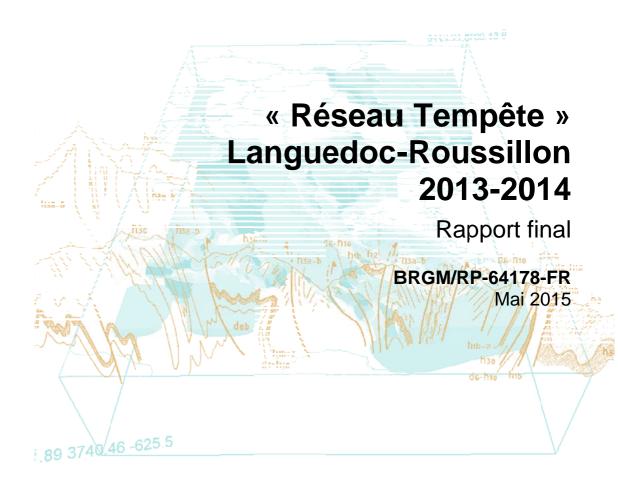


Document Public







Document Public

« Réseau Tempête » Languedoc-Roussillon 2013-2014

Rapport final

BRGM/RP-64178-FR

Mai 2015

Étude réalisée dans le cadre des opérations de Service public du BRGM 2012-PSP13LRO11

Y. De la Torre, R. Bélon et Y. Balouin Avec la collaboration de G. Bodéré

Vérificateur :

Nom: E. Chateauminois

Approbateur:
Nom: A. Blum
04/06/2015

Le système de management de la qualité et de l'environnement est certifié par AFNOR selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.





Mots-clés: bornage, impact, Languedoc-Roussillon, littoral, réseau, risque, suivi, tempête. En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante : **De la Torre Y., Bélon R., Balouin, Y. et Bodéré G.** (2015) – « Réseau Tempête » Languedoc-Roussillon 2013-2014. Rapport final. BRGM/RP-64178-FR, 35 p + annexe. © BRGM, 2015, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

D ans le contexte actuel de forte exposition du littoral du Languedoc-Roussillon aux aléas d'érosion côtière et de submersion marine, le réseau de surveillance des tempêtes et de leurs impacts (« Réseau Tempête ») permet de mutualiser et d'homogénéiser les démarches de suivi existantes à l'échelle régionale.

Ce projet est réalisé dans le cadre des *Etudes stratégiques et prospectives sur l'évolution des risques littoraux* du Contrat de Projet Etat-Région (CPER) 2007-2013.

Suite à une étude de faisabilité (Balouin *et al.*, 2011) constituant le réseau partenarial et le protocole de suivi, le dispositif a été mis en œuvre de manière opérationnelle pour la période hivernale 2011-2012 (De la Torre et Balouin, 2012) et 2012-2013 (De la Torre *et al.*, 2013).

La période 2013-2014 constitue donc la troisième phase de surveillance du Réseau Tempête en Languedoc-Roussillon. Il s'agit également de la dernière phase dans le cadre du CPER 2007-2013.

Cette période aura tout d'abord permis de mettre à jour l'outil de déclenchement automatique du réseau en se basant désormais sur les prévisions de houle espagnoles (Puertos del Estado) qui concernent le Golfe du Lion.

La qualité des observations a par ailleurs été améliorée en mesurant l'altitude de repères identifiables sur les photographies des 42 points fixes. Ce référentiel altimétrique permet en effet d'estimer plus précisément l'altitude atteinte par les vagues et de passer d'une information purement qualitative à une donnée semi-quantitative exploitable pour un plus grand nombre d'applications.

En outre, le bilan de l'activité du réseau est dressé depuis sa mise en œuvre opérationnelle en octobre 2011. Sur ces trois périodes, le réseau a donc été déclenché 24 fois, dont 5 fois pour une tempête de niveau 2 (houle significative supérieure à 4m) et 2 fois pour une tempête de niveau 3 (houle significative supérieur à 5m) en mars 2013 et novembre 2014.

Sur la période 2013-2014, l'activité du réseau a été limitée, avec toutefois la tempête de Noël 2013 qui a atteint 4.6m de houle significative à la bouée de l'Espiguette. Malheureusement, les observations ne sont pas remontées du fait du manque de disponibilité du réseau à cette période (24 et 25 décembre – pour rappel le réseau ne dispose pas d'un système d'astreinte) et à la fois d'un dysfonctionnement du message automatique (serveur informatique en maintenance).

Malgré la perte d'information liée à cette tempête, le retour d'expérience sur le fonctionnement du réseau sur l'ensemble de la période est largement positif avec des seuils de déclenchement qui semblent adaptés (ni trop souvent, ni trop peu) ainsi qu'une mobilisation quasi-exhaustive sur le terrain.

La comparaison des données issues du modèle espagnol et du réseau Candhis montre une bonne représentativité des résultats. Il semblerait cependant qu'en cas d'évènement majeur, le modèle espagnol sous-estime les hauteurs significatives de la houle. Il faudrait confirmer cette tendance sur une période temporelle plus longue afin d'estimer l'intérêt à affecter un coefficient correcteur aux hauteurs issues de la prévision afin de ne pas passer à côté d'évènements majeurs.

Une analyse des caractéristiques des tempêtes et de leurs effets en comparaison avec l'historique des mesures de houle et des impacts issus de la base de données « historique » a enfin pu être réalisée.

Trois évènements majeurs sont survenus depuis la mise en place du réseau tempête, celui du 24 octobre 2011, du 18 octobre 2012 et du 05 mars 2013. Au regard des différents paramètres physiques les caractérisant, l'évènement potentiel le plus impactant est celui de 2013 comptetenu des hauteurs significatives atteintes, de la durée de l'évènement et du fait qu'il soit intervenu à la fin de l'hiver donc précédé d'autres évènements ayant pu fragiliser le littoral.

Les impacts recensés confirment bien cette analyse des critères hydrodynamiques.

Une synthèse cartographique des impacts en termes d'érosion, de submersion marine et de dégâts matériels permet de mettre en évidence les secteurs de Vias et alentours comme les plus vulnérables à l'échelle de la région. A contrario, les secteurs de l'Aude montrent une moindre exposition à l'érosion et le Golfe d'Aigues-Mortes une certaine protection vis-à-vis des submersions sous certaines orientations de houle (Est à Sud-Est). Le Sud du Roussillon présente par ailleurs des dégâts importants répétés suivant différents scénarios de tempête.

En attendant la suite d'un cadre d'intervention (suite du CPER par exemple), le Réseau Tempête est maintenu en mode « best effort » sur la base du dispositif actuel. Dans ce cadre, une synthèse de la tempête de novembre 2014, principal évènement de l'hiver 2014-2015, est présentée. Atteignant un seuil 2 (Hs de 4,85m à Leucate), la bonne mobilisation des agents sur le terrain a permis de couvrir l'ensemble des Points Fixes de la région. Les observations font remonter des impacts localement importants en termes d'érosion (Ste Marie la Mer, Vias, Portiragnes, Les Baronnets), de submersions (St Cyrprien, St Pierre la Mer, Vias, Palavas les Flots) et de dommages (Vias en particulier). Des améliorations seront à prévoir avec des possibilités de requête sur la base de données en ligne, notamment en rendant automatique la génération de cartes telles que présentées dans l'analyse. L'élargissement du réseau de partenaires et la collecte d'informations socio-économiques (personnes déplacées, pertes humaines, pertes financières, etc.) sont également des perspectives à envisager.

Sommaire

1. Introduction	7	,
2. Gestion du résea	au9)
	IR DE L'OUTIL DE DECLENCHEMENT AUTOMATIQUE DU)
2.2. REFERENTI	IEL ALTIMETRIQUE DES « POINTS FIXES »10)
3. Activité du résea	au11	
3.1. BILAN DES E	EVENEMENTS DEPUIS 201111	
3.2. BILAN DE LA	A PERIODE 2013-201412	<u> </u>
3.3. RETOUR D'E	EXPERIENCE SUR LE FONCTIONNEMENT DU RESEAU13	}
4. Synthèse des do	onnées depuis la mise en place du réseau17	,
4.1. CARACTERI	ISTIQUES DES TEMPETES17	,
4.2. IMPACT DES	S TEMPETES23	}
5. Tempete de nove	embre 201429)
6. Conclusion	33	}
7. Bibliographie	35	j
Liste des illustra	ations	
	u modèle de prévision de la houle espagnol (en rouge le golfe du Lion) - e : www.puertos.es	
-	le d'implantation de repères altimétriques sur le site de la Grande Motte e10)
	r significative des vagues et niveaux de tempêtes atteints entre septembre et décembre 2014 (sources candhis)11	
Illustration 4 – Classer des bo	ment des tempêtes selon leur niveau atteint et leur localisation en fonctior ouées côtières de la région12	1 <u>?</u>
Illustration 5 – Hauteu	r significative des vagues pour la tempête de Noël 2013	}
	raison des séries temporelles de la hauteur significative des vagues entre is et le modèle espagnol Puertos (bouée de Banyuls en haut à gauche, bou	uée

	d'Espiguette en haut à droite, bouée de Leucate en bas à gauche et bouée de Sè en bas à droite)15	:te
F	orrélation entre les hauteurs significatives des vagues issues du modèle espagno Puertos et des mesures Candhis aux différentes bouées (de haut en bas, Banyuls Espiguette, Leucate et Sète)16	
Illustration 8 – Ca	aractéristiques des houles des tempêtes majeures suivies par le réseau (source Candhis)18	
	ractéristiques des houles de tempêtes enregistrées à la bouée de l'Espiguette source Candhis)19	
Illustration 10 -C	aractéristiques de tempêtes enregistrées à la bouée de Sète (source Candhis)2	0
	caractéristiques des houles de tempêtes enregistrées à la bouée Leucate (source Candhis)21	е
	caractéristiques des houles de tempêtes enregistrées à la bouée de Banyuls source Candhis)22	
Illustration 13 - F	Hierarchisation des niveaux d'impacts24	
Illustration 14 – N	Modèle d'impact d'une tempête sur le haut de plage (Sallenger, 2000)24	
Illustration 15 - I	mpact des tempêtes majeures en termes d'érosion26	
Illustration 16 - I	mpact des tempêtes majeures en termes de submersions marines27	
Illustration 17 – I	mpact des tempêtes majeures en termes de dégâts28	
Illustration 18 – F	Hauteur significative de la houle et niveau d'eau à Sète et Leucate29	
	osion du haut de plage et destruction de ganivelles aux Baronnets, Grau du Roi 30)30	
	Erosion du haut de plage à Vias (à gauche) et des dunes à Portiragnes (à droite)	
	Submersion marine par franchissement à Palavas les flots (à gauche) et préchification à Vias (camping Méditerranée à droite)	
	Destuctions des infrastructures d'arrière-plage à Vias au camping Petit Mousse (à gauche) et Trou du Ragout (à droite)31	à
	Submersions marines à St Pierre la Mer (Bd les embruns à gauche et camping Pisse Vache à droite)31	
	Erosion à Ste Marie la Mer (à gauche) et au Nord du port de Canet en Roussillon droite)32	(8
Illustration 25 – S	Submersions marines à St Cyprien (à gauche) et Ste Marie la Mer (à droite) 32	
Liste des an	nexes	
Annexe 1 Fiche	de référentiel altimétrique des Points Fixes	

1. Introduction

Dans le contexte actuel de forte exposition du littoral du Languedoc-Roussillon aux aléas d'érosion côtière et de submersion marine, le réseau de surveillance des tempêtes et de leurs impacts (« Réseau Tempête ») permet de mutualiser et d'homogénéiser les démarches de suivi existantes à l'échelle régionale.

Ce projet est réalisé dans le cadre des *Etudes stratégiques et prospectives sur l'évolution des risques littoraux* du Contrat de Projet Etat-Région 2007-2013.

Suite à une étude de faisabilité (Balouin *et al.*, 2011) constituant le réseau partenarial et le protocole de suivi, le dispositif a été mis en œuvre de manière opérationnelle pour la période hivernale 2011-2012 (De la Torre et Balouin, 2012) et 2012-2013 (De la Torre *et al.*, 2013).

Le Réseau Tempête est constitué de 9 partenaires que sont :

- l'Etat (Préfecture de Région, DREAL, DDTTM30-34-11-66),
- la Région Languedoc-Roussillon,
- le Conseil Général de l'Hérault,
- la Communauté d'Agglomération Bézier Méditerranée,
- la Communauté d'Agglomération Hérault Méditerranée,
- Perpignan Méditerranée Communauté d'Agglomération,
- Thau Agglo,
- l'EID-Méditerranée,
- le BRGM.

Le réseau est activé en fonction des prévisions de hauteur significative des vagues dans le Golfe du Lion suivant 3 seuils :

- <u>Seuil 1 :</u> lorsque les vagues atteignent 3m, les mesures et images réalisées sur les instruments (houlographes, marégraphes, stations météorologiques et stations vidéo) sont rapatriées ;
- Seuil 2 : lorsque les vagues atteignent 4m, les opérateurs de chaque partenaire se rendent en outre sur le terrain sur les sites prédéfinis qui leur sont attribués (« Points Fixes ») afin de relever des indicateurs et prendre des photographies selon un protocole identique;
- <u>Seuil 3</u>: lorsque les vagues atteignent 5m, un levé photographique aéroporté, des mesures topo-bathymétriques et des sorties de modélisation (surcote, run-up) sont en plus déployées.

Les données sont mutualisées via l'utilisation d'une base de données en ligne accessible via une page dédiée sur site du CPER Littoral qui permet aux membres du réseau de saisir les observations et qui génère automatiquement des fiches par tempête.

Ce rapport présente les derniers développements en termes de mise à jour de l'outil de déclenchement automatique et de référentiel altimétrique des sites. La synthèse de l'activité du

¹ http://littoral.languedocroussillon.fr/suivi-des-tempetes-et-de-leurs-impacts.html

réseau depuis 2011 en intégrant la troisième « période » de suivi 2013-2014, ainsi que l'analyse des données résultantes sont par la suite exposées. Une synthèse de la tempête de novembre 2014 qui constitue l'évènement le plus marquant de l'hiver 2014-2015 est enfin présentée.

2. Gestion du réseau

2.1. MISE A JOUR DE L'OUTIL DE DECLENCHEMENT AUTOMATIQUE DU RESEAU

Le déclenchement automatique du réseau est basé sur une routine informatique qui accède aux prévisions de houle à 3j. et envoie un message aux membres du réseau si le seuil de Hs=3m est atteint ou dépassé.

Jusqu'à fin 2013, la routine utilisait les sorties du modèle WW3 Méditerranée d'Ifremer archivées sur le serveur ftp du projet IOWAGA. Ce projet étant terminé en décembre 2013, le ftp correspondant n'est plus alimenté et la routine ne fonctionne plus.

Afin de palier à ce problème, l'accès aux sorties du modèle espagnol des Puertos del Estado² a été demandé et la routine pointe maintenant vers leur serveur ftp.

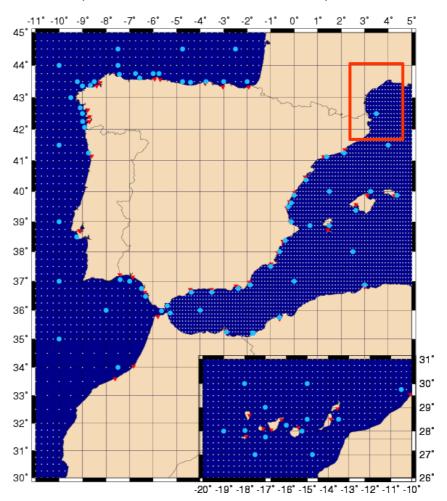


Illustration 1 – Grille du modèle de prévision de la houle espagnol (en rouge le golfe du Lion) - source : www.puertos.es

_

² www.puertos.es

2.2. REFERENTIEL ALTIMETRIQUE DES « POINTS FIXES »

Le protocole d'observation mis en œuvre sur les « Points Fixes » s'attache à la réalisation de photographies diachroniques sur des sites prédéfinis selon un champ et une orientation donnés. Ces photographies donnent ainsi une appréciation qualitative des impacts d'une tempête.

La détermination de références altimétriques sur des repères visibles sur les images permet en outre de pouvoir les exploiter de manière semi-quantitative.

Par exemple, sur le site de la plage centre de la Grande Motte, la prise de point GPS a permis de mesurer à 1.5m NGF l'altitude du pied du muret de haut de plage et à 3m NGF l'altitude du haut du muret (Illustration 2). Ainsi, si les vagues atteignent ou franchissent le muret sur les photos d'une tempête, il sera possible d'évaluer l'altitude correspondante avec plus de précisions.

Ces références altimétriques sont levées sur le terrain au moyen d'un GPS différentiel bifréquence de précision centimétrique (Trimble R6 connecté au réseau Orphéon).



Illustration 2 – Exemple d'implantation de repères altimétriques sur le site de la Grande Motte Centre

Ce référentiel altimétrique a été réalisé pour l'ensemble des 42 « Points fixes » du réseau. Il est détaillé en annexe 1 du rapport.

3. Activité du réseau

3.1. BILAN DES EVENEMENTS DEPUIS 2011

Le Réseau Tempête est opérationnel depuis le mois d'octobre 2011. Il a ainsi couvert trois périodes de tempêtes, à savoir d'octobre à avril 2011-2012 ; 2012-2013 et 2013-2014.

Sur l'ensemble de ces trois périodes le réseau a été activé à l'occasion des évènements suivants (Illustration 3 ; Illustration 4) :

- 15 fois pour des tempêtes N1 (Hs > 3m);
- 5 fois pour des tempêtes N2 (Hs> 4m);
- 2 fois pour une tempête N3 (Hs > 5m).

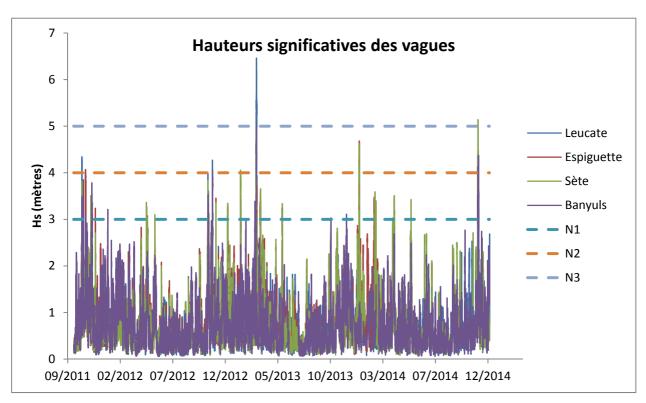


Illustration 3 – Hauteur significative des vagues et niveaux de tempêtes atteints entre septembre 2011 et décembre 2014 (sources candhis)

Il y a donc eu au moins une fois par an une activation de niveau 2 du réseau, ce qui correspond à la mobilisation des agents sur le terrain afin de procéder à des observations qualitatives (formulaire et photographies sur les Points Fixes). Pour rappel, la tempête de niveau 2 correspond approximativement à une tempête d'occurrence annuelle.

Sur l'ensemble de la période, l'année 2012-2013 a été de loin la plus active avec 8 des 15 évènements retenus et en particulier le seul évènement de niveau 3 (maximal) en mars 2013.

Nom	Date	Espiguette	Sète	Leucate	Banyuls
20111024	24-28 octobre 2011	1	1	2	1
20111103	3 novembre 2011	1		1	
20111119	19 novembre 2011		1		
20111121	21-22 novembre 2011				1
20120425	25 avril 2012		1		
20121018	18-19 octobre 2012	1	1	1	1
20121110	10 novembre 2012	1	1		
20121031	31 octobre 2012			2	1
20130119	19 janvier 2013		1		
20130301	1 mars 2013				1
20130305	5-6 mars 2013	1	2	3	2
20130316	16-17 mars 2013	1	1		
20130518	18 mai 2013	1	1		
20131224	24-25 décembre 2013	2	2		
20140205	5-10 février 2014	1	1		
20140329	29-30 mars 2014		1		
20140402	02-04 avril 2014	Pas de mesures	1	1	
20140521	21-22 mai 2014	Pas de mesures	1	1	
20141127	27-30 novembre 2014	Pas de mesures	3	2	2

Illustration 4 – Classement des tempêtes selon leur niveau atteint et leur localisation en fonction des bouées côtières de la région

En termes de répartition géographique, chacune des bouées est localisée dans un département différent de la région, ce qui permet de n'activer le réseau que sur le territoire a priori concerné. Sur l'ensemble de la période (Illustration 4) :

- 6 tempêtes n'ont concerné qu'une seule bouée et ce toujours pour un seuil 1 ;
- 7 tempêtes n'ont concerné que deux bouées, essentiellement limitrophes (Espiguette et Sète pour les derniers évènements) ;
- faute de mesures à l'Espiguette, 2 tempêtes ont concerné deux bouées et une tempête en a concerné 3 ;
- 4 tempêtes ont concerné toutes les bouées, quel que soit le seuil atteint.

3.2. BILAN DE LA PERIODE 2013-2014

La dernière période de suivi a été la plus calme avec seulement 3 activations du réseau.

La tempête de Noël 2013 de secteur sud a atteint le seuil 2 dans le Nord de la région avec Hs=4.6m à l'Espiguette et Hs=4.2m à Sète (Illustration 5) entre le 24/12 à 16h et le 25/12 à 2h.

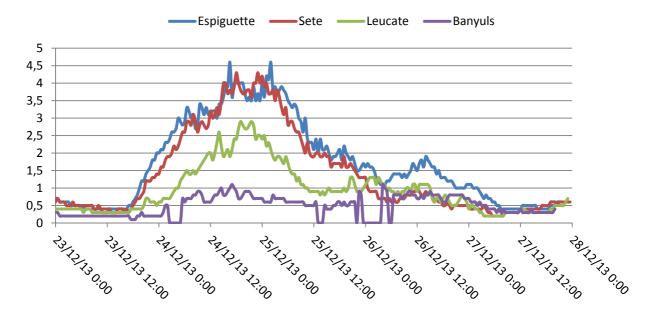


Illustration 5 – Hauteur significative des vagues pour la tempête de Noël 2013

A Sète, la pression est descendue à 990 hPa dans la nuit du 25/12 avec des vents maximums instantanés de 107 km/h (source SYNOP). Le marégraphe y a enregistré une hauteur maximal du niveau de la mer de 0.5m NGF comprenant une surcote 0.25m (source SHOM).

Cette tempête n'a pas généré de phénomène de concomitance avec de crues fluviales, les précipitations étant quasiment nulles (0.2mm en 24h le 25/12 à Sète).

Enfin, bien que le seuil 2 ait été franchi, aucune observation de terrain n'a été réalisée en raison 1/ de la faible disponibilité des agents autour de Noël (pour rappel, il n'y a pas d'astreinte organisée pour le fonctionnement du réseau) et 2/ à un défaut de déclenchement du réseau (pas de mail reçu).

3.3. RETOUR D'EXPERIENCE SUR LE FONCTIONNEMENT DU RESEAU

Sur l'ensemble de la période, le fonctionnement du réseau a été relativement efficient.

Les seuils fixés permettent de mobiliser raisonnablement le réseau de partenaires sans les surcharger outre-mesure (trop d'interventions) ni les démobiliser (pas assez d'interventions).

Les retours d'informations sont riches, avec toutefois des délais parfois importants après la tempête. Pour autant, la vocation du réseau n'est pas de faire un bilan d'urgence des dégâts et s'inscrit davantage dans une analyse à plus long terme.

La réception des mails de déclenchement doit quant à elle faire l'objet d'une veille spéciale car les destinataires peuvent ne pas les recevoir pour deux raisons principales :

- panne ou maintenance du serveur qui héberge la routine (cas de Noël 2013). Le BRGM s'assure donc par d'autres moyens qu'une tempête n'est pas prévue à l'annonce d'un dérangement du serveur. Le cas échéant, le message est envoyé manuellement ;
- passage du mail dans les indésirables (spams) des boites de réception des destinataires. A ce titre, les membres du réseau ont été invités à enregistrer l'adresse de l'émetteur (<u>v.delatorre@dogger.fr</u>) dans leur carnet d'adresse afin de permettre au filtre anti-spam de ne pas bloquer la réception.

Enfin, la fiabilité des sorties du modèle espagnol de prévision de la houle a pu être observée sur une période de un mois entre le 27 février 2014 et le 28 mars 2014 compte-tenues des données disponibles. La comparaison entre les séries temporelles des hauteurs significatives des vagues estimées par le modèle espagnol et celles issues des mesures des caractéristiques de vagues du réseau Candhis montre une bonne représentativité des conditions hydrodynamiques. De manière générale, sur l'ensemble des bouées, le modèle espagnol semble toutefois surestimer les conditions notamment lorsque les mesures des hauteurs significatives ne dépassent pas 2 mètres. Le seul pic de houle dépassant 2 mètres est survenu le 30 mars 2014 à la bouée de Sète avec pour Candhis une mesure à 3.03 m alors que le modèle espagnol a estimé ce pic à 2.67 m (Illustration 6).

Si cette tendance se confirme lors des évènements énergétiques, il est possible que pour le déclenchement de l'alerte un coefficient correcteur soit appliqué à la hauteur estimée par le modèle espagnol afin de déclencher le réseau d'alerte. Ce coefficient pourrait être issu de la corrélation entre les 2 systèmes (Illustration 7).

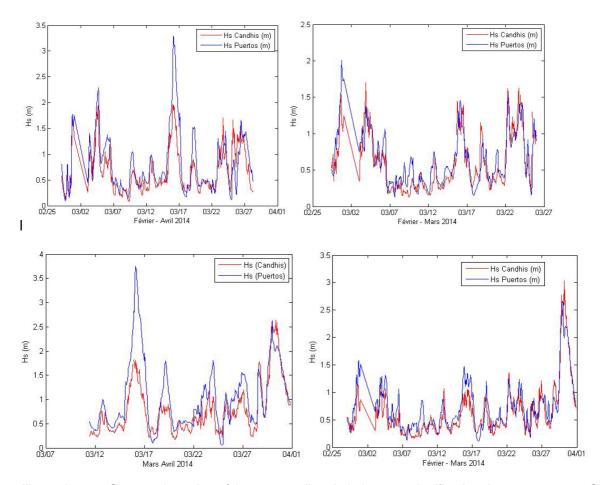


Illustration 6 – Comparaison des séries temporelles de la hauteur significative des vagues entre Candis et le modèle espagnol Puertos (bouée de Banyuls en haut à gauche, bouée d'Espiguette en haut à droite, bouée de Leucate en bas à gauche et bouée de Sète en bas à droite).

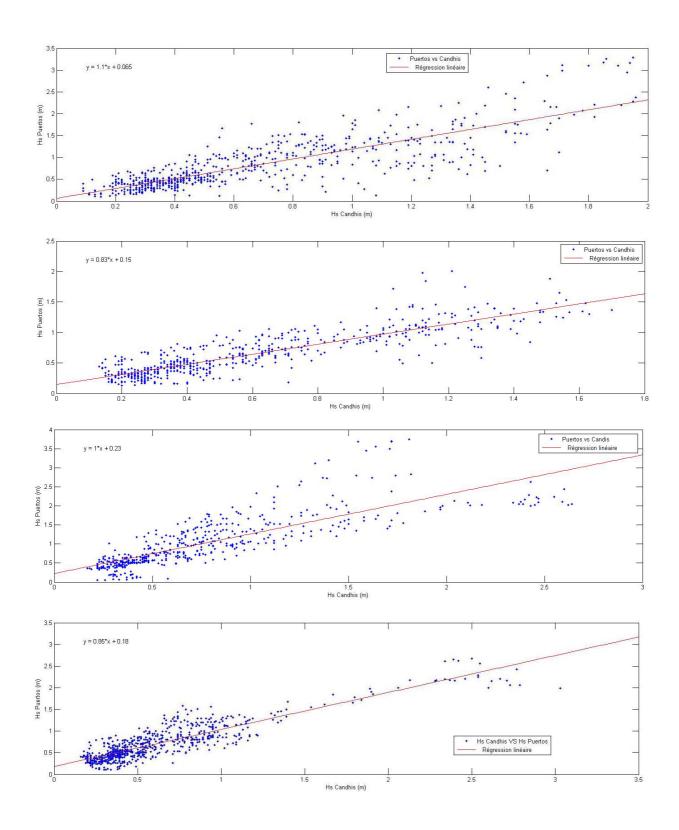


Illustration 7 – Corrélation entre les hauteurs significatives des vagues issues du modèle espagnol Puertos et des mesures Candhis aux différentes bouées (de haut en bas, Banyuls, Espiguette, Leucate et Sète).

4. Synthèse des données depuis la mise en place du réseau

4.1. CARACTERISTIQUES DES TEMPETES

Depuis la mise en place du réseau, les trois évènements les plus marquants en termes de conditions hydrodynamiques sont ceux du 24 octobre 2011, du 18 octobre 2012 et 05 mars 2013.

Chacune de ces tempêtes présente des caractéristiques différentes que ce soit les unes par rapport aux autres ou même d'une bouée à l'autre. Certaines de ses caractéristiques vont certainement jouer un rôle dans les impacts engendrés par ces évènements.

Au regard de la hauteur significative du pic de la houle, celle la plus importante est celle du 05 mars 2013 qui enregistre un maximum de 6,46 m à la bouée de Leucate contre 5,01 m pour Banyuls, 4,93 m pour Sète et 3,85 pour l'Espiguette. De manière générale, pour l'ensemble des 3 évènements, le pic de houle le plus fort est toujours enregistré sur la bouée de Leucate (Illustration 8). Les 2 autres évènements montrent des ordres de grandeur équivalents.

Concernant les niveaux d'énergie atteint par chacun des évènements, caractéristique intégrant notamment la durée de la tempête, mis à part pour la bouée de Leucate qui présente un niveau d'énergie nettement plus fort lors de l'évènement du 05 mars 2013, les autres bouées présentent des ordres de grandeur similaires pour les évènements de 2012 et 2013 alors qu'en 2011 le niveau atteint est 2 fois moins important.

Ce qui est également intéressant de noter est que les évènements de 2011 et 2012 interviennent en début d'hiver donc ne sont pas précédés d'évènements majeurs alors que ce n'est pas le cas pour celle de 2013.

En résumé, l'évènement du 05 mars 2013 présente toutes les caractéristiques pour être l'évènement potentiel le plus impactant le long du littoral languedocien et en particulier dans la région de Leucate en termes d'hydrodynamisme. Pour les autres secteurs, il est possible que les évènements de 2012 et 2013 soient tout autant impactant avec tout de même un léger avantage pour celui de 2013. L'évènement de 2011 devrait quant à lui être l'évènement le moins impactant des trois au regard des paramètres hydrodynamiques.

Tempête du 24/10/2011	Espiguette	Sète	Leucate	Banyuls
durée de la tempête (h)	37	35	38,5	26,5
Hs max (m)	3,58	3,82	4,34	3,49
Direction pic à Hs max (°)	125,4	118,3	96,1	80,6
Période pic à Hs max (s)	7,8	9	9,3	9,2
Energie totale (J/m)	752800	796376	917891	532508
durée par rapport à la tempête précédente avec Hs max > 2m (h)	4391	4389	25	354,5
durée par rapport à la tempête précédente avec Hs max > 3m (h)	5282,5	4389	4389,5	4389,5
nombre de tempêtes (Hs max > 2m) suvenues précédemment au cours de l'hiver	0	0	1	1
nombre de tempêtes (Hs max > 3m) suvenues précédemment au cours de l'hiver	0	0	0	0
Tempête du 18/10/2012	Espiguette	Sète	Leucate	Banyuls
durée de la tempête (h)	104	101	97	75,5
Hs max (m)	3,55	3,83	3,98	3,53
Direction pic à Hs max (°)	133	129,1	115,4	107,4
Période pic à Hs max (s)	7,8	8,6	8,9	8,6
Energie totale (J/m)	1457974	1701412	1519938	1135151
durée par rapport à la tempête précédente avec Hs max > 2m (h)	506	513	3610	3570
durée par rapport à la tempête précédente avec Hs max > 3m (h)	4061	3591	8101	6764,5
nombre de tempêtes (Hs max > 2m) suvenues précédemment au cours de l'hiver	2	2	0	0
nombre de tempêtes (Hs max > 3m) suvenues précédemment au cours de l'hiver	0	0	0	0
Tempête du 05/03/2013	Espiguette	Sète	Leucate	Banyuls
durée de la tempête (h)	50,5	56,5	54	22
Hs max (m)	3,85	4,93	6,46	5,01
Direction pic à Hs max (°)	142,8	123,4	101,3	97,5
Période pic à Hs max (s)	9,5	9,6	10,7	9,6
Energie totale (J/m)	1289947	1620157	2977444	698574
durée par rapport à la tempête précédente avec Hs max > 2m (h)	527	70	67	58
durée par rapport à la tempête précédente avec Hs max > 3m (h)	1042	1024,5	1022	58
nombre de tempêtes (Hs max > 2m) suvenues précédemment au cours de l'hiver	16	15	9	8
nombre de tempêtes (Hs max > 3m) suvenues précédemment au cours de l'hiver	4	4	3	4

Illustration 8 – Caractéristiques des houles des tempêtes majeures suivies par le réseau (source Candhis)

Par rapport à l'ensemble des évènements survenus depuis l'hiver 2008-2009, les évènements mentionnés ci-dessus font partie des évènements les plus importants enregistrés au réseau de bouées Candhis (Illustration 9, Illustration 10, Illustration 11, Illustration 12).

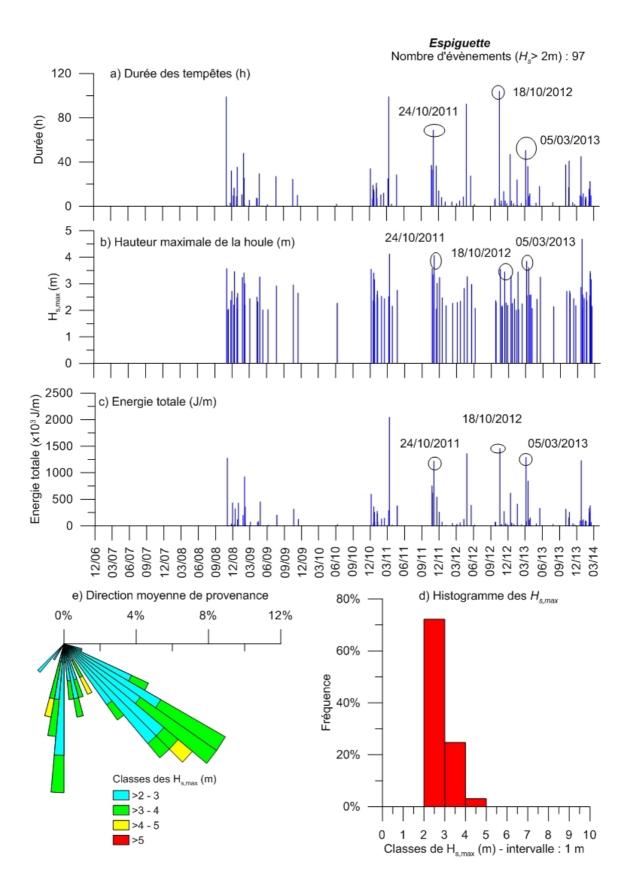


Illustration 9 – Caractéristiques des houles de tempêtes enregistrées à la bouée de l'Espiguette (source Candhis)

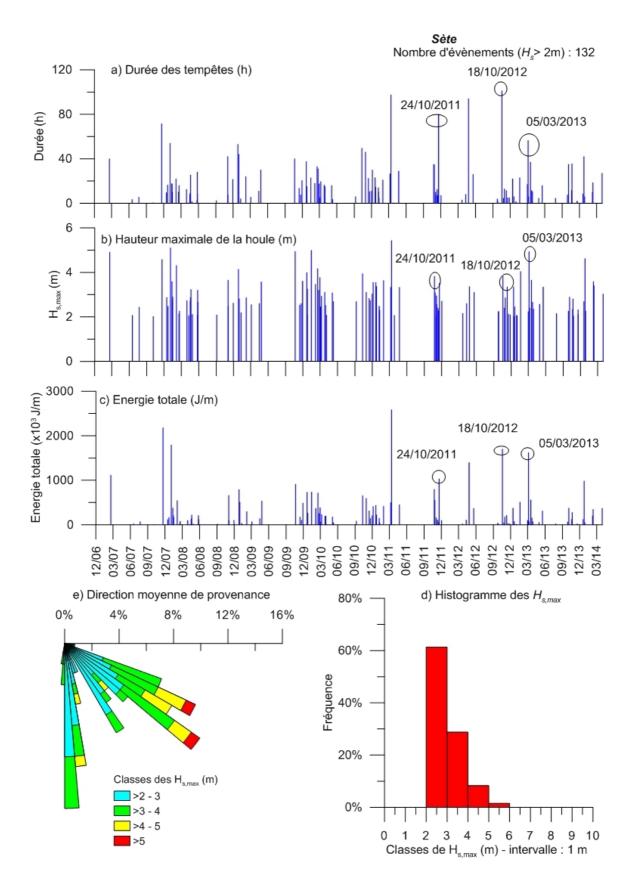


Illustration 10 – Caractéristiques de tempêtes enregistrées à la bouée de Sète (source Candhis)

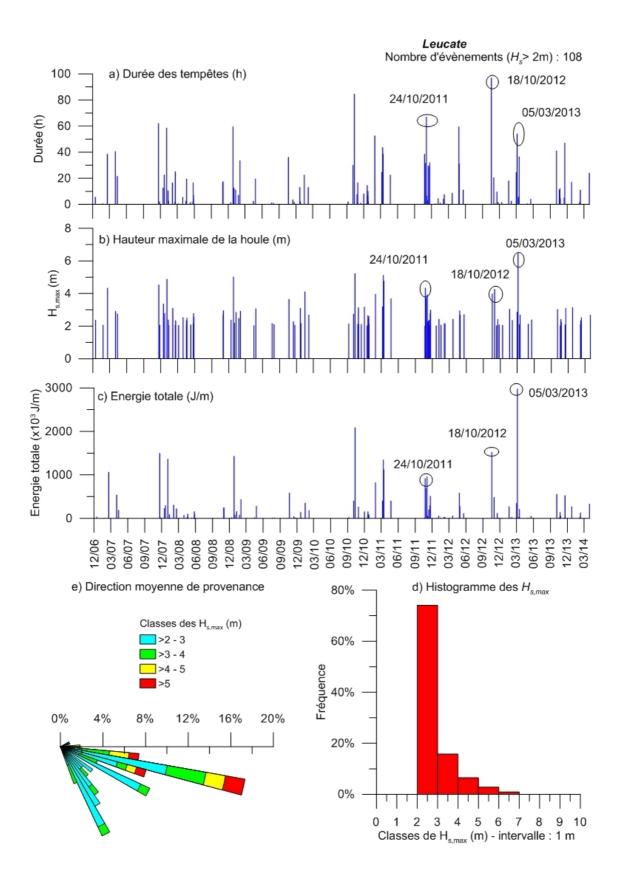


Illustration 11 – Caractéristiques des houles de tempêtes enregistrées à la bouée Leucate (source Candhis)

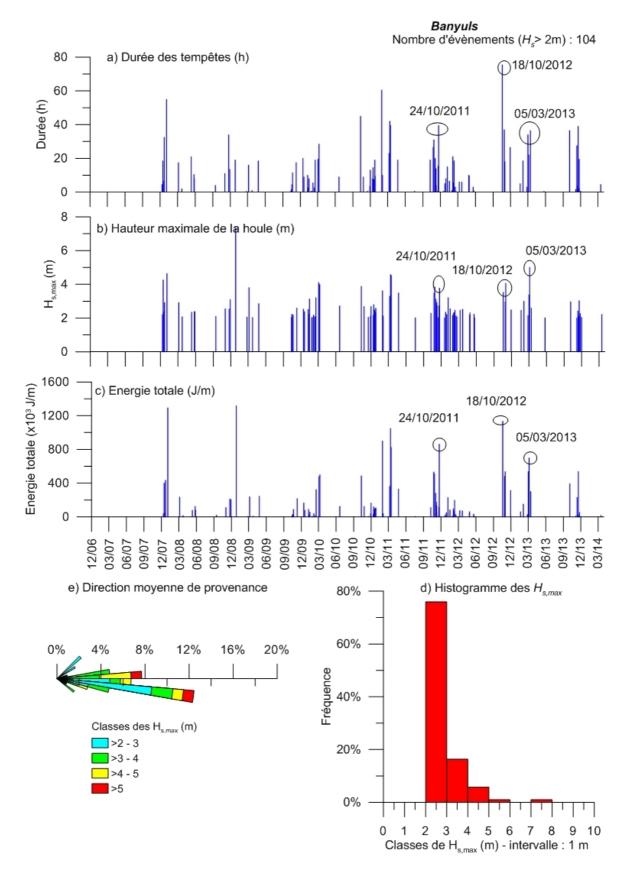


Illustration 12 – Caractéristiques des houles de tempêtes enregistrées à la bouée de Banyuls (source Candhis)

4.2. IMPACT DES TEMPETES

L'analyse de l'impact des tempêtes se base sur les 3 indicateurs principaux du réseau, à savoir :

- l'impact sur les morphologies littorales en termes d'érosion ;
- l'impact en termes de submersion marine ;
- l'impact en termes de dommage (dégât matériel).

L'impact en termes de pertes humaines n'a pas été quantifié compte-tenu du manque d'exhaustivité (ces données ne sont pas collectées sur le terrain par le réseau) et du peu de fiabilité sur l'origine de l'incident.

Une synthèse cartographique est ainsi proposée sur la base de la localisation des « Points fixes » et en sélectionnant les évènements ayant affectés l'ensemble de la région (seuil atteint sur les quatre houlographes) pendant la période de surveillance du réseau, soit les tempêtes des :

- 24 octobre 2011;
- 18 octobre 2012;
- 05 mars 2013.

Ces tempêtes sont comparées vis-à-vis d'évènements majeurs plus anciens issus de la base de données historique (De la Torre *et al.*, 2013), soit les tempêtes des :

- 06 novembre 1982 :
- 16 décembre 1997;
- 03 décembre 2003.

Une hiérarchisation des niveaux d'impact est ainsi proposée par type d'impact en lien avec les paramètres de houle et les seuils de tempêtes (Illustration 13).

Les impacts en termes de submersion s'appuient notamment sur l'échelle des régimes proposée par Sallenger (2000) - Illustration 14.

Niveau	Houle	Erosion	Submersion	Dégâts
0	Hs < 3m	Pas d'érosion	Plage partiellement recouverte	Pas de dommages observés
1	Hs > 3m	Départ de sable apparent	Plage recouverte - Régime de <i>collision</i>	Ganivelles endommagées
2	Hs > 4m	Départ de sable avec brèches de petites dimensions	Plage recouverte et traces de circulation à l'arrière du cordon dunaire - Régime d'overwash	Ganivelles et enrochements endommagés
3	Hs > 5m	Front d'érosion dunaire et brèches bien formées. Dépôt de sable en arrière du cordon dunaire. Recul du trait de côte	Vagues franchissantes, inondation de l'arrière- dune - Régime d' <i>inondation</i>	Ganivelles, enrochements, bâtiments, campings et autres infrastructures endommagés
999		No	on renseigné	

Illustration 13 – Hierarchisation des niveaux d'impacts

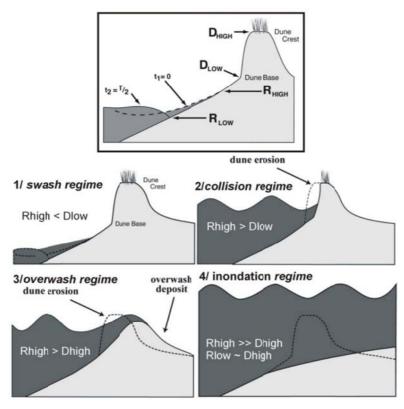


Illustration 14 – Modèle d'impact d'une tempête sur le haut de plage (Sallenger, 2000)

Les impacts en termes d'érosion sont présentés en Illustration 15. L'analyse des six tempêtes retenues montre classiquement que lorsque la houle est la plus forte (N3, par exemple en 1997), l'érosion est la plus importante (niveau 3 sur toutes les observations). Inversement pour la tempête de 2012 (houle N1) où les observations concernent essentiellement des érosions de niveau 1.

Pour autant, entre ces extrêmes, la relation n'est pas tout à fait linéaire. Par exemple, même lorsque la houle est relativement limitée (N1), des érosions maximales peuvent apparaître comme sur l'Espiguette en 2012 et 2013. De la même manière, certains secteurs accusent systématiquement une érosion maximale quel que soit le niveau de houle (Vias).

Ceci s'explique à la fois par les conditions dans lesquelles se trouve le cordon sédimentaire avant la tempête mais également par d'autres caractéristiques telle que l'énergie liée à l'évènement qui intègre notamment la durée d'exposition de la côte aux mauvaises conditions climatiques. Si la plage est déjà très réduite, les vagues vont plus facilement atteindre le haut du cordon ou les dunes pour les éroder. Mais également, une exposition plus longue de la plage aux mauvaises conditions va accentuer le phénomène d'érosion rendant la plage de plus en plus vulnérable. Ainsi, à l'inverse dans le département de l'Aude, où le disponible sédimentaire est plus conséquent du fait de la convergence de la dérive littorale, les fortes houles de mars 2013 (N3) n'affectent que peu le cordon sédimentaire (érosion de niveau 1).

Les impacts en termes de submersions marines sont présentés en Illustration 16. Il apparait que pour les tempêtes « historiques » les submersions sont moins systématiquement maximales que l'érosion (N3) pour les mêmes conditions de houle (1997 par exemple). Cela s'explique en partie par le rôle de la dune et du haut de plage qui vont s'éroder en stoppant les vagues, ce qui limite les submersions en arrière du cordon.

Des similarités sur la zonation géographiques des impacts à l'échelle régionale apparaissent en 2012 avec une moitié Sud moins impactée du fait de l'orientation de la houle (plus frontale au Nord) ou un effet de protection du Golfe d'Aigues-Mortes en 2011.

Les impacts en termes de dégâts matériels sont présentés en Illustration 17. Sur les tempêtes anciennes, la situation est également plus contrastée que pour les impacts en termes d'érosion et de submersion (dégât N1 en 2003 notamment) car les infrastructures essentiellement situées en arrière-plage sont les dernières atteintes par les vagues. Le facteur d'éloignement de la mer se traduit donc logiquement dans les niveaux d'impacts des trois indicateurs.

Les secteurs de Vias et alentours présentent des dégâts répétés pour l'ensemble de ces tempêtes même quand la houle est plus faible (2011 et 2012). Dans une moindre mesure, le sud du littoral du Roussillon apparait comme relativement vulnérable (2013 et 2003).

Ainsi, cette synthèse cartographique permet de mettre en évidence les secteurs les plus vulnérables à l'échelle de la région et la gradation entre les différents aléas et impacts. En revanche, il n'y a pas de tendance apparente en termes d'évolution diachronique sur cet échantillon, le facteur primordial restant l'intensité de la tempête et son orientation. En effet, pour les tempêtes les plus fortes telles que celle de 1997, tous les secteurs de la région sont concernés par des impacts maximum.

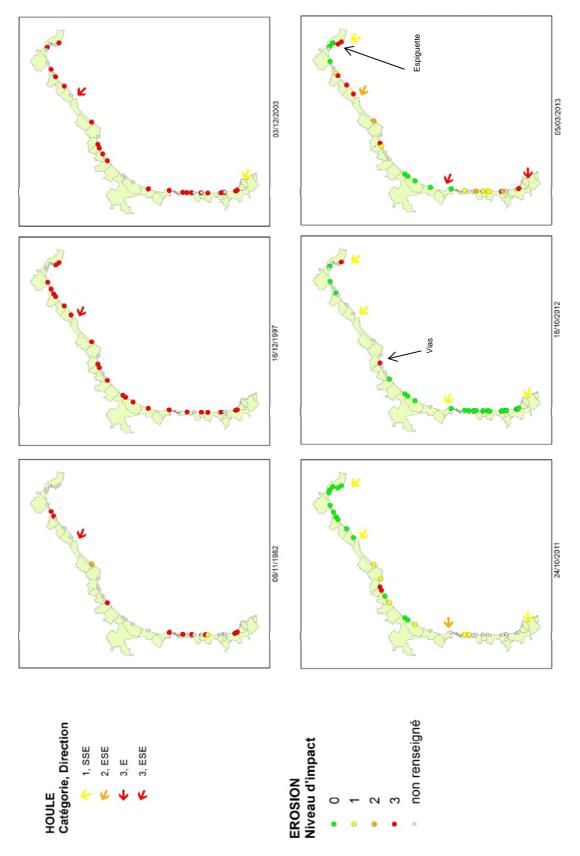


Illustration 15 – Impact des tempêtes majeures en termes d'érosion

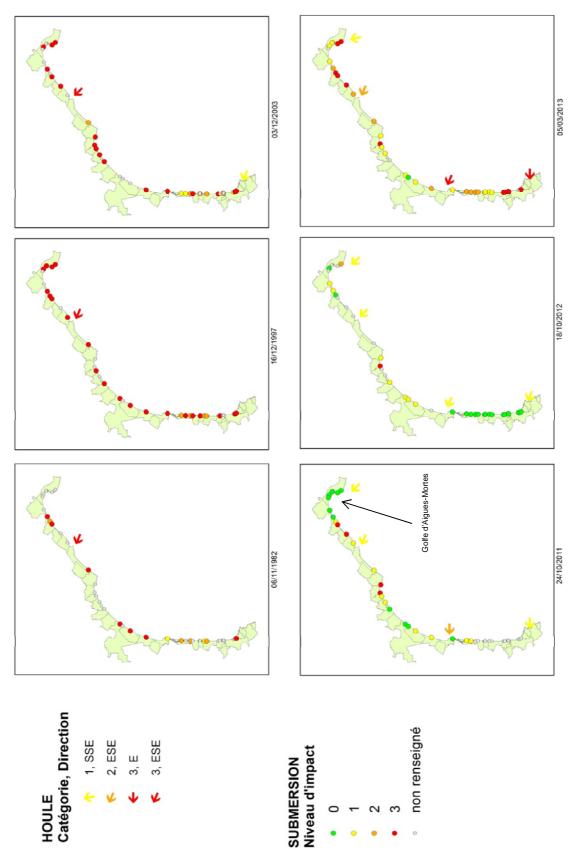


Illustration 16 – Impact des tempêtes majeures en termes de submersions marines

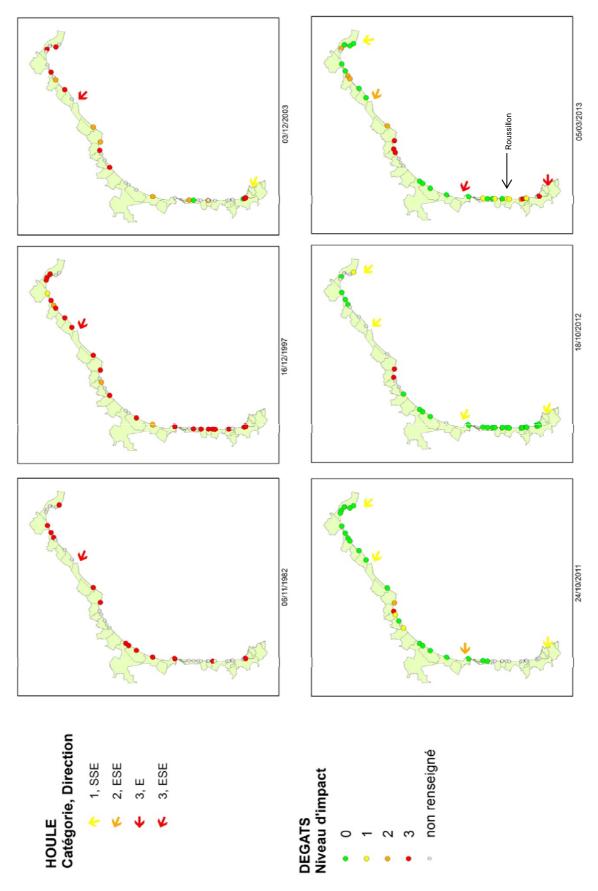


Illustration 17 – Impact des tempêtes majeures en termes de dégâts

5. Tempete de novembre 2014

La tempête du 28 novembre au 1er décembre 2014 a été la seule pendant l'hiver 2014-2015 à atteindre le seuil 2 (Hs > 4m) mobilisant les agents pour les observations de terrain.

Il s'agit d'une tempête de secteur Est ayant engendré une houle atteignant 4.85m de hauteur significative et un niveau d'eau maximum de 1.11m à Sète (Illustration 18). Les vents d'Est ont soufflé en moyenne à 90km/h à Leucate bien que la pression soit restée globalement haute (> 990 hPa).

Le détail des données météo-marines sont présentées dans le rapport DREAL³ ou sur le site internet du CPER⁴.

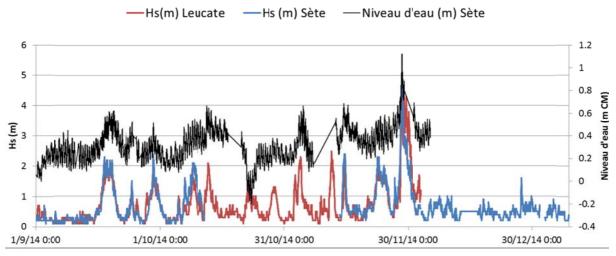


Illustration 18 - Hauteur significative de la houle et niveau d'eau à Sète et Leucate

Cette tempête a créé comme à l'accoutumée une bonne mobilisation du réseau et la création de 60 fiches d'observation sur l'ensemble des sites de Points Fixes ainsi que sur des sites complémentaires.

Dans le Gard, sur la commune du Grau du Roi, l'érosion a essentiellement concerné la plage et les dunes des Baronnets avec également des dégâts sur les infrastructures légères (ganivelles essentiellement). La submersion s'est limitée à l'étendue de la plage, notamment à l'Espiguette sans franchissement plus en arrière.

-

http://www.languedoc-roussillon.developpement-durable.gouv.fr/tempete-du-28-novembre-au-1er-decembre-2014-a5450.html

⁴ http://littoral.languedocroussillon.fr/fichetempete/pages/tempete.jsf?tid=20081138



Illustration 19 Erosion du haut de plage et destruction de ganivelles aux Baronnets, Grau du Roi (30)

Dans l'Hérault, l'érosion s'est caractérisée par un recul du haut de plage (Illustration 20) ou une perte d'épaisseur sur les plages urbaines

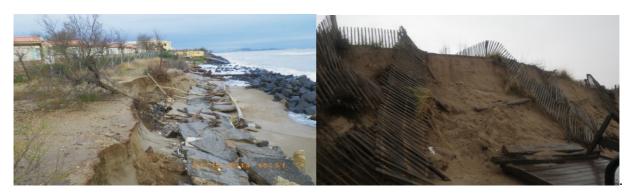


Illustration 20 – Erosion du haut de plage à Vias (à gauche) et des dunes à Portiragnes (à droite)

La submersion s'est traduite par des franchissements sur les fronts de mer urbains (La Grande Motte, Palavas les flots, ...) ainsi que par des brèches dans les talus d'arrière-plage (campings de Vias notamment).



Illustration 21 – Submersion marine par franchissement à Palavas les flots (à gauche) et ouverture d'un brèche à Vias (camping Méditerranée à droite)

Les dégâts les plus importants ont été observés sur la commune de Vias avec la destruction de constructions situées sur l'arrière plage (Illustration 22).



Illustration 22 – Destuctions des infrastructures d'arrière-plage à Vias au camping Petit Mousse (à gauche) et Trou du Ragout (à droite)

Dans l'Aude, les dommages ont davantage été liés aux submersions marines qu'à l'érosion avec des franchissements ou des débordements localement importants, notamment à St Pierre la Mer/Fleury (Illustration 23).



Illustration 23 – Submersions marines à St Pierre la Mer (Bd les embruns à gauche et camping Pisse Vache à droite)

Dans les Pyrénées Orientales, l'érosion a été localement forte avec un creusement important du cordon sableux, en particulier au niveau du Lydia (Le Barcarès), de l'esplanade de Ste Marie la Mer et au Nord du port de Canet en Roussillon (Illustration 24). Les submersions ont également été localement importantes (Illustration 25) mais les dégâts sont restés globalement modérés.



Illustration 24 – Erosion à Ste Marie la Mer (à gauche) et au Nord du port de Canet en Roussillon (à droite)

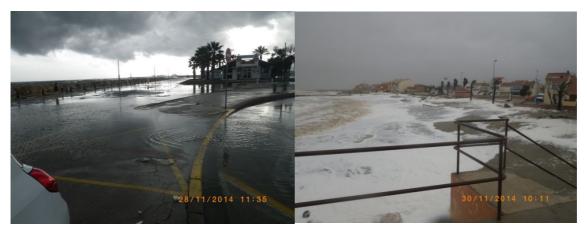


Illustration 25 – Submersions marines à St Cyprien (à gauche) et Ste Marie la Mer (à droite)

6. Conclusion

La période 2013-2014 constitue donc la troisième phase de surveillance du Réseau Tempête en Languedoc-Roussillon. Il s'agit également de la dernière phase dans le cadre du Contrat de Projet Etat-Région (CPER) 2007-2013.

Cette période aura tout d'abord permis de mettre à jour l'outil de déclenchement automatique du réseau en se basant désormais sur les prévisions de houle espagnoles (Puertos del Estado) qui concernent le Golfe du Lion.

La qualité des observations a par ailleurs été améliorée en mesurant l'altitude de repères identifiables sur les photographies des 42 Points fixes. Ce référentiel altimétrique permet en effet d'estimer plus précisément l'altitude atteinte par les vagues et de passer d'une information purement qualitative à une donnée semi-quantitative exploitable pour un plus grand nombre d'applications.

En outre, le bilan de l'activité du réseau est dressé depuis sa mise en œuvre opérationnelle en octobre 2011. Sur ces trois périodes, le réseau a donc été déclenché 24 fois, dont 5 fois pour une tempête de niveau 2 (houle significative supérieure à 4 m) et 2 fois pour une tempête de niveau 3 (houle significative supérieur à 5 m) en mars 2013 et novembre 2014.

Sur la période 2013-2014, l'activité du réseau a été limitée, avec toutefois la tempête de Noël 2013 qui a atteint 4.6m de houle significative à la bouée de l'Espiguette. Malheureusement, les observations ne sont pas remontées du fait du manque de disponibilité du réseau à cette période (24 et 25 décembre – pour rappel le réseau ne dispose pas d'un système d'astreinte) et à la fois d'un dysfonctionnement du message automatique (serveur informatique en maintenance).

Malgré la perte d'information liée à cette tempête, le retour d'expérience sur le fonctionnement du réseau sur l'ensemble de la période est largement positif avec des seuils de déclenchement qui semblent adaptés (ni trop souvent, ni trop peu) ainsi qu'une mobilisation quasi-exhaustive sur le terrain. La comparaison des données issues du modèle espagnol et du réseau Candhis montre une bonne représentativité des résultats, cependant il semblerait que les évènements majeurs, le modèle espagnol sous-estime les hauteurs significatives de la houle. Il faudrait confirmer cette tendance sur une période temporelle plus longue afin d'estimer l'intérêt à affecter un coefficient correcteur aux hauteurs issues de la prévision afin de ne pas passer à côté d'évènements majeurs.

Une analyse des caractéristiques des tempêtes et de leurs effets en comparaison avec l'historique des mesures de houle et des impacts issus de la base de données « historique » a enfin pu être réalisée.

Trois évènements majeurs sont survenus depuis la mise en place du réseau tempête : les évènements du 24 octobre 2011, du 18 octobre 2012 et du 05 mars 2013. Au regard des différents paramètres physiques les caractérisant, l'évènement potentiel le plus impactant est celui de 2013 compte-tenu des hauteurs significatives atteintes, de la durée de l'évènement, et du fait qu'il soit intervenu à la fin de l'hiver, et donc précédé d'autres évènements ayant pu fragiliser le littoral.

Les impacts recensés confirment bien cette analyse des critères hydrodynamiques.

Une synthèse cartographique des impacts en termes d'érosion, de submersion marine et de dégât matériel permet de mettre en évidence les secteurs de Vias et alentours comme les plus vulnérables à l'échelle de la région. A contrario, les secteurs de l'Aude montrent une moindre exposition à l'érosion et le Golfe d'Aigues-Mortes une certaine protection vis-à-vis des submersions sous certaines orientations de houle (Est à Sud-Est). Le Sud du Roussillon présente par ailleurs des dégâts importants répétés suivant différents scénarios de tempête.

En revanche, il n'y a pas de tendance apparente en termes d'évolution diachronique sur l'échantillon de six tempêtes de référence étudiées, le facteur primordial restant l'intensité de la tempête et son orientation. En effet, pour les tempêtes les plus fortes telles que celle de 1997, tous les secteurs de la région sont concernés par des impacts maximum.

En attendant la suite d'un cadre d'intervention (suite du CPER par exemple), le Réseau Tempête est maintenu en mode simplifié sur la base du dispositif actuel. Dans ce cadre, une synthèse de la tempête de novembre 2014, principal évènement de l'hiver 2014-2015, est présentée. Atteignant un seuil 2 (Hs de 4,85m à Leucate), la bonne mobilisation des agents sur le terrain a permis de couvrir l'ensemble des Points Fixes de la région. Les observations font remonter des impacts localement importants en termes d'érosion (Ste Marie la Mer, Vias, Portiragnes, Les Baronnets), de submersions (St Cyrprien, St Pierre la Mer, Vias, Palavas les Flots) et de dommages (Vias en particulier).

Des améliorations seront à prévoir avec des possibilités de requête sur la base de donnée en ligne, notamment en rendant automatique la génération de cartes telle que présentées dans l'analyse. L'élargissement du réseau de partenaires et la collecte d'informations socio-économiques (personnes déplacées, pertes humaines, pertes financières, etc.) sont également des perspectives à envisager.

7. Bibliographie

BALOUIN Y.; **DE LA TORRE Y. et TIRARD E**. (2011) – Les tempêtes marines sur le littoral du Languedoc-Roussillon – Caractérisation et faisabilité d'un réseau de surveillance des tempêtes et de leurs impacts. Rapport BRGM/RP-59516-FR; 75 pp., 32 ill., 3 ann.

DE LA TORRE Y.; **BALOUIN Y.** (2012) – Mise en œuvre opérationnel du « Réseau Tempête » sur le littoral du Languedoc-Roussillon. Rapport BRGM/RP-60694-FR; 97 p., 15 ill., 5 ann.

BALOUIN Y.; **DE LA TORRE Y. et MOREL O.** (2013) – « Réseau Tempête » Languedoc-Roussillon : activité 2012-2013 et développement des outils en ligne. Rapport BRGM/RP-62731-FR; 30 p., 22 ill.

SALLENGER A.H. (2000) - Storm impact scale for barrier islands. Journal of Coastal Research, 16 (3), pp 890-895.

Annexe 1

Fiche de référentiel altimétrique des Points Fixes



Centre scientifique et technique 3, avenue Claude-Guillemin BP 36009

45060 – Orléans Cedex 2 – France Tél. : 02 38 64 34 34 - www.brgm.fr Direction Régionale Languedoc-Roussillon

1039, rue de Pinville 34000 Montpellier – France

Tél.: 04 67 15 79 80