

1 **Impacts des tempêtes sur la morphologie d'un littoral microtidal : le**  
2 **site du Lido de Sète à Marseillan, Golfe du Lion**

3  
4 **Mathieu GERVAIS<sup>1</sup>, Yann BALOUIN<sup>1</sup>, Rémi BELON<sup>1</sup>, Raphaël CERTAIN<sup>2</sup>,**  
5 **Nicolas ROBIN<sup>2</sup>, Serge BERNE<sup>2</sup>**

6  
7 1. BRGM, Service Géologique du Languedoc-Roussillon, 1039 rue de Pinville,  
8 34000 Montpellier, France.

9 *m.gervais@brgm.fr*

10 2. EA 4218 IMAGES, Université de Perpignan, 52 av Paul Alduy,  
11 66860 Perpignan Cedex, France.

12  
13 **Résumé :**

14 L'action des tempêtes marines entraîne souvent des réponses morphologiques rapides et  
15 des impacts importants sur les littoraux sableux : recul du trait de côte, submersion et  
16 érosion de la plage, franchissements et destruction des systèmes dunaires et parfois de  
17 l'ensemble du cordon littoral, mais provoque également une importante dynamique des  
18 barres sédimentaires d'avant-côte. Dans le cadre du projet européen MICORE  
19 (Morphological Impacts and COastal Risks induced by Extreme storm events), des  
20 campagnes de mesures sont menées depuis 2008 sur le Lido de Sète à Marseillan, afin  
21 de caractériser la dynamique des morphologies lors des événements énergétiques.  
22 L'objectif principal de ces campagnes était d'étudier de la variabilité des réponses  
23 morphologiques en fonction des différents facteurs de forçages hydrodynamiques  
24 (vagues, marée, surcote), atmosphériques (vent, dépression atmosphérique,  
25 précipitation) et sédimentaires (morphologie préexistante).

26 Deux secteurs de plage à morphologies différentes ont été suivis de manière intensive  
27 par des techniques conventionnelles de topo-bathymétrie et d'hydrodynamique afin de  
28 caractériser leurs réponses respectives aux tempêtes marines. Le secteur sud est  
29 caractérisé par la présence de deux barres d'avant-côte quasi-rectilignes et le secteur  
30 nord est caractérisé par des morphologies sous-marines fortement tridimensionnelles  
31 (deux barres festonnées).

32 Plusieurs tempêtes majeures se sont produites lors de ce suivi (celles du 26 décembre  
33 2008 et du 21 octobre 2009 sont les plus importantes). Elles présentaient des  
34 caractéristiques très différentes en terme de hauteurs et périodes de la houle, mais  
35 également en terme de niveaux de surcote.

36 Au niveau de la plage émergée, la réponse morphologique est globalement identique et  
37 se traduit par des apports massifs de sable vers le haut de plage suite aux évènements les  
38 plus extrêmes. En revanche, les morphologies sous-marines ont évolué très  
39 différemment. Si le schéma classique de recul des barres pendant les tempêtes est  
40 observé sur les deux secteurs, la réponse tridimensionnelle est très différente : au sud, la

41 barre interne reste rectiligne quelque soient les forçages ; au nord, le système alterne des  
42 situations rectilignes, en croissants, en festons rompus, avec des transitions très rapides.  
43 Les évolutions observées dans la zone nord semblent montrer que la cinétique des  
44 barres est principalement fonction de niveau d'agitation. Toutefois, la morphologie  
45 préexistante joue un rôle prédominant dans la transition entre les différents types de  
46 barres.

47 Les levés, réalisés après chaque coup de mer significatif ( $H_s > 1.5$  m) au cours du  
48 premier hiver, permettent de caractériser des seuils morphogènes et mettent en évidence  
49 l'importance des processus inter-tempêtes. En effet, le rôle des événements de houle  
50 modérée, et des épisodes de forte tramontane se révèle fondamental dans le retour aux  
51 conditions "d'équilibre".

52

### 53 **Mots-clés :**

54 Tempêtes – Morphodynamique – Barres d'avant-côte – Paramètres de houle – Surcote –  
55 Erosion – Résilience de la plage – Dépôt

56

### 57 **1. Introduction**

58 L'action des tempêtes marines entraîne souvent des réponses morphologiques rapides et  
59 des impacts importants sur les littoraux sableux : recul du trait de côte, submersion et  
60 érosion de la plage, franchissements et destruction des systèmes dunaires et parfois de  
61 l'ensemble du cordon littoral, mais provoque également une importante dynamique des  
62 barres sédimentaires d'avant-côte. Dans le Golfe du Lion, où des phénomènes érosifs  
63 continus s'associent à une forte anthropisation du littoral, ces phénomènes peuvent  
64 entraîner des impacts importants sur le milieu et sur les infrastructures et activités  
65 humaines. Dans le cadre du projet européen MICORE (Morphological Impacts and  
66 COastal Risks induced by Extreme storm events), des campagnes de mesures sont  
67 menées depuis 2008 sur le Lido de Sète à Marseillan, afin de caractériser la dynamique  
68 des morphologies lors des événements énergétiques.

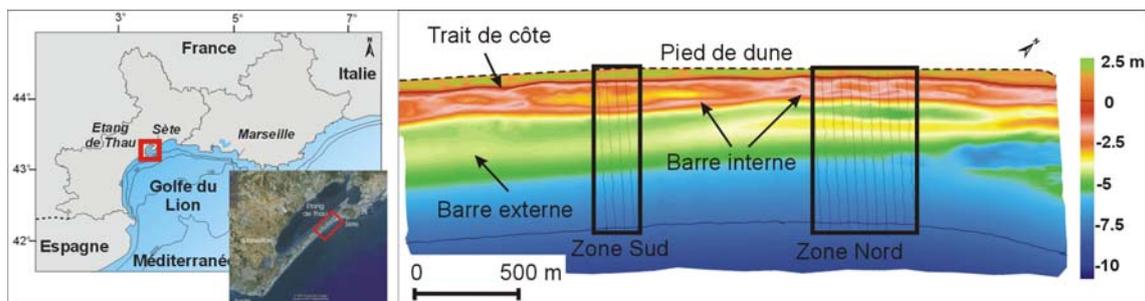
69 L'objectif principal de ce travail est de caractériser les réponses morphologiques  
70 associées à des événements énergétiques afin d'améliorer la compréhension des facteurs  
71 (hydrodynamiques, météorologiques, morphologiques) qui prédéterminent les  
72 évolutions lors des tempêtes.

73

### 74 **2. Site d'étude et méthodologie**

75 Le site d'étude est le lido de Sète à Marseillan, localisé en Languedoc-Roussillon, et  
76 séparant l'étang de Thau de la mer Méditerranée. Le marnage est microtidal (20 à  
77 30 cm), et le régime de vagues relativement calme (plus de 80% des hauteurs  
78 significatives de vagues sont inférieures à 1 m). Deux vents locaux dominant : la  
79 tramontane, de direction O à NNO, et le marin généralement de S à SE. Ce vent marin  
80 génère les épisodes de forte houle, qui sont principalement de direction ESE, mais

81 peuvent également provenir du Sud. A Sète, la période de retour annuelle pour les  
 82 vagues de tempêtes est environ de 4.63 m de hauteur significative au large (Hs)  
 83 (GLOASGUEN, 1998). L'élévation locale du niveau de la mer (surcote atmosphérique,  
 84 *set-up* des vagues) lors de ces événements peut atteindre 1 m sur la plage.  
 85



86  
 87 *Figure 1. Localisation de la zone d'étude (à gauche) et bathymétrie (à droite) illustrant*  
 88 *les zones de suivi Nord et Sud et les morphologies d'avant-côte.*  
 89

90 La morphologie de ce littoral est caractérisée par une plage étroite et basse et des  
 91 morphologies de barres d'avant-côte interne et externe qui sont pseudo-rectilignes à  
 92 rythmiques (CERTAIN, 2002). Les travaux d'aménagement en cours sur ce littoral  
 93 (recul stratégique de la route) ont sensiblement modifié la morphologie du secteur NE  
 94 par la reconstruction d'un cordon dunaire étroit et le rechargement de la plage qui a  
 95 permis de réalimenter un système d'avant-côte décrit comme fortement déficitaire  
 96 (CERTAIN, 2002).

97 Les études menées sur ce secteur (BARUSSEAU & SAINT-GUILY, 1981 ;  
 98 AKOUANGO, 1997 ; CERTAIN, 2002 FERRER, 2006) ont mis en évidence des  
 99 évolutions rapides et une dynamique des barres d'avant-côte très importante lors des  
 100 tempêtes. Il est en effet décrit que les barres oscillent autour d'une position d'équilibre à  
 101 fréquence saisonnière (modèle O.P.E, AKOUANGO, 1997). Dans un contexte temporel  
 102 plus large, les tempêtes décennales, ou les hivers particulièrement riches en tempêtes,  
 103 sont responsables d'un soudain recul de la barre externe qui conduira à sa disparition en  
 104 quelques années (modèle N.O.M, observé par CERTAIN, 2002).

105 Les levés réalisés en 2008 ont permis de caractériser l'état initial du site avant les  
 106 périodes hivernales. La morphologie était alors caractérisée par (figure 1) :

- 107 - Plage émergée : haut de plage à pente très faible (plateau), berme avec  
 108 encoche/falaise d'érosion due à la tempête précédent l'étude, croissants de plage  
 109 formés sur la zone de jet de rive en bas de plage. Sinuosités du trait de côte très  
 110 marqués et reflétant les festons de la barre interne.
- 111 - barre interne : barre proche et croissants à l'extrême sud ; barre éloignée,  
 112 profonde et quasi-linéaire au sud. ; barre proche et festons très marqués, et peu  
 113 profonds, pour la moitié nord.

114 - barre externe : barre éloignée, profonde, pseudo-linéaire, et peu marqué pour la  
115 moitié sud. Barre plus marqué et plus proche pour toute la partie nord, avec une  
116 morphologie festonnée de grande ampleur.

117 Afin de mieux appréhender le rôle des morphologies sur les évolutions, deux secteurs  
118 contrastés ont été suivis (figure 1) : la zone Sud présentant 2 barres linéaires de faible  
119 amplitude (la barre externe semblant en forte dégénérescence) et la zone Nord, où les  
120 systèmes de barres sont bien développés, avec des morphologies en croissant bien  
121 formées sur la barre interne. De cette manière, la zone sud servira de zone témoin où les  
122 barres sont homogènes longitudinalement et où seront quantifiables les processus de  
123 mobilisation sédimentaire transverses à la plage, tandis que la zone nord, de part son  
124 caractère fortement tridimensionnel, permettra d'apprécier les changements  
125 morphologiques des motifs rythmiques de barres d'avant-côte.

126

### 127 **3. Méthodologie**

128 Les mesures topo-bathymétrique ont été réalisées sur les deux secteurs (Zone Sud et  
129 Zone Nord) après chaque épisode de houle important à l'aide d'un GPS cinématique  
130 centimétrique (DGPS) et un sondeur mono-faisceau. Les profils sont réalisés tous les 50  
131 m. Ils couvrent l'avant-côte depuis la profondeur -10 m, jusqu'à la partie haute de la  
132 plage (arrière dune), sur les 2 zones évoquées, de 150 m et 500 m de large chacune le  
133 long du trait de côte. 13 levés ont ainsi été obtenus durant l'hiver 2008-2009 et le début  
134 de l'hiver 2009-2010. Certains de levés couvrent une zone plus large (4 km) et  
135 permettent d'analyser la représentativité des zones choisies.

136 Sur la totalité des profils levés, un certains nombres d'indicateurs ont été déterminés  
137 pour l'étude des évolutions morphologiques. Ont ainsi été caractérisés : les positions  
138 (fronts interne et externe, crête) et formes des barres d'avant-côte, la position du trait de  
139 côte, les volumes des différents compartiments morphologiques : barres, plage émergée,  
140 plage immergée. Ces évolutions morphologiques sont confrontées aux forçages météo-  
141 marins. Les données de houle proviennent du houlographe directionnel (bouée datawell,  
142 DRE-LR) positionné au large de Sète (043°22,261'N, 003°46,777'E) à une profondeur  
143 de 30 m. L'évolution du niveau marin et les surcotes proviennent des relevés du  
144 marégraphe (SHOM) dans le port de Sète. Le niveau marin observé, intégrant la surcote,  
145 la marée, et le set-up des vagues sera nommé NM par la suite. Les données de vents  
146 proviennent d'une station météo proche du site (au niveau de Sète).

147 Ces données ont permis la caractérisation des épisodes de tempêtes, et d'inter-tempêtes,  
148 en terme d'intensité (hauteur des vagues, énergie déployée, niveau marin atteint, vitesse  
149 du vent), de direction, mais aussi de durée de l'événement.

150

151

152

153

## 154 **4. Résultats**

155

### 156 4.1 Conditions météo-marines et caractéristiques des tempêtes

157 Au cours de ce suivi, 5 événements très énergétiques ont eu lieu (cf. figure 3). Ces  
158 tempêtes sont définies ici par une houle de plus de 3 m de hauteur significatives (Hs) au  
159 pic de vagues, mesuré au large. Elles sont restées inférieures à la tempête annuelle  
160 définie par le CETMEF (GLOASGUEN, 1998). Ces événements sont séparés par 5  
161 périodes de plus faible agitation, ou "calme" relatif, avec des houles comprises entre 1 et  
162 3 m. Les caractéristiques hydrodynamiques des ces épisodes sont résumées dans deux  
163 tableaux, 1.A et 1.B, le premier concernant les périodes inter-tempêtes, et le second les  
164 périodes d'agitation forte. Les tempêtes sont surlignées en gris. Les valeurs écrites en  
165 vertes indiquent un fonctionnement partiel du houlographe et donc des données  
166 incomplètes (période estivale et montant de la tempête du 29 novembre 2009).

167 Chaque période de calme relatif ou tempête est énuméré, et séparé suivant l'ordre  
168 chronologique. L'énumération est la suivante : le "calme" 1 précède la tempête 1, le  
169 "calme" 2 précède la tempête 2, et ainsi de suite...

#### 170 • caractéristiques des tempêtes majeures

171 La Tempête 1 a eu lieu le 26/12/2008. Elle était caractérisée par une houle d'ESE forte  
172 et longue, des brisants "propres" et un faible NM par rapport à la houle. Cette tempête a  
173 eu une période de tombant assez longue, avec un second pic de houle d'ESE courte et  
174 ventée. L'énergie cumulée lors de cet événement est très importante, avec une forte  
175 composante longitudinale.

176 La tempête 2 (+ 2 bis) a eu lieu le 01/02/2009. La houle était plus courte, ventée, de  
177 provenance ESE, tournant SE au pic, et le NM enregistré très important (+0.77 m).  
178 Cette tempête est suivie 2 jours après par un coup de mer, que nous incluons dans la  
179 tempête 2 (bis), bien qu'un relevé morphologique ait été réalisé entre les deux coups.  
180 Cette seconde houle de secteur sud est courte, ventée, et la surcote est encore très  
181 importante.

182 La tempête 3 a eu lieu le 26/04/2009. Il s'agissait d'une houle courte ventée d'ESE, qui  
183 a déployée une énergie avec une forte composante longitudinale. Le NM est resté  
184 modéré à faible.

185 La tempête 4 a eu lieu le 21/10/2009. Il s'agissait d'une houle très forte (Hs~4,5 m)  
186 mais de courte durée comparée à celle de décembre. La période des vagues est restée  
187 moyenne à courte. La provenance sud au montant a tourné à l'ESE au pic d'énergie, et  
188 de nouveau S sur le tombant. Le vent de secteur S-SE était très fort au pic. Le NM  
189 enregistré est le maximum de ce suivi (1,05m).

190 La tempête 5 a eu lieu le 29/11/2009. Il s'agissait d'une houle courte de sud, avec un  
191 vent fort de SSO et un NM modéré à faible. Malheureusement nous n'avons pu avoir les  
192 données du houlographe lors du montant de tempête. La durée de la tempête a été  
193 estimé très courte.

194 *Tableau 1. A. Caractérisation hydrodynamique des périodes inter-tempête en*  
 195 *considérant le nombre de jours depuis la dernière tempête, le nombre d'évènements de*  
 196 *houles modérés, l'énergie de houle entrante cumulée depuis, ainsi que sa composante*  
 197 *longitudinale (positive = houle de SO). Il est aussi indiqué l'énergie totale cumulée*  
 198 *avant la tempête par la période plus calme, de même que sa composante transverse.*

199 *Tableau 1.B. Caractérisation hydrodynamique des tempêtes ou de l'épisode de houle*  
 200 *principal de la période de calme. Les paramètres de houles et NM (par rapport au 0*  
 201 *hydrographique) sont mesurés au pic d'énergie. L'énergie totale de l'évènement, quand*  
 202 *Hs > 1m, est aussi indiqué par les composantes transverses et longitudinales à la côte.*

date du levé	energie totale norm. Interlevé	energie totale long. interlevé	nom période relevé	dern. Tempête	temps écoulé	nbre événmt post-T	nbre événmt pré-T	cumul energie post-T	cumul energie pré-T	cumul energie long post-T	cumul energie long pré-T
UNITES -->	W	W	date	date	jours	num	num	W	W	W	W
18/11/2008			effet non étudiée	02/11/2008 12:00	16.0	2		690 623		347 020	
22/12/2008	3 567 729	1 211 172	calme 1	02/11/2008 12:00	50.0	6		4 258 352		1 558 191	
06/01/2009	8 356 611	-1 332 472	tempête 1	26/12/2008 18:00	10.8	0	6	219 347	4265332	8 006	1558732
13/01/2009	791 390	-361 648	calme 2.1	26/12/2008 18:00	17.8	1		1 010 246		-353 214	
29/01/2009	781 539	384 295	calme 2.2	26/12/2008 18:00	33.8	2		1 791 406		31 454	-321758
04/02/2009	4 166 380	-486 549	tempête 2	01/02/2009 18:00	2.8	0	2	54 333	2803300	-1 094	
16/02/2009	2 058 681	-1 124 428	tempête 2 bis	01/02/2009 18:00	14.8	1		2 110 305		1 122 185	
12/03/2009	1 109 833	130 585	calme 3.1	01/02/2009 18:00	38.8	3		3 219 910		1 252 996	
21/04/2009	2 735 798	250 353	calme 3.2	01/02/2009 18:00	78.8	6		5 955 490		1 503 376	
30/04/2009	3 067 245	-970 493	tempête 3	26/04/2009 04:00	4.3	0	6	38 146		16 351	
03/11/2009	7 372 156	286 417	calme 4 + tempête 4	21/10/2009 09:00	13.1	0	6	183 959	7410170	70 438	-29264
04/12/2009	3 674 442	1 077 155	calme 5 + tempête 5	29/11/2009 12:00	5.0	1	3	263 099	2645007	-5 202	528099

A.

date du levé	événmt Hs max période interlevés	nom période relevé	Hs max	Ts à Hs max	dir. à Hs max	dir. norm. à Hs max	durée événmt	NM à Hs max	energie événmt	energie long événmt
UNITES -->	date	date	m	s	°N	°	h	m	W	W
18/11/2008	02/11/2008 12:00	effet non étudiée	3.48	6	111	-27	110	0.9	5 257 698	1 084 589
22/12/2008	29/11/2008 16:00	calme 1	2.48	8	180	42	35	0.81	1 204 492	691 419
06/01/2009	26/12/2008 18:00	tempête 1	3.99	10	121.1	-16.88	140	0.65	8 014 329	-1 251 670
13/01/2009	09/01/2009 17:00	calme 2.1	2.06	7	116	-22	25	?	643 425	-270 694
29/01/2009	19/01/2009 17:00	calme 2.2	1.07	7	172	34	21	0.45	252 681	149 706
04/02/2009	01/02/2009 18:00	tempête 2	3.30	7	132.6	-5.43	87	0.77	4 062 135	-498 733
16/02/2009	05/02/2009 19:00	tempête 2 bis	2.73	6	181	43	51	0.85	1 762 695	1 084 583
12/03/2009	04/03/2009 12:00	calme 3.1	2.34	6	184	46	14	0.63	424 669	308 545
21/04/2009	15/04/2009 16:00	calme 3.2	2.45	6	147	9	38	0.52	921 233	181 400
30/04/2009	26/04/2009 04:00	tempête 3	3.41	8	119.7	-18.29	57	0.68	2 989 430	-1 010 971
03/11/2009	21/10/2009 09:00	calme 4 + tempête 4	4.50	8	121	-17	69	1.05	4 500 384	261 526
04/12/2009	29/11/2009 12:00	calme 5 + tempête 5	3.20	8	179	41	16	0.62	950 295	623 886

B.

203  
204

- Périodes inter-tempêtes et épisodes de fortes tramontane

206 Afin de mieux comprendre les évolutions observées, les périodes inter-tempêtes ont  
 207 également été analysées. Certains petits coups de mer, non considérés comme des  
 208 tempêtes peuvent en effet entrainer des évolutions morphologiques importantes.

209 Le calme 1 du 18/11/2008 au 22/12/2008 (date des levés) a été caractérisé par des  
 210 houles de faible amplitude peu ventés et à NM bas dans l'ensemble. Toutefois, 6 houles  
 211 successives de SE, moyennes à faibles, ont été observées. 2 évènements se détachent car

212 ils ont des périodes de vagues anormalement importantes, respectivement de 10 s (E) et  
213 8 s (S).

214 Le Calme 2.1 du levé du 06/01/2009 au levé du 13/01/2009, présente un épisode de  
215 houle d'E moyennement haute, longue et propre.

216 Le Calme 2.2 du levé du 13/01/2009 à celui du 29/01/2009 ne montre qu'un très petit  
217 épisode de houle significatif. Il est cependant caractérisé par un événement de  
218 tramontane intense le 24 janvier.

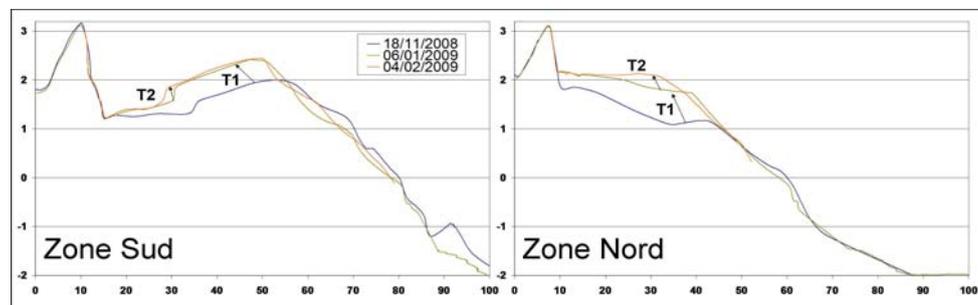
219 Le calme 3.1 va du levé du 16/02/2009 à celui du 12/03/2009. La période est  
220 caractérisée par 2 houles courtes et ventés de provenance S à SE pour des NM moyens,  
221 mais aussi par un épisode de tramontane très fort le 04 mars.

222 Le calme 3.2, du levé du 12/03/2009 au levé du 21/04/2009, est une longue période très  
223 calme. Cependant 3 épisodes de houles moyennes, courtes, et ventées ont eu lieu, avec  
224 des NM modérés.

225 Le calme 4, précède la tempête 4 d'octobre et comprend toute la période estivale où la  
226 bouée n'a pas fonctionné. Un levé lidar a été effectué en aout, mais il n'a pas pu être  
227 utilisé ici. Les modèles de prévisions de houle supposeraient l'existence de 6 épisodes  
228 de houles faibles à modérés, majoritairement ventés avec un NM moyen à assez haut.

229 Le calme 5, précède la tempête 5. Il n'y a là aussi pas de levé pré-tempête. La période  
230 décrit 2 houles courtes de SSE pour des NM moyens, à l'instar de la tempête.

231



232

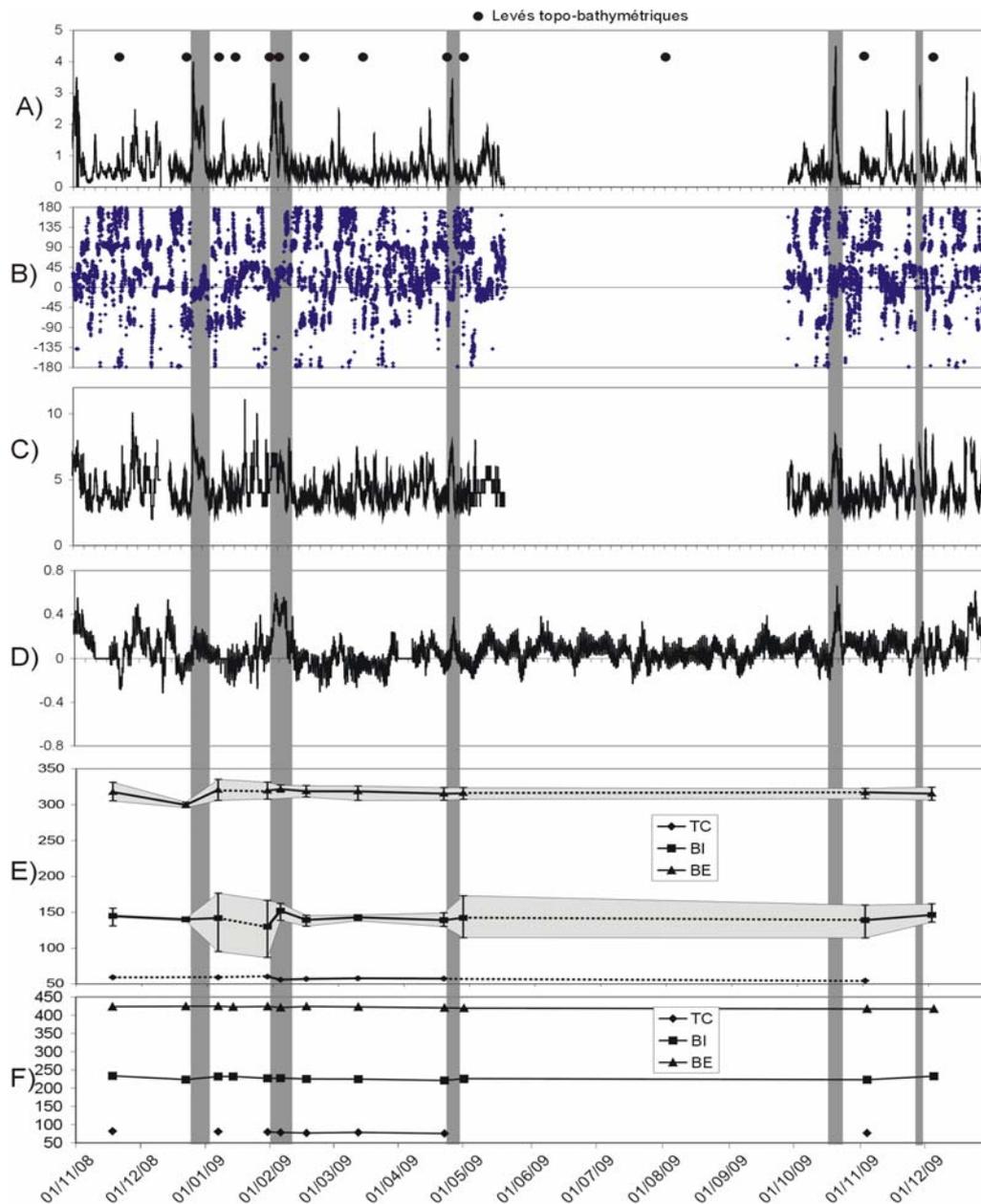
233 *Figure 2. Dépôt massif de sable en haut de plage lors des événements de tempêtes de*  
234 *décembre 2008(T1) et février 2009 (T2).*

235

#### 236 4.2 Réponse morphologique aux événements de tempête

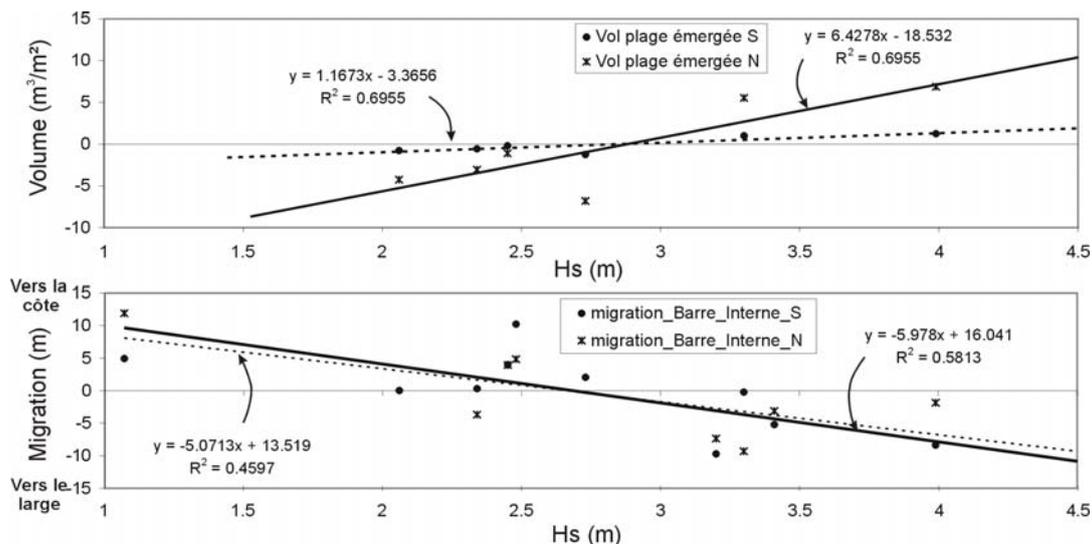
237 De manière générale, les tempêtes les plus importantes se caractérisent par un dépôt  
238 massif de sable en haut de plage. Dès que Hs atteint le seuil de 3 m environ, ce qui est  
239 variable selon la surcote, le jet de rive surpasse la berme pourtant très haute sur la zone  
240 sud, et atteint le front dunaire. Ce phénomène a été observé sur les deux secteurs (Nord  
241 et Sud, selon profils de la figure 2). La figure 4 (en bas) fait clairement apparaître un  
242 seuil, dans la hauteur significative de la houle, à partir duquel la plage est engraisée. Ce  
243 seuil semble être situé à environ 2.9-3 m, même si l'effet de la surcote reste à estimer. A  
244 l'inverse, les périodes plus calme de petites houles semblent, en moyenne, plutôt

245 érosives pour le front de plage (figure 4). Ces apports peuvent-êtres très importants (des  
 246 dépôts atteignant près de un mètre ont été observés en pied de dune) et surpassent  
 247 apparemment l'érosion du bas de plage qui peut parfois se produire.



248  
 249 *Figure 3. Hydrodynamique et évolutions morphologiques lors de la période de mesures.*  
 250 *A) Hauteur significative de la houle (en m) ; B) Angle d'incidence de la houle au large*  
 251 *(positif côté NE) (en deg) ; C) Période significative (en s) ; D) niveau marin (en m par*  
 252 *rapport au zéro hydrographique) ; E) Zone Nord : position moyenne et déviation*  
 253 *standard du trait de côte (TC), de la barre interne (BI) et de la barre externe (BE) ;*  
 254 *F) Zone Sud : position moyenne et déviation standard du trait de côte, de la barre*  
 255 *interne et de la barre externe.*

256 Les épisodes de fortes tramontanes provoquent à l'inverse, en l'absence totale de houle,  
 257 des décapages de la plage vers le talus de plage immergé, à des vitesses verticales  
 258 d'érosions qui atteindraient d'après nos mesures 1 cm par heure sur le haut de plage.  
 259 Lors des ces événements de tempêtes, on observe également un recul de la barre interne  
 260 (cf. figure 3-E et F). A l'instar du volume de la plage il semblerait aussi que les  
 261 déplacements transverses de la barre d'avant-côte interne dans son ensemble soient  
 262 conditionnés par la hauteur de houle atteinte lors des évènements entre les levés. La  
 263 barre recule lorsque la houle dépasse un seuil de l'ordre de 2.7-3 m, de Hs au pic, et ce  
 264 sur les deux zones (figure 4). Dans ces situations la barre externe semble aussi  
 265 s'affaisser.  
 266 Ces évolutions (recul de la barre et dépôt en haut de plage) sont observées sur les deux  
 267 secteurs, malgré des morphologies d'avant-côte très différentes. Les vitesses de  
 268 migration et les amplitudes de variations de volume semblent directement corrélées avec  
 269 la hauteur significative atteinte pendant la tempête.  
 270

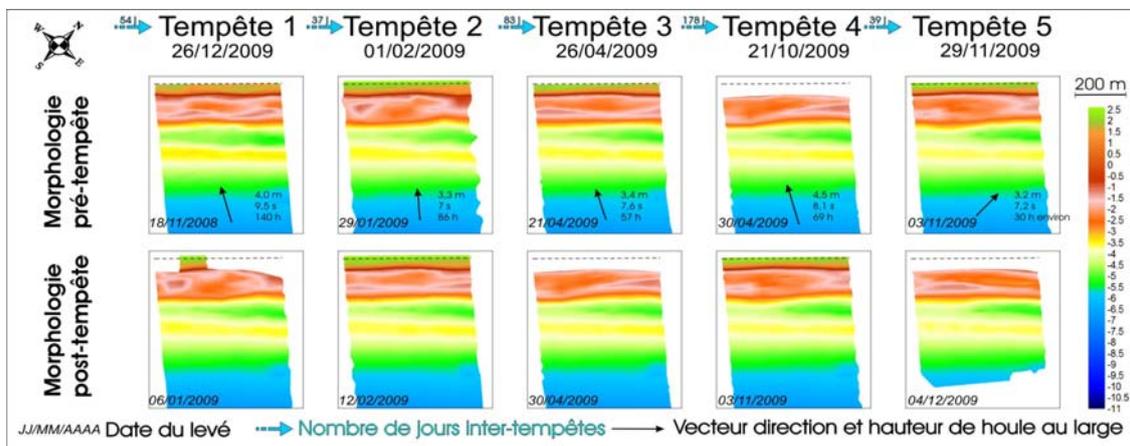


271  
 272 *Figure 4. Variation de volume de la plage émergée (en haut) et migration de la barre*  
 273 *interne (en bas) en fonction de la hauteur significative de la houle au pic de la tempête.*  
 274

#### 275 4.3 Dynamique tridimensionnelle des barres lors des tempêtes

276 Sur la figure 3-E et F, la zone grisée présente l'écart entre la position des crêtes sur les  
 277 différents profils, et la position moyenne de la crête. Ceci traduit donc une variabilité  
 278 latérale de la position de la crête et constitue donc un bon indicateur de la  
 279 tridimensionnalité ou de l'obliquité de la barre. On observe donc, et en particulier dans  
 280 la zone Nord, une forte variabilité de la tridimensionnalité de la barre, et un changement  
 281 rapide d'un état à un autre (d'une barre longitudinale à une barre en croissant ou  
 282 inversement.). Ainsi, la barre interne devient fortement tri-dimensionnelle lors des  
 283 tempêtes de décembre 2008 et avril 2009, alors qu'elle se linéarise lors de la tempête de

284 février 2009. La figure 5 présente les bathymétries pré- et post-tempête dans la zone  
 285 Nord pour les 5 événements majeurs observés lors de la campagne de mesures.  
 286 Lors de la tempête 1, la barre en festons très bien formés s'est rompue au niveau du  
 287 point bas (ventre), et les points hauts (cornes) ont migré vers la côte. L'un des deux se  
 288 trouve maintenant soudé à la plage. La morphologie de la fosse, oblique, suggère un  
 289 chenal transverse d'évacuation de l'eau dans le sens préférentiel de la dérive. Lors de la  
 290 tempête 2, d'incidence plus frontale, les points hauts s'émoussent et une barre ainsi  
 291 qu'une fosse linéaire se reforment. La barre est globalement linéaire, même si la  
 292 présence de points hauts est toujours marquée. Lors de la tempête 3, cette barre linéaire  
 293 à 2 points hauts est modifiée en un système dissymétrique de barre en festons de  
 294 grandes ampleurs, fortement asymétriques. La fosse est creusée préférentiellement du  
 295 côté SO de la corne, tandis qu'à son extrémité la ligne de crête de la barre est basse  
 296 (ventre). Cette réponse morphologique serait semblable aux observations de Certain  
 297 d'après les campagnes 1994 et 1999 sur le même site. Lors de la tempête 4, après la  
 298 période estivale, la réaction est similaire à celle de la tempête 1. La barre en feston est  
 299 percée au niveau de son ventre, tandis la corne du feston avance et s'attache à la côte  
 300 sous forme d'un point haut à morphologie complexe, où l'on devine l'enracinement de  
 301 la fosse au niveau de l'attache de ce point. Pour finir, la tempête 5 en provenance du  
 302 Sud, modifie totalement la morphologie car une barre linéaire est de nouveau créée.  
 303



304  
 305 *Figure 5. Bathymétries pré- et post-tempêtes dans la zone nord.*  
 306

### 307 **5. Discussion : impacts des facteurs de forçages sur la réponse morphologique**

308 Les résultats obtenus sur plus d'un an d'observation des réponses morphologiques aux  
 309 coups de mer mettent en évidence la relation entre l'intensité des forçages météo-marins  
 310 et les évolutions. De manière générale, la barre interne recule dès lors que la hauteur  
 311 significative de la houle augmente, à l'exception de la tempête 2. Lors de cette tempête,  
 312 la surcote (NM) était très importante (0.99 m), et la modification du comportement peut  
 313 sans doute s'expliquer par la diminution de la hauteur relative  $H_s/d$ , où  $d$  est la hauteur

314 d'eau au dessus de la barre. Par ailleurs, la durée entre les deux épisodes (tempêtes 1 et  
315 2) est très courte (37 j), avec très peu de houles constructives, et il est probable que la  
316 tempête de février soit survenue sur un système toujours en "déséquilibre".

317 Dans la zone sud les évolutions sont moins contrastées que dans la zone nord. Dans ce  
318 secteur, rappelons "témoin", car les barres y sont linéaires, on observe une migration  
319 vers le large lors des événements les plus importants, mais pour des évènements  
320 d'énergie plus modérée, la barre migre vers la plage très rapidement. En comparant  
321 l'impact des périodes de calme 1 et 3 avec la période de calme 2, L'effet des épisodes  
322 de "petites" houles à longues périodes, par rapports à ceux à courtes périodes,  
323 entrainerait un retour plus rapide aux conditions pré-tempêtes, ce qui n'est pas observé  
324 avec autant de clarté dans le secteur nord.

325 Les résultats obtenus montrent qu'il semble exister un seuil à partir duquel les  
326 comportements changent. Ce seuil est principalement associé à la hauteur significative  
327 de la houle lors du pic de tempête. Ainsi, on obtient une relation directe entre la hauteur  
328 des vagues et la migration des barres vers le large, et la hauteur des vagues et les gains  
329 volumétriques sur la plage. Les tempêtes entraineraient aussi une perte de volume des  
330 barres, bien que cela soit plus difficile à montrer sur la zone au nord où les  
331 morphologies 3D peuvent migrer longitudinalement avec la dérive. Il existe donc une  
332 relation bien établie entre l'intensité des forçages et les réponses morphologiques en  
333 termes de mobilité sédimentaire (variations de volumes, et intensité des déplacements  
334 sableux).

335 En revanche, les motifs de barres, en particulier dans la zone nord, ne semblent pas  
336 répondre directement aux forçages météo-marins. En effet, les tempêtes 2 et 3, qui sont  
337 relativement similaires en termes de hauteur de vagues et de direction, ont eu des  
338 réponses morphologiques très distinctes : de festons détruits vers une barre linéaire pour  
339 la tempêtes 2 ; d'une barre linéaire vers des festons très marqués pour le tempête 3.

340 Les épisodes de tramontane semblent jouer un rôle prépondérant en l'absence de vagues  
341 comme il a été montré par DURAND (1999) plus au sud du Golfe du Lion.

342

## 343 **6. Conclusions**

344 Les campagnes de terrain réalisées depuis Novembre 2008 ont permis d'obtenir une  
345 base de données inédite et des informations quantitatives sur les réponses  
346 morphologiques lors d'événements énergétiques successifs. Ces levés ont été réalisés à  
347 chaque coup de mer, permettant d'analyser la contribution spécifique de chacun des  
348 événements, mais également celle des phases de reconstruction.

349 Les résultats semblent démontrer le fait que les différents forçages jouent un rôle direct  
350 sur la dynamique sédimentaire (mobilité des fonds, volumes, ...), mais ne semblent pas  
351 jouer un rôle prédominant sur les motifs des barres. La dynamique des barres paraît  
352 fortement influencée par la morphologie préexistante avant la tempête.

353 Même si l'échantillonnage reste limité, les résultats obtenus semblent démontrer  
354 l'importance de la morphologie pré-tempête sur la dynamique des barres d'avant-côte  
355 lors des épisodes extrêmes, et démontre aussi le rôle essentiel des périodes de plus  
356 faibles houles.

357

## 358 **7. Remerciements**

359 Ce travail a été réalisé dans le cadre du projet FP7 MICORE n°202798. Le premier  
360 auteur bénéficie d'une allocation doctorale de la Région Languedoc-Roussillon et du  
361 BRGM. Merci à Gwenaëlle Bodéré, Cécile Godon et Pierre Ferrer pour leur  
362 contribution aux mesures de terrain.

363

## 364 **8. Références bibliographiques**

365 AKOUCO E. (1997). *Morphodynamique et dynamique sédimentaire dans le Golfe*  
366 *du Lion. Contribution à l'étude de la zone côtière dans l'actuelle et le quaternaire*  
367 *récent*. Thèse de 3<sup>ème</sup> cycle, Université de Perpignan, 200 p.

368 BARUSSEAU J.P, SAINT-GUILY B. (1981). *Disposition, caractères et mode de*  
369 *formation des barres d'avant-côte festonnées du littoral du Languedoc-Roussillon*  
370 *(France)*. Ocea. Acta., 4, 3, pp 297-304.

371 CERTAIN R. (2002). *Morphodynamique d'une côte sableuse microtidale à barres : le*  
372 *Golfe du Lion (Languedoc-Roussillon)*. Thèse de 3<sup>ème</sup> Cycle, Université de Perpignan,  
373 109 p.

374 GLOASGUEN G. (1998). *Estimation de la période de retour de la tempête du 16*  
375 *décembre 1997 à Sète*. Rapport STNMTE, CETMEF, 10 p.

376 DURAND P. (1999). *L'évolution des plages de l'ouest du Golfe du Lion au XXème*  
377 *siècle*. Thèse de doctorat en géographie physique, Université Lumière Lyon 2, 462 p.

378 FERRER P., REY V., CERTAIN R., ADLOFF F., MEULÉ S. (2006). *Les ondes*  
379 *infragravitaires et leur rôle éventuel dans la formation de croissants de plage : cas de*  
380 *la plage de Sète*. IXèmes Journées Nationales Génie Côtier-Génie Civil, Brest, pp 187-  
381 194.