annexe 12 : Modèle conceptuel de X. Bertin (2008)

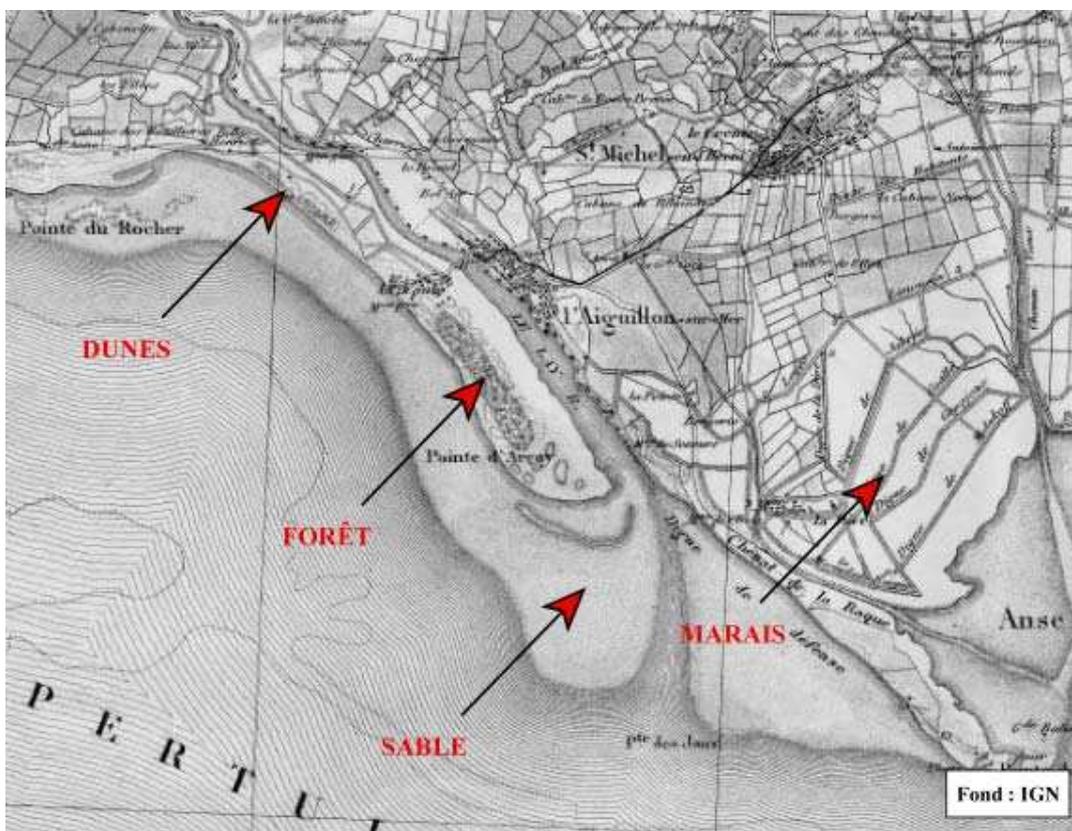
Numéro	Titre	Type	Date Edition
132856	AIGUILLON-SUR-MER (L')	AMS	1943
132856	AIGUILLON-SUR-MER (L')	ALL	1943
132856	AIGUILLON-SUR-MER (L')	1922	1959
13280	AIGUILLON-SUR-MER (L')	1922	1978
13280	AIGUILLON-SUR-MER (L')	1922	1988
13280T	TRANCHE-SUR-MER (LA)	MIXT	1993
13280T	TRANCHE-SUR-MER (LA)	1993	2000
13300	ST-PIERRE D'OLERON	1922	1978
13300	OLERON (ILE D')	1922	1985
13300T	OLERON (ILE D') ILE D'AIX	1922	1990
13300T	OLERON (ILE D') ILE D'AIX	1922	1996
13300T	OLERON (ILE D') ILE D'AIX	1993	1999
13300T	OLERON (ILE D') ILE D'AIX	1993	2007
133134	MARENNES	ALL	1942
133134	MARENNES	AMS	1942
133134	MARENNES	1922	1959
1331E	MARENNES EST	1922	1976
1331E	TREMBLADE (LA) MARENNES	1922	1985
14300T	ROCHEFORT/MARENNES	1993	1990
14300T	ROCHEFORT/MARENNES	1993	2001
14300T	ROCHEFORT/MARENNES	1993	2007

Source : IGN

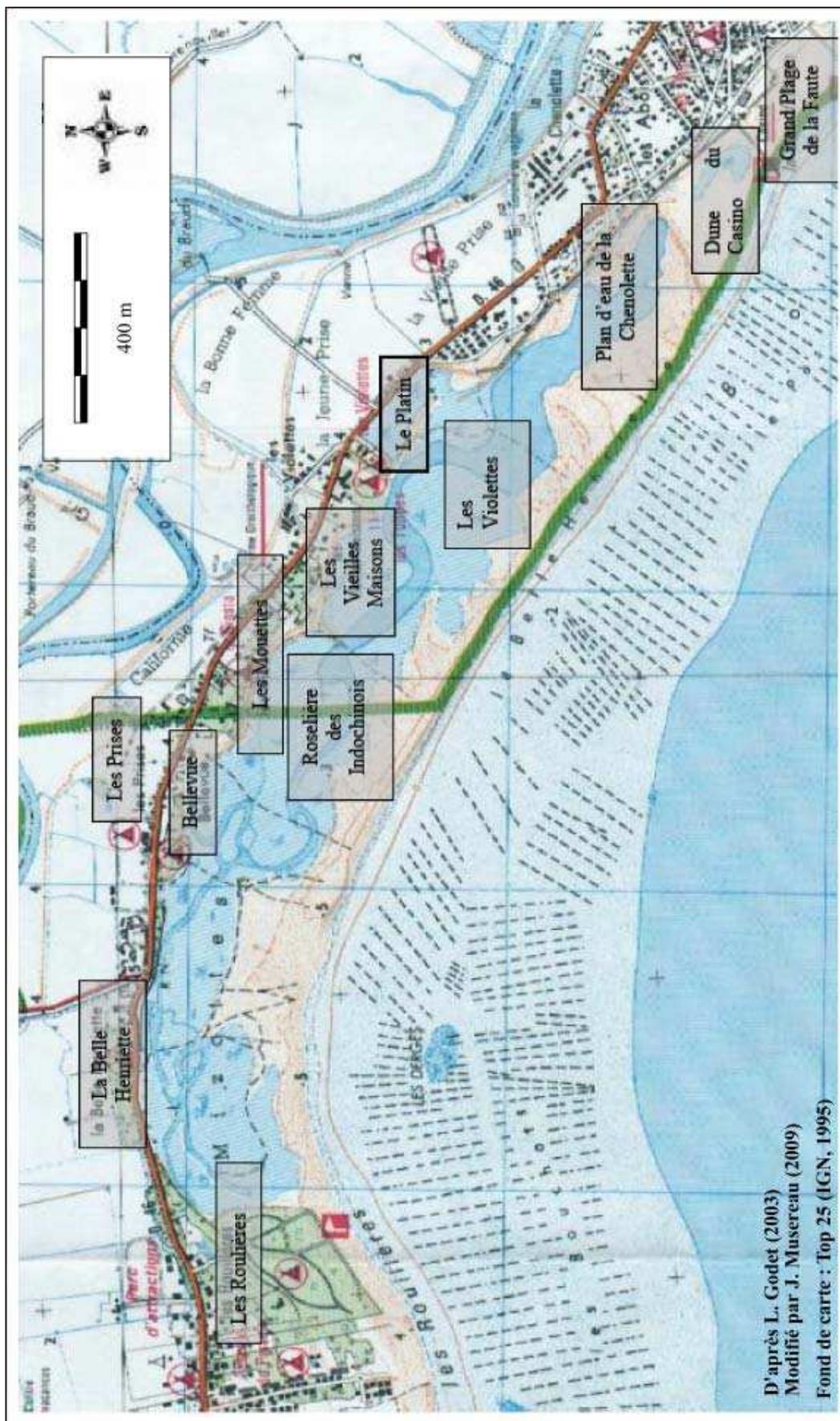
Annexe 13 : Cartes topographiques (1/25000) où figurent les sites ateliers



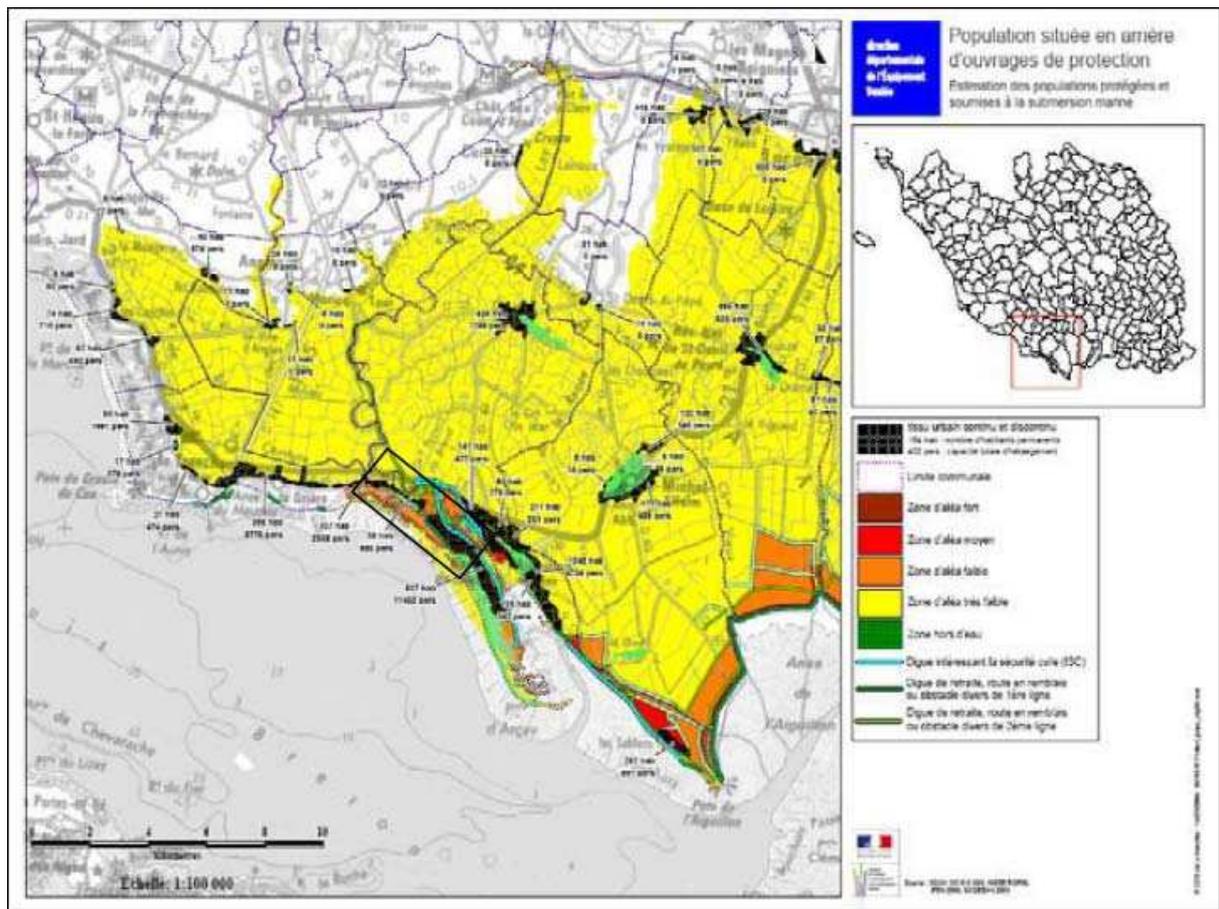
Annexe 14 : Le sud de la Vendée en 1767, extrait de la carte de Cassini



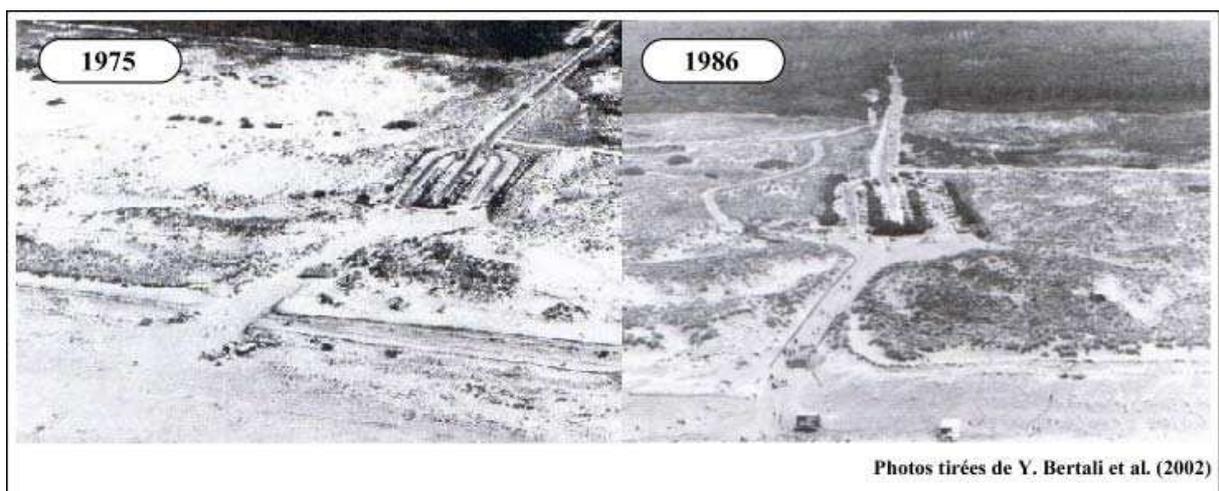
Annexe 15 : Le sud de la Vendée en 1850, extrait de la carte d'Etat-Major



Annexe 16 : Site de la Belle Henriette, toponymie



Annexe 17 : Cartographie de l'aléa « submersion marine » au sud de la Vendée



Annexe 18 : Blanchiment et reconquête de la dune grise (tempête du 02 décembre 1975)

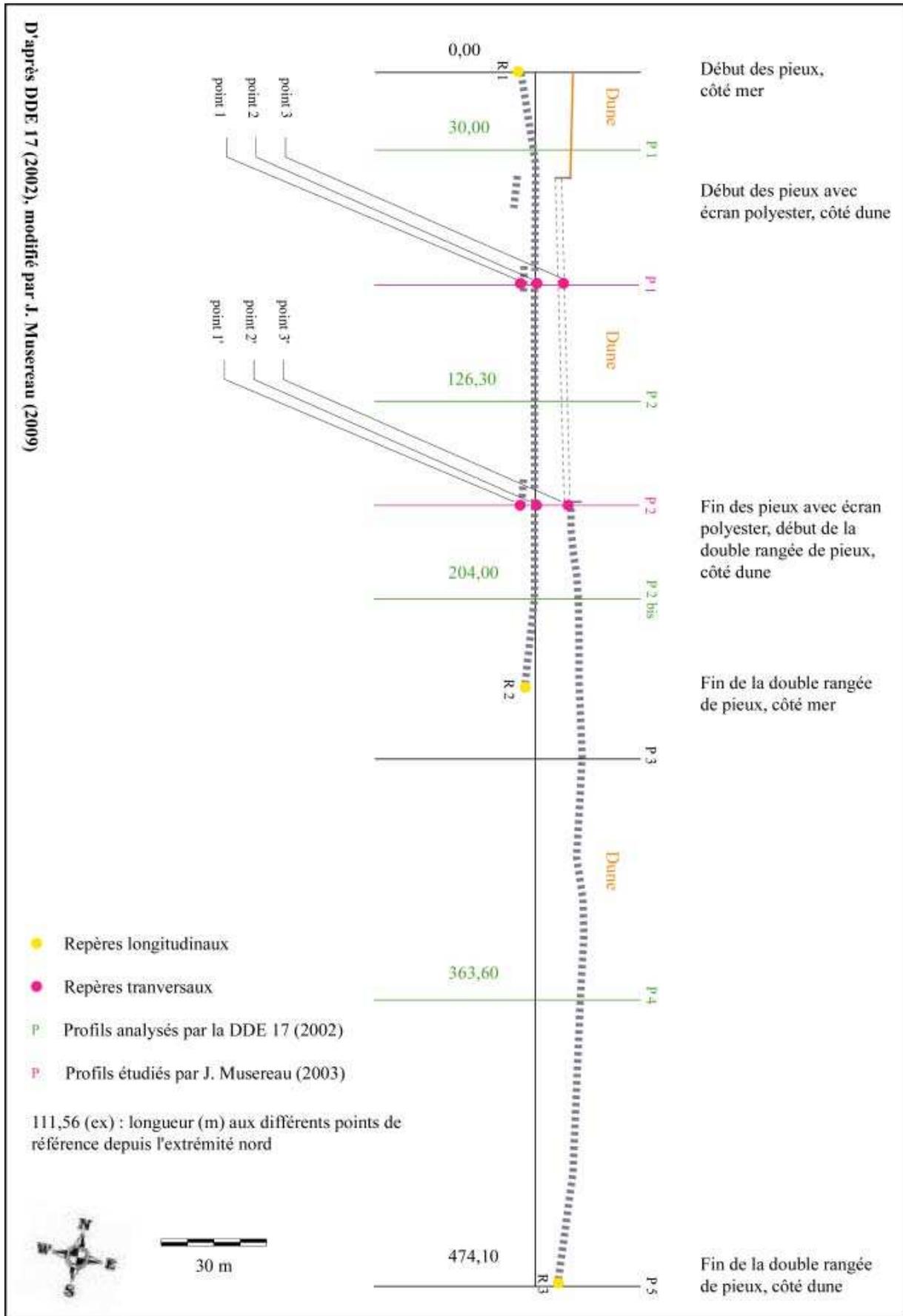


Annexe 19 : Illustrations de la pression touristique sur la dune de Saint-Trojan

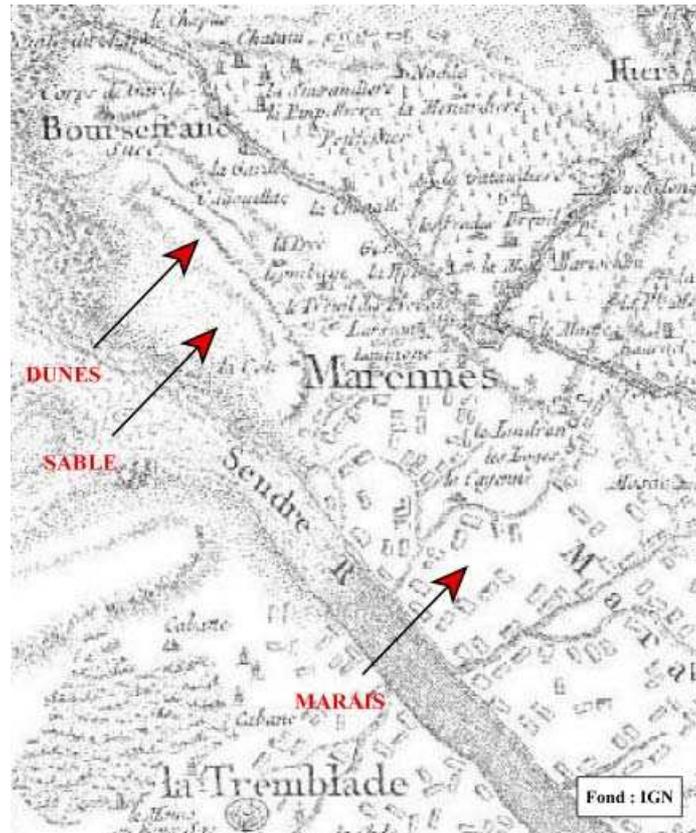
<i>Dates (1980 à 2000)</i>	<i>Orientation du vent</i>	<i>Rafale maximale</i>	<i>Coefficient de marée</i>	<i>Hauteur d'eau théorique</i>	<i>Heure de la pleine mer</i>
24/12/1981	280°	Nuit	66	5,43 m	03h15
08/11/1982	200°	Nuit	51	5,24 m	10h45
10/12/1983	280°	09h50	53	4,74 m	7h50
16/11/1984	320°	07h05	43	4,86 m	10h45
02/01/1986	240°	03h05	67	5,46 m	08h30
24/03/1986	240°	17h15	82	5,82 m	16h00
25/03/1986	280°	03h50	95	6,10 m	04h15
12/11/1987	240°	03h15	44	4,46 m	21h30
06/01/1988	200°	12h50	77	5,57 m	18h15
29/01/1988	180°	03h50	44	4,90 m	02h00
30/01/1988	320°	03h55	50	5,09 m	03h00
01/02/1988	260°	17h30	77	5,46 m	16h30
04/02/1988	240°	09h10	83	5,91 m	05h30
10/02/1988	300°	02h45	57	5,14 m	08h30
11/02/1988	320°	23h00	45	4,82 m	23h15
25/02/1989	300°	13h20	73	5,59 m	19h00
27/02/1989	300°	02h00	58	5,21 m	07h30
17/12/1989	200°	07h40	70	5,59 m	07h30
18/12/1989	260°	19h25	60	4,89 m	20h45
25/01/1990	240°	11h35	73	5,49 m	16h15
03/02/1990	240°	10h05	59	5,10 m	10h39
10/02/1990	280°	21h10	94	5,99 m	17h30
11/02/1990	240°	18h55	96	6,01 m	17h45
12/02/1990	280°	01h50	93	5,93 m	18h15
24/11/1990	280°	07h30	50	5,10 m	08h30
07/03/1991	200°	17h20	48	4,93 m	20h15
20/12/1991	300°	10h40	83	5,91 m	16h00
02/12/1992	240°	13h20	39	4,56 m	10h00
03/12/1992	280°	14h45	43	4,88 m	11h24
04/12/1992	220°	03h55	39	4,67 m	00h15
24/12/1993	320°	04h45	44	4,97 m	01h00
22/01/1995	220°	19h40	76	5,46 m	20h15
13/02/1995	220°	16h15	68	5,51 m	15h45
02/03/1995	240°	22h10	102	6,34 m	17h15
07/02/1996	280°	18h00	88	5,87 m	18h15
19/11/1996	250°	20h15	57	5,38 m	12h00
20/11/1996	310°	06h25	63	5,53 m	13h15
09/11/1997	270°	07h35	53	5,30 m	12h15
13/01/1998	200°	12h00	89	5,90 m	17h15
18/01/1998	240°	21h45	65	5,19 m	19h45
20/12/1998	250°	05h25	85	5,94 m	05h15
24/10/1999	220°	02h17	97	6,23 m	03h56
27/12/1999	240°	Soir	77	5,30 m	20h44

Coefficient, hauteur et heure de la pleine mer au port de La Rochelle (SHOM)
Orientation et horaire correspondant à la rafale maximale (> 30 m.s⁻¹) au sémaphore de Chassiron (Météo-France)
En gras : conjonction (à +/- 2h) avec une Pleine Mer de Vive-Eau (coefficient > 80)
En rouge : dont le niveau théorique est supérieur à 6,00 m

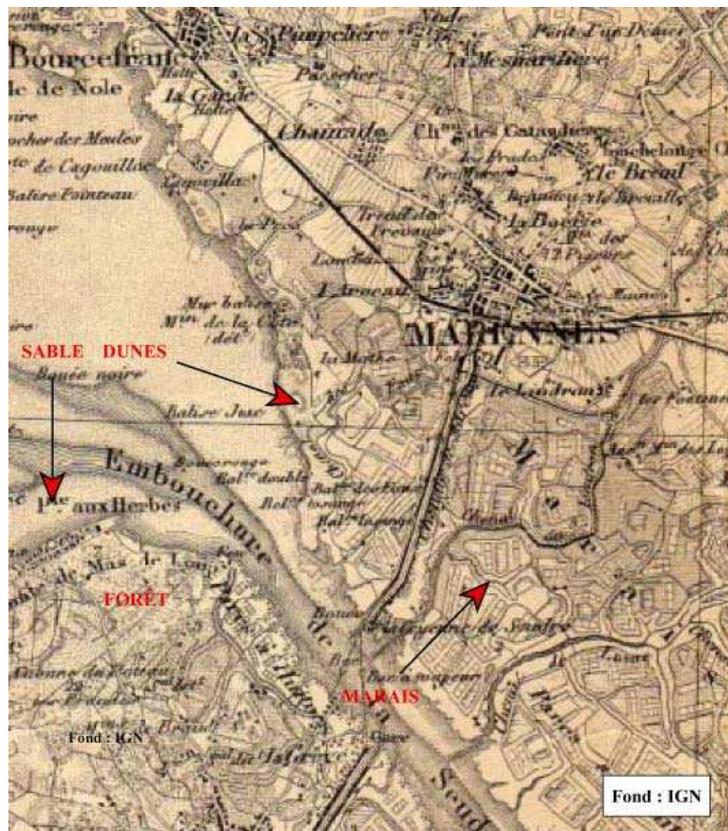
Annexe 20 : Tempêtes et PMVE dans la zone des Pertuis Charentais



Annexe 21 : Vue en plan du Chantier-Pilote de Vert-Bois



Annexe 22 : L'estuaire de la Seudre en 1766, extrait de la carte de Cassini



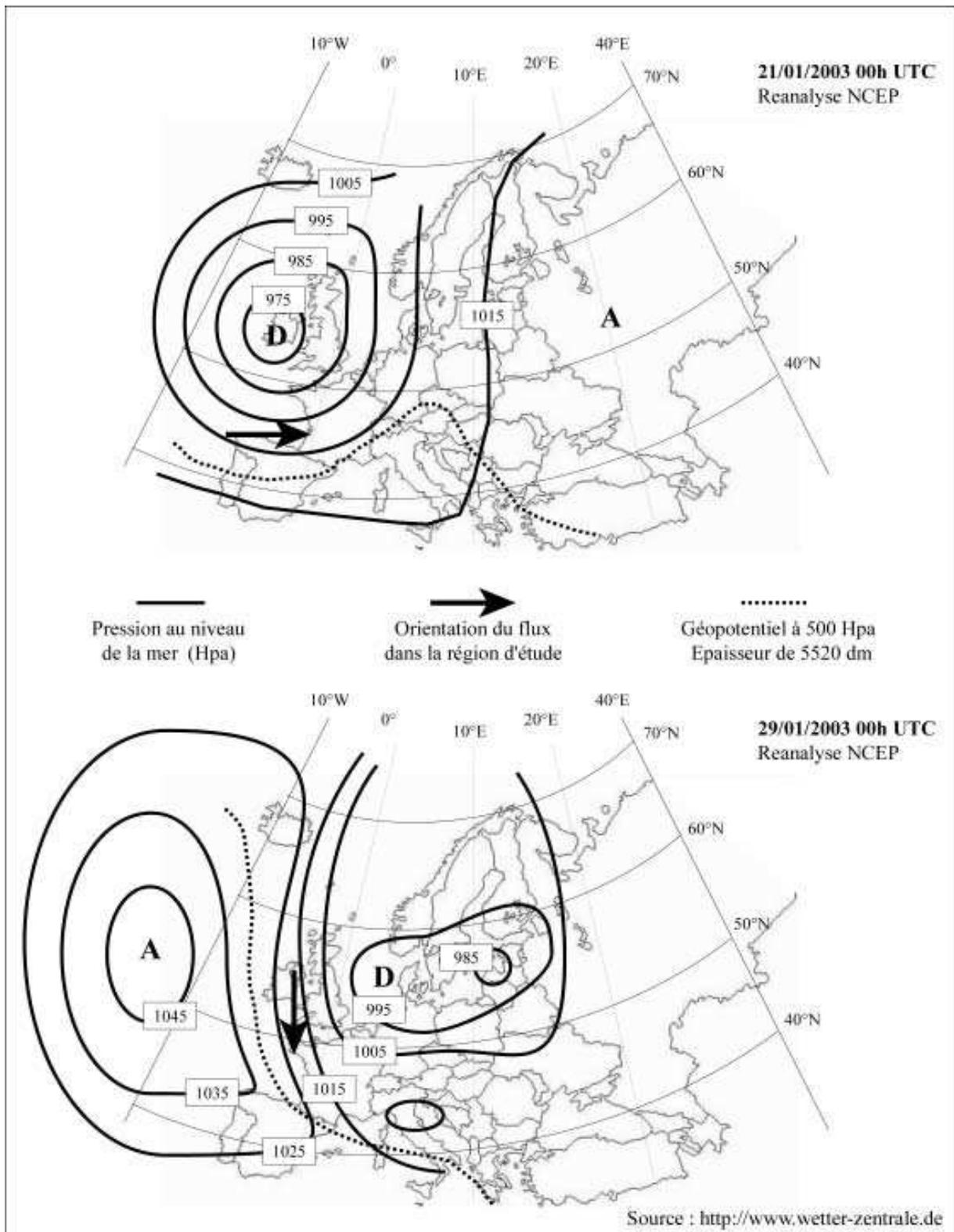
Annexe 23 : L'estuaire de la Seudre en 1845, extrait de la carte d'Etat-Major

Campagne 1	<i>Belle-Henriette</i>	<i>Vert-Bois</i>	<i>Marennnes -Plage</i>
Sortie n° 1	30/10/2006	28/10/2006	29/10/2006
Sortie n° 2	17/11/2006	18/11/2006	19/11/2006
Sortie n° 3	21/12/2006	22/12/2006	23/12/2006
Sortie n° 4	26/01/2007	27/01/2007	28/01/2007
Sortie n° 5	17/02/2007	18/02/2007	21/02/2007
Sortie n° 6	23/03/2007	24/03/2007	25/03/2007
Campagne 2	<i>Belle-Henriette</i>	<i>Vert-Bois</i>	<i>Marennnes -Plage</i>
Sortie n° 1	23/10/2007	22/10/2007	21/10/2007
Sortie n° 2	15/11/2007	17/11/2007	17/11/2007
Sortie n° 3	14/12/2007	15/12/2007	16/12/2007
Sortie n° 4	26/01/2008	28/01/2008	27/01/2008
Sortie n° 5	15/02/2008	16/02/2008	17/02/2008
Sortie n° 6	21/03/2008	22/03/2008	23/03/2008
Localisation du MNT	Latitude	Longitude	Altitude de base
Belle-Henriette	2 154 840 m 2 154 920 m	317 150 m variable	1.5 m
Vert-Bois	2 103 450 m 2 103 530 m	320 630 m variable	
Marennnes-Plage	2 096 650 m 2 096 730 m	330 040 m variable	
Coordonnées géographiques : Lambert II étendu ; Altitudes : Mètres NGF			

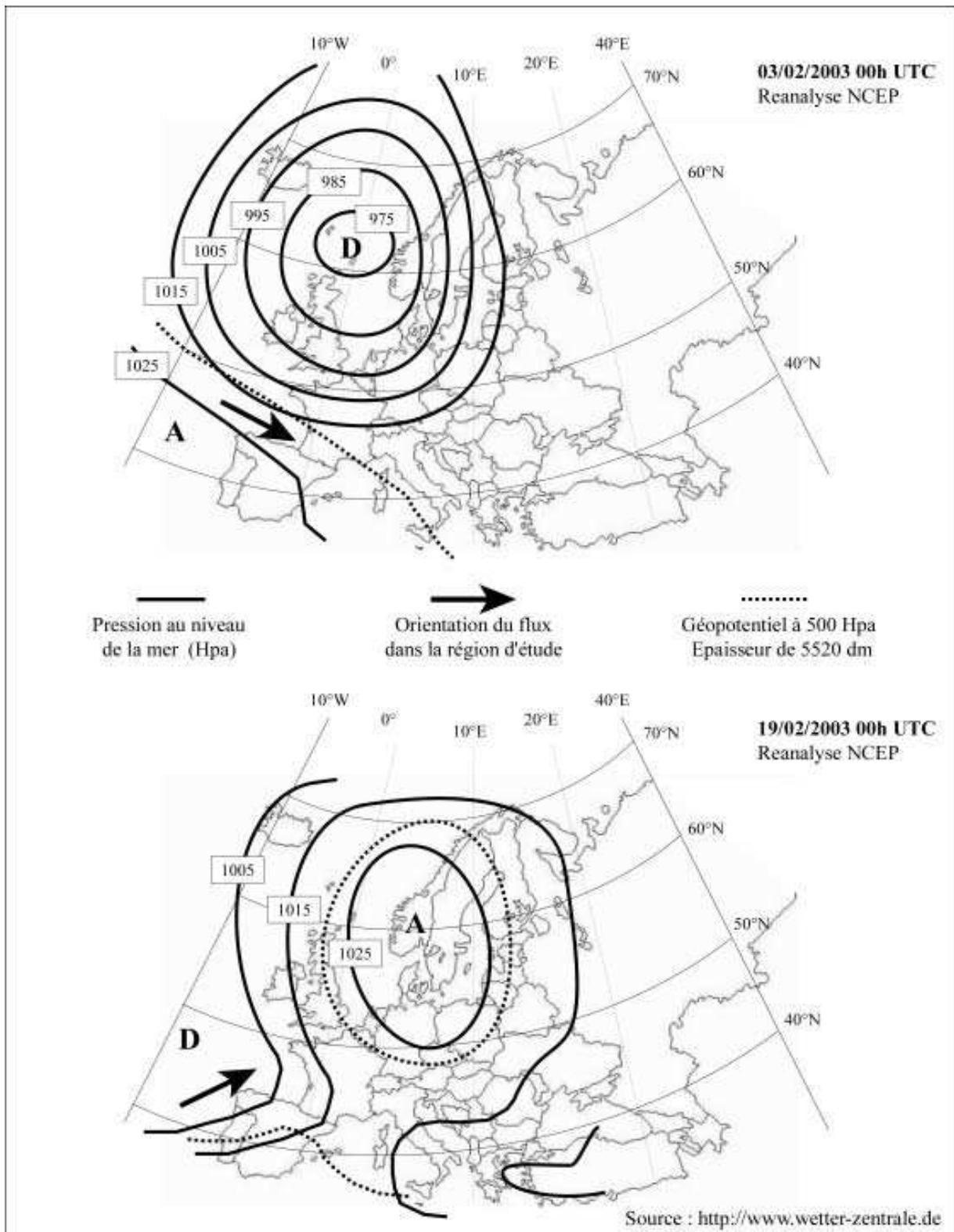
Annexe 24 : Caractéristiques des données topographiques recueillies sur le terrain



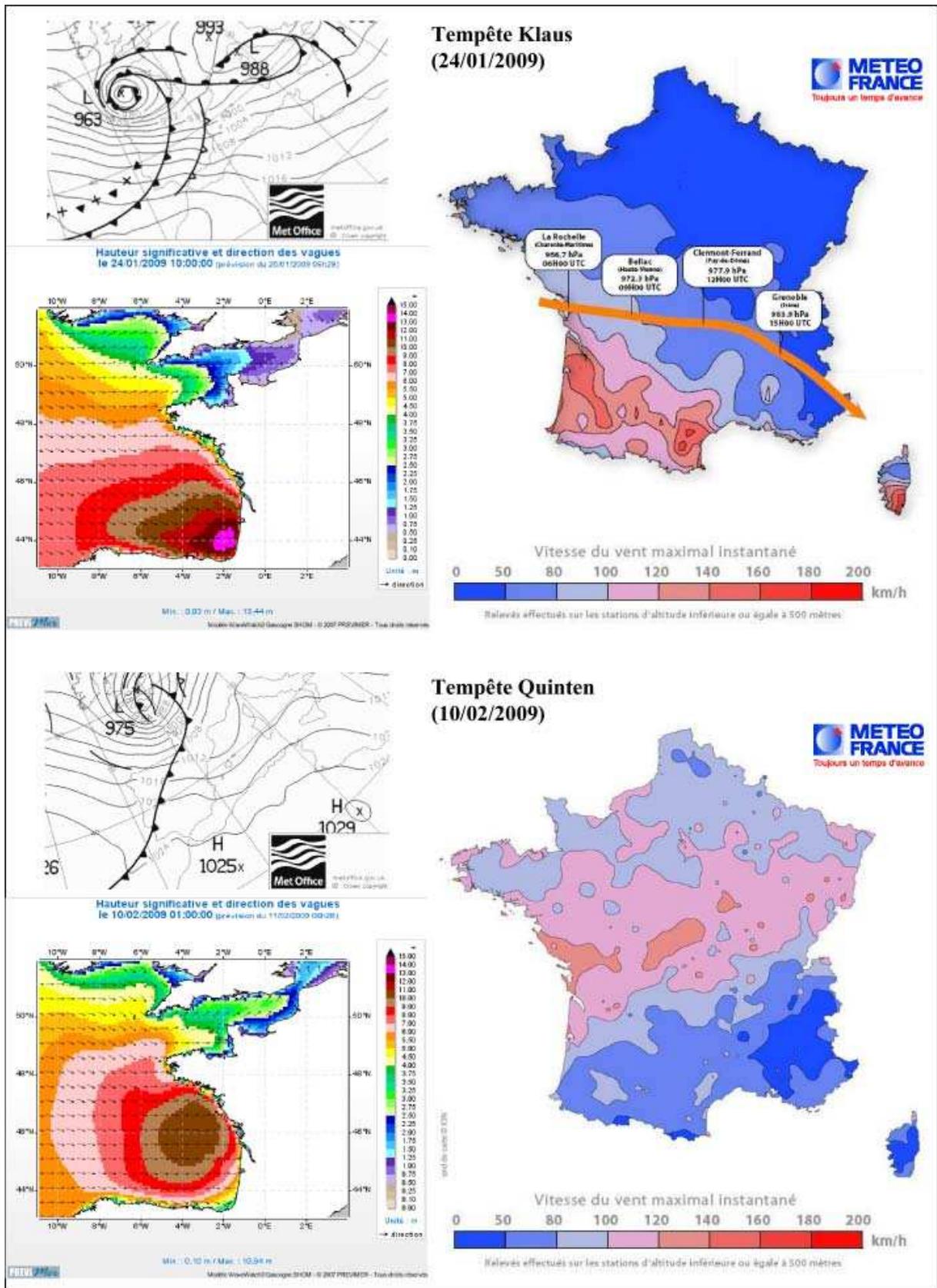
Annexe 25 : Transfert de sable effectué en janvier 2007 à Marennnes-Plage



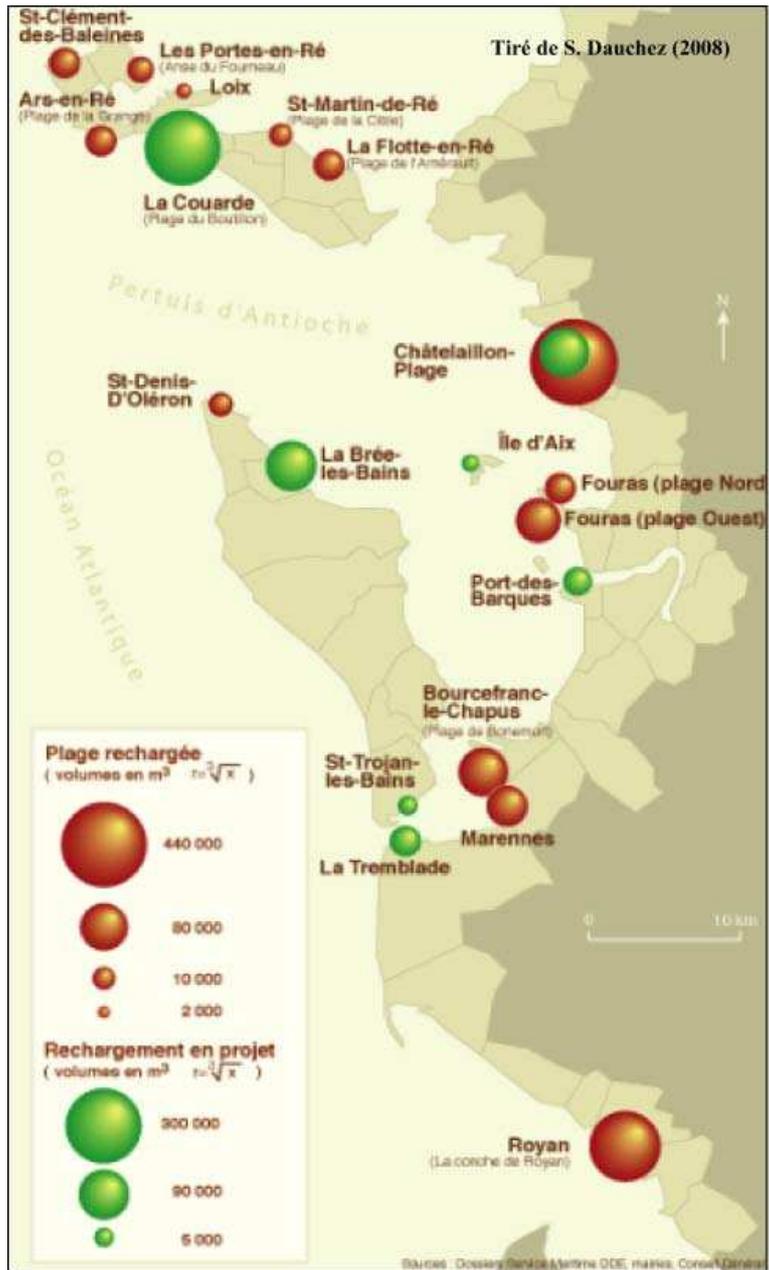
Annexe 26 : Situations synoptiques des 21 et 29 janvier 2003



Annexe 27 : Situations synoptiques des 03 et 19 février 2003



Annexe 28 : Caractéristiques des tempêtes Klaus et Quinten



Annexe 29 : Le rechargement de plage en Charente-Maritime



Annexe 30 : La plage de Marennes au début et à la fin du 20^{ème} siècle

Source : Pays de Marennes-Oléron, Odyssee Développement		
Enjeu PMO	Indicateur	Remarques
<p>Enjeu 1 – Mieux prendre en compte les risques naturels dans l'aménagement du territoire</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Evolution des marais (approche historique) • Suivi de l'évolution et des variations du niveau de la mer • Suivi de l'évolution du trait de côte • Suivi de l'urbanisation : surfaces construites, ampleur des dégâts occasionnés par les événements extrêmes • Evolution des politiques de protection (ouvrages de défense, mesures légères) • Détermination et suivi des territoires à risque élevé (zones prioritaires) 	<p>Impératif : Prendre en compte différentes temporalités : changements graduels + événements exceptionnels</p>
<p>Enjeu 2 – Suivre l'évolution des ressources et des activités</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Suivi des caractéristiques physico-chimiques des eaux côtières • Données météorologiques • Identification d'espèces cibles (criée, oiseaux migrateurs...) 	<p>Base : Enquête auprès des différentes catégories socio-professionnelles afin de pouvoir suivre les impacts en temps réel.</p>
<p>Enjeu 3 – Développer la mobilisation politique et publique pour promouvoir une stratégie d'adaptation</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Formation (lycées, élus, administratifs, associations) • Suivi des dépenses publiques « adaptation au CC » • Suivi du processus de GIZC (concertation, information, communication, sensibilisation : relais) • Suivi de l'intégration des enjeux liés au changement climatique dans les documents d'urbanisme • Expérimentation de solutions adaptées : opérations pilotes de dépollidérisation par exemple. 	

Annexe 31 : GIZC au Pays de Marennes-Oléron, exemples d'indicateurs de suivi

Liste des annexes

Annexe 1 : La tempête de 1999 et la dune de Saint-Trojan (île d'Oléron)	282
Annexe 2 : Les Pertuis Charentais, des activités multiples et imbriquées.....	283
Annexe 3 : Eléments de gestion du littoral sur le littoral charentais	284
Annexe 4 : Démarche méthodologique adoptée en morphodynamique.....	285
Annexe 5 : Situations à fort gradient de pression dans le Golfe de Gascogne	286
Annexe 6 : Détails sur les données d'observation de Météo-France.....	287
Annexe 7 : Classification des type de situation atmosphérique	287
Annexe 8 : Types de situation associés à une circulation zonale	288
Annexe 9 : Types de situation associés à une circulation intermédiaire	288
Annexe 10 : Types de situation associés à une circulation méridienne.....	289
Annexe 11 : Lagune de la Belle Henriette et son classement en ZNIEFF	290
Annexe 12 : Modèle conceptuel de X. Bertin (2008).....	291
Annexe 13 : Cartes topographiques (1/25000) où figurent les sites ateliers	291
Annexe 14 : Le sud de la Vendée en 1767, extrait de la carte de Cassini	292
Annexe 15 : Le sud de la Vendée en 1850, extrait de la carte d'Etat-Major.....	292
Annexe 16 : Site de la Belle Henriette, toponymie	293
Annexe 17 : Cartographie de l'aléa « submersion marine » au sud de la Vendée	294
Annexe 18 : Blanchiment et reconquête de la dune grise (tempête du 02 décembre 1975).....	294
Annexe 19 : Illustrations de la pression touristique sur la dune de Saint-Trojan	295
Annexe 20 : Tempêtes et PMVE dans la zone des Pertuis Charentais.....	296
Annexe 21 : Vue en plan du Chantier-Pilote de Vert-Bois	297
Annexe 22 : L'estuaire de la Seudre en 1766, extrait de la carte de Cassini.....	298
Annexe 23 : L'estuaire de la Seudre en 1845, extrait de la carte d'Etat-Major	298
Annexe 24 : Caractéristiques des données topographiques recueillies sur le terrain	299
Annexe 25 : Transfert de sable effectué en janvier 2007 à Marennes-Plage.....	299
Annexe 26 : Situations synoptiques des 21 et 29 janvier 2003	300
Annexe 27 : Situations synoptiques des 03 et 19 février 2003.....	301
Annexe 28 : Caractéristiques des tempêtes <i>Klaus</i> et <i>Quinten</i>	302
Annexe 29 : Le rechargement de plage en Charente-Maritime.....	303
Annexe 30 : La plage de Marennes au début et à la fin du 20 ^{ème} siècle	303
Annexe 31 : GIZC au Pays de Marennes-Oléron, exemples d'indicateurs de suivi.....	304

Approche de la gestion des cordons littoraux : mise au point et application d'un indice d'érosion (Zone des Pertuis Charentais, France)

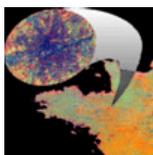
En morphodynamique littorale, les environnements côtiers sont habituellement traités comme des milieux naturels où les interventions humaines sont susceptibles de perturber leur équilibre. Dans ce travail de recherche, une approche différente est adoptée. Il s'agit de décrire des comportements morphosédimentaires en supposant a priori que certaines morphogènes sont (au moins partiellement) d'origine anthropique. Trois sites représentatifs ont été sélectionnés dans la Zone des Pertuis Charentais : la lagune de La Belle-Henriette, la dune de Saint-Trojan et la plage de Marennes. Sur ces sites, les interactions du passé entre les processus naturels et anthropiques ont résulté sur une progression historique du trait de côte. L'évolution actuelle des conditions environnementales y est perçue comme une contrainte forte, car elle induit d'importants phénomènes d'érosion, notamment lors des tempêtes. Les responsables locaux de l'aménagement du littoral s'interrogent sur la pertinence des méthodes qui leur sont proposées pour prévoir ces phénomènes. Leurs critiques ne portent pas sur la scientificité des modèles mais sur leur mise en pratique. Pour répondre à cette demande sociale en prédiction du dommage, une nouvelle méthode est proposée. Il s'agit d'employer un modèle de comportement pour construire un indice d'érosion localement défini et facile à mettre en oeuvre. Cette méthode est d'abord validée a posteriori à partir de mesures archivées depuis le début de l'année 2003 et à partir du cas de l'ouragan du 27 décembre 1999. Elle est ensuite validée a priori en tant qu'outil de prédiction à l'occasion de plusieurs tempêtes récentes.

Mots clés : anthropisation littorale, érosion marine, tempête, vulnérabilité, modélisation

Management of coastal barriers in “la Zone des Pertuis Charentais” (France): Developing of an erosion index

Many coastal morphodynamics studies assume that environments are natural and that natural equilibriums are sometimes modified by human interventions, and are therefore studied as such. In this Ph D., a different approach is developed, namely the description of behaviours of “artificial” coastal features forced by actual climatic conditions. In “la Zone des Pertuis Charentais”, three sites, where past interactions between natural and anthropogenic processes resulted on a historical seaward progression of the coastline, were selected: the lagoon of La Belle-Henriette, the coastal dune of Saint-Trojan and the beach of Marennes. On these sites, present environmental evolution induces strong erosion, notably during storms events. Local coastal managers call out to the relevancy of methods used for the prediction of such hazards, because of their practical limitations. To answer this social demand, a simple formulated storm index, locally tuned and freely implemented, was developed. The method has been tested using an archive dataset (from 1999 to 2009) and proved to be successful for predicting erosion events (numerous cases in the recent years).

Keywords: coastal anthropization, marine erosion, storm, vulnerability, modelling



Thèse de Doctorat de Géographie : Jonathan Musereau

UNIVERSITÉ RENNES 2

Ecole Doctorale - Humanités et Sciences de l'Homme

Laboratoire COSTEL – UMR 6554 LETG – CAREN

