

« Réseau Tempête » Occitanie 2018-2019

Rapport final

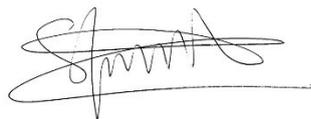
BRGM/RP-69355-FR

Octobre 2019

Étude réalisée dans le cadre des opérations
d'appui à politiques publiques du BRGM 2018-AP17MPL014

Y. Balouin

Vérificateur :



A. STEPANIAN

Approbateur :



A. BLUM

**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 : impact, Occitanie, littoral, réseau, risque, suivi, tempête.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Balouin, Y. (2019) – « Réseau Tempête » Occitanie 2018-2019. Rapport final. BRGM/RP-69355-FR, 53 p.

Synthèse

Dans le contexte actuel de forte exposition du littoral d'Occitanie 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 réseau a été développé et mis en œuvre dans le cadre des *Etudes stratégiques et prospectives sur l'évolution des risques littoraux* du Contrat de Projet Etat-Région (CPER) 2007-2013, à la suite d'une étude de faisabilité qui en a établi les grands principes (Balouin *et al.*, 2011).

Depuis 2015, le dispositif de mobilisation et capitalisation des observations d'impacts des tempêtes a fonctionné de manière autonome, et une certaine démobilité du réseau a été constatée.

En conséquence, la DREAL Occitanie a souhaité en 2018 redynamiser la démarche en relançant l'animation et le pilotage du réseau, la formation des observateurs et la simplification des procédures de remontée et de visualisation des observations réalisées.

Lors de l'année 2018-2019, plusieurs modifications ont été portées :

- modification des listes de mobilisation du réseau ;
- retour aux prévisions françaises MARC mieux validées sur le Golfe du Lion ;
- ouverture de l'application i-infoterre Tempêtes Occitanie (initialement développée pour le réseau de suivi de la côte Aquitaine) ;
- modification de l'interface de consultation des observations sur le site www.littoral.occitanie.fr qui comporte désormais une interface cartographique localisant les observations et un outil de requête permettant de filtrer les tempêtes ou observations (par commune, date, hauteur de vagues, etc).

Le bilan de l'activité du réseau est dressé depuis sa mise en œuvre opérationnelle en octobre 2011. En huit ans, le réseau a été déclenché 73 fois, dont 14 fois pour une tempête de niveau 2 (houle significative supérieure à 4 m) et 3 fois pour une tempête de niveau 3 (houle significative supérieure à 5 m) en mars 2013 octobre 2016 et mars 2018. Cela correspond par conséquent à une moyenne de 2 mobilisations sur le terrain (seuils > 4 m) par hiver, ce qui reste raisonnable en terme de moyen à mettre en œuvre, tout en restant cohérent avec les impacts observés qui d'expérience, restent souvent très limités en dessous de ce seuil.

L'analyse des données recensées dans la BD-Tempête met en évidence une très bonne mobilisation et remontée d'information pour les tempêtes majeures (niveau 3), mais une remontée partielle voire absente pour les tempêtes moins importantes. Pour des événements moyens (vagues de l'ordre de 4 m), ou pour des événements qui n'affectent qu'une petite partie du littoral régional, les remontées sont très partielles et ne permettent pas d'enrichir le retour d'expérience à l'échelle de la région Occitanie.

La formation des observateurs sur le terrain prévue début novembre sera l'occasion de leur rappeler que la remontée d'information est importante, même lorsqu'aucun impact effectif n'est constaté, et ceci afin de pouvoir à terme anticiper les conséquences en fonction des caractéristiques d'un événement prévu. Un protocole simplifié pourra être envisagé par la suite pour pouvoir renseigner une absence d'érosion/submersion/dégât de manière plus rapide afin de capitaliser cette information qui reste souvent non renseignée.

La cartographie des impacts recensés en terme d'érosion, submersion et dégâts montre une bonne cohérence des seuils morphogènes retenus avec des impacts moyens à forts observés pour le niveau 2 et des impacts forts pour le niveau 3.

Les tempêtes d'octobre 2016 et de mars 2018 font partie des 3 tempêtes majeures qui ont atteint le littoral d'Occitanie ces 10 dernières années. Ces deux tempêtes de SE ont eu des impacts relativement similaires en terme d'érosion, malgré un niveau de vagues et de surcote plus élevés en mars 2018. Les franchissements ont été néanmoins plus fréquents en 2018.

Globalement, les dégâts causés par ces événements sont restés modérés, se limitant souvent à des destructions de ganivelles et d'accès pour personnes à mobilité réduite. Quelques ouvrages de protection ont malgré tout été endommagés pendant ces deux événements.

La finalisation des outils de capitalisation et de visualisation est en cours et ils seront opérationnels pour l'hiver 2019-2020.

Sommaire

1. Introduction	9
2. Gestion du réseau	11
2.1. RAPPEL DU FONCTIONNEMENT GENERAL DU RESEAU TEMPETE	11
2.2. RESEAU D'OBSERVATEURS.....	12
2.3. MISE A JOUR DE L'OUTIL DE DECLENCHEMENT AUTOMATIQUE DU RESEAU	13
2.4. L'APPLICATION MOBILE I-INFOTERRE™	14
3. Activité du réseau	17
3.1. BILAN DES EVENEMENTS DEPUIS 2011	17
3.2. RETOUR D'EXPERIENCE SUR LE FONCTIONNEMENT DU RESEAU	19
3.2.1. Retour d'expérience sur le dispositif de mobilisation	19
3.2.2. Retour d'expérience sur les données recueillies	21
4. Synthèse des données depuis la mise en place du réseau.....	23
4.1. CARACTERISTIQUES DES TEMPETES	23
4.2. IMPACT DES TEMPETES	28
5. Tempete d'Octobre 2016.....	40
6. Tempete de mars 2018.....	45
7. Conclusion.....	51
8. Bibliographie	53

Liste des illustrations

Illustration 1 – Seuils morphogènes / suivis retenus pour les observations des tempêtes et de leurs impacts.....	10
Illustration 2 – Dispositif opérationnel du réseau de suivi des tempêtes et de leurs impacts sur le littoral d'Occitanie.....	11
Illustration 3 – Cartographie des 49 points fixes du réseau tempêtes.	12
Illustration 4 – Membres du groupe Réseau Tempêtes sur Renater.	13

Illustration 5 – Site internet de visualisation des simulations de MARC (http://marc.ifremer.fr/resultats/vagues/modeles_mediterranee).....	14
Illustration 6 - Zones disponibles au téléchargement pour le mode hors connexion (gauche). L'emprise des zones prédéfinies est représentée à droite. Exemple du masque littoral Aquitain.....	15
Illustration 7 - Exemple de saisie d'une annotation utilisant le masque Tempête Occitanie.....	16
Illustration 8: Les annotations saisies sur l'application mobile sont disponibles sur le compte personnel InfoTerre de l'utilisateur http://infoterre.brgm.fr/viewer/MainTileForward.do . L'export des données est possible sous format KML, GML et Shapefile. Exemple du masque littoral Aquitain.	16
Illustration 9 – Nombre d'événements de Niveaux 1, 2 et 3 par hiver depuis 2011.....	17
Illustration 10 – Classement des tempêtes selon leur niveau atteint et leur localisation en fonction des bouées côtières de la région (les valeurs indiquent la hauteur significative de la houle au pic de la tempête).....	18
Illustration 11 – Comparaison des hauteurs de vagues prédites par le modèle WAM des Puertos del Estado et des données mesurées aux bouées Candhis.	20
Illustration 12 – Nombre de fiches d'observation (gauche) et de photos (droite) capitalisées sur la BD-Tempête depuis 2014 en fonction de l'intensité (Hauteur significative des vagues) de la tempête.	22
Illustration 13 – Caractéristiques des trois tempêtes majeures depuis 2010.....	23
Illustration 14 – Hauteur significative atteinte aux 4 bouées du Golfe du Lion pendant les pics des tempêtes de 2010 à 2019.	24
Illustration 15 – Puissance cumulée (P_sum) aux 4 bouées du Golfe du Lion pendant les tempêtes de 2010 à 2019.	25
Illustration 16 – Directions de provenance au pic (Theta(Hs_max)) et moyenne (Theta_mean) aux 4 bouées du Golfe du Lion pendant les tempêtes de 2010 à 2019.....	26
Illustration 17 – Durée des tempêtes et intervalle de temps entre 2 événements successifs aux 4 bouées du Golfe du Lion pendant les tempêtes de 2010 à 2019.....	27
Illustration 18 – Hierarchisation des niveaux d'impacts. Les couleurs correspondent aux cartographies des fiches tempêtes.	28
Illustration 19 – Modèle d'impact d'une tempête sur le haut de plage (Sallenger, 2000).	29
Illustration 20 – Cartographie des indicateurs Erosion, Submersion et Dégâts pour la tempête du 5 Mars 2013.	30
Illustration 21 - Cartographie des indicateurs Erosion, Submersion et Dégâts pour la tempête du 28 Nov 2014.....	31
Illustration 22 - Cartographie des indicateurs Erosion, Submersion et Dégâts pour la tempête du 3 Nov 2015.....	32
Illustration 23 - Cartographie des indicateurs Erosion, Submersion et Dégâts pour la tempête du 13 Oct 2016.....	33
Illustration 24 - Cartographie des indicateurs Erosion, Submersion et Dégâts pour la tempête du 22 Janvier 2017.....	34
Illustration 25 - Cartographie des indicateurs Erosion, Submersion et Dégâts pour la tempête du 13 Février 2017.....	35
Illustration 26 - Cartographie des indicateurs Erosion, Submersion et Dégâts pour la tempête du 25 Mars 2017.....	36

Illustration 27 - Cartographie des indicateurs Erosion, Submersion et Dégâts pour la tempête du 11 Dec 2017.....	37
Illustration 28 - Cartographie des indicateurs Erosion, Submersion et Dégâts pour la tempête du 1 Mars 2018.....	38
Illustration 29 - Cartographie des indicateurs Erosion, Submersion et Dégâts pour la tempête du 10 Oct 2018.....	39
Illustration 30 – Caractéristiques de la tempête du 13 Oct 2016. En haut, niveau d'eau à Sète et Port-La-Nouvelle (NGF), en bas : Hauteur significative de la houle à Sète, Leucate et Banyuls.....	40
Illustration 31 Inondation sur la plage de l'Espiguette (30).....	41
Illustration 32 – Erosion du front dunaire sur le Petit-Travers (Carnon, à gauche), à Vias (à droite) et à Marseillan (en bas).....	41
Illustration 33 – Submersion marine à Agde (en haut à gauche) , Carnon (en haut à droite) et Vias (en bas à gauche) et Palavas (en bas à droite).....	42
Illustration 34 – Destructions des ganivelles et accès à Carnon (à gauche) et au Cap d'Agde (à droite).....	42
Illustration 35 – Submersions marines à Gruissan (à gauche), Narbonne-Plage (à droite) et Leucate (en bas).....	43
Illustration 36 – Vagues de tempêtes au Barcarès le 13 Octobre 2016 (image Webcam OBSCAT).	43
Illustration 37 – Caractéristiques de la tempête du 13 Oct 2016. En haut, niveau d'eau à Sète et Port-La-Nouvelle (NGF), en bas : Hauteur significative de la houle à Sète, Leucate et Banyuls.....	45
Illustration 38 – Erosion du front de dune à Portiragnes.....	46
Illustration 39 – Submersion marine à Vendres (à gauche) et à Vias (à droite).....	46
Illustration 40 – Destructions des accès à la plage à Vias (à gauche) et Agde Héliopolis (à droite).....	47
Illustration 41 – Submersions marines à Narbonne-Plage (à gauche) et Gruissan (à droite et en bas)	47
Illustration 42 – Erosion au Nord du port de Canet en Roussillon (en haut) et à Torreilles (en bas)	48
Illustration 43 – Submersions marines à l'embouchure de l'Agly (en haut à gauche), à Canet-Nord (en haut à droite) au Racou (au milieu) et à Sainte-Marie-Plage (en bas).....	49
Illustration 44 – Destruction du muret du balladoit au Barcarès.....	49
Illustration 45 – impacts par projection de galets à Banyuls (en haut) et Collioure (en bas).....	50

1. Introduction

Dans le contexte actuel de forte exposition du littoral d'Occitanie 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 d'une convention de recherche et développement partagés entre la Direction Régionale pour l'Environnement, l'Aménagement et le Logement d'Occitanie (DREAL Occitanie) et le BRGM.

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), 2012-2013 (De la Torre *et al.*, 2013) et 2013-2014 (De la Torre *et al.*, 2015).

Le Réseau Tempête est constitué de 9 partenaires que sont :

- l'Etat (Préfecture de Région, DREAL, DDTM30-34-11-66),
- la Région Occitanie,
- le Conseil Départemental de l'Hérault,
- la Communauté d'Agglomération Béziers Méditerranée,
- la Communauté d'Agglomération Hérault Méditerranée,
- Perpignan Métropole Méditerranée,
- Sète Agglopôle Méditerranée,
- 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 (cf. illustration 1):

- Seuil 1 : 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 ;
- Seuil 3 : 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 <http://littoral.occitanie.fr/suivi-des-tempetes-et-de-leurs-impacts.html> qui permet aux membres du réseau de saisir les observations et qui génère automatiquement des fiches par tempête.

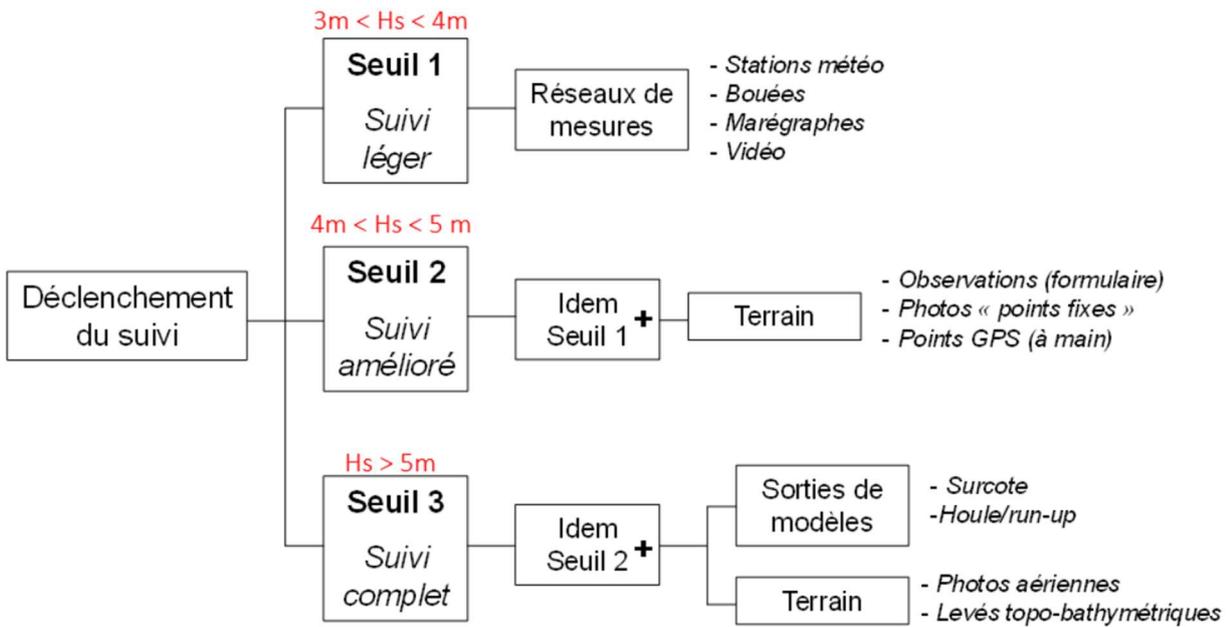


Illustration 1 – Seuils morphogènes / suivis retenus pour les observations des tempêtes et de leurs impacts.

Ce rapport présente les derniers développements en termes de mise à jour de l’outil de déclenchement automatique. La synthèse de l’activité du réseau depuis 2011, ainsi que l’analyse des données résultantes sont par la suite exposées. Une synthèse des tempêtes d’octobre 2016 et mars 2018 qui constituent les événements les plus marquants des derniers hivers est enfin présentée.

2. Gestion du réseau

2.1. RAPPEL DU FONCTIONNEMENT GENERAL DU RESEAU TEMPETE

L'origine du réseau tempête en 2010 a reposé sur 2 constats : le besoin de données sur les tempêtes et leurs impacts et l'existence d'observations non homogènes et difficilement accessibles.

Le besoin de données de référence sur les tempêtes est nécessaire pour :

- Mieux comprendre les phénomènes et valider les travaux de caractérisation des aléas côtiers (érosion, submersion) à l'échelle locale et régionale ;
- Mieux appréhender la gestion des tempêtes à l'échelle locale et régionale.

La plupart des collectivités, services de l'Etat, organismes publics réalisaient des observations suite aux événements de tempêtes sans toutefois coordonner les efforts ni utiliser des protocoles communs, ce qui rendait les données acquises difficilement exploitables. L'idée initiale du réseau était par conséquent d'homogénéiser, régionaliser et mutualiser ces suivis existants et de capitaliser et valoriser les informations recueillies.

De ce fait, s'appuyant sur des observations déjà réalisées par les partenaires du réseau, il s'agit d'un réseau participatif visant à mutualiser les démarches existantes, sans budget spécifique alloué et sans obligation morale ou financière des partenaires. De même, les informations transmises n'impliquent ni transfert de données (à l'exception des photographies), ni transfert de propriété intellectuelle.

Le déclenchement des observations est réalisé par une analyse par le BRGM des conditions hydrodynamiques prévues (3 jours à l'avance) et l'envoi automatique d'un message électronique aux observateurs si les prévisions dépassent les seuils morphogènes préalablement établis (Balouin et al., 2010) (cf. illustration 2).

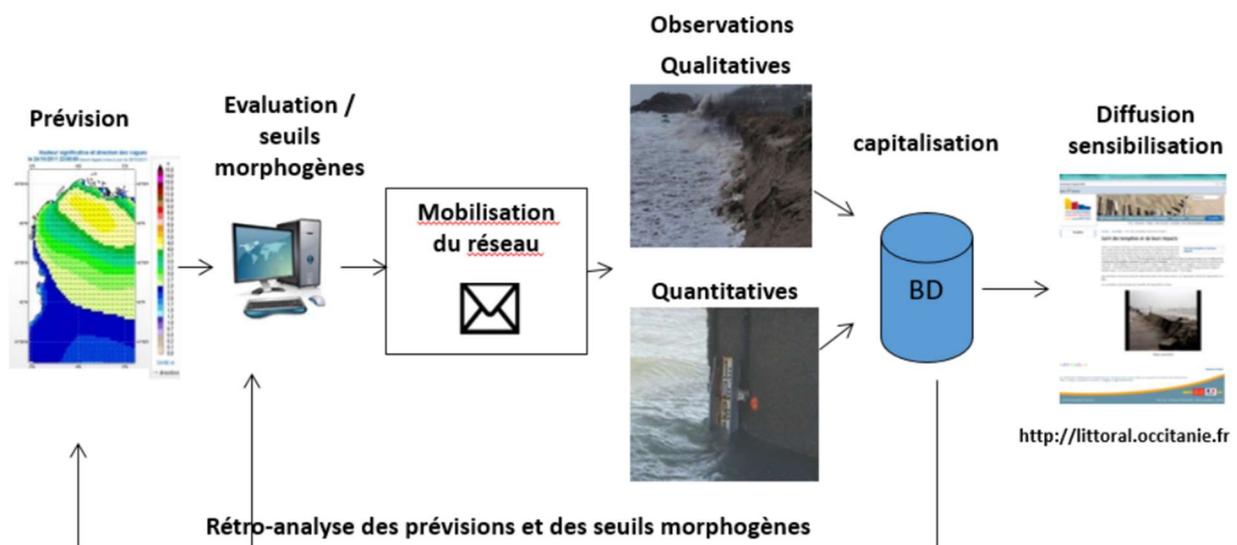


Illustration 2 – Dispositif opérationnel du réseau de suivi des tempêtes et de leurs impacts sur le littoral d'Occitanie.

Les 72 observateurs ont en charge un certain nombre de point fixes sur lesquels les observations systématiques doivent être réalisées (qu'il y ait un impact ou non), et la liberté d'ajouter des points d'observation libres si la situation le requiert.

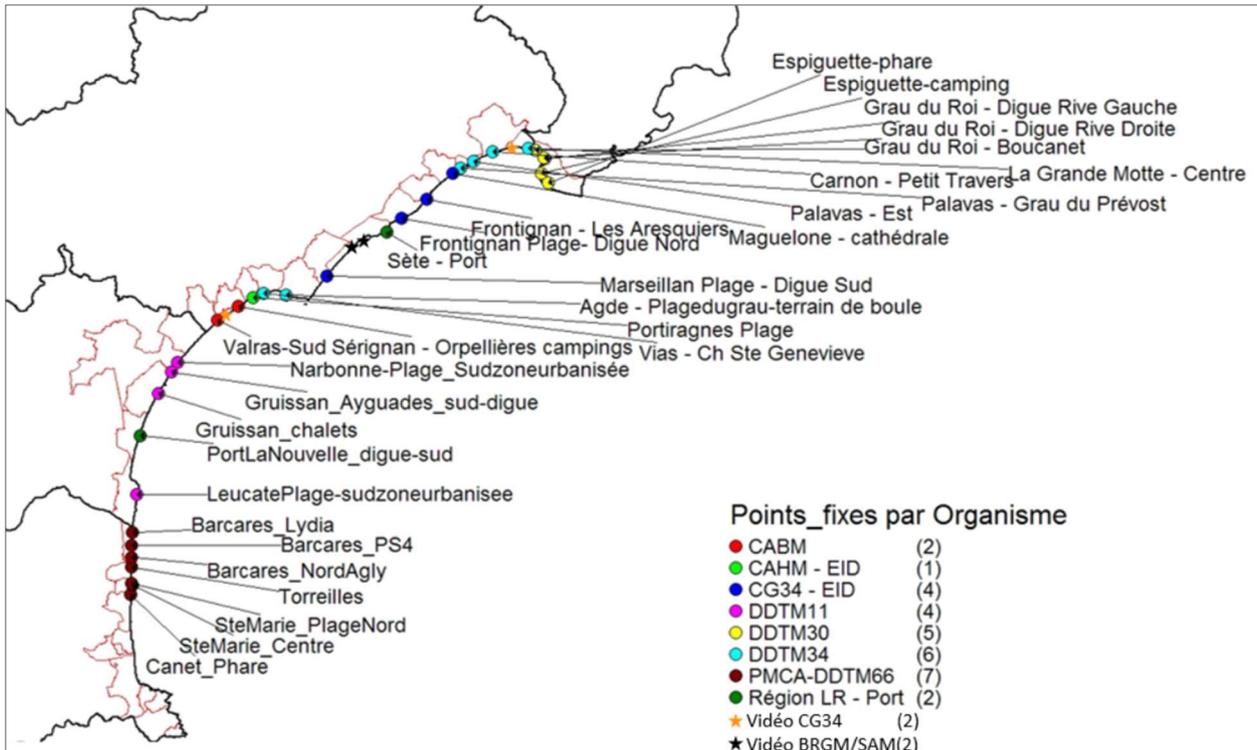


Illustration 3 – Cartographie des 49 points fixes du réseau tempêtes.

2.2. RESEAU D'OBSERVATEURS

Depuis la mise en œuvre opérationnelle du réseau en 2011, de nombreux observateurs ont été ajoutés à la liste qui compte aujourd'hui 72 personnes (cf. illustration 4).

La liste actuelle est hébergée sur Renater (reseau_tempete@groupes.renater.fr).

a.bium@brgm.fr	l.sabarich@perpignan-mediterranee.org	serge.pages@herault.gouv.fr
aline.costa@herault.gouv.fr	laila.belmetiani@herault.gouv.fr	stephan.bousquet@aude.gouv.fr
arichard@herault.fr	laurent.montel@developpement-durable.gouv.fr	stephane.marty@gard.gouv.fr
bauchet.philippe@cr-languedocroussillon.fr	m.perez@perpignan-mediterranee.org	stm@ville-serignan.fr
c.bouvier@brgm.fr	mairie@ville-serignan.fr	taioni.cyrille@cr-languedocroussillon.fr
c.fajon-herviou@perpignan-mediterranee.org	maite.lair@herault.gouv.fr	tempetelr@brgm.fr
catherine.garcia@developpement-durable.gouv.fr	mena.andre@cr-languedocroussillon.fr	vincent.courtray@gard.gouv.fr
cedric.combes@laregion.fr	mgevrais@eid-med.org	y.balouin@gmail.com
claire.dole@developpement-durable.gouv.fr	michel.dachar@aude.gouv.fr	y.iziquel@agglopoie.fr
daniel.guiliani@gard.gouv.fr	michel.verdet@aude.gouv.fr	yannick.guilhou@aude.gouv.fr
dboulet@eid-med.org	n.valentini@brgm.fr	
ddtm-dm1-ap-capitainerie@herault.gouv.fr	olivier.sebastien@ville-valrasplage.fr	
ddtm-dm1-cpln@pyrenees-orientales.gouv.fr	p.armenio@agglopoie.fr	
ddtm-saem@aude.gouv.fr	p.bardy@ville-serignan.fr	
e.palvadeau@brgm.fr	pascal.guy@developpement-durable.gouv.fr	
emmalapique@beziers-mediterranee.fr	pcarbonnet@cg34.fr	
emmanuelcrapiz@beziers-mediterranee.fr	philian.retif@herault.gouv.fr	
fannymena@beziers-agglo.org	philippe.chapelet@developpement-durable.gouv.fr	
franck.cazin@laregion.fr	philippe.dufresne@developpement-durable.gouv.fr	
francois.panas@pyrenees-orientales.gouv.fr	philippe.reis@herault.gouv.fr	
gaelledupuy@beziers-mediterranee.fr	prichard@eid-med.org	
gallon.dominique@cr-languedocroussillon.fr	provence.lanzellotti@aurca.org">provence.lanzellotti@aurca.org	
girard@ville-valrasplage.fr	r.belon@brgm.fr	
guillaume.patrick@cr-languedocroussillon.fr	raynald.vallee@i-carre.net	
hheurtefeux@eid-med.org	riboit.murielle@cr-languedocroussillon.fr	
isabelle.bouet@gard.gouv.fr	s.drai@agglohm.net	
jannet@ville-valrasplage.fr	s.dumont@ville-serignan.fr	
jean-loup.herault@pyrenees-orientales.gouv.fr	s.gautier@perpignan-mediterranee.org	
jean-pierre.batut@pyrenees-orientales.gouv.fr	schwebel.matthieu@cr-languedocroussillon.fr	
johann.schlosser@pyrenees-orientales.gouv.fr	sebastien.forest@developpement-durable.gouv.fr">sebastien.forest@developpement-durable.gouv.fr	
	serge.garcia@gard.gouv.fr	
	serge.herviou@aurca.org	

Illustration 4 – Membres du groupe Réseau Tempêtes sur Renater.

2.3. 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 3 j. et envoie un message aux membres du réseau si le seuil de $H_s = 3$ m 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, l'accès aux sorties du modèle espagnol des Puertos del Estado¹ a été demandé et la routine pointe maintenant vers leur serveur ftp.

¹ www.puertos.es

Les prévisions WW3 étant de nouveau disponibles via le portail MARC (Modélisation et Analyse pour la recherche côtière, <http://marc.ifremer.fr/> cf. illustration 5), l'utilisation de ces prévisions est en cours d'installation et sera opérationnelle pour la saison 2018-2019.

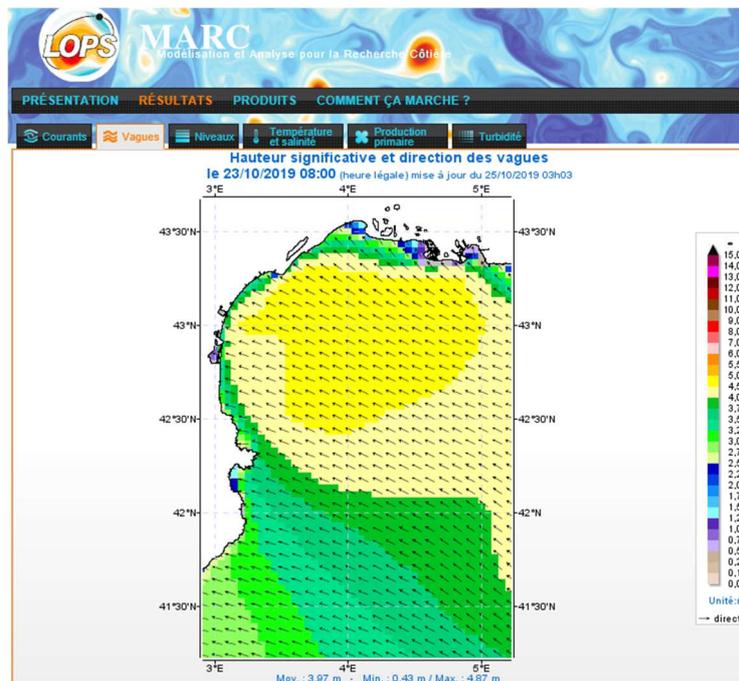


Illustration 5 – Site internet de visualisation des simulations de MARC (http://marc.ifremer.fr/resultats/vagues/modeles_mediterranee).

2.4. L'APPLICATION MOBILE I-INFO TERRE™

L'application mobile i-InfoTerre™, développée par le Brgm, est le visualiseur de données géoscientifiques du Brgm pour téléphones mobiles. Il s'agit d'une version mobile et simplifiée de InfoTerre™ (<http://infoterre.brgm.fr/>).

L'application offre un accès cartographique en ligne (connexion Internet via Wifi, 3G, 4G, etc.) à différentes couches thématiques (par exemple, cartes géologiques 1/50 000 et leurs légendes, mouvements de terrain, cavités souterraines, aléa retrait-gonflement...). Plusieurs fonds de carte sont disponibles gratuitement : orthophotographies, plans mais aussi cartes géologiques. Dans le cadre de ce projet, l'application a été améliorée :

- Ajout d'outils cartographiques (boussole, échelle métrique) ;
- Possibilité d'afficher différents Thèmes littoraux dans l'application. Les Thèmes correspondent à des couches SIG, par exemple la position des traits de côte des dernières années ;
- Gestion de profils utilisateurs (avec création d'un profil « Observateur littoral Occitanie » permettant l'affichage de données littorales spécifiques comme le trait de côte par exemple)
- Saisie d'annotations (manuelles, géolocalisées, points, lignes, polygones, texte libre...) avec prise de photos géoréférencées²
- Création d'un mode « hors connexion ». Sur le terrain, les utilisateurs peuvent être amenés à travailler dans des zones sans connexion Internet, comme c'est souvent le cas

² Cette amélioration a été financée sur fonds propres Brgm.

sur le littoral. Pour cette raison, il a été nécessaire d'ajouter un mode hors-ligne à l'application afin que celle-ci soit utilisable partout :

- Saisie d'annotations et sauvegarde en local sur l'appareil de l'utilisateur
 - Téléchargement des données sur le compte personnel InfoTerre™ de l'utilisateur manuellement (lorsqu'une connexion est établie)
 - Téléchargement de fond de carte OpenStreet Maps jusqu'au zoom 17 selon différentes emprises prédéfinies ou libres (emprise maximum 20km x 20km) (cf. illustration 6 et 7)
 - Possibilité d'éditer et de renommer les zones téléchargées
- Ajout de masques de saisie pour les annotations avec la création d'un masque « Tempête » facilitant la saisie d'une observation, et en lien avec la BD Tempêtes.

Chaque utilisateur de l'application mobile i-InfoTerre™ doit créer un compte personnel InfoTerre™. Toutes les annotations que l'utilisateur saisit dans l'application sont alors disponibles dans son compte personnel InfoTerre™. Il peut ainsi manipuler ses données sur n'importe quel poste de travail depuis l'url <http://infoterre.brgm.fr/viewer/MainTileForward.do>. Un export des annotations sous format KML, GML ou Shapefile est possible (Illustration 8).

L'intérêt de l'application mobile i-InfoTerre™ est de pouvoir disposer d'un outil de travail sur le terrain qui facilite la saisie et la sauvegarde des observations, qu'il s'agisse d'observations de tempête ou d'autres observations. L'application étant disponible gratuitement sur l'Apple Store et le Play Store, elle peut être utilisée par toute personne intéressée. La création d'un profil « Observateur littoral Occitanie » pour un utilisateur de l'application, qui donne accès notamment au masque de saisie « Tempête » et aux couches thématiques littorales, nécessite toutefois une validation manuelle par le Brgm. Un tutoriel d'utilisation de l'application sera prochainement envoyé à tous les membres du réseau tempêtes.

L'application mobile i-InfoTerre™ est à usage personnel, les informations saisies sont en lien avec le compte personnel de l'utilisateur et ne sont visibles par personne d'autre, sauf si le masque de saisie « Tempête » est utilisé. Dans ce cas, les informations de l'annotation saisie deviennent disponibles pour capitalisation directe dans la BD Tempêtes.

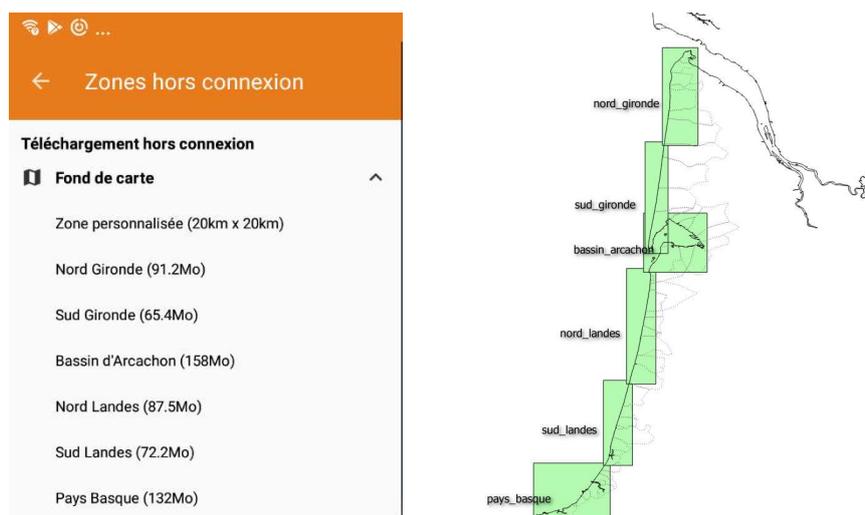


Illustration 6 - Zones disponibles au téléchargement pour le mode hors connexion (gauche). L'emprise des zones prédéfinies est représentée à droite. Exemple du masque littoral Aquitain.

Nouvelle Annotation

Masque Tempête Languedoc-Roussillon

Date
05/11/2019

Commune
FRONTIGNAN

Site d'observation (FRONTIGNAN)
Frontignan

Repère (Frontignan)
Digue Nord

Evolution du trait de côte
Recul du trait de côte

Perte/Dépôt de sable
Perte de sable sur le profil

Entaille ou brèche
Non renseigné

Illustration 7 - Exemple de saisie d'une annotation utilisant le masque Tempête Occitanie.

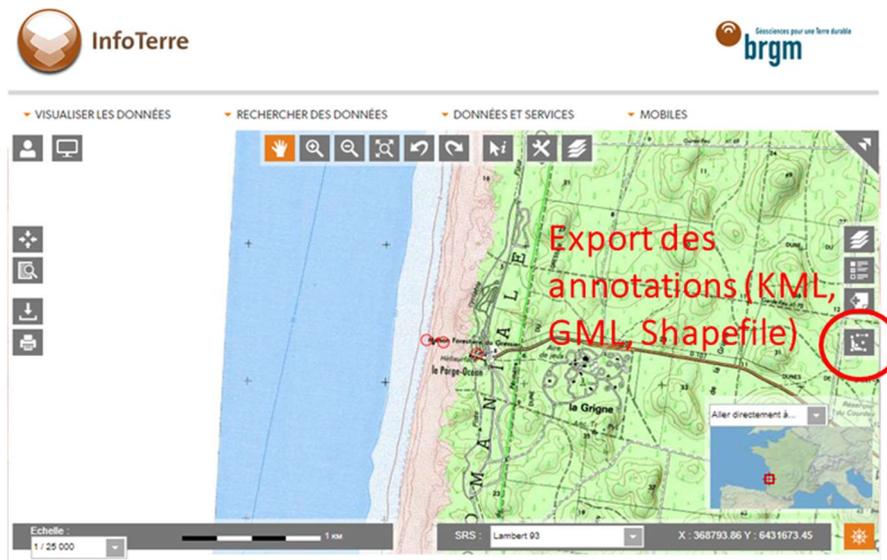


Illustration 8: Les annotations saisies sur l'application mobile sont disponibles sur le compte personnel InfoTerre de l'utilisateur <http://infoterre.brgm.fr/viewer/MainTileForward.do>. L'export des données est possible sous format KML, GML et Shapefile. Exemple du masque littoral Aquitain.

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 huit périodes de tempêtes, à savoir d'octobre 2011 à avril 2018.

Sur l'ensemble de ces périodes le réseau a été activé à l'occasion des évènements suivants (cf. Illustration 9) :

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

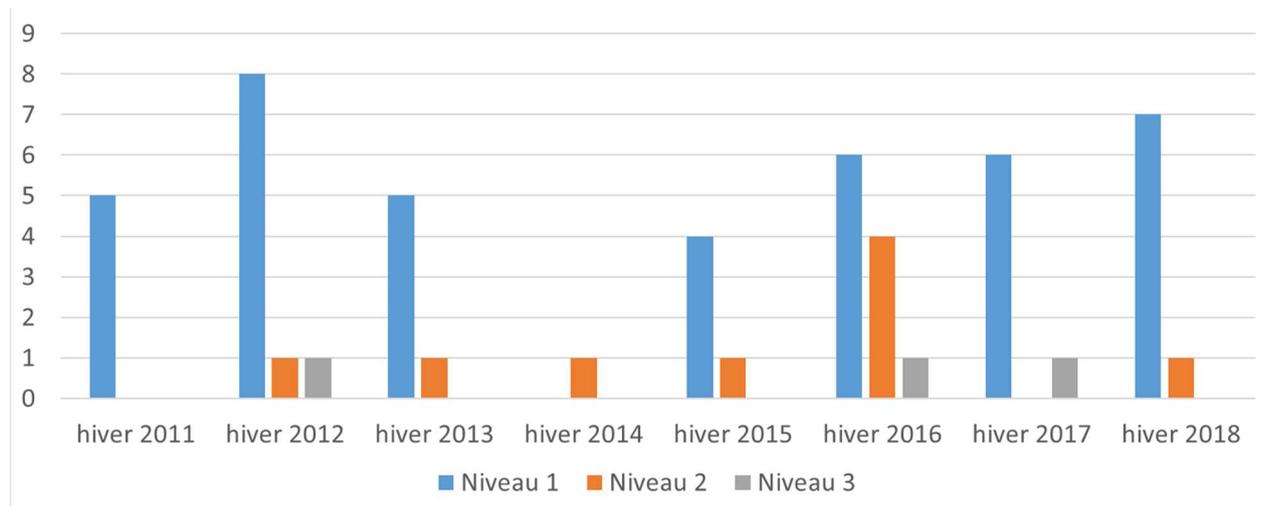


Illustration 9 – Nombre d'événements de Niveaux 1, 2 et 3 par hiver depuis 2011.

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).

Sur l'ensemble de la période, l'hiver 2012-2013 et 2016-2017 ont été les plus actifs avec respectivement 10 et 11 événements, dont 4 événements de niveau 2 en 2016.

L'événement le plus puissant (en terme de hauteur significative) sur les huit années d'observations est la tempête de mars 2018 avec des hauteurs significatives supérieures à 6 m mesurées enregistrées à la bouée de Leucate.

début	fin	Hs_max_Espiguette	Hs_max_Sete	Hs_max_Leucate	Hs_max_Banyuls
20/10/2009 11:00	20/10/2009 11:00		3,03	3,30	
21/10/2009 04:00	21/10/2009 12:00		4,40		
29/11/2009 11:00	29/11/2009 13:00		3,17		
21/12/2009 07:00	21/12/2009 12:00		3,47		
14/01/2010 09:00	14/01/2010 21:00		4,47	3,93	
05/02/2010 01:00	05/02/2010 04:00		3,10		
16/02/2010 20:00	17/02/2010 06:00		3,80		3,03
27/02/2010 23:00	28/02/2010 04:00		3,47		
03/03/2010 13:00	03/03/2010 21:00				3,88
08/03/2010 12:00	08/03/2010 18:00				3,60
11/10/2010 04:00	11/10/2010 06:00		3,40	4,50	3,65
21/11/2011 20:00	22/11/2011 10:00				3,30
05/12/2010 10:00	05/12/2010 14:00	3,40	3,17		
19/12/2010 11:00	19/12/2010 16:00	3,10	3,20		
22/12/2010 23:00	22/12/2010 23:00		3,10		
29/01/2011 12:00	29/01/2011 15:00		3,17	3,47	3,28
08/03/2011 06:00	08/03/2011 06:00		3,03	3,07	
12/03/2011 10:00	13/03/2011 17:00	4,00	4,87	4,67	4,25
14/03/2011 22:00	15/03/2011 14:00	3,00	3,70	4,57	4,18
23/04/2011 03:00	23/04/2011 03:00		3,00	3,43	3,15
24/10/2011 06:00	24/10/2011 21:00	3,30	3,60	3,90	3,17
27/10/2011 17:00	27/10/2011 20:00	3,10		3,57	3,45
03/11/2011 13:00	03/11/2011 21:00	3,70		3,60	
19/11/2011 07:00	19/11/2011 08:00		3,13		
25/04/2012 16:00	25/04/2012 16:00	3,10	3,20		
18/10/2012 05:00	18/10/2012 23:00	3,30	3,37	3,70	3,23
19/10/2012 14:00	19/10/2012 14:00		3,17		
31/10/2012 06:00	31/10/2012 13:00			4,07	3,77
10/11/2012 02:00	10/11/2012 05:00	3,20			
13/12/2012 22:00	13/12/2012 22:00	3,00	3,10		
19/01/2013 12:00	19/01/2013 22:00		3,70		
01/03/2013 12:00	01/03/2013 12:00				3,07
05/03/2013 02:00	06/03/2013 20:00	3,70	4,53	5,90	4,63
16/03/2013 18:00	17/03/2013 20:00	3,20	3,37		
18/05/2013 16:00	18/05/2013 16:00	3,10	3,03		
24/12/2013 12:00	25/12/2013 05:00	4,60	4,10		
05/02/2014 04:00	05/02/2014 09:00	3,10			
07/02/2014 01:00	07/02/2014 03:00	3,10	3,20		
09/02/2014 22:00	10/02/2014 01:00		3,17		
03/04/2014 00:00	03/04/2014 06:00		3,20		
21/05/2014 16:00	21/05/2014 16:00		3,03	3,00	
28/11/2014 02:00	29/11/2014 04:00		4,50	4,03	4,12
29/09/2015 18:00	30/09/2015 12:00				3,45
02/11/2015 20:00	03/11/2015 11:00	3,30	4,20	3,80	3,78
06/02/2016 18:00	07/02/2016 05:00	3,00	3,63		
31/03/2016 14:00	31/03/2016 14:00	3,10			
09/05/2016 16:00	10/05/2016 00:00		3,13	3,23	3,03
13/10/2016 03:00	14/10/2016 05:00		5,33	5,03	4,82
23/10/2016 13:00	23/10/2016 16:00		3,13		
21/11/2016 06:00	21/11/2016 20:00		3,43		
23/11/2016 17:00	23/11/2016 23:00		3,47	3,80	3,45
19/12/2016 21:00	20/12/2016 08:00				3,97
22/01/2017 02:00	22/01/2017 02:00			3,00	4,30
27/01/2017 08:00	28/01/2017 01:00	3,40	3,67	3,90	3,23
02/02/2017 12:00	02/02/2017 12:00		3,07		
12/02/2017 15:00	14/02/2017 11:00	3,70	4,03	4,53	3,98
04/03/2017 00:00	04/03/2017 10:00	4,00	4,13	3,63	
25/03/2017 05:00	25/03/2017 08:00	3,00	3,77	4,10	3,20
11/12/2017 06:00	11/12/2017 06:00	4,30	3,27		
07/01/2018 01:00	07/01/2018 09:00	3,13	3,50	3,97	3,92
28/02/2018 16:00	02/03/2018 04:00	4,20	5,70	6,07	4,98
10/03/2018 18:00	10/03/2018 19:00	3,10			
03/04/2018 18:00	03/04/2018 18:00		3,17		
08/04/2018 16:00	08/04/2018 20:00	3,10	3,80		
11/04/2018 04:00	11/04/2018 14:00	3,40	3,97	3,57	3,97
15/10/2018 03:00	15/10/2018 15:00	3,80	4,67	3,87	3,12
31/10/2018 12:00	31/10/2018 20:00	3,30	3,43		
17/11/2018 23:00	18/11/2018 10:00			3,43	3,97
13/12/2018 19:00	13/12/2018 21:00			3,37	3,88
06/03/2019 16:00	06/03/2019 22:00	3,20	3,50		
22/04/2019 19:00	22/04/2019 21:00			3,37	3,80
24/04/2019 15:00	24/04/2019 19:00	3,20	3,13		
25/04/2019 12:00	25/04/2019 12:00	3,00			

Illustration 10 – Classement des tempêtes selon leur niveau atteint et leur localisation en fonction des bouées côtières de la région (les valeurs indiquent la hauteur significative de la houle au pic de la tempête).

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 10) :

- 26 tempêtes n'ont concerné qu'une seule bouée et ce toujours pour un seuil 1 ;
- 25 tempêtes n'ont concerné que deux bouées, essentiellement limitrophes (Espiguette et Sète ou Banyuls et Leucate) ;
- 13 tempêtes ont concerné toutes les bouées, et ce sont généralement les événements les plus intenses.

3.2. 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'intervention).

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, mais s'inscrit davantage dans une capitalisation et analyse à plus long terme.

3.2.1. Retour d'expérience sur le dispositif de mobilisation

Prévision

Comme rappelé au 2.3., le déclenchement automatique du réseau est basé sur une routine informatique qui accède aux prévisions de houle à 3 jours et envoie un message aux membres du réseau si le seuil de $H_s=3m$ est atteint ou dépassé à l'une ou plusieurs des sorties de modèles correspondant aux houlographes du Golfe du Lion.

Depuis 2013, les prévisions des Puertos del Estado³ sont utilisées. Elles reposent sur une simulation à trois jours à l'aide du modèle WAM (Wave generation model, WAMDI, 1988).

Lors des vérifications initiales des prévisions de ce modèles, les résultats indiquaient une légère surestimation des hauteurs de vagues, notamment pour des tempêtes ayant une incidence (obliquité de la houle par rapport à la côte) importante.

Lors des dernières années, cette surestimation s'est confirmée (cf illustration 11), notamment pour les événements les plus importants (vagues supérieures à 5 m). On note toutefois une assez bonne correspondance entre les prévisions et les mesures pour les valeurs comprises entre 3 et 5 m qui correspondent aux seuils de déclenchement du réseau.

³ www.puertos.es

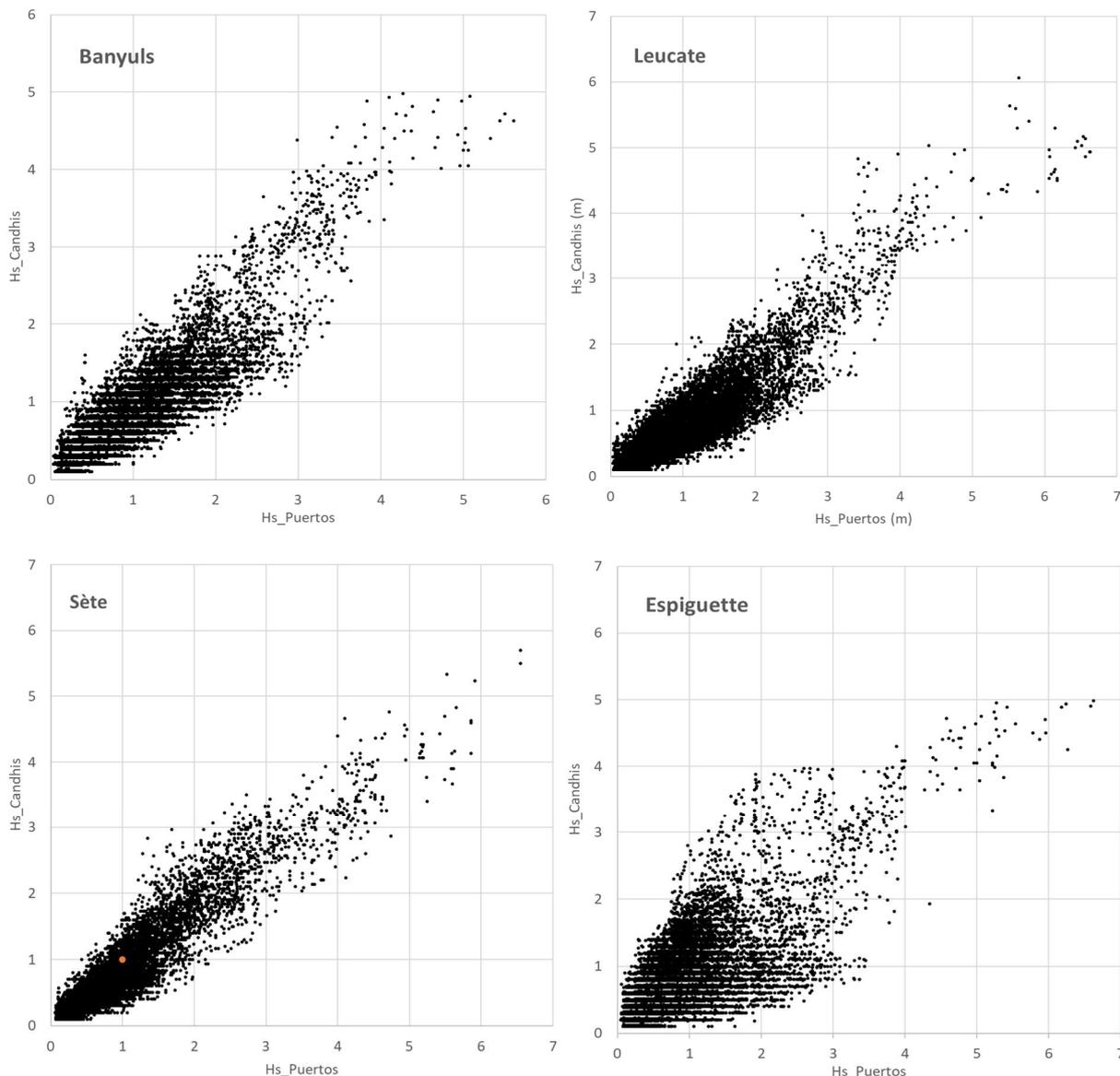


Illustration 11 – Comparaison des hauteurs de vagues prédites par le modèle WAM des Puertos del Estado et des données mesurées aux bouées Candhis.

Il convient de rappeler que les seuils de hauteurs significatives étant fixés selon les différents retours d’expérience à partir des impacts morphogènes relevés dans les données historiques), le déclenchement et le niveau atteint peuvent être différents, même pour une prévision très satisfaisante.

Pour rappel, les travaux sont en cours pour réutiliser les prévisions WaveWatch3 issues de MARC qui présentent de meilleurs résultats pour le Golfe du Lion.

Message automatique

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. 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 boîtes de réception des destinataires. La mailing-list tempête initialement utilisée a été remplacée par une liste renater reseau_tempete@groupe.renater.fr. Si les messages entre destinataires de la liste semblent bien fonctionner et sont reçus par tous, l'envoi automatique du calculateur vers la liste pose encore des problèmes qui sont en cours de résolution.

On rappelle que la réponse à un message automatique du réseau tempête envoie le message aux 75 destinataires de la liste.

3.2.2. Retour d'expérience sur les données recueillies

Les données recueillies lors des événements ont globalement diminué en raison du renouvellement des membres du réseau et de l'arrivée de personnes au sein des différentes structures qui ne connaissant pas toujours les procédures et outils mis à disposition.

Toutefois, on note que les événements les plus importants mobilisent le réseau (cf. illustration 12). Ainsi, les retours pour les événements de niveau 5 sont toujours importants (cf. illustration 8), et les retours pour les événements de niveau 4 sont plus faibles, et dépendent principalement du niveau de vagues atteint (moins d'impacts et donc moins de retour lorsque les vagues dépassent à peine 4 m).

On constate également un effet de cumul. Ainsi, les premières tempêtes importantes de l'hiver entraînent un retour important de données (cf. tempête du 28 novembre 2014), alors que les tempêtes arrivant en fin d'un hiver lors duquel le réseau a été fortement mobilisé ont beaucoup moins de retour (cf. février-mars 2017).

Globalement, le nombre de données recueillies croît avec l'intensité de la tempête, ce qui s'explique par une plus forte mobilisation, mais également par le fait que les événements majeurs affectent souvent la totalité du littoral régional, alors que des événements plus modérés peuvent toucher qu'une partie du littoral en fonction de la direction de provenance des vagues.

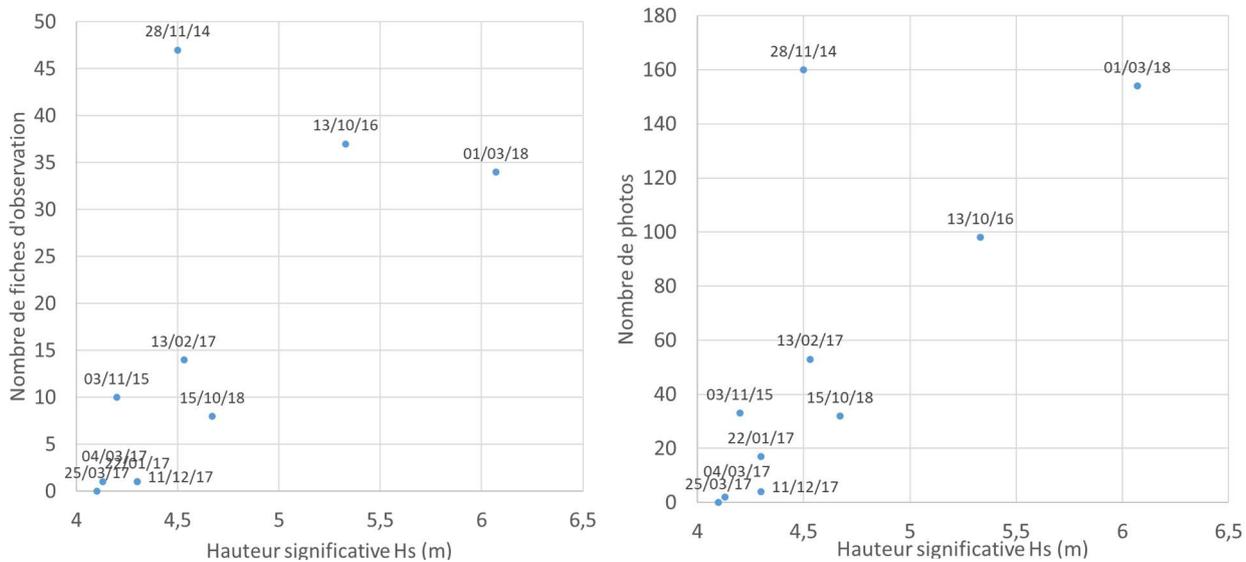


Illustration 12 – Nombre de fiches d'observation (gauche) et de photos (droite) capitalisées sur la BD-Tempête depuis 2014 en fonction de l'intensité (Hauteur significative des vagues) de la tempête.

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

4.1. CARACTERISTIQUES DES TEMPETES

Depuis la mise en place du réseau, 63 événements ont été enregistrés. 14 tempêtes ont atteint le niveau 2 ($H_s > 4$ m), et 3 tempêtes ont dépassé le niveau 3 ($H_s > 5$ m) : mars 2013, octobre 2016 et mars 2018.

Si ces trois événements sont assez similaires en termes de hauteur de vagues, leur durée diffère (la tempête d'octobre 2016 étant plus courte). Il en résulte une énergie (puissance cumulée) plus importante pour les tempêtes de mars 2013 et 2018 (cf. Illustration 13).

On note que pour les sites de Sète et Leucate, qui enregistrent systématiquement les plus fortes valeurs (cf. illustrations 14 à 17), ces événements sont très frontaux (incidence de quelques degrés à la bouée, donc probablement très faible à la côte). La dérive littorale induite (Puissance Longitudinale PI) est par conséquent très faibles pendant ces événements où les flux transversaux prédominent.

Date pic	durée (h)	intervalle (j)	Hs_pic	Hs_moy	Tp pic	Dir pic	Dir moy	P cumul	PI_moy
Sète									
05/03/2013 11:00	42,00	44,17	4,53	3,85	8,93	125,00	126,84	2761,79	-10,87
13/10/2016 13:00	26,00	156,13	5,33	4,18	9,17	124,53	121,54	1941,50	-23,04
01/03/2018 01:00	36,00	52,29	5,70	4,37	9,37	123,60	119,55	3097,34	-29,24
Leucate									
06/03/2013 03:00	42,00	124,54	5,90	4,70	10,17	100,10	103,29	4565,28	22,07
13/10/2016 17:00	29,00	156,13	5,03	4,11	9,33	106,70	103,49	2223,53	15,91
01/03/2018 02:00	32,00	51,88	6,07	4,74	10,00	100,47	99,05	3460,86	16,54

Illustration 13 – Caractéristiques des trois tempêtes majeures depuis 2010.

Globalement, la côte du Roussillon est touchée par des tempêtes très frontales et la direction de provenance de la houle est constante (E à ESE). Sur le secteur de Sète, les directions de provenance sont plus variables avec une prédominance des tempêtes de SE, mais une proportion non négligeable d'événements de secteur S.

La durée moyenne d'un événement est relativement courte (de l'ordre de 12 h). Toutefois, cette durée est généralement proportionnelle à l'intensité de l'événement avec des tempêtes de niveau 2 qui durent en moyenne 25 h, et les tempêtes de niveau 3 qui durent 35 h.

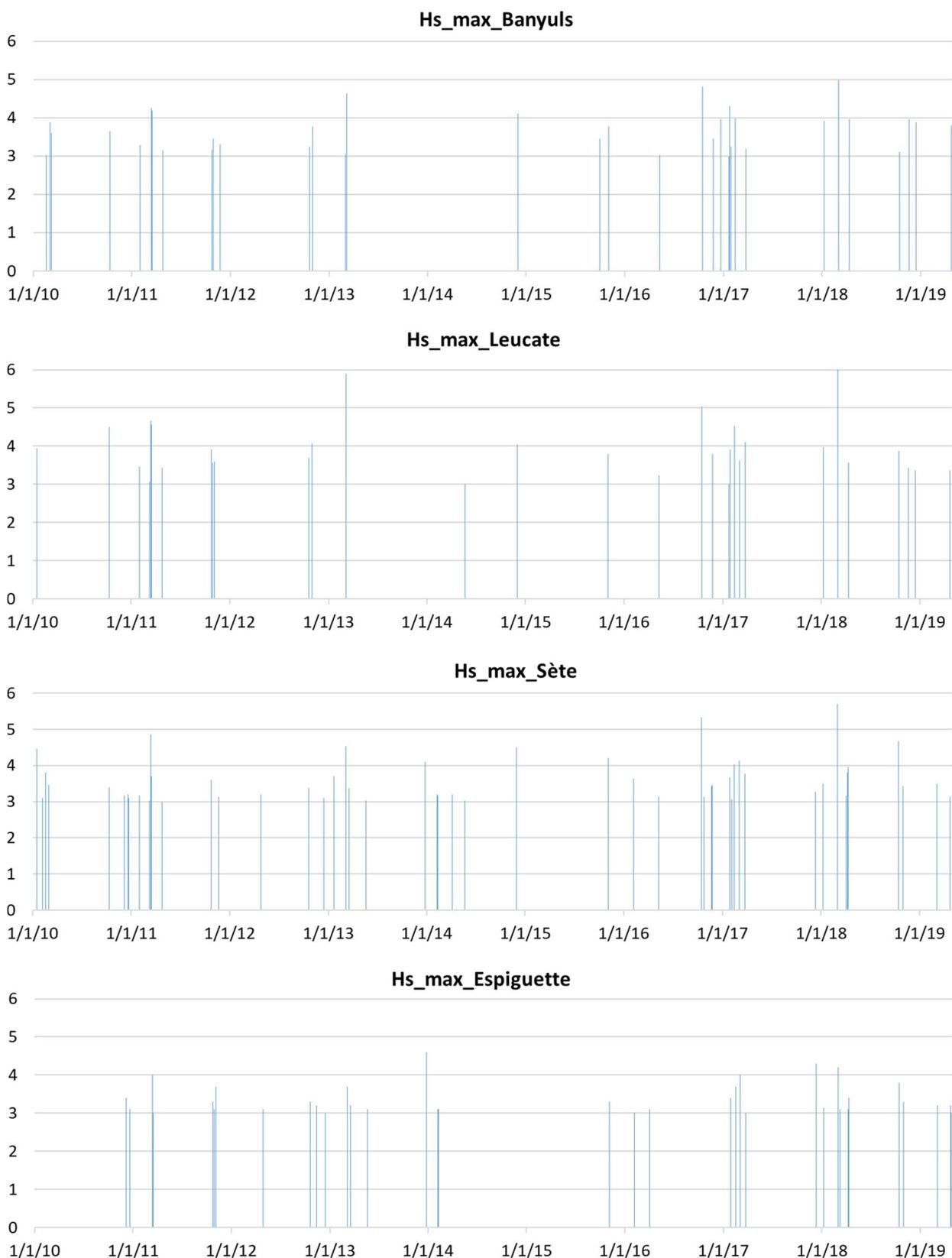


Illustration 14 – Hauteur significative atteinte aux 4 bouées du Golfe du Lion pendant les pics des tempêtes de 2010 à 2019.

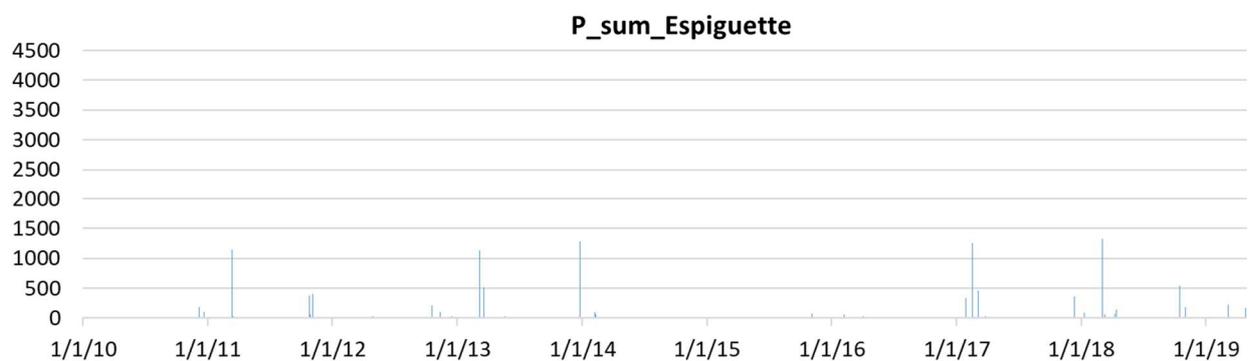
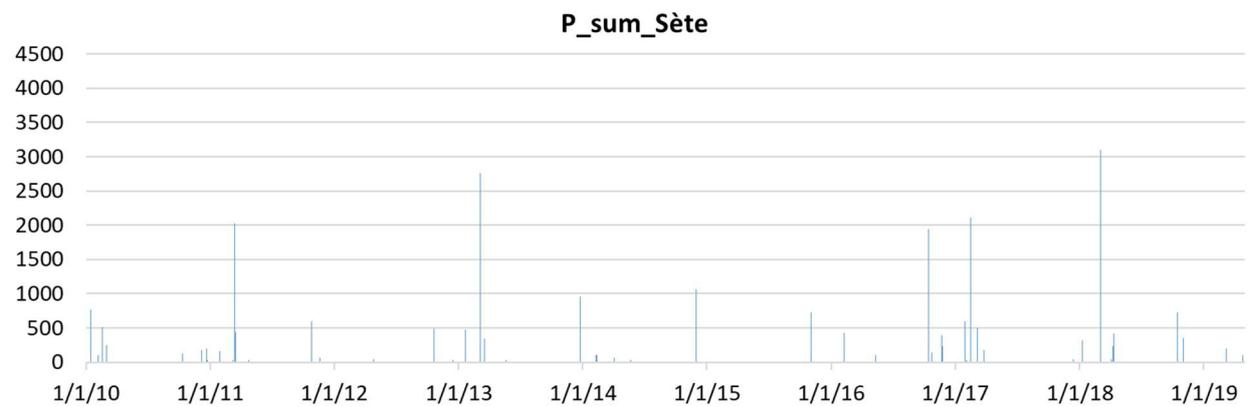
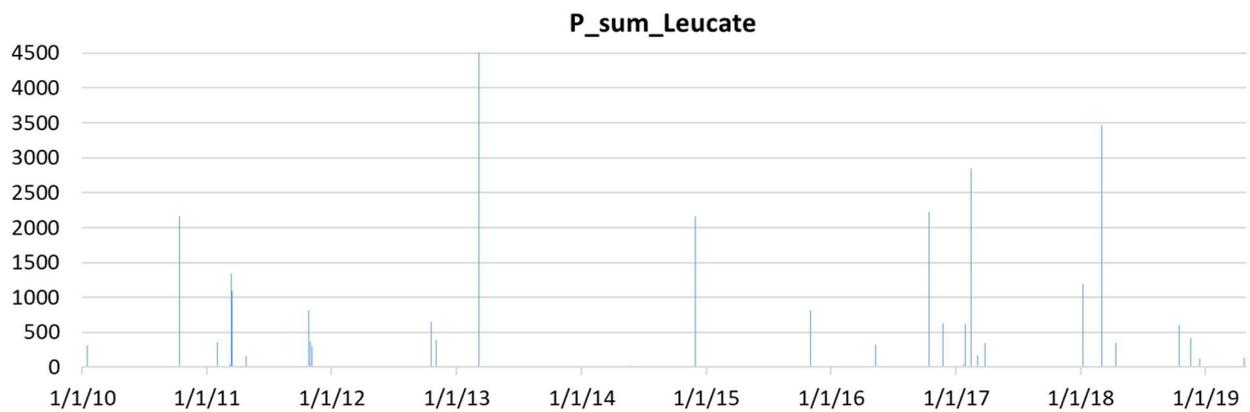
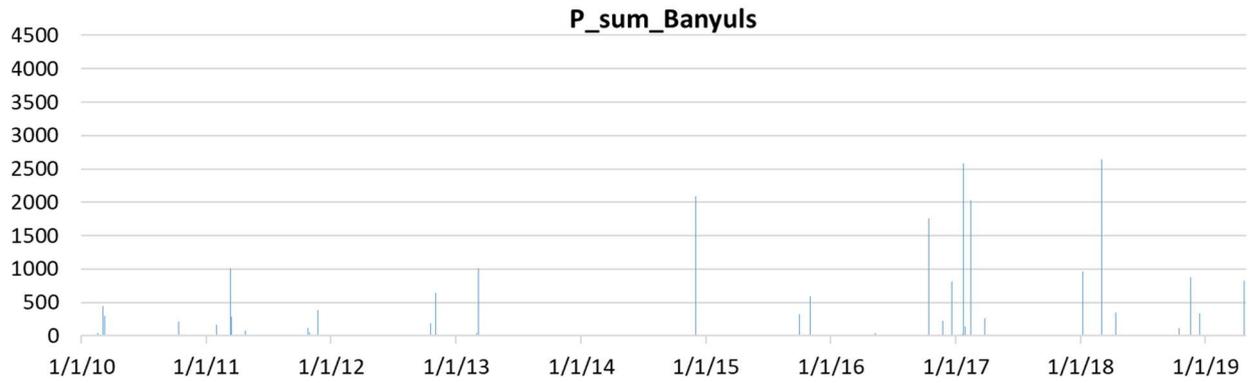


Illustration 15 – Puissance cumulée (P_{sum}) aux 4 bouées du Golfe du Lion pendant les tempêtes de 2010 à 2019.

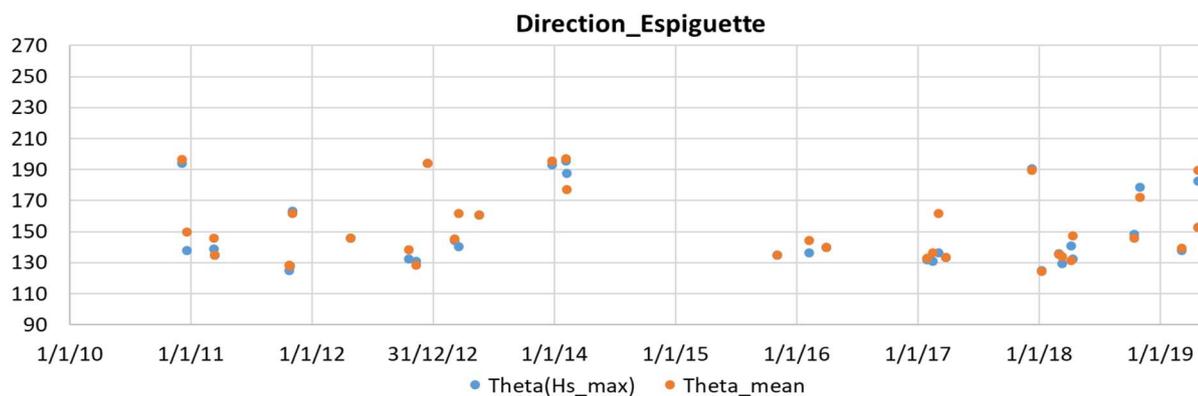
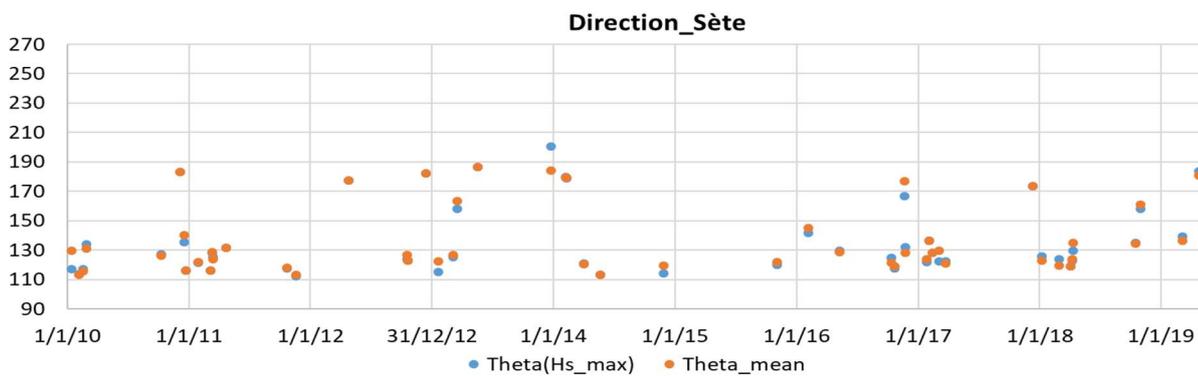
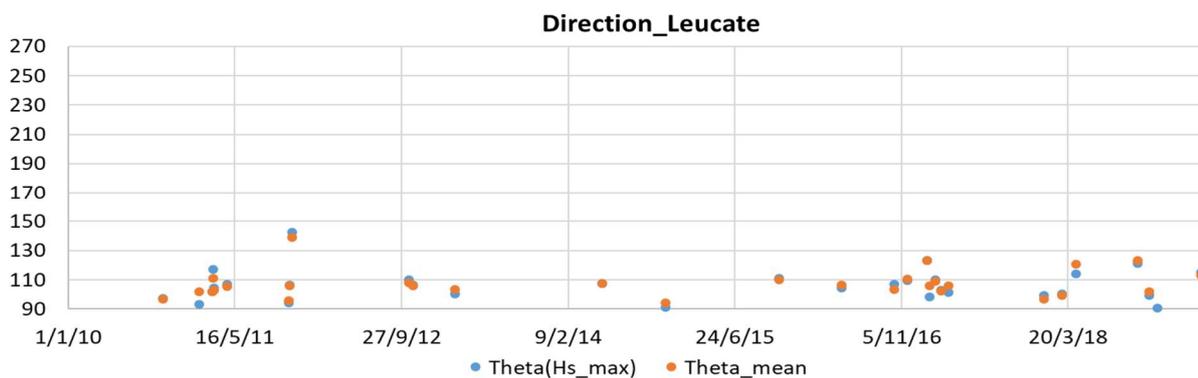
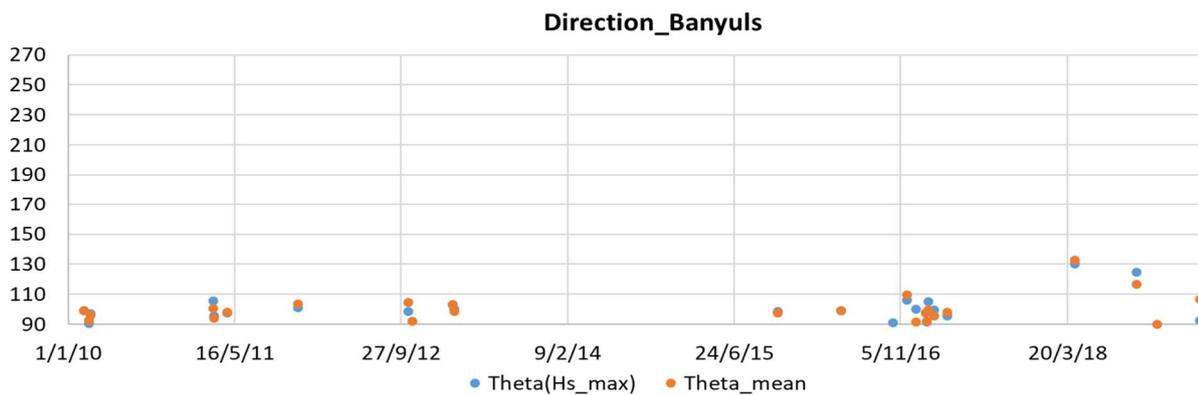


Illustration 16 – Directions de provenance au pic (Theta(Hs_max)) et moyenne (Theta_mean) aux 4 bouées du Golfe du Lion pendant les tempêtes de 2010 à 2019.

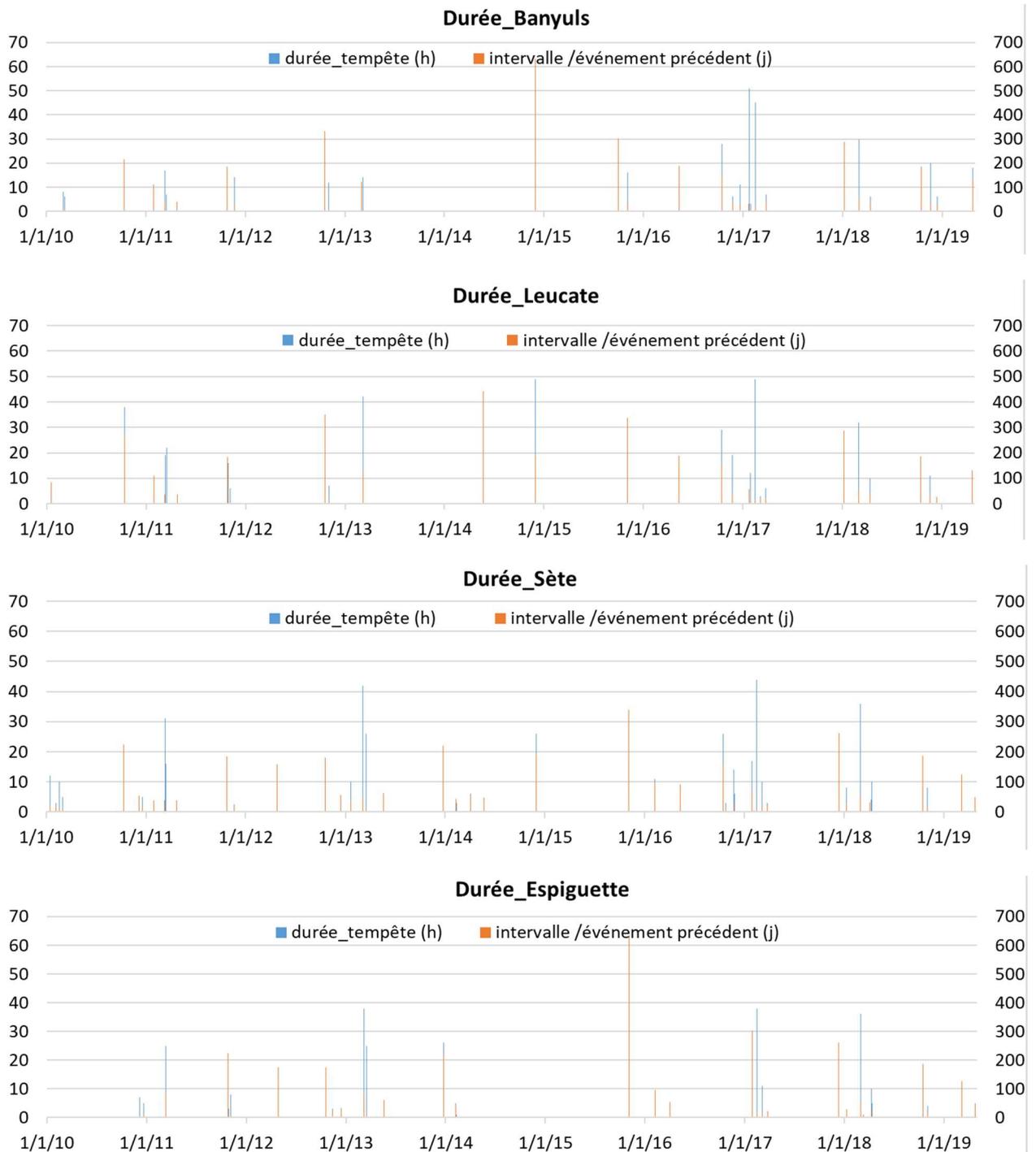


Illustration 17 – Durée des tempêtes et intervalle de temps entre 2 événements successifs aux 4 bouées du Golfe du Lion pendant les tempêtes de 2010 à 2019

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 submersions marines ;
- l'impact en termes de dommages (dégâts matériels).

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 événements ayant affectés l'ensemble de la région depuis 2013.

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 18). Les impacts en termes de submersions s'appuient notamment sur l'échelle des régimes proposée par Sallenger (2000) – Illustration 19.

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' <i>overwash</i>	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	Non renseigné				●

Illustration 18 – Hierarchisation des niveaux d'impacts. Les couleurs correspondent aux cartographies des fiches tempêtes.

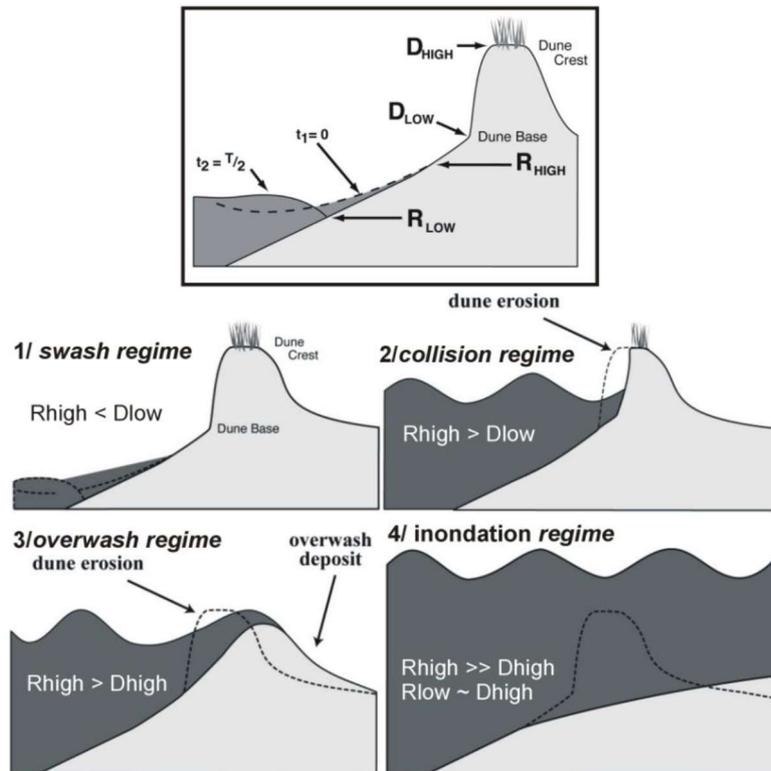


Illustration 19 – Modèle d'impact d'une tempête sur le haut de plage (Sallenger, 2000).

Les fiches suivantes (Cf. illustrations 20 à 29) présentes de manière synthétiques les indicateurs d'Erosion, Submersion et Dégâts pour les événements ayant atteint le niveau 2 ($H_s > 4$ m).

On notera que la tempête du 24 Décembre 2013 n'est pas présentée. Celle-ci n'a en effet pas fait l'objet d'observations en raison d'une panne du dispositif de mobilisation d'une part, mais surtout de la date de l'événement peu propice à la disponibilité des intervenants de terrain d'autre part.

On observe qu'aucune des tempêtes n'a fait l'objet de remontées d'observations complètes (pour tous les points fixes du réseau).

Cela est particulièrement vrai pour les tempêtes qui ont juste franchi le seuil du dispositif sans faire de dégât (25 mars ou 11 décembre 2017), mais également dans les cas où les tempêtes ne concernaient qu'une partie du littoral (22 janvier ou 13 février 2017).

Pour les tempêtes ayant atteint le niveau 3 ($H_s > 5$ m), les observations sont plus exhaustives et seuls quelques points n'ont pas fait l'objet de remontées d'observations.

Tempête du 5 Mars 2013

Site	Hs au Pic
Hs_max_Espiguette	3,70
Hs_max_Sete	4,53
Hs_max_Leucate	5,90
Hs_max_Banyuls	4,63

Hauteur significative et direction des vagues
le 05/03/2013 22:00:00 (heure légale) mise à jour du 06/03/2013 12h10

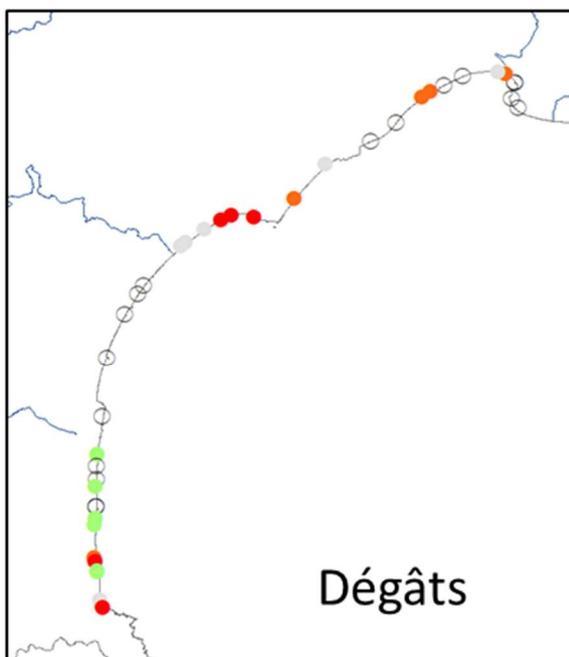
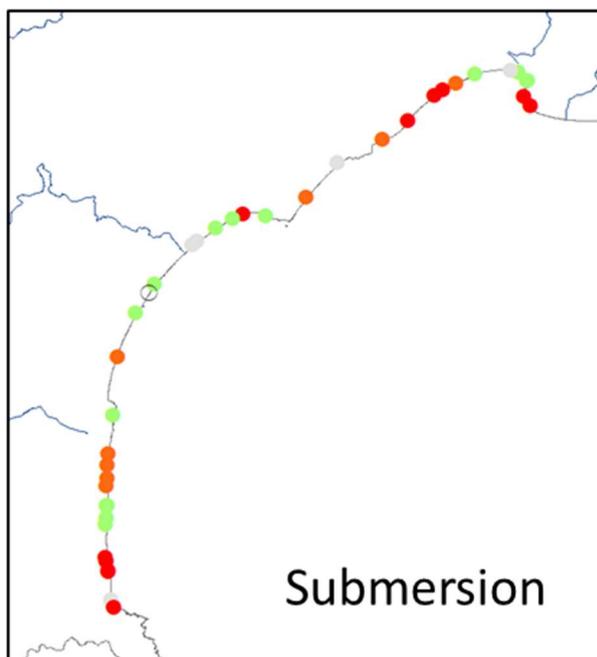
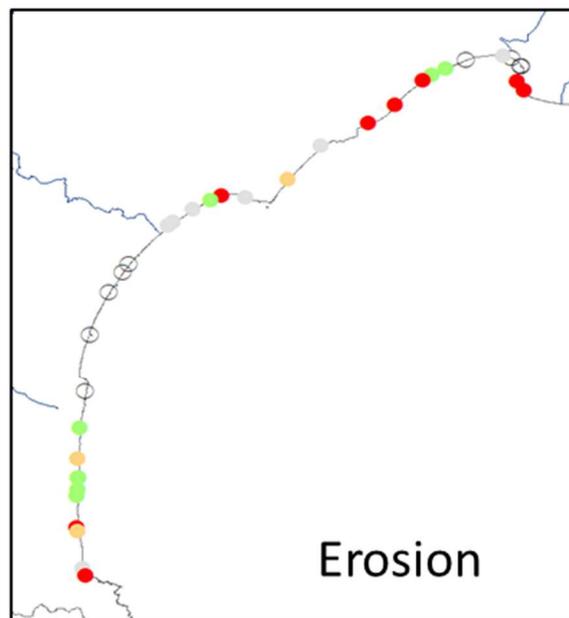
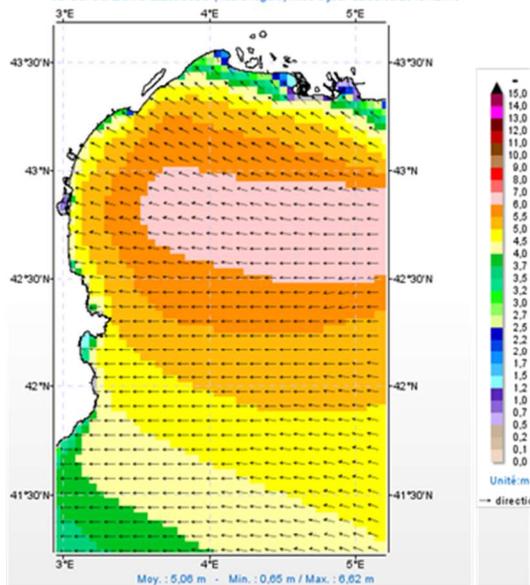
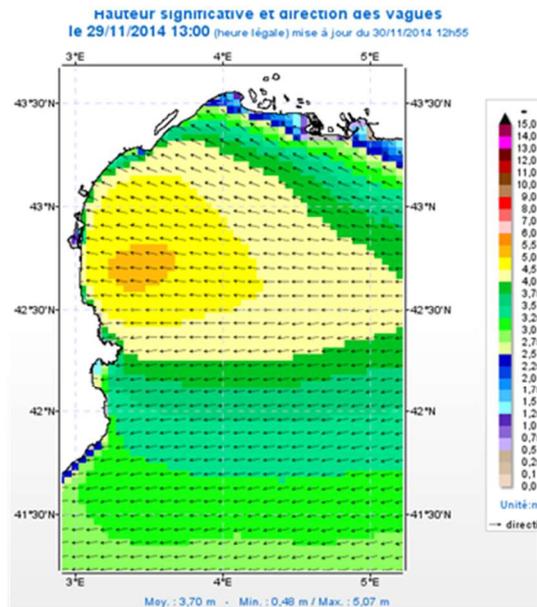


Illustration 20 – Cartographie des indicateurs Erosion, Submersion et Dégâts pour la tempête du 5 Mars 2013.

Tempête du 28 Nov 2014



Site	Hs au Pic
Hs_max_Espiguette	
Hs_max_Sete	4,50
Hs_max_Leucate	4,03
Hs_max_Banyuls	4,12

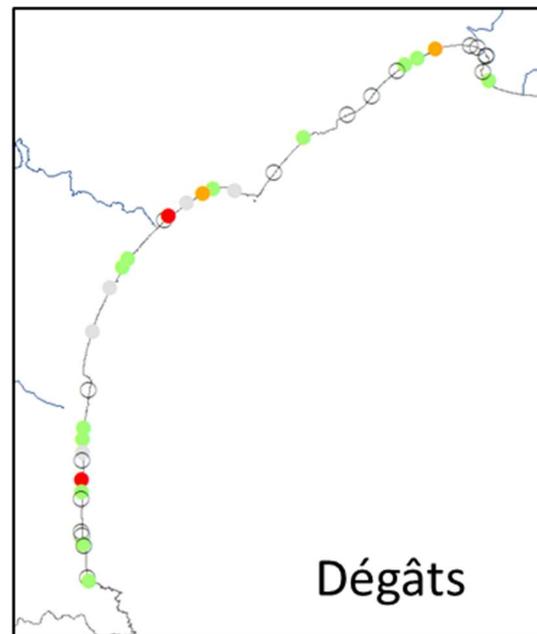
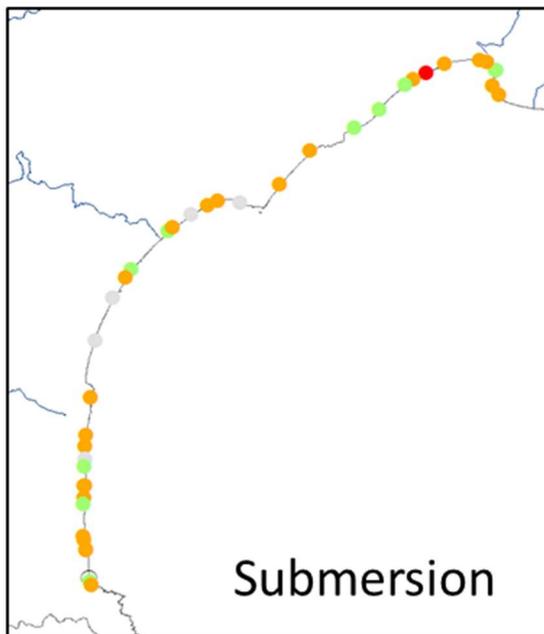
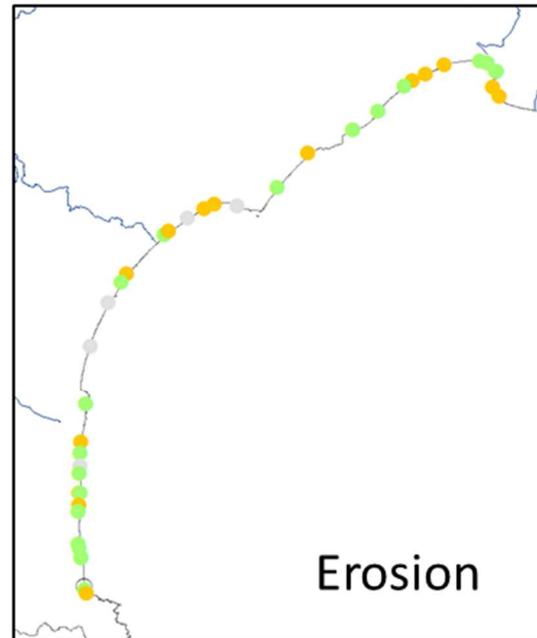


Illustration 21 - Cartographie des indicateurs Erosion, Submersion et Dégâts pour la tempête du 28 Nov 2014.

Tempête du 3 Nov 2015

Site	Hs au Pic
Hs_max_Espiguette	3,30
Hs_max_Sete	4,20
Hs_max_Leucate	3,80
Hs_max_Banyuls	3,78

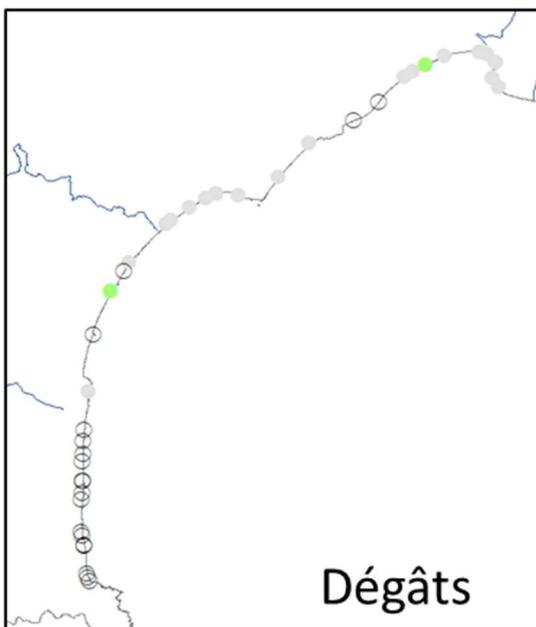
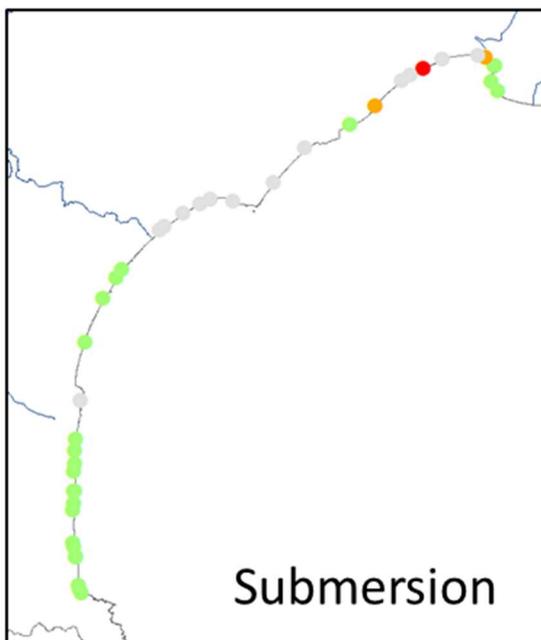
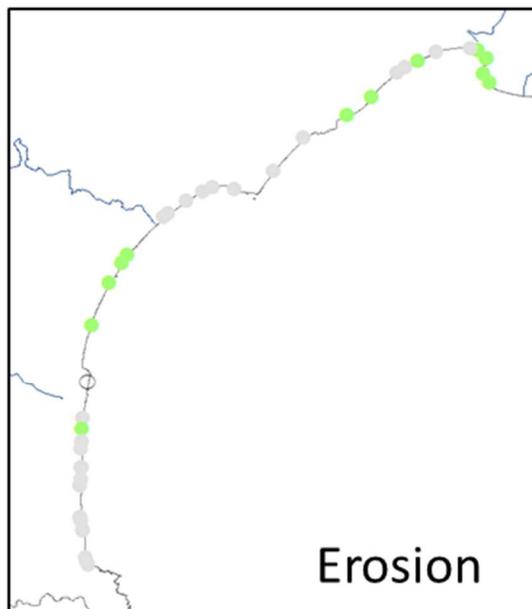
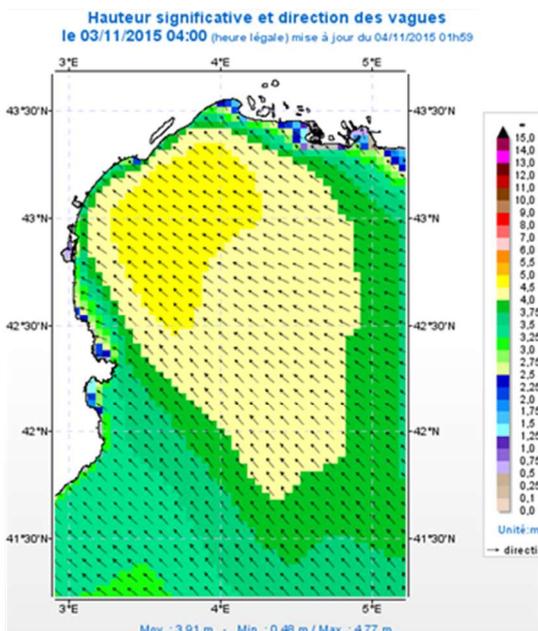
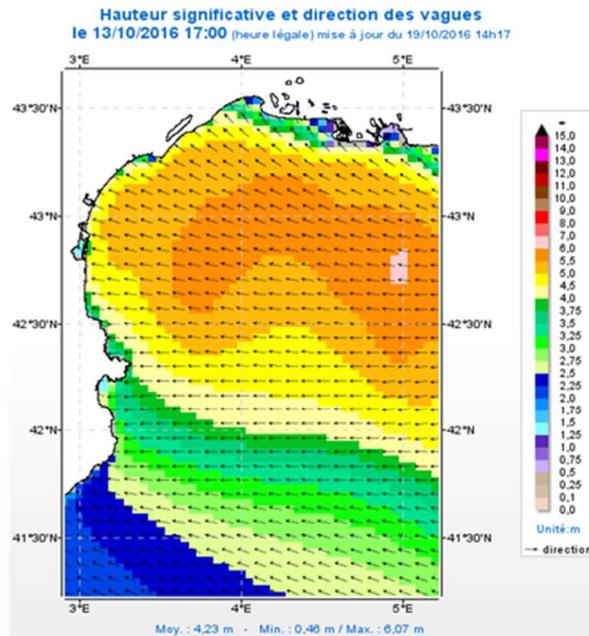


Illustration 22 - Cartographie des indicateurs Erosion, Submersion et Dégâts pour la tempête du 3 Nov 2015.

Tempête du 13 Oct 2016



Site	Hs au Pic
Hs_max_Espiguette	
Hs_max_Sete	5,33
Hs_max_Leucate	5,03
Hs_max_Banyuls	4,82

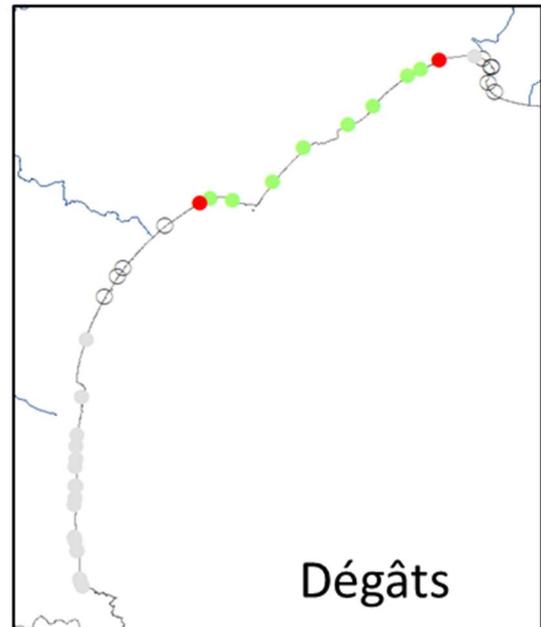
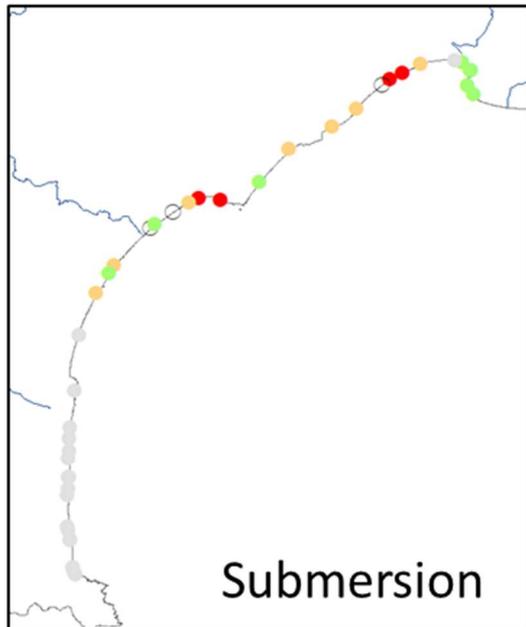
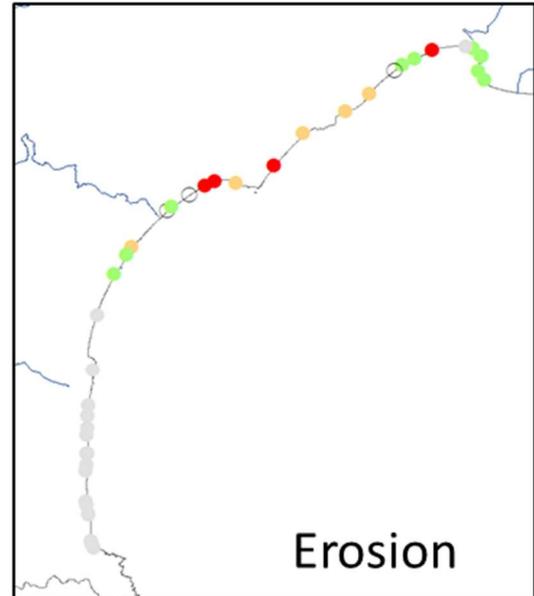


Illustration 23 - Cartographie des indicateurs Erosion, Submersion et Dégâts pour la tempête du 13 Oct 2016.

Tempête du 22 Janvier 2017

Site	Hs au Pic
Hs_max_Espiguette	
Hs_max_Sete	
Hs_max_Leucate	3,00
Hs_max_Banyuls	4,30

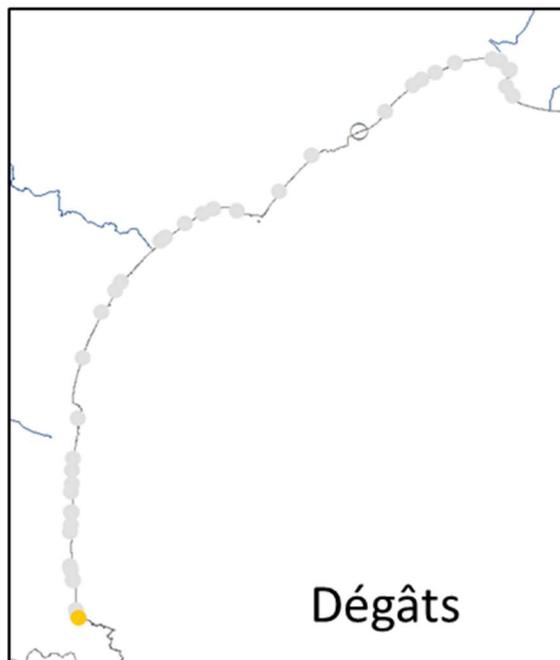
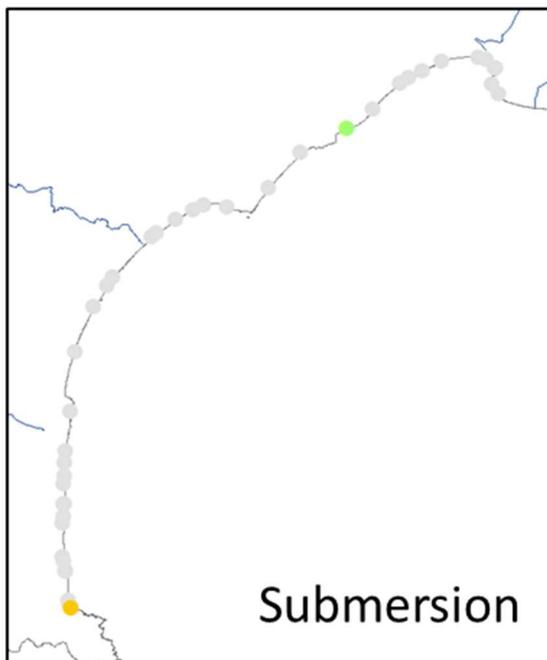
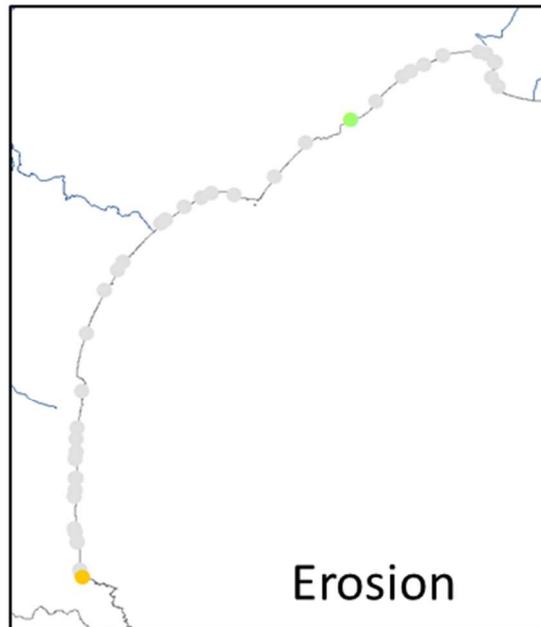
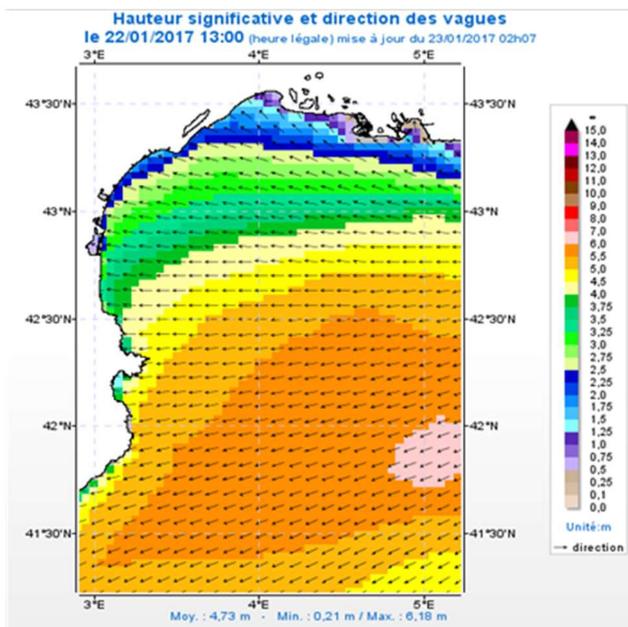


Illustration 24 - Cartographie des indicateurs Erosion, Submersion et Dégâts pour la tempête du 22 Janvier 2017.

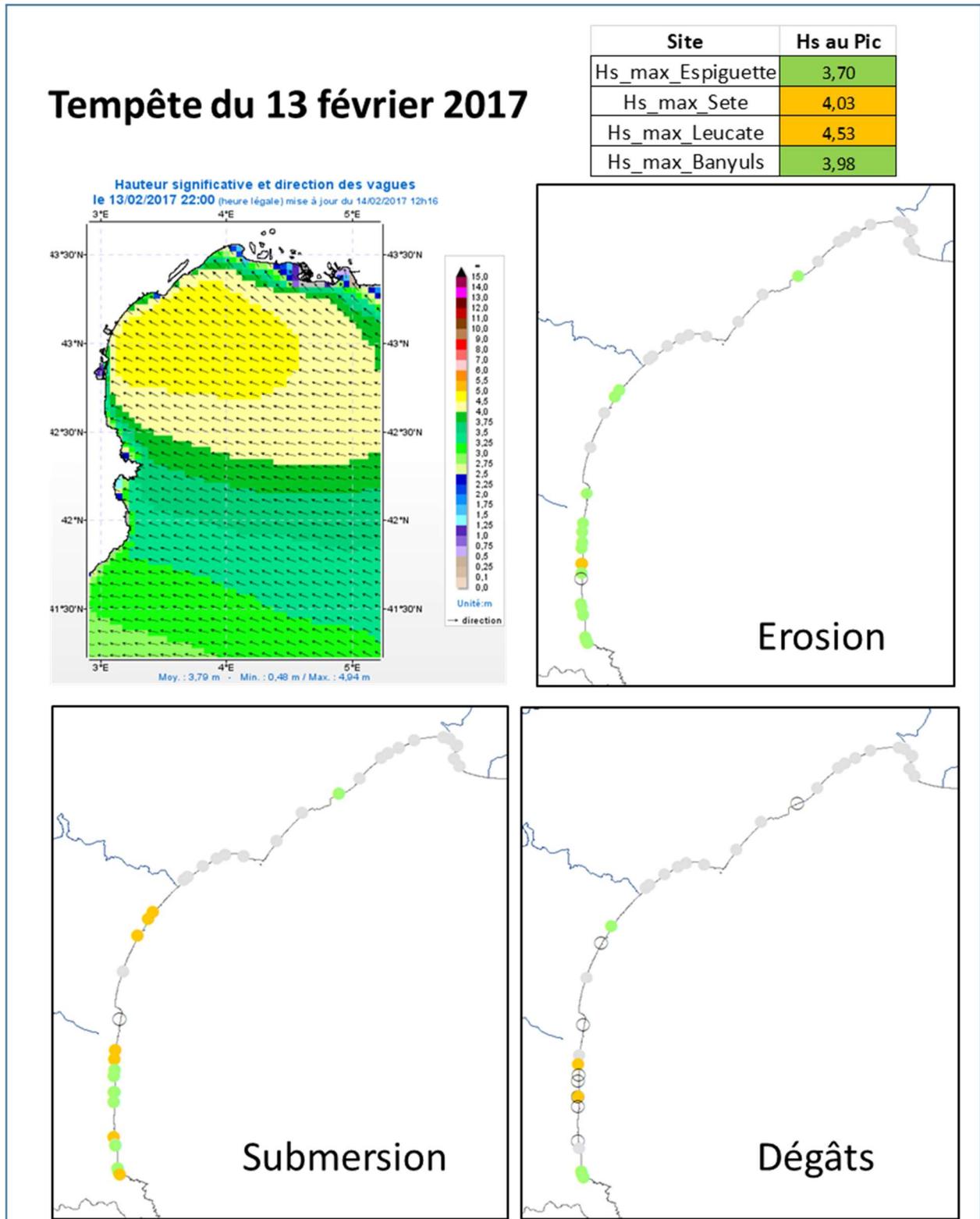


Illustration 25 - Cartographie des indicateurs Erosion, Submersion et Dégâts pour la tempête du 13 Février 2017.

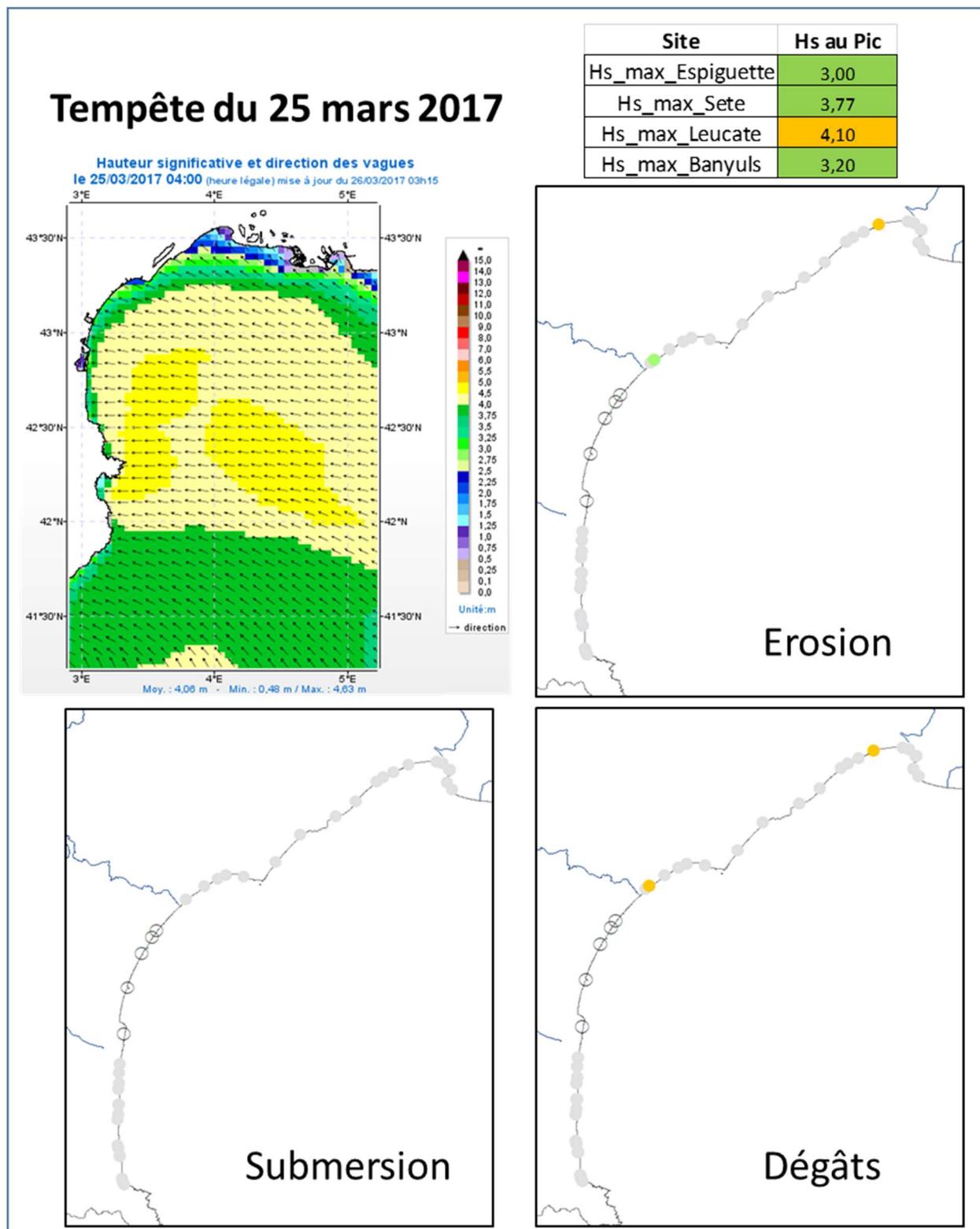


Illustration 26 - Cartographie des indicateurs Erosion, Submersion et Dégâts pour la tempête du 25 Mars 2017.

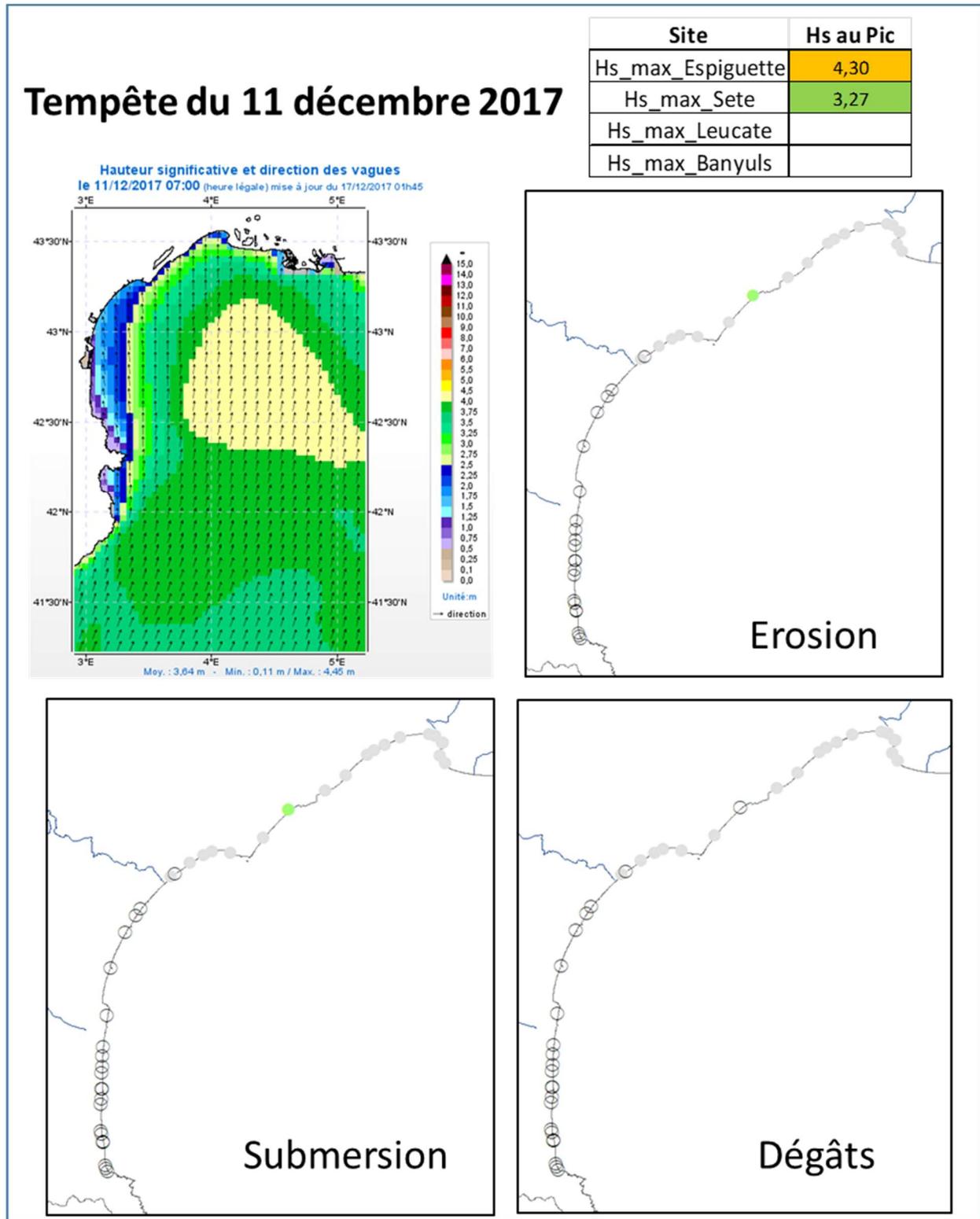


Illustration 27 - Cartographie des indicateurs Erosion, Submersion et Dégâts pour la tempête du 11 Dec 2017.

Tempête du 1 mars 2018

Site	Hs au Pic
Hs_max_Espiguette	4,20
Hs_max_Sete	5,70
Hs_max_Leucate	6,07
Hs_max_Banyuls	4,98

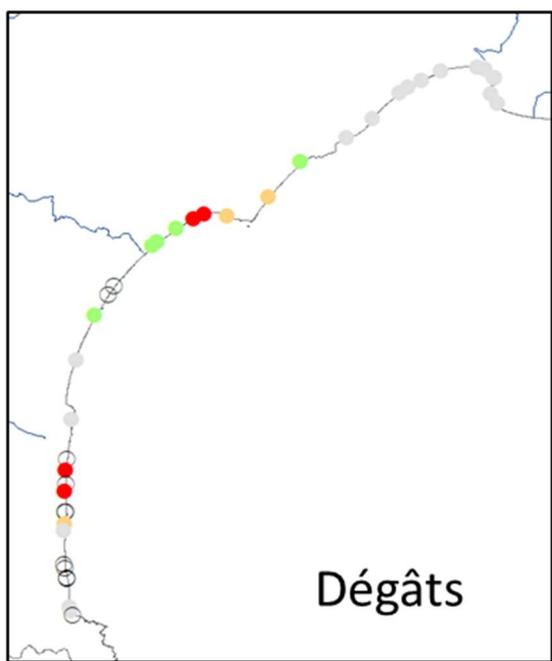
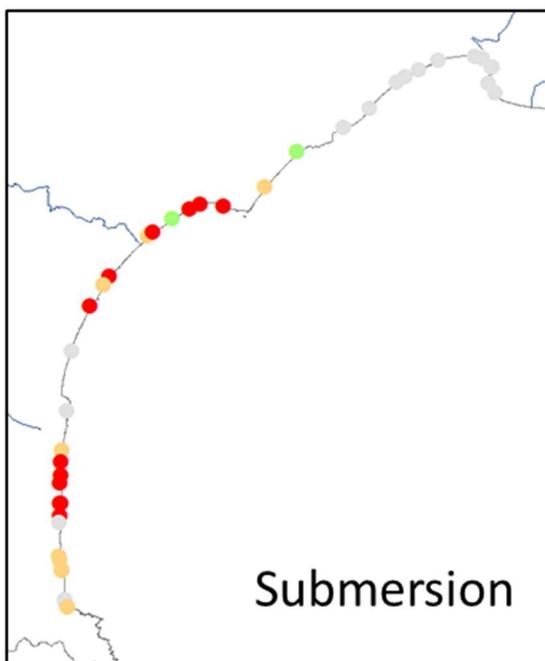
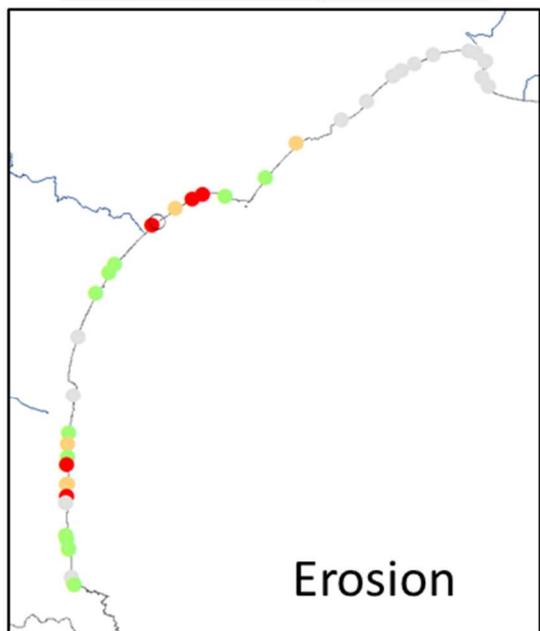
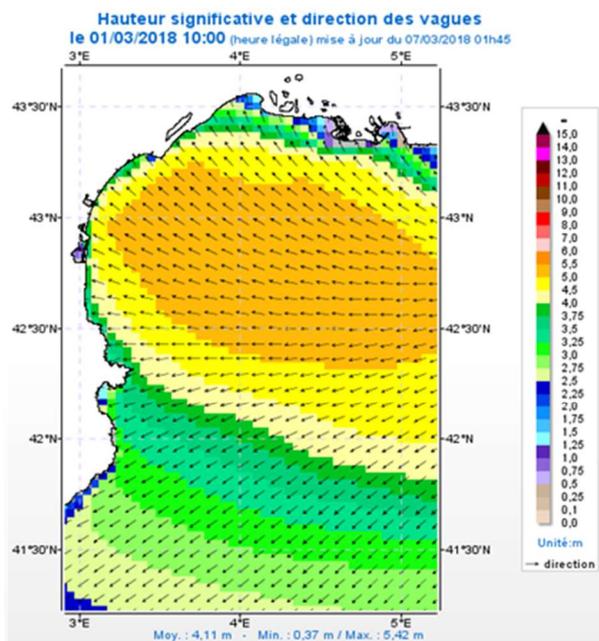


Illustration 28 - Cartographie des indicateurs Erosion, Submersion et Dégâts pour la tempête du 1 Mars 2018.

Tempête du 10 Octobre 2018

Site	Hs au Pic
Hs_max_Espiguette	3,80
Hs_max_Sete	4,67
Hs_max_Leucate	3,87
Hs_max_Banyuls	3,12

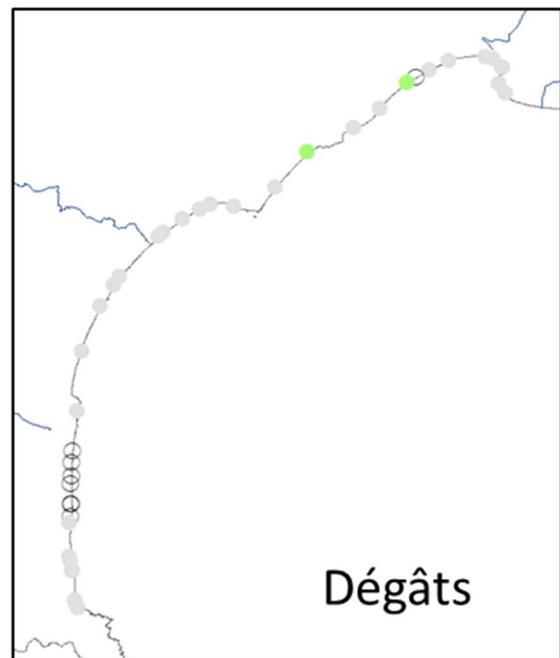
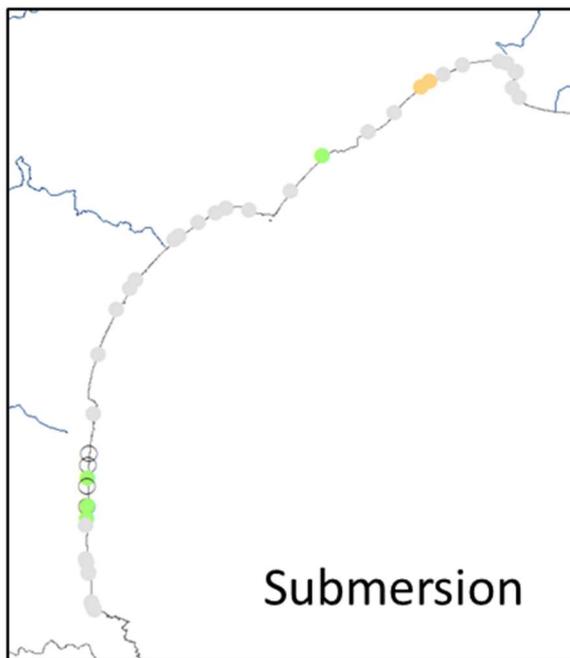
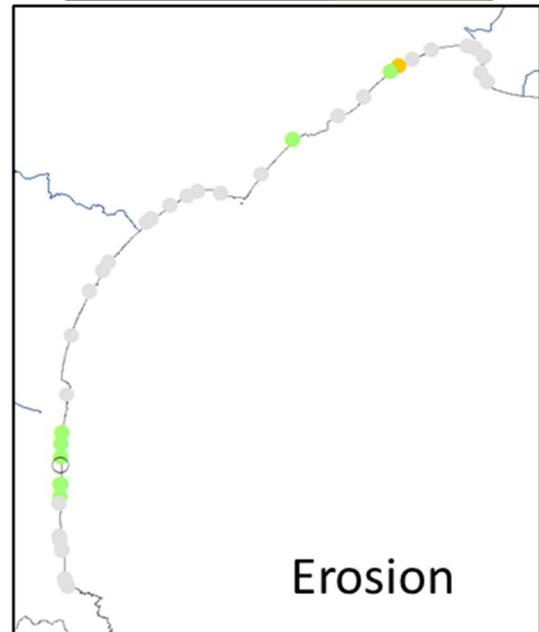
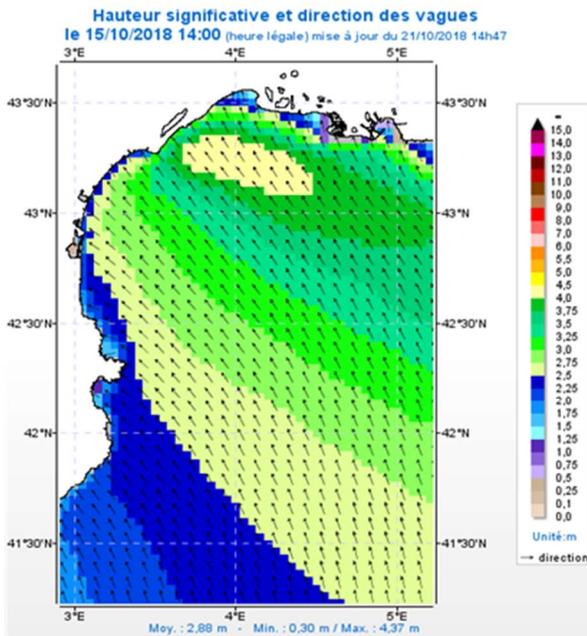


Illustration 29 - Cartographie des indicateurs Erosion, Submersion et Dégâts pour la tempête du 10 Oct 2018.

5. Tempête d'Octobre 2016

La tempête du 12 au 14 Octobre 2016, premier événement de l'hiver 2016-2017 a atteint le seuil 3 (Hs > 5 m) mobilisant les agents pour les observations de terrain.

Il s'agit d'une tempête de secteur Est ayant engendré une houle supérieure à 5 m de hauteur significative à Sète et Leucate et un niveau d'eau maximum de +0.9 m NGF à Sète et Port-La-Nouvelle (Illustration 30). Les vents d'Est ont soufflé en moyenne à 70km/h à Leucate bien que la pression soit restée globalement haute (> 1000 hPa).

Le détail des données météo-marines sont présentées le site internet littoral Occitanie⁴.

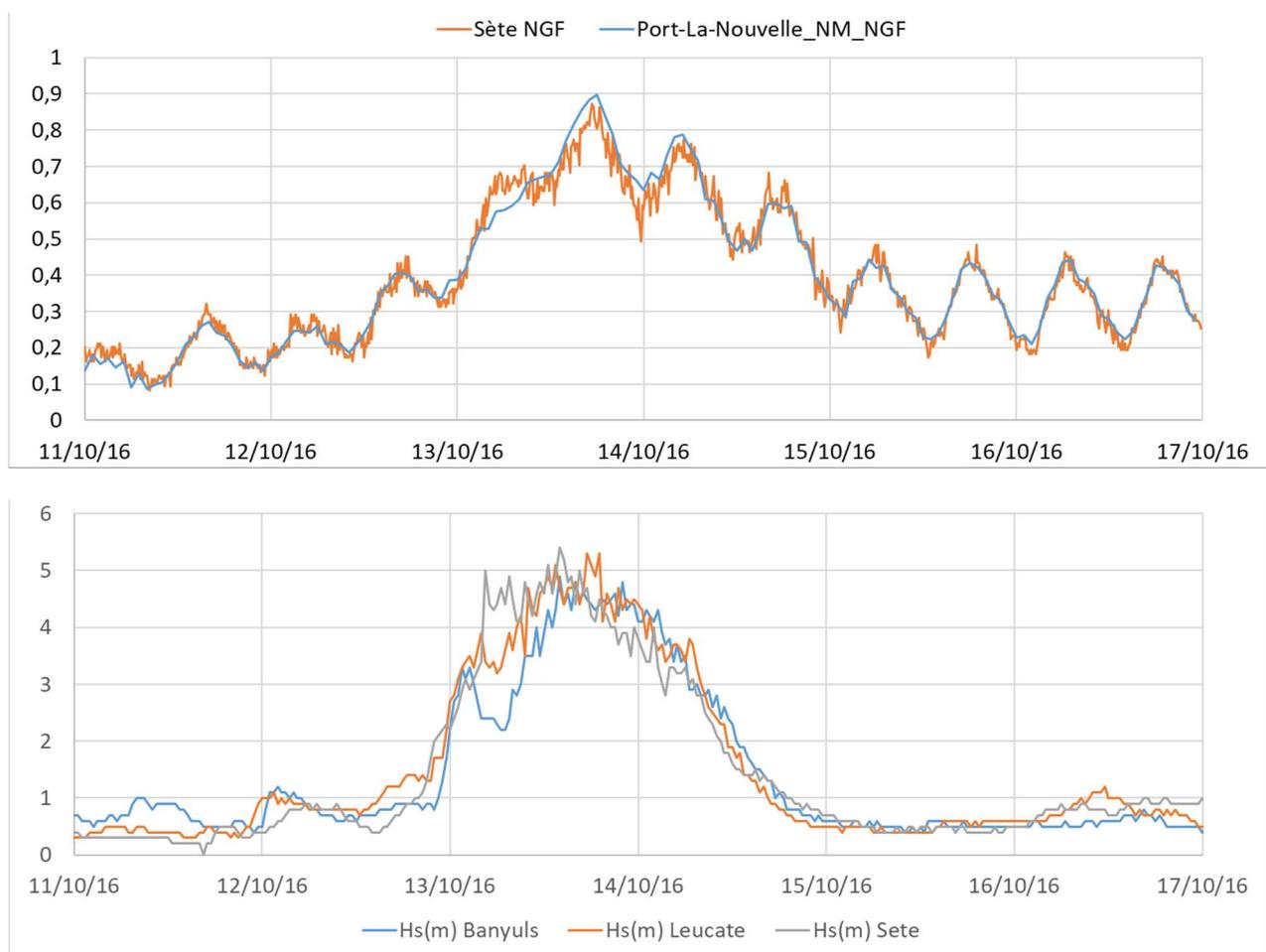


Illustration 30 – Caractéristiques de la tempête du 13 Oct 2016. En haut, niveau d'eau à Sète et Port-La-Nouvelle (NGF), en bas : Hauteur significative de la houle à Sète, Leucate et Banyuls.

Cette tempête a créé comme à l'accoutumée une bonne mobilisation du réseau et la création de 37 fiches d'observation sur l'ensemble des sites de Points Fixes ainsi que sur des sites complémentaires.

⁴ <http://fichetempete.brgm.fr/pages/tempete.jsf?tid=20081154>

Dans le Gard, aucune érosion n'a été constatée et la submersion s'est limitée à l'étendue de la plage, notamment à l'Espiguette sans franchissement plus en arrière (cf illustration 31).



Illustration 31 Inondation sur la plage de l'Espiguette (30)

Dans l'Hérault, l'érosion s'est caractérisée par un recul du parfois marqué du front dunaire (cf. illustration 32) et une perte d'épaisseur

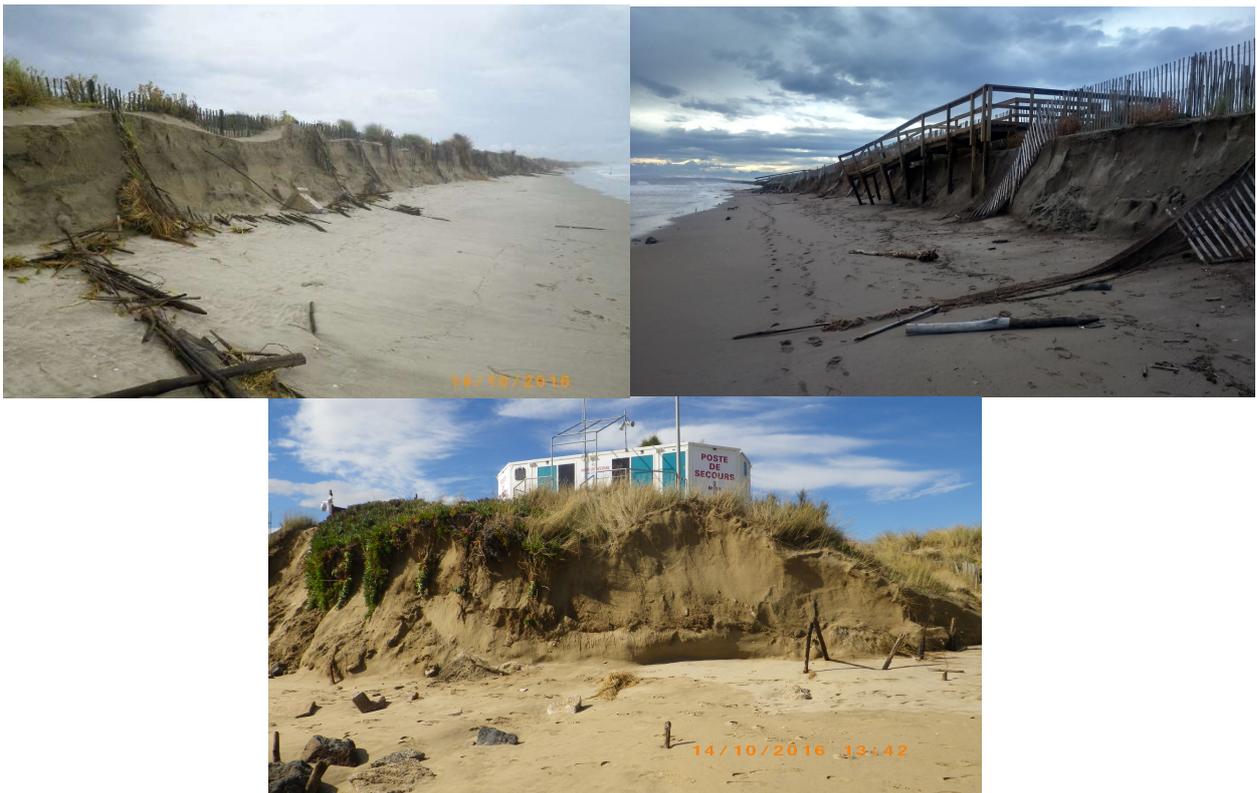


Illustration 32 – Erosion du front dunaire sur le Petit-Travers (Carnon, à gauche), à Vias (à droite) et à Marseillan (en bas).

La submersion s'est traduite par des franchissements sur les fronts de mer urbains (Carnon, Palavas les flots, Agde...).



Illustration 33 – Submersion marine à Agde (en haut à gauche) , Carnon (en haut à droite) et Vias (en bas à gauche) et Palavas (en bas à droite).

Les dégâts concernent essentiellement les ganivelles et les accès pour personnes à mobilités réduites à Carnon, Vias, Agde, ...) (Illustration 40).



Illustration 34 – Destructions des ganivelles et accès à Carnon (à gauche) et au Cap d'Agde (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 Narbonne-plage, Gruissan et Leucate (cf. illustration 35).

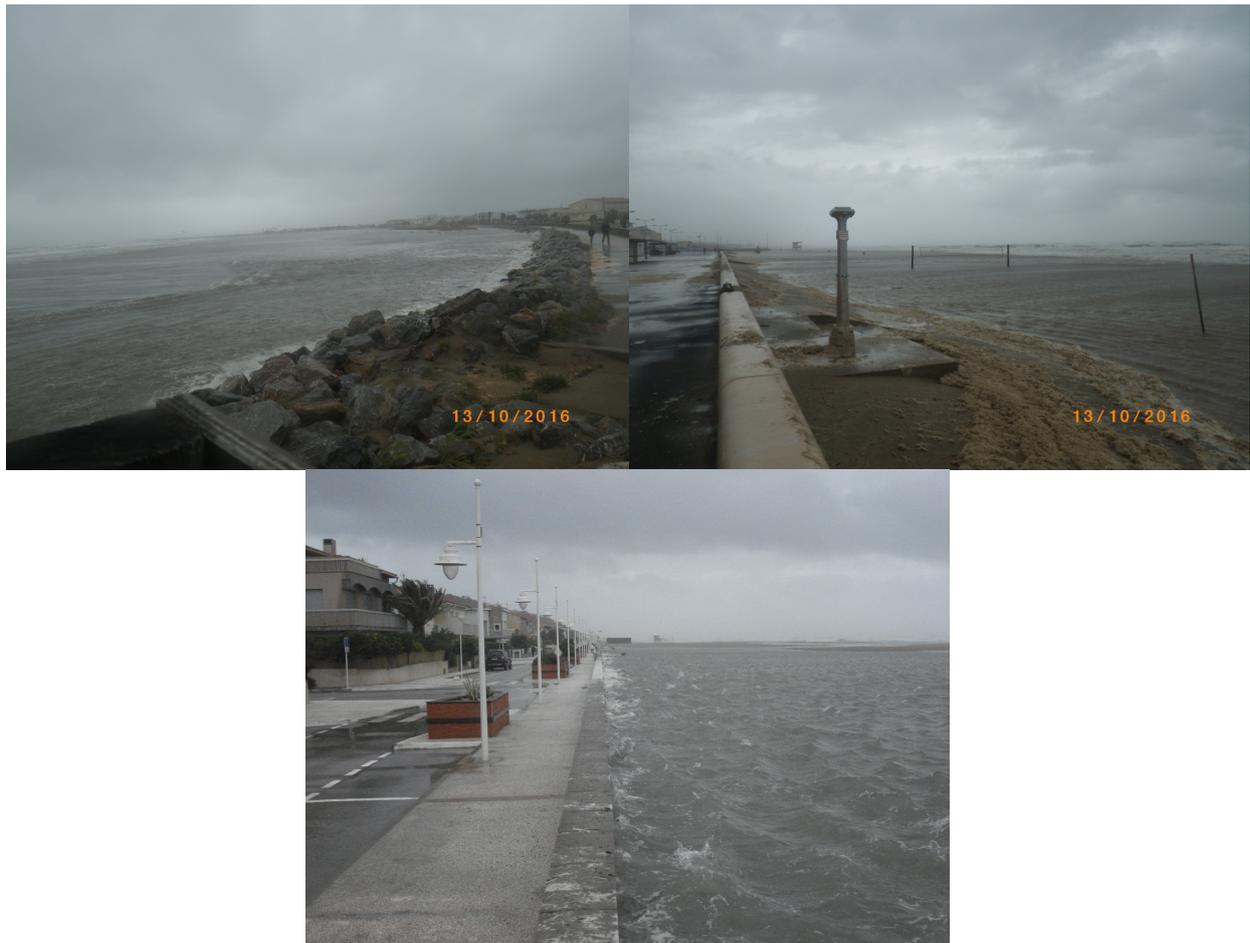


Illustration 35 – Submersions marines à Gruissan (à gauche), Narbonne-Plage (à droite) et Leucate (en bas).

Dans les Pyrénées Orientales, aucune remontée d'observation n'a été faite pendant cet événement, même si des impacts sont probables étant donnés les niveaux d'eau atteints à Leucate, et au Barcarès (Illustration 42).



Illustration 36 – Vagues de tempêtes au Barcarès le 13 Octobre 2016 (image Webcam OBSCAT).

6. Tempête de mars 2018

La tempête du 28 février au 3 mars 2018 a atteint le seuil 3 (Hs > 5 m) mobilisant les agents pour les observations de terrain.

Il s'agit d'une tempête de secteur Est ayant engendré une houle atteignant 6 m de hauteur significative à Sète et Leucate et un niveau d'eau maximum de près de +1.2 m NGF à Port-La-Nouvelle (cf. illustration 37). Les vents d'Est ont soufflé en moyenne à 110 km/h à Leucate avec une chute de la pression atmosphérique à 988 hPa (soit 37 cm de surcote barométrique).

Le détail des données météo-marines sont présentées le site internet littoral Occitanie⁵.

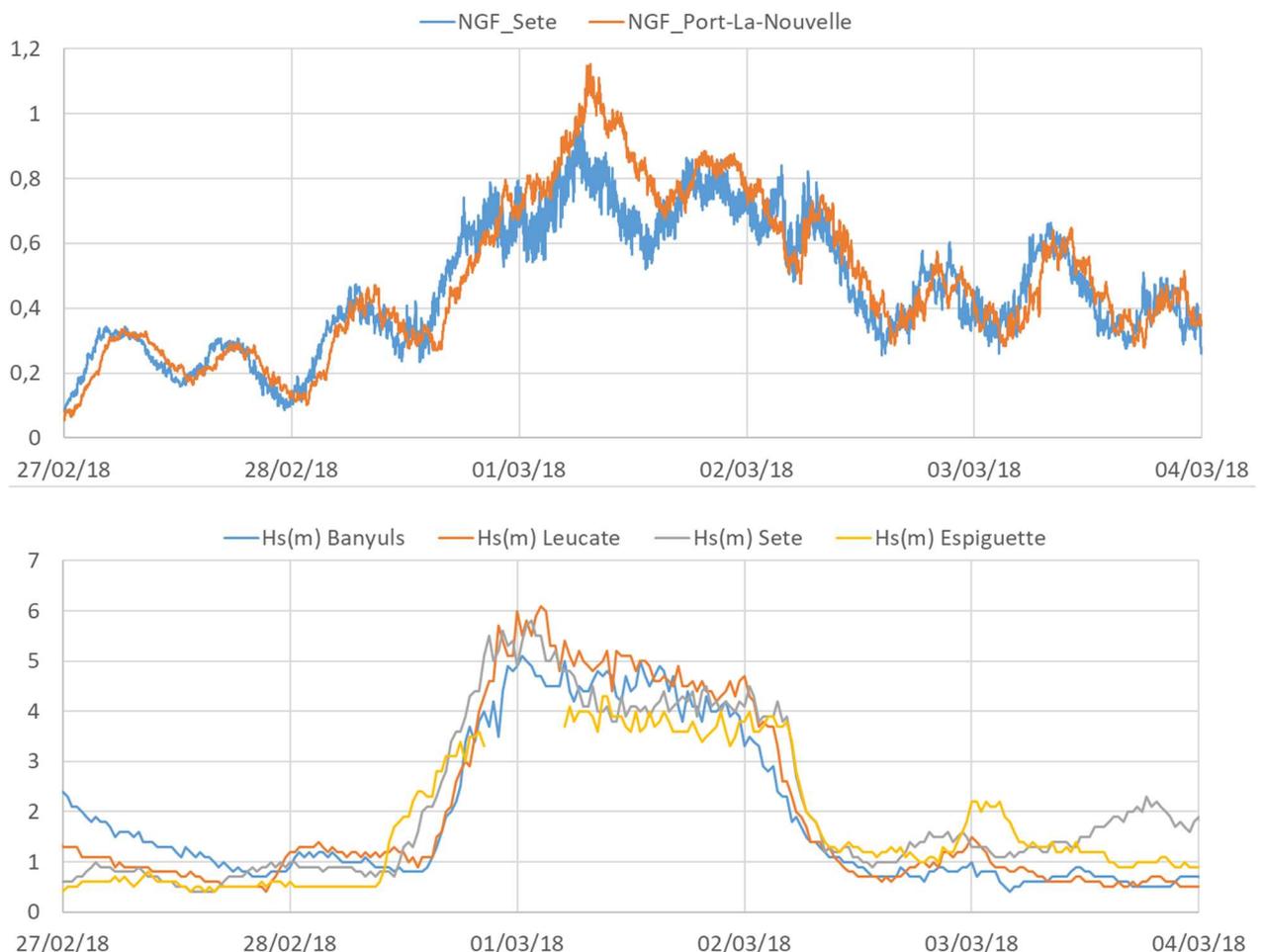


Illustration 37 – Caractéristiques de la tempête du 13 Oct 2016. En haut, niveau d'eau à Sète et Port-La-Nouvelle (NGF), en bas : Hauteur significative de la houle à Sète, Leucate et Banyuls.

Cette tempête a généré une bonne mobilisation du réseau et la création de 34 fiches d'observation sur l'ensemble des sites de Points Fixes ainsi que sur des sites complémentaires.

⁵ <http://fichetempete.brgm.fr/pages/tempete.jsf?tid=20081171>

Etant donnée la direction de la tempête (vagues d'Est à ESE), les impacts dans le Gard sont probablement limités. Néanmoins, aucune observation n'a été transmise sur la BD-Tempêtes suite à cet événement pour confirmer cette hypothèse.

Dans l'Hérault, l'érosion s'est caractérisée par un recul parfois important du front dunaire (cf. illustration 38) ou une perte d'épaisseur sur les plages.



Illustration 38 – Erosion du front de dune à Portiragnes

La submersion s'est traduite par des franchissements au niveau des accès de plages (cf. illustration 39).



Illustration 39 – Submersion marine à Vendres (à gauche) et à Vias (à droite)

Les dégâts les plus importants ont été observés sur la commune de Vias avec la destruction des accès à la plage (cf. illustration 40).



Illustration 40 – Destructions des accès à la plage à Vias (à gauche) et Agde Héliopolis (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 (cf. illustration 41).

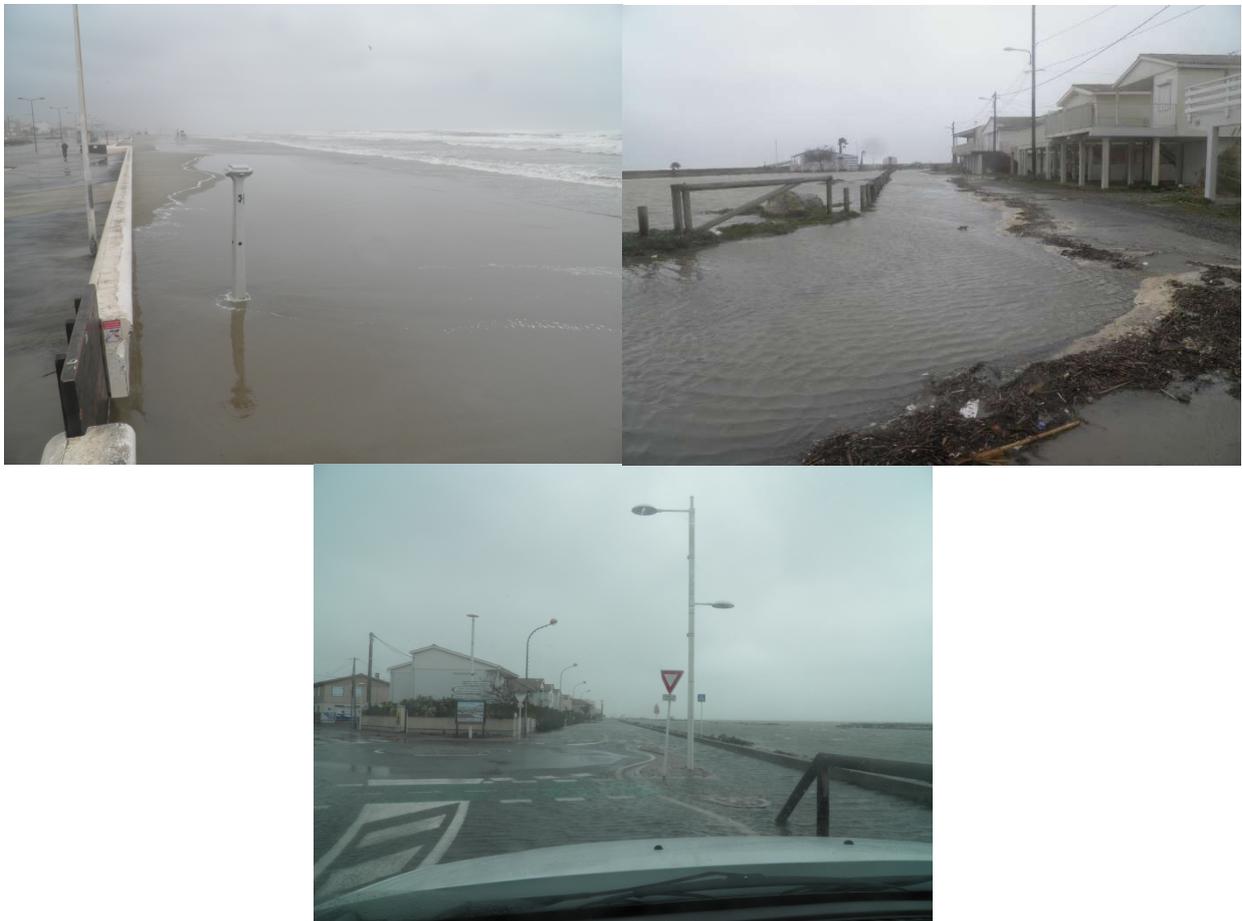


Illustration 41 – Submersions marines à Narbonne-Plage (à gauche) et Gruissan (à droite et en bas)

Dans les Pyrénées-Orientales, l'érosion a été localement forte avec un creusement important du cordon sableux, en particulier au Nord du port de Canet-en-Roussillon (Illustration 42). Les submersions ont également été localement importantes (Illustration 43) mais les dégâts sont restés globalement modérés à l'exception du balladoir du Barcarès (cf. illustration 42).



Illustration 42 – Erosion au Nord du port de Canet en Roussillon (en haut) et à Torrelles (en bas)

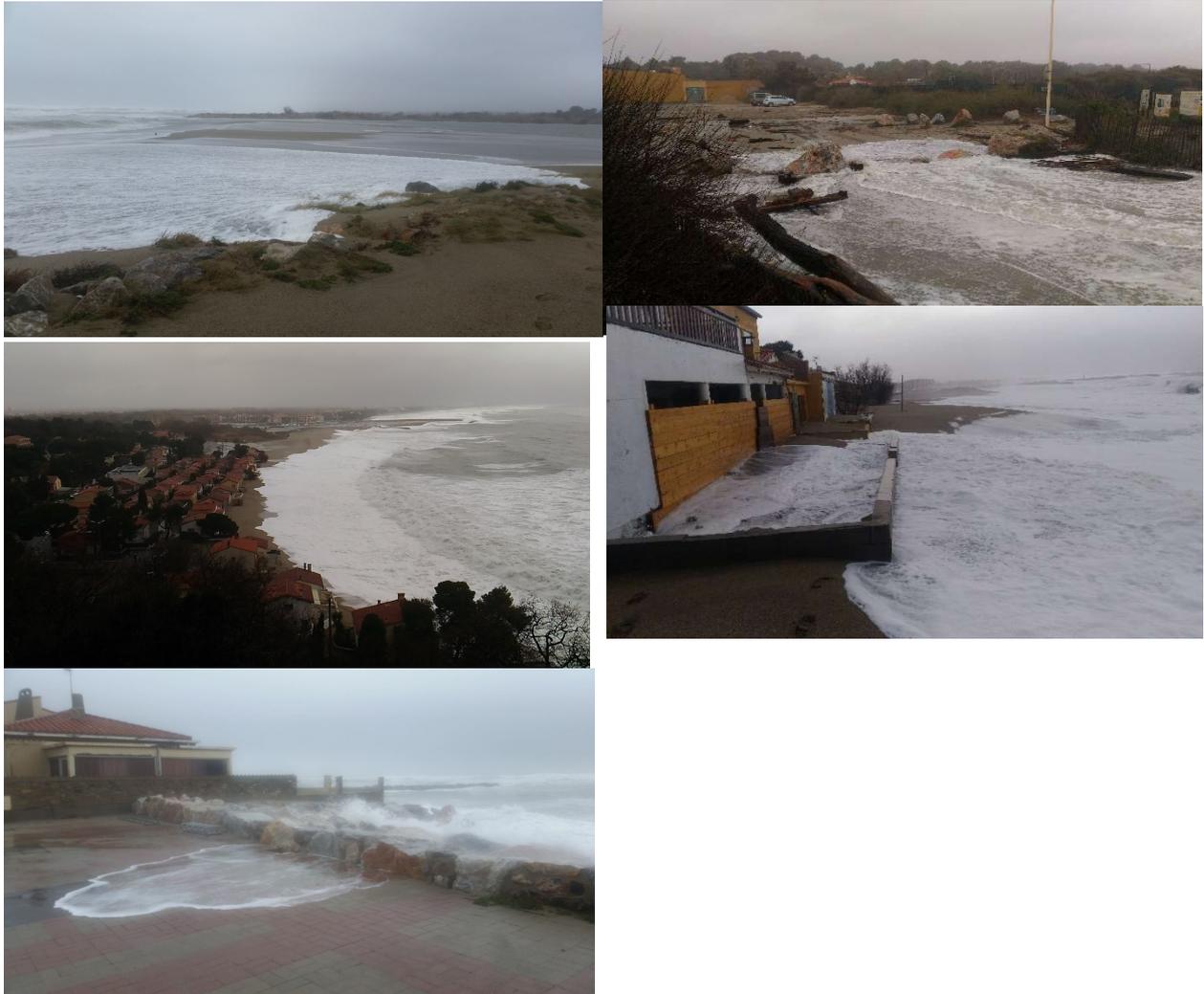


Illustration 43 – Submersions marines à l’embouchure de l’Agly (en haut à gauche), à Canet-Nord (en haut à droite) au Racou (au milieu) et à Sainte-Marie-Plage (en bas).



Illustration 44 – Destruction du muret du balladoit au Barcarès

Sur la côte rocheuse, les dégâts, notamment par projection de galets ont été importants (cf. illustration 45).



Illustration 45 – impacts par projection de galets à Banyuls (en haut) et Collioure (en bas).

7. Conclusion

Le réseau tempête est opérationnel depuis 2011. Les outils mis à disposition, qu'il s'agisse du protocole de remontée d'observation ou des modèles de prévision utilisés ont évolué au cours du temps.

Lors de l'année 2018-2019, plusieurs modifications ont été portées :

- modification des listes de mobilisation du réseau ;
- retour aux prévisions françaises Marc mieux validés sur le Golfe du Lion ;
- ouverture de l'application infoterre Tempêtes Occitanie ;
- modification de l'interface de consultation des observations sur le site www.littoral.occitanie.fr qui comporte désormais une interface cartographique localisant les observations et un outil de requête permettant de filtrer les tempêtes ou observations par commune, date, hauteur de vagues, ...

En termes de bilan d'activité du réseau, depuis 2011, il a été déclenché 73 fois, dont 14 fois pour une tempête de niveau 2 (houle significative supérieure à 4 m) et 3 fois pour une tempête de niveau 3 (houle significative supérieur à 5 m) en mars 2013 octobre 2016 et mars 2018. Cela correspond par conséquent à une moyenne de 2 mobilisations sur le terrain (seuils > 4 m) par hiver, ce qui reste raisonnable en terme de moyen à mettre en œuvre, tout en restant cohérent avec les impacts observés (qui sont souvent très limités en dessous de ce seuil).

L'analyse des données recensées dans la BD-Tempête met en évidence une très bonne mobilisation et remontée d'information pour les tempêtes majeures (niveau 3), mais une remontée partielle voire absente pour les tempêtes moins importantes. Pour des événements moyens (vagues de l'ordre de 4 m), ou pour des événements qui n'affectent qu'une petite partie du littoral régional, les remontées sont très partielles et ne permettent pas d'enrichir le retour d'expérience à l'échelle de la région Occitanie.

La formation des observateurs sur le terrain prévue début novembre 2019 sera l'occasion de rappeler aux observateurs que la remontée d'information est importante, même lorsqu'aucun impact n'est constaté pour pouvoir à terme anticiper les impacts en fonction des caractéristiques d'un événement prévu. Un protocole simplifié pourra être envisagé par la suite pour pouvoir renseigner une absence d'érosion/submersion/dégât de manière plus rapide afin de capitaliser cette information qui reste souvent non renseignée.

La cartographie des impacts recensés en terme d'érosion, submersion et dégâts montre une bonne cohérence des seuils morphogènes retenus avec des impacts moyens à forts observés pour le niveau 2 et des impacts forts pour le niveau 3.

Les tempêtes d'octobre 2016 et mars 2018 font partie des 3 tempêtes majeures ces 10 dernières années. Ces deux tempêtes de SE ont eu des impacts relativement similaires en terme d'érosion, malgré un niveau de vagues et de surcote plus élevés en mars 2018 ; Les franchissements ont été néanmoins plus fréquents en 2018.

Globalement, les dégâts causés par ces événements sont restés modérés, se limitant souvent à des destructions de ganivelles et d'accès des Personnes à Mobilité Réduite. Quelques ouvrages de protection ont malgré tout été endommagés pendant ces deux événements.

La finalisation des outils de capitalisation et visualisation est en cours et ils seront opérationnels pour l'hiver 2019-2020.

8. 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.

WAMDI Group (1988) The WAM Model—A Third Generation Ocean Wave Prediction Model. *Journal of Physical Oceanography*, 18, 1775-1810.



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique

3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009

45060 – Orléans Cedex 2 – France

Tél. : 02 38 64 34 34 - www.brgm.fr

BRGM Occitanie

1039, rue de Pinville

34000 Montpellier – France

Tél. : 04 67 15 79 80