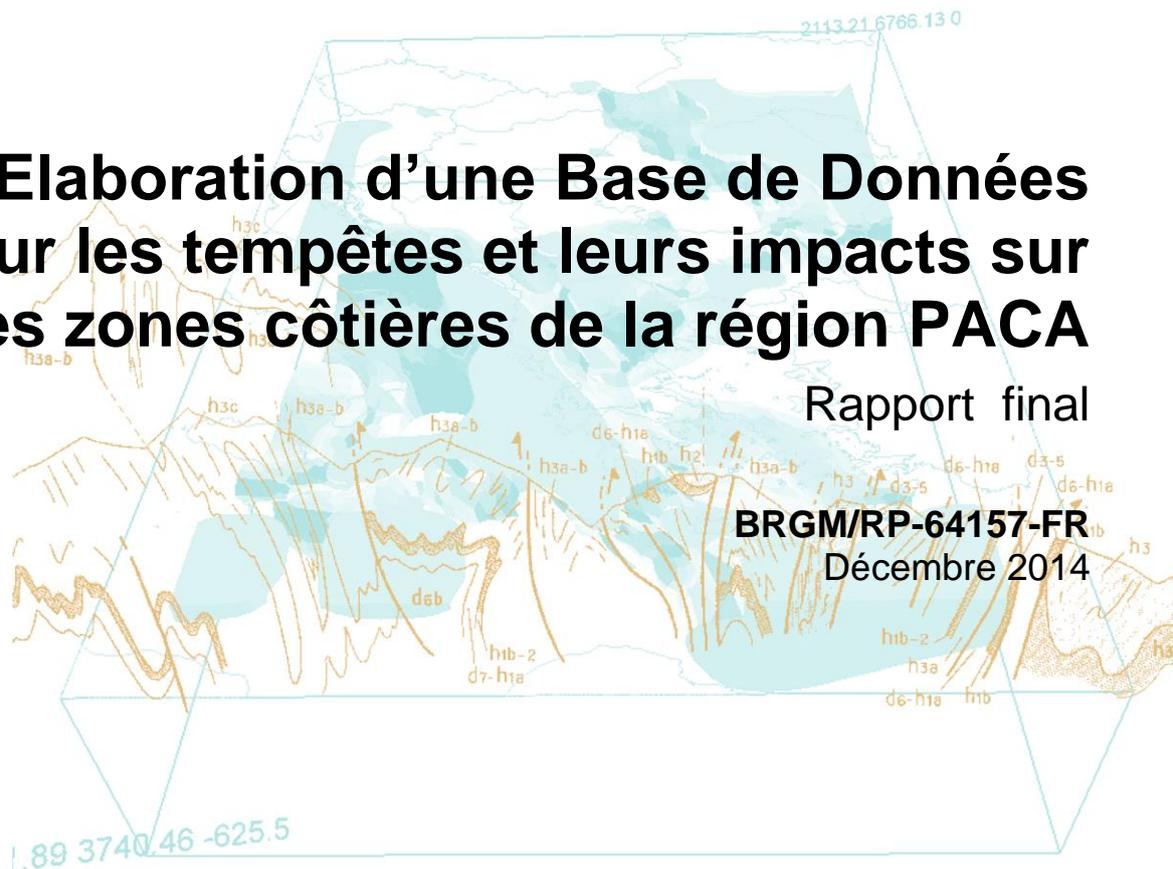




# Elaboration d'une Base de Données sur les tempêtes et leurs impacts sur les zones côtières de la région PACA

Rapport final

**BRGM/RP-64157-FR**  
Décembre 2014



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**



# Elaboration d'une Base de Données sur les tempêtes et leurs impacts sur les zones côtières de la région PACA

Rapport final  
BRGM/RP-64157-FR  
Décembre 2014

Étude réalisée dans le cadre des opérations de Service public du BRGM 13RIS2427

**A.STEPANIAN, C. MIRGON**  
Avec la collaboration de  
P. CASITILLO

**Vérificateur :**

Nom : M. Garcin  
Fonction :  
Date : 21 Avril 2015

**Approbateur :**

Nom : C. Arnal  
Fonction : Directrice régionale PACA  
Date : 10 mai 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** : tempête, PACA, littoral, risques côtiers, submersion marine, base de données

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

**Stépanian A. Mirgon C., et Castillo P.** (2014) – Elaboration d'une Base de Données sur les tempêtes et leurs impacts sur les zones côtières de la région PACA. Rapport final. BRGM/RP-64157-FR, 69 p., 40 ill., 1 CD.

## Synthèse

L'objectif de ce travail réalisé par le BRGM en partenariat avec la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement en région Provence-Alpes-Côte d'Azur, est de produire un inventaire des tempêtes majeures qui ont affecté le littoral régional et d'en constituer une base de données. Il s'agit de rassembler les informations recueillies sur l'historique des grandes tempêtes pour faciliter les opérations de Porté à Connaissance, l'élaboration des plans de prévention des risques (PPR littoraux) et apporter une aide à l'évaluation des demandes de classement en Catastrophe Naturelle, suite à des intempéries. En effet, la compilation de toutes ces informations participe à une meilleure évaluation des aléas érosion côtière et submersion marine, à travers la mise en perspective historique des événements de tempête récents. Ce travail peut également participer à la caractérisation des zones soumises à un aléa submersion marine dans le cadre de la mise en œuvre de la Directive Inondation, en apportant des éléments de comparaison avec les cartes produites.

La construction de l'inventaire s'est faite en priorisant certaines données, en particulier les arrêtés de Catastrophe Naturelle qui permettent d'identifier les tempêtes récentes majeures (1982, 1997, 2008, 2011), la liste des événements marquants de Météo France, et une recherche bibliographique importante, en particulier des coupures de presse des quotidiens régionaux qui constituent la meilleure source d'informations sur les dégâts occasionnés par ces événements passés. Des recoupements entre ces différentes sources ont amené à l'identification de nouveaux événements. Les informations recueillies se focalisent sur les caractéristiques des événements (conditions de vents, vagues), mais aussi sur leurs impacts, en termes de surcote, de submersion marine et de recul du trait de côte, et de dommages occasionnés aux infrastructures littorales (route, ouvrages, ports,...).

Cet inventaire d'informations géolocalisées apporte ainsi une estimation de l'exposition du littoral de la région PACA face à ces phénomènes. Ainsi, il apparaît que, les événements occasionnant des dégâts très importants sur le littoral provençal sont fréquents à l'échelle du XXème siècle, et que L'inventaire contient à ce jour 118 événements depuis 1694, 107 depuis 1900 et 58 sur la période 2000-2014. La surreprésentation des événements récents par rapport aux plus anciens est principalement due à la diversité des sources de données et à leur plus grande disponibilité dans la période récente. Certains événements historiques sont particulièrement violents (1906, 1947, 1982, 1997) en fonction des secteurs du littoral. Si les processus liés à la submersion (débordement, franchissement) sont bien documentés, il n'en est pas de même des impacts des vagues en termes d'érosion des plages et de recul du trait de côte liés aux coups de mer. Celui-ci reste rarement quantifié, tant qu'il n'y a pas de démarches de mesures topographiques systématiques après les coups de mer.

Les informations sont structurées dans une base de données, au format Access, dont les champs correspondent à la base de données Tempêtes, mise en œuvre depuis 2011 dans la région Languedoc-Roussillon, afin d'homogénéiser les démarches à l'échelle de la façade du bassin Rhône-Méditerranée. L'exemple du Réseau de surveillance des tempêtes en région LR est également détaillé.



# Sommaire

<b>1. Introduction .....</b>	<b>9</b>
<b>2. Les tempêtes .....</b>	<b>11</b>
2.1. INVENTAIRES EXISTANTS .....	11
2.2. MESURE ET DEFINITION DU PHENOMENE DE TEMPETE MARINE .....	13
2.3. CONSEQUENCES DES TEMPETES SUR LES MILIEUX LITTORAUX .....	16
2.3.1. Processus physiques .....	16
2.3.2. Aléas et risques côtiers liés aux tempêtes .....	17
2.3.3. Typologie des dommages .....	18
2.4. LES TEMPETES EN MEDITERRANEE OCCIDENTALE .....	19
2.4.1. Les tempêtes de Sud-Est.....	20
2.4.2. Les tempêtes d'Est .....	21
2.4.3. Tempêtes liées à des épisodes cévenols.....	21
2.4.4. Impacts morphologiques sur les secteurs sableux liés aux tempêtes.....	22
2.4.5. Impacts socio-économiques.....	25
<b>3. Méthode et données utilisées.....</b>	<b>31</b>
3.1. PRINCIPE DE LA RECHERCHE DOCUMENTAIRE .....	31
3.2. SOURCE DE DONNEES .....	31
3.2.1. Base de données des évènements marquants Météo-France .....	31
3.2.2. Arrêtés de catastrophe naturelle .....	32
3.2.3. Revue de presse.....	33
3.2.4. Exploitation des travaux de recherche et autres documents .....	34
3.2.5. Services de l'Etat .....	34
3.2.6. Collectivités locales.....	35
3.3. CREATION DE LA BASE DE DONNEES TEMPETE .....	35
<b>4. Inventaire des évènements de tempêtes en région PACA .....</b>	<b>37</b>
4.1. LISTE DES EVENEMENTS .....	37
4.2. EXEMPLES D'INFORMATIONS RASSEMBLEES .....	40
4.2.1. Tempête de 1906.....	40
4.2.2. Tempête du 6 janvier 1920 .....	41
4.2.3. Tempête du 2 mars 1925 .....	43
4.2.4. Tempête du 25 septembre 1947 .....	44
4.2.5. Tempête de novembre 1982 .....	45

4.2.6. Tempête du 25 février 1989.....	46
4.2.7. Tempête du 16-17 décembre 1997.....	47
<b>5. La base de données tempêtes .....</b>	<b>49</b>
5.1. LE RESEAU TEMPETE EN LANGUEDOC-ROUSSILLON.....	49
5.1.1. Historique .....	49
5.1.2. Base de données tempête en région Languedoc-Roussillon .....	52
5.2. LA BASE DE DONNEES BD TEMPETE PACA.....	56
5.2.1. Modèle de données.....	56
5.2.2. Interface de saisie .....	57
5.2.3. Caractéristiques de la base .....	58
5.2.4. Editions d'états de consultation .....	59
5.2.5. Exemples de restitutions cartographiques .....	59
<b>6. Conclusions .....</b>	<b>65</b>
<b>7. Bibliographie.....</b>	<b>67</b>

## Liste des illustrations

Illustration 1 - Erosion majeure au droit de l'immeuble Le Signal, séparé du haut de falaise par 15 mètres de dune, suite aux tempêtes de décembre 2013 et janvier 2014 (Soulac-sur-Mer, Aquitaine, 7 janvier 2014). © BRGM .....	12
Illustration 2 - Echelle de Beaufort (1805). .....	14
Illustration 3 - Méthode de détermination du début, du pic et de la fin de tempête (CETMEF, 2013) .....	15
Illustration 4 - Campagnes de mesures des états de mer au large du littoral de la région PACA (CETMEF, 2012). .....	15
Illustration 5 - Processus physiques en action lors d'une tempête : agitation et surélévation du plan d'eau (source : BRGM) .....	17
Illustration 6 - Tableau récapitulatif des différents types de tempêtes en Méditerranée occidentale et dans le Golfe du Lion (Tirard, 2010). .....	20
Illustration 7 - Situation météorologique du 07 novembre 1982 (source : <a href="http://www.wetterzentrale.de">www.wetterzentrale.de</a> ).....	20
Illustration 8 - Situation météorologique du 26/12/2008 (source : <a href="http://www.wetterzentrale.de">www.wetterzentrale.de</a> ).....	21
Illustration 9 - Conditions météorologiques lors d'épisodes cévenols sur le Languedoc-Roussillon (source : Météo France).....	22
Illustration 10 – Recul historique du rivage en Petite Camargue,(Arles) (trait de côte 1947 en rouge ; trait de côte 2005 en noir). Les flèches noires représentent les dépôts d'overwash dans les étangs. La distance entre deux épis est de 200 m (Fond IGN BD-ORHO, 2003, in Sabatier et al., 2008). .....	23
Illustration 11 - Caractéristiques morphodynamiques des impacts liés aux tempêtes (source : Sallenger, 2000). .....	24
Illustration 12 – Vue oblique des barres d'avant-côte en croissants le long de la plage de Pampelonne (source : Observatoire Marin, Communauté de Communes du golfe de	

Saint-Tropez, 02/08/2011). La plage présente un régime de double barre en croissants, avec une barre très proche de la plage et une seconde plus au large. ....	25
Illustration 13 - Coup de mer du 6 novembre 2011 à Antibes (Source : DDTM06) .....	26
Illustration 14 – Ensablement du restaurant et de la route à Villeneuve-Loubet – coup de mer du 6 novembre 2011 (Source : DDTM 06).....	26
Illustration 15 - Projection de galets sur la route d’Antibes à Villeneuve-Loubet (source : DDTM 06) .....	27
Illustration 16 - Projection de galets à l’intérieur d’un restaurant de plage à Villeneuve-Loubet (source DDTM 06) .....	27
Illustration 17 - Débris (bois flottés) sur la route de la Siesta entraînant la coupure de la route le 5 novembre 2011 (source DDTM06). ....	28
Illustration 18 - Franchissement de paquets de mer au droit de la plage de Bona, commune d’Hyères-les-Palmiers (source : Mairie d’Hyères) .....	29
Illustration 19 - Franchissement de paquets de mer et projection de galets sur la promenade des Anglais à Nice le 5 mai 2010 (source inconnue) .....	29
Illustration 20 - Submersion marine liée au tsunami sur la plage de Piemanson dans la nuit du 5 au 6 août 1985, commune d’Arles (Le Provençal, 7/08/1985) .....	33
Illustration 21 - Sources des informations .....	33
Illustration 22 - Liste des évènements de tempête synthétisés dans la base de données BD Tempête en région PACA .....	39
Illustration 23 - Coupure de presse du Petit Niçois (2/11/1906).....	40
Illustration 24 - Coupure de presse du Petit Niçois (7/01/1920).....	41
Illustration 25 - Coupure de presse du Petit Var (7/01/1920).....	42
Illustration 26 - Extrait du Petit Var du 4 mars 1925.....	43
Illustration 27 - Extrait du Provençal du 27 septembre 1947 .....	44
Illustration 28 - Extrait du Petit Varois du 27 septembre 1947 .....	44
Illustration 29 - Extrait du Provençal du 7/11/1982 .....	45
Illustration 30 - Nice-Matin du lundi 27 février 1989.....	46
Illustration 31 - Var Matin le 17 décembre 1997.....	47
Illustration 32 – Exemples d’écran de l’application de saisie .....	53
Illustration 33 – Extrait de la liste de tempête accessible sur le site internet .....	54
Illustration 34 - Modèle de données BD Tempête Languedoc-Roussillon .....	55
Illustration 35 - Modèle de données de la base BD Access empête PACA.....	56
Illustration 36 - Interface de saisie pour créer/sélectionner une fiche (évènement).....	57
Illustration 37 - Renseignement de la fiche (actions sur les données d’un thème : modifier/crée/supprimer) .....	58
Illustration 38 - Exemple d’états de consultation de la base de données (fiche du 03/03/2010) .....	59
Illustration 39 - Points d’informations/observations dans la base de données tempête PACA .....	60
Illustration 40 - Répartition des décès liés à la tempête, inclus les décès dû à des naufrages (champ booléen : oui/non, géolocalisation à la commune) .....	61



# 1. Introduction

Dans un contexte de réchauffement climatique global à l'origine d'une accélération de la remontée du niveau marin, les risques côtiers deviennent une préoccupation de première importance en région Provence-Alpes-Côte d'Azur, où 80% de la population vit aux abords proches du littoral. La forte occupation des zones littorales et la pression touristique impliquent l'exposition de nombreux enjeux aux aléas côtiers.

Les tempêtes dans les années récentes (hiver 2008, 2009, 2010, mai 2010, novembre 2011, par exemple) ont montré la vulnérabilité des biens et des personnes sur le littoral régional. Celui-ci souffre par ailleurs d'un manque de recul par rapport aux connaissances sur ces phénomènes en termes de degré d'exposition, d'impacts associés, de probabilité d'occurrence et d'évolution prévisible dans le contexte global de réchauffement climatique et d'augmentation du niveau moyen de la mer.

Il est opportun de mettre en place une démarche d'acquisition de connaissances sur ces phénomènes à travers des méthodes d'observation et de prévision appropriées. Il apparaît, avant tout, particulièrement important de capitaliser les informations existantes dans les services déconcentrés de l'Etat et les collectivités locales sur les tempêtes.

Un tel inventaire, inédit à l'échelle de la région PACA, permet d'apporter des éléments de connaissance sur :

- Les types de réponses morphologiques des littoraux lors de ces événements ;
- la vulnérabilité du littoral et la typologie des impacts des tempêtes ;
- les effets des conditions locales (morphologie, géologie, sédimentologie, aménagements, ...) sur les processus physiques ;
- les seuils hydrodynamiques à partir desquels les modifications du littoral deviennent irréversibles ;
- l'impact de la séquence temporelle des tempêtes sur l'évolution du littoral et les infrastructures.

Il apporte ainsi une estimation de la vulnérabilité du littoral de la région PACA face à ces phénomènes. L'ensemble des résultats est également utile à une meilleure évaluation des aléas érosion côtière et submersion marine. Il peut être profitable à des opérations de Porté à Connaissance, à l'élaboration des plans de prévention des risques (PPR littoraux), et également une aide ciblée pour l'évaluation des demandes de classement en Catastrophe Naturelle, suite à des intempéries. Il peut également participer à la caractérisation des zones soumises à un aléa submersion marine dans le cadre de la mise en œuvre de la Directive Inondation, en apportant des éléments de comparaison avec les cartographies produites. Enfin, la perception par la population de la fréquence et de l'intensité des tempêtes sur le littoral régional est aussi en train de changer et la population, comme les élus, sont plus sensibilisés à ces aléas.

C'est dans ce cadre que le BRGM et la DREAL PACA ont décidé de réaliser un inventaire des tempêtes rassemblant les caractéristiques et impacts de celles-ci. L'objectif principal de cette étude est de porter à la connaissance des communes, et des acteurs publics, l'historique des grandes tempêtes qui ont affecté le littoral régional afin de leur fournir un support de travail utile à l'aménagement du territoire.

La construction de l'inventaire s'est faite en priorisant certaines données, en particulier les arrêtés de Catastrophe Naturelle qui permettent d'identifier les tempêtes récentes majeures : 1982, 1997, 2008, 2011, par exemple, la liste des événements marquants de Météo France, et une recherche bibliographique importante, en particulier des coupures de presse des quotidiens régionaux qui constituent la meilleure source d'informations sur les dégâts occasionnés par ces événements passés. Des recoupements entre ces différentes sources ont amené à l'identification de nouveaux événements.

Les informations recueillies se focalisent sur les caractéristiques des événements (conditions de vents, vagues), mais aussi sur leurs impacts, en termes de surcote, de submersion marine, de recul du trait de côte et de dommages occasionnés aux infrastructures littorales (route, ouvrages, ports,...).

Les informations sont structurées dans une base de données, au format Access. Les champs correspondent à la base de données Tempêtes, mise en œuvre depuis 2011 dans le Languedoc-Roussillon, par le BRGM et les partenaires institutionnels membres, afin d'homogénéiser les démarches à l'échelle de la façade du bassin Rhône-Méditerranée.

Ce rapport présente les démarches réalisées dans le cadre de ce travail d'inventaire. Il est composé des parties suivantes :

- un rappel théorique sur les caractéristiques des tempêtes et les dégâts occasionnés ;
- une description de la méthode mise en œuvre lors de la phase de recherches bibliographiques avec les différentes sources documentaires et les organismes sollicités pour partager leurs connaissances sur le sujet ;
- l'inventaire des phénomènes proprement dit avec quelques focus sur les événements marquants qui ont affecté le littoral ;
- une description de la base de données générée.

## 2. Les tempêtes

Les tempêtes sont parmi les aléas météorologiques les plus dévastateurs, causes de pertes importantes en biens matériels mais également en vies humaines. Bien que ces phénomènes de vents violents soient sensiblement moins dévastateurs en région tempérée qu'en zone tropicale, ils n'en demeurent pas moins un risque naturel majeur : chaque année les dommages causés par les tempêtes en Europe s'élèvent à plusieurs dizaines de morts et des centaines de millions d'euros de dégâts (MEDD, 2002).

L'ampleur des dégâts s'explique d'une part par la superficie couverte par le phénomène et son intensité et d'autre part, par des difficultés de prévision de son intensité et d'information préventive aux populations. Leurs impacts sur les zones littorales participent à l'augmentation des risques liés à la mer, tel que l'érosion sur les côtes sableuses et rocheuses, et les submersions marines des zones basses.

### 2.1. INVENTAIRES EXISTANTS

Depuis le début des années 2000, le territoire métropolitain a été touché à plusieurs reprises par des événements de tempêtes catastrophiques en termes de dégâts humains et/ou matériels :

- Ainsi, fin 1999, deux tempêtes d'origine tropicale, Lothar et Martin, traversent l'Atlantique et balaient successivement la France, sur une ligne Brest-Strasbourg le 26 décembre (Lothar), et Nantes-Lyon les 27 et 28 décembre (Martin). Les vents dépassent 200 km/h (maximum mesuré en rafales : 259 km/h). Les dégâts sont énormes et se chiffrent à 6,9 Milliards d'euros. L'impact sur le littoral atlantique et sur celui de la Manche est relativement limité du fait que le passage des dépressions n'a pas coïncidé avec la marée haute. Une submersion marine critique s'est cependant produite au niveau de la centrale nucléaire du Blayais sur l'estuaire de la Gironde, qui a dû être stoppée en urgence, en raison du franchissement des digues de protection par les vagues (Salomon, 2002). En Corse, les dégâts sont essentiellement concentrés sur la côte occidentale.
- Le 10 mars 2008, la tempête Johanna atteint le Nord-Ouest de la France (Pays de la Loire, Bretagne, Basse-Normandie). Les vitesses maximales de vents sont de 156 km/h à la Pointe du Raz. Les dégâts sont importants sur les zones littorales avec par exemple une submersion marine à Morlaix, en raison de la conjonction de la tempête avec une marée de fort coefficient.
- La tempête, baptisée « Klaus » a balayé le Sud-Ouest de la France le 23 et 24 janvier 2009, en générant des vents qui ont dépassé 170 km/h sur la quasi-totalité du territoire aquitain. Les dégâts matériels importants concernent essentiellement les forêts landaises. Le littoral de la Côte Aquitaine n'a pas été épargné, avec des reculs importants du trait de côte, une érosion des falaises des cordons dunaires, des amaigrissements spectaculaires des niveaux des plages, des transports éoliens importants en arrière des dunes, et un évènement de submersion marine au fond du Bassin d'Arcachon (Favennec *et al.*, 2009).
- Le 28 février 2010, la tempête Xynthia ravage la côte atlantique depuis les Landes jusqu'au Sud de la Bretagne. Cette tempête est due, selon Météo France, à une dépression provenant des basses latitudes au dessus de l'Atlantique qui s'est intensifiée progressivement lors de son passage au niveau de l'île de Madère puis des côtes portugaises. Elle a atteint les côtes françaises dans la nuit du 27 au 28 février avant de poursuivre sa route en direction du Nord-Est. Les départements de Charente-Maritime,

Vendée et Loire Atlantique sont particulièrement touchés par des vents violents, qui coïncident avec une marée haute dans une période de très forts coefficient de marée (102). Les dégâts matériels sont très importants, mais surtout le coût humain est de 53 victimes, pour la plupart en raison de l'inondation de zones basses urbanisées par surverse au dessus des digues (Pedreros *et al.*, 2010).

- Au cours de l'hiver 2013-2014, une série de plusieurs tempêtes d'ampleur et de fréquence peu commune (Qumaira, Petra, Dirk, Ulla, Hercules...) affecte le littoral aquitain, et génère par endroits des reculs du trait de côte, sur des secteurs dunaires landais et girondins, de 20 à 40 m au maximum (Bulteau *et al.*, 2014). Cette amplitude de recul est largement supérieure aux données préalablement relevées sur un littoral qui fait l'objet d'un suivi morphologique et topographique régulier depuis 1995. Sur certaines plages, le recul résultant de cette succession de tempêtes correspond à la valeur de l'estimation de l'aléa recul du trait de côte attendu à l'échéance 2040 (Aubié *et al.*, 2011). Cette accélération du recul du trait de côte (au moins temporaire), a ainsi des conséquences importantes en termes de gestion de la bande côtière et des risques littoraux par les collectivités et les services de l'Etat. L'exemple de l'immeuble du Signal à Soulac-sur-mer, qui fait l'objet d'un arrêté de péril et d'une évacuation préventive de ses habitants sur l'injonction du Préfet de Gironde, a été à de nombreuses reprises cité dans les médias et est un cas original, sinon le premier en France métropolitaine, de l'expulsion de population d'un enjeu exposé à un aléa de recul du trait de côte sur une côte sableuse (Illustration 1).



*Illustration 1 - Erosion majeure au droit de l'immeuble Le Signal, séparé du haut de falaise par 15 mètres de dune, suite aux tempêtes de décembre 2013 et janvier 2014 (Soulac-sur-Mer, Aquitaine, 7 janvier 2014). © BRGM*

Ces événements exceptionnels en termes de dommages marquent la mémoire des habitants et des personnes affectées. Peu de temps après le passage fin 1990 de Lothar et Martin, Bessemoulin (2002) déplore qu'un inventaire bibliographique de ces phénomènes ne soit pas systématiquement réalisé à l'échelon national, car celui-ci constituerait une précieuse source de renseignements sur les risques associés, leur prévention et leur mode de gestion. Il milite en outre pour la constitution et la diffusion au sein de Météo-France de la Base de Données des Evénements marquants (BDEM) par les différentes délégations régionales de cet organisme.

Il confirme également qu'à partir des informations historiques sur les événements ayant le plus marqué la mémoire collective, que les épisodes de vent fort et tempêtes présentent une forte variabilité interannuelle et qu'ils ne montrent pas de tendance significative, à l'augmentation ou diminution, depuis 1950.

Depuis 2002, la situation de la prise en compte des phénomènes naturels extrêmes a évolué au niveau national et en particulier au niveau des risques côtiers liés aux tempêtes. Les différents retours d'expérience à l'issue de ces événements, et en particulier celui de Xynthia, ont amené nombre d'acteurs publics dans les champs de la recherche et de la prévention des risques à insister sur l'utilité de l'approche historique, de la capitalisation et la pérennisation des informations acquises sur les événements passés afin de développer la culture du risque des citoyens.

La collecte et la pérennisation de ces informations ont fortement été facilitées par le développement des NTIC depuis la fin des années 1990 et la mise en réseau de bases de données d'informations en particulier météorologiques, mais également des quotidiens de la presse régionale, d'articles scientifiques, etc...

Dans le champ des risques côtiers, les démarches d'information et de réglementation, comme la Directive Inondation, et les Plans de Prévention des Risques Naturels Littoraux, ont abouti localement à la réalisation d'inventaire des tempêtes et de leurs impacts à des échelles locales à régionales.

A notre connaissance, aujourd'hui, de tels inventaires sont disponibles sur les régions littorales Aquitaine, Corse, Nord-Pas-de-Calais et Languedoc-Roussillon. Plus localement, ils ont été réalisés à l'échelle des communes dans le cadre des phases de « connaissance des phénomènes naturels » des PPRL dans les autres régions (Poitou-Charentes, Basse-Normandie, Picardie) et outre-mer.

En région PACA, un tel inventaire n'existe pas. Seule la DDTM13 via le CETE (2007, 2010) a réalisé une telle démarche sur le littoral spécifique de la Camargue dans le cadre d'un PPRL prescrit en 2007. Un inventaire a également été initié par le BRGM en 2013 dans le cadre d'un projet d' « Evaluation des risques côtiers sur le territoire du SCoT Provence-Méditerranée » en partenariat avec le Syndicat Mixte en charge de l'élaboration du SCoT (Stéphanian *et al.*, 2014).

La présente étude reprendra ces éléments de connaissance.

## **2.2. MESURE ET DEFINITION DU PHENOMENE DE TEMPETE MARINE**

D'un point de vue météorologique, une tempête correspond à l'évolution d'une perturbation atmosphérique pouvant s'étendre sur une largeur atteignant les 200 kilomètres. Cette perturbation est issue de la confrontation de deux masses d'air aux caractéristiques bien distinctes en termes de température ou d'humidité, qui engendre alors un gradient de pression élevé, à l'origine de vents violents et le plus souvent de précipitations intenses.

Plusieurs approches peuvent être utilisées pour définir une tempête marine. Elles sont basées respectivement sur les forçages (vitesse du vent, hauteur de la houle, hauteur de la surcote) ou sur les impacts, qu'ils soient physiques (érosion, submersion) ou socio-économiques (coûts des dommages, coûts de reconstruction, ...).

L'échelle inventée par Francis Beaufort (1774-1857) est basée sur la force des vents. Elle présente l'avantage de pouvoir être utilisée par quiconque sans nécessiter de mesures sur le terrain (Illustration 2). Selon cette échelle, la tempête résulte d'une violente perturbation

atmosphérique entraînant des vents moyens à forts, en général accompagnés de fortes pluies et d'orages. Le régime de tempête débute généralement pour des forces 7 à 8, synonymes de vents forts et de mer très forte.

Force	Effet sur terre	Effet sur mer	Appellation - sur terre - sur mer	Hauteur des vagues (m)	Vitesse du vent (nœuds)	Vitesse du vent (km/h)
0	La fumée des cheminées s'élève verticalement	La mer est comme un miroir	vent calme mer calme	0	<1	<1
1	La fumée donne la direction du vent mais pas les Girouettes	Rides comme des écailles de poisson	Très légère brise Mer ridée	0,1	1-3	1-5
2	Les girouettes tournent, sensation de vents sur le visage	Vagues courtes qui ne déferlent pas	Légère brise Mer ridée	0,2-0,3	4-6	6-11
3	Les feuilles sont constamment agitées, les drapeaux légers sont déployés	Très petites vagues	Petite brise Mer belle	0,6-1,0	7-10	12-19
4	Le vent soulève la poussière, les petites branches sont agitées	Petites vagues, les moutons sont nombreux	Jolie brise Mer peu agitée	1,0-1,5	11-16	2-28
5	Les arbustes en feuilles commencent à se balancer	Vagues modérées, nombreux moutons, petites vagues sur les eaux intérieures	Bonne brise Mer agitée	2,0-2,5	17-21	29-38
6	Les grandes branches sont agitées, les fils électriques sifflent, l'utilisation du parapluie est difficile	Des lames commencent à se former, les crêtes d'écume blanche sont plus étendues	Vent frais Mer forte	3,0-4,0	22-27	39-49
7	Les arbres en entier sont agités, marcher contre le vent devient difficile	L'écume blanche provenant des lames déferlantes commence à être soufflée en traînées	Grand frais Mer très forte	4,0-5,5	28-33	50-61
8	Le vent casse les petites branches, marcher contre le vent est pénible	Tourbillons d'embruns qui se détachent des crêtes des lames	Coup de vent Mer très forte	5,5-7,5	34-40	62-74
9	Le vent fait de légers dommages aux habitations	Grosses lames, épaisses traînées d'écume, visibilité réduite par les embruns	Fort coup de vent Mer grosse	7,0-10,0	41-47	75-88
10	Arbres déracinés, dommages importants aux habitations	Très grosses lames, la mer est blanche, visibilité réduite	Tempête Mer très grosse	9,0-12,5	48-55	89-102
11	Dommages très étendus	Lames exceptionnellement haute, visibilité très réduite	Violente tempête Mer très grosse	11,5-16,0	56-63	102-117
12	Dévastation	L'air est plein d'écume et d'embruns, la visibilité est nulle	Ouragan Mer énorme	+14	+64	+118

*Illustration 2 - Echelle de Beaufort (1805).*

Lorsque des séries temporelles de l'évolution des caractéristiques des forçages sont disponibles (vents, vagues, etc...), un événement de tempête est généralement défini par une méthode POT (Peak Over Treshold). Ce POT est la période pendant laquelle la hauteur des vagues dépasse un seuil, déterminé en fonction des caractéristiques locales, durant un intervalle de temps assez long (Lee *et al.*, 1995, 1998 ; Mendoza, 2008).

C'est en particulier la méthode retenue par le CETMEF/CEREMA pour l'analyse des données des houlographes disponibles au large de la région PACA et gérés dans le cadre du programme CANDHIS<sup>1</sup> (Illustration 3).

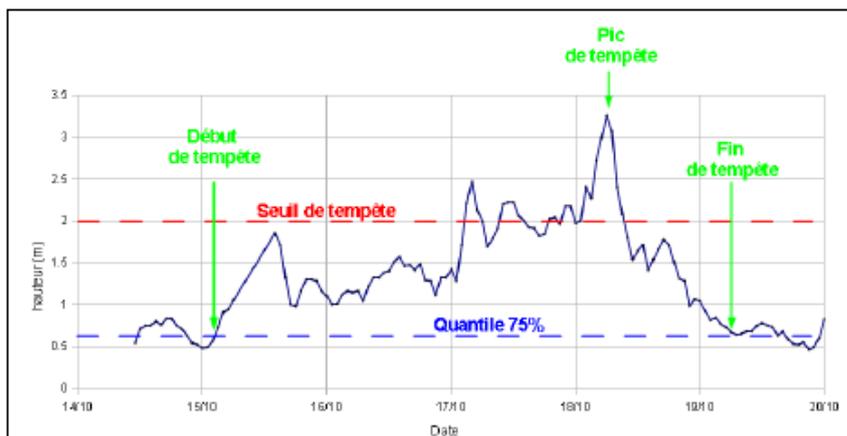


Illustration 3 - Méthode de détermination du début, du pic et de la fin de tempête (CETMEF, 2013)

Le réseau CANDHIS en région PACA comporte une série de campagnes de mesures d'états de mer effectuées depuis 1992 (Illustration 4). Actuellement déployés, les houlographes de Nice, Porquerolles et du Planier, permettent ainsi d'accéder en temps réel aux caractéristiques de la houle au large (Hauteur, période, secteur de provenance). Il est également possible d'accéder aux données archivées pour chacune des campagnes sur demande auprès du CEREMA via le site internet de CANDHIS.

N° de campagne	Nom/position du houlographe	Département	Début d'acquisition	Fin d'acquisition
0601	Nice	06	4/6/2002	En cours
1301	Camargue	13	9/7/1999	9/1/2004
1302	Port de Bouc	13	11/7/2002	16/12/2002
1303	Fos	13	26/03/2003	7/4/2004
1304	Marseille	13	18/11/2004	29/04/2008
1305	Le Planier	13	18/01/2011	En cours
8301	Porquerolles	83	14/05/1992	En cours

Illustration 4 - Campagnes de mesures des états de mer au large du littoral de la région PACA (CETMEF, 2012).

<sup>1</sup> <http://candhis.cetmef.developpement-durable.gouv.fr/>

Ces systèmes de mesures sont soumis aux nombreux aléas du milieu marin d'où des incidents (pannes, dérives,..) qui occasionnent des interruptions dans l'acquisition des données et nécessitent des opérations de maintenance pour garder le dispositif opérationnel. Il en résulte que les séries de données sont relativement courtes et que la plus longue (Porquerolles) possédait uniquement 14 ans de mesures effectives sur 19 ans de déploiement.

Cet aspect est à garder à l'esprit lorsque des analyses statistiques et d'extrapolation sont réalisées à partir de ces données pour des estimations de périodes de retour d'évènement de 30, 50, ou 100 ans.

## **2.3. CONSEQUENCES DES TEMPETES SUR LES MILIEUX LITTORAUX**

### **2.3.1. Processus physiques**

Les processus physiques mis en jeu lors des phénomènes de tempêtes sont liés principalement à l'action de la pression atmosphérique et du vent sur le plan d'eau (Illustration 5) :

- La chute de la pression atmosphérique entraîne une surélévation du niveau plan d'eau. C'est le phénomène de baromètre inverse. Une diminution de 1hPa équivaut approximativement à une élévation de 1 cm du plan d'eau ;
- Le vent a un double effet sur le plan d'eau :
  - o Il est à l'origine de l'agitation du plan d'eau et de la formation des vagues dont les caractéristiques (hauteur, période, secteur de provenance) sont directement liées à celles du vent et au fetch<sup>2</sup> du bassin maritime ;
  - o Il exerce une contrainte à la surface de l'eau en générant une modification du niveau du plan d'eau statique (surcote ou décote) et des courants.
- Les vagues, générées au large par le vent, se propagent vers la côte et déferlent. Elles transfèrent alors leur énergie sur la colonne d'eau, ce qui provoque une surélévation moyenne du niveau de la mer (le « *wave set-up* », ou *set-up*, ou surcote liée aux vagues) pouvant atteindre des valeurs de plusieurs dizaines de centimètres.

---

<sup>2</sup> Fetch : distance en mer ou sur un plan d'eau au-dessus de laquelle souffle un vent donné sans rencontrer d'obstacle.

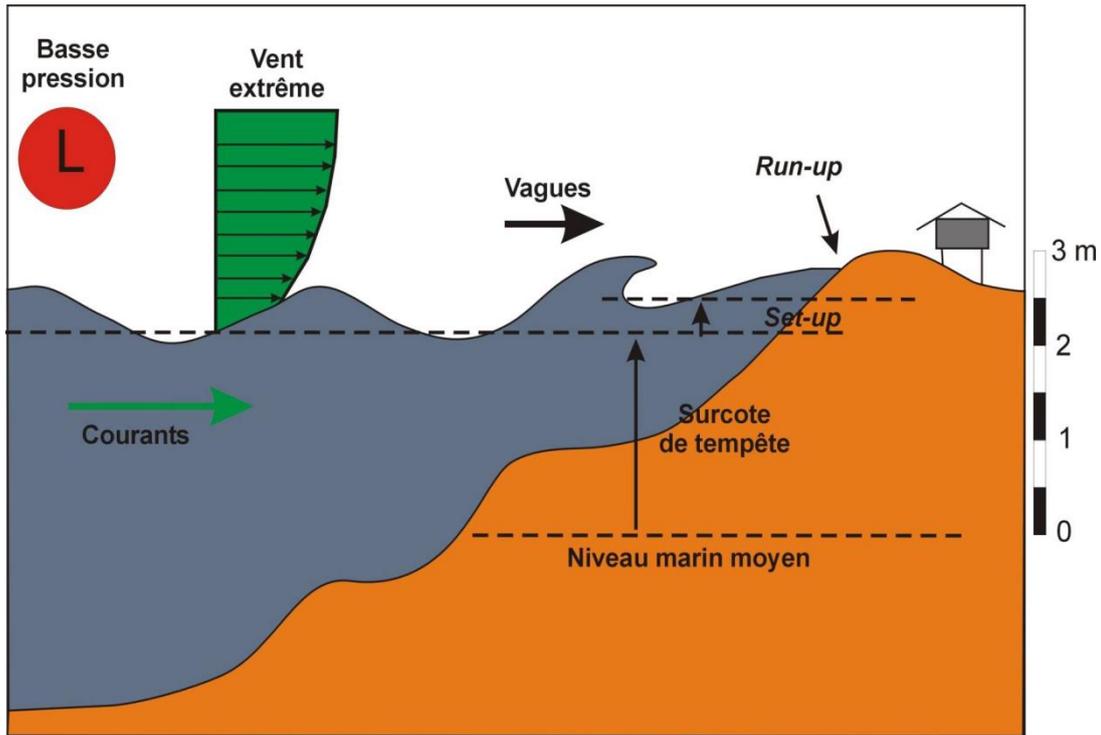


Illustration 5 - Processus physiques en action lors d'une tempête : agitation et surélévation du plan d'eau (source : BRGM)

Le phénomène de « surcote atmosphérique » ou « surcote de tempête » est l'addition de l'effet baromètre inverse et de l'élévation du niveau du plan d'eau sous l'effet du vent. Ainsi, lors d'une tempête, le niveau moyen de la mer résulte de l'addition de la surcote atmosphérique et du *set-up*. Le niveau maximal atteint par la mer est défini en tenant compte du « jet-de-rive<sup>3</sup> » (*swash*). On appelle *run-up*, l'altitude maximale atteinte par le jet-de-rive sur la côte.

### 2.3.2. Aléas et risques côtiers liés aux tempêtes

Les risques côtiers associés aux phénomènes de tempêtes sont :

- la submersion marine ;
- l'érosion et le recul du trait de côte.

#### a) Submersion marine

La submersion marine est définie comme une inondation temporaire de la zone côtière par la mer dans des conditions météorologiques et marégraphiques sévères (MEEDAT, 1997). Les submersions envahissent généralement les terrains situés en dessous du niveau des plus hautes mers mais atteignent aussi parfois des altitudes supérieures si des projections d'eaux marines franchissent des ouvrages de protection et/ou la crête des cordons littoraux.

Elles peuvent se produire lorsqu'il y a :

<sup>3</sup> Le jet-de-rive correspond à la nappe d'eau montant sur l'estran à la suite du dernier déferlement. Le jet de rive (montant) et la nappe de retrait (descendant) sont les processus de *swash*.

- rupture d'un cordon sédimentaire (dunes, cordon de galets) suite à une forte érosion ;
- débordement ou rupture de digues et d'ouvrages de protection ;
- franchissements exceptionnels de ces ouvrages par des « paquets de mer ».

Les franchissements des ouvrages par les paquets de mer peuvent s'accompagner sur les plages à galets de projections de volumes très importants de galets ayant un fort impact destructif. C'est un cas qui se rencontre fréquemment sur les côtes à falaises de craie de Normandie, où une plage de galets borde le pied des falaises, mais également sur la Côte d'Azur le long de la plage de galets de Nice, par exemple lors de la tempête du 4 mai 2010.

### **b) Recul du trait de côte**

Le recul du trait de côte est le déplacement vers l'intérieur des terres de la limite entre le domaine marin et le domaine continental (MEEDAT, 1997). C'est la conséquence d'une perte de matériaux sous l'effet de l'érosion marine. Elle englobe à la fois l'érosion naturelle induite par les forces marines et l'érosion générée ou accélérée par l'homme (sur-fréquentation des cordons dunaires, extraction de matériaux, ouvrages côtiers...).

Sur les littoraux sableux, lors de tempêtes, la surcote du niveau du plan d'eau entraîne la surélévation du niveau d'impact des vagues déferlantes. Leur action érosive est alors à l'origine de la création de falaises dans le cordon dunaire, voire de brèches sur des secteurs déjà fragilisés, et de sape des fondations d'ouvrages côtiers (digues longitudinales, enrochements, etc...).

### **2.3.3. Typologie des dommages**

Les dommages aux biens liés à l'aléa « tempête » sur le domaine littoral sont complexes et diversifiés.

Pedreras *et al.* (2010) synthétisent les dommages subis sur le littoral atlantique lors de la tempête Xynthia (28 février 2010). Les observations réalisées quelques jours après le passage de la tempête montrent clairement les effets conjugués des aléas submersion et érosion, l'érosion pouvant générer les conditions déclenchant le processus de submersion, en particulier sur les milieux dunaires. Les dégâts observés sont ainsi de plusieurs types :

- dégâts sur les terres agricoles : des masses importantes des sables ont été transportées vers l'intérieur des terres endommageant des terres cultivables. Les effets du sel apportés par les eaux marines sont également néfastes sur ces milieux ;
- endommagement des digues par altération de leur couche superficielle, attaque en pied, destruction de l'enrobé de la route, création de « renards hydrauliques »<sup>4</sup> ;
- endommagements d'ouvrages côtiers : front de mer, embarcadère, structures portuaires ;
- brèches dans les dunes, localisées essentiellement au niveau des zones d'accès à la plage ;

---

<sup>4</sup> Renard hydraulique : érosion interne du sol, créant progressivement une galerie à travers une digue par concentration des écoulements

- dégâts sur les biens immobiliers : destruction du bâti, directement sous l'action mécanique des vagues déferlantes, ou par affouillement des fondations ;
- dégâts sur les biens mobiliers au niveau des maisons envahies par les eaux marines (inondations, corrosion, etc...).

Les dommages aux personnes associés aux phénomènes de tempêtes en milieu littoral sont également très divers :

- personnes emportées par des fortes vagues ;
- personnes bloquées dans les maisons inondées (47 victimes lors de Xynthia) ;
- personnes bloquées dans des voitures dans les zones basses inondées.

## **2.4. LES TEMPETES EN MEDITERRANEE OCCIDENTALE**

Chaque année, le littoral méditerranéen est soumis à plusieurs épisodes de tempêtes, en particulier en période hivernale. Chaque épisode possède des caractéristiques différentes (hauteur des vagues, vitesses des vents, secteur de provenance, etc...) et occasionne des impacts plus ou moins importants en fonction des secteurs de la côte et de leur orientation. En Méditerranée occidentale, la comparaison des vitesses entre 1951 et 1980 pour les différents points du littoral français, montre qu'au niveau du Cap Pertusato, au Sud de la Corse, cette classe d'évènements (vents > 90 km/h) représente 10% du temps, soit l'équivalent de la fréquence au Cap de la Hague, et la moitié de celle mesurée à Ouessant (Tabeaud, 1995).

Les tempêtes résultent ainsi soit de situations barométriques d'échelle zonale, c'est-à-dire résultant de la disposition et de la circulation des grandes masses d'air sur l'hémisphère nord, soit de situations plus locales en relation avec la formation de cellules orageuses formées par une forte convection thermique sur la mer. Les milieux insulaires comme la Corse, sont d'autant plus soumis à ces phénomènes convectifs locaux.

La Méditerranée occidentale est ainsi considérée comme un lieu de cyclogenèse active, ce qui explique, en partie, l'occurrence des tempêtes. Celles-ci y sont plus fréquentes en saison hivernale, d'octobre à avril, en raison de la disposition des champs de pression, et en particulier la faiblesse de l'influence de l'anticyclone centré sur les Açores. Elles résultent également de conditions aérologiques typiques qui déterminent la direction des vents et en conséquence celle de la houle.

De manière très schématique, on distingue en Méditerranée et dans le Golfe du Lion, en particulier, deux différents types de tempêtes auxquels s'ajoutent les épisodes dits « cévenols » (Illustration 6).

	Vents	Houle	Exemples	Caractéristiques
Tempêtes liées à des fronts horizontaux	Sud-Est	Sud-Est	Novembre 1982 Décembre 1997	Dépression centrée sur le Golfe de Gascognes couplée à un anticyclone en Europe centrale
Tempêtes liées à des fronts verticaux	Nord-Est	Est	Décembre 2008	Système dépressionnaire sur les Baléares Vaste anticyclone sur la Sibérie
	Est à Sud-Est	Sud-Sud-Est	Novembre 1999	Dépression sur les Baléares couplée à un anticyclone centré sur l'Irlande
Tempêtes liées à des épisodes cévenoles	Sud à Sud-Est	Secteur Sud à Sud-Est	Décembre 2003 Octobre 2009	Dépression centrée sur l'Atlantique Flux de Sud accompagné de fortes pluies

Illustration 6 - Tableau récapitulatif des différents types de tempêtes en Méditerranée occidentale et dans le Golfe du Lion (Tirard, 2010).

### 2.4.1. Les tempêtes de Sud-Est

Ce type de tempête associe le plus généralement, de hautes pressions sur la Scandinavie et les Balkans dirigeant vers l'Italie un air froid continental et la venue en Méditerranée occidentale d'une perturbation ayant traversé la péninsule ibérique (Tabeaud, 1995).

On peut citer comme exemple les tempêtes du 06 au 11 novembre 1982 et du 16 au 18 décembre 1997 qui ont balayé la région du Languedoc-Roussillon et qui firent de nombreux dégâts. Ces deux tempêtes marines, les plus fortes et destructrices de ces 50 dernières années sur le littoral du Languedoc-Roussillon et sur celui de la Camargue, résultent en effet d'une forte dépression centrée entre le Golfe de Gascogne et les îles britanniques associée à un anticyclone en Europe centrale (Illustration 7). Cette géographie barométrique est associée à un fort gradient zonal et à une circulation atmosphérique rapide de secteur Sud sur le pourtour méditerranéen entraînant des vents et une houle de secteur Sud-Est (Ullmann, 2008).

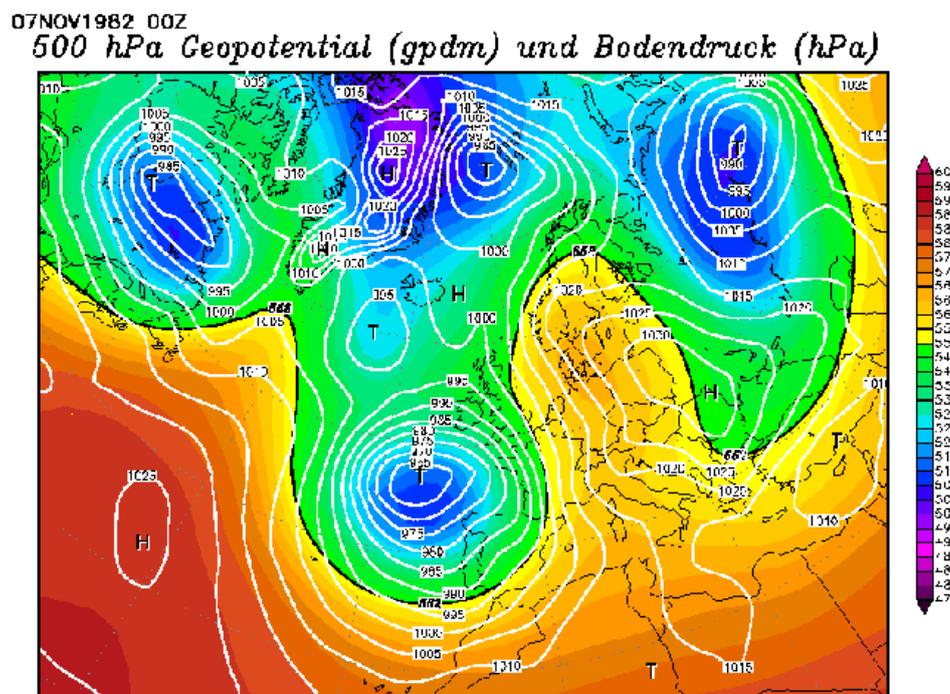


Illustration 7 - Situation météorologique du 07 novembre 1982 (source : [www.wetterzentrale.de](http://www.wetterzentrale.de)).

### 2.4.2. Les tempêtes d'Est

Ce type de tempête associe le plus généralement un système dépressionnaire centré sur les Baléares à un anticyclone centré sur le Nord de l'Europe (Illustration 8). Ce type de conditions météorologiques est favorable aux tempêtes d'Est qui affectent principalement les rivages orientaux d'orientation Nord-Sud, comme le secteur de l'Est Var et des Alpes-Maritimes. On peut citer comme exemples la tempête des 27 et 28 novembre 2008 ainsi que, un mois plus tard, celle des 26, 27 et 28 décembre 2008 qui a affecté particulièrement le département de l'Aude et des Pyrénées Orientales.

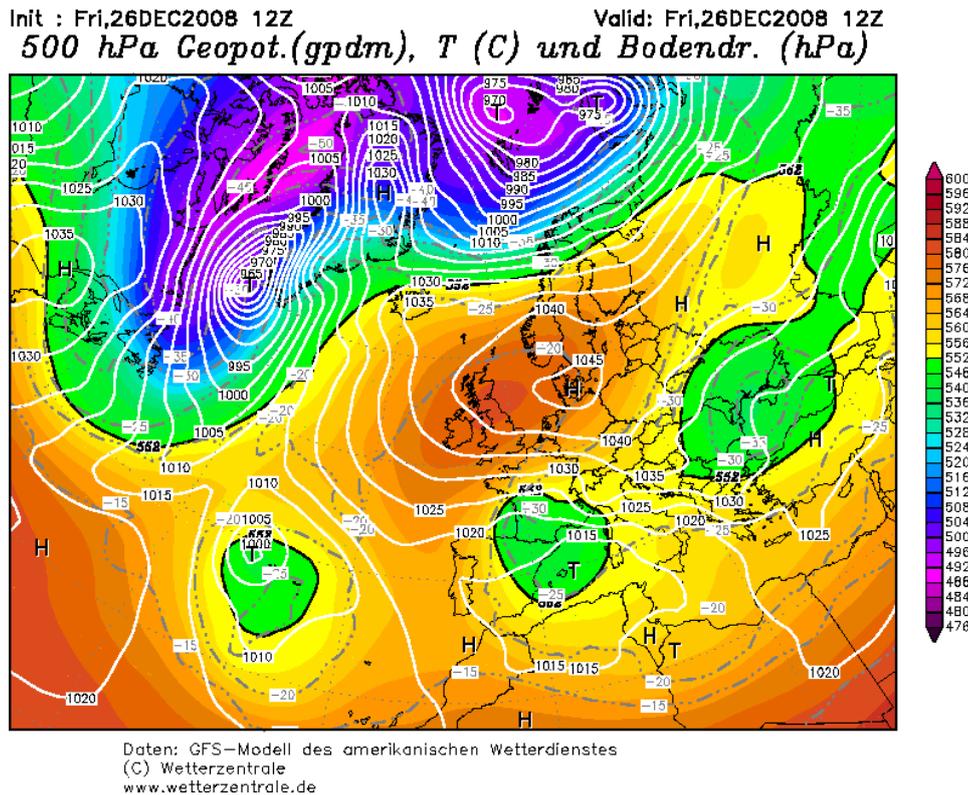


Illustration 8 - Situation météorologique du 26/12/2008 (source : [www.wetterzentrale.de](http://www.wetterzentrale.de)).

### 2.4.3. Tempêtes liées à des épisodes cévenols

Les épisodes cévenols sont des phénomènes météorologiques, à cinétique rapide, caractéristiques du secteur méditerranéen qui s'identifient par des pluies intenses et durables. Ces pluies surviennent généralement au début de l'automne lorsque l'eau de la mer méditerranée est encore chaude et se produisent par vents de Sud à Sud-Est sur les reliefs des Cévennes. En région PACA, ce type d'évènements se ressent particulièrement sur les reliefs du Sud Var et sur les bassins versants du Gapeau, du Pansard-Maravenne et de l'Argens.

Ces phénomènes sont la résultante de conditions météorologiques bien particulières. Ils sont en effet liés à la présence d'une dépression sur l'Atlantique ou le proche Atlantique qui va générer des flux de Sud permettant à l'air chaud et humide qui s'évapore de la mer méditerranée de remonter vers le nord (illustration 9).

Cependant, cette masse d'air ne peut s'élever très haut dans l'atmosphère car elle est bloquée par une autre masse d'air sèche. Elle va remonter vers le Nord jusqu'à être bloquée par les premiers reliefs montagneux que sont les Cévennes ou le versant Sud de la Sainte-Baume.

Ces derniers redirigent alors la masse d'air en hauteur jusqu'à ce qu'elle atteigne la tropopause. La masse d'air s'y étale et forme des nuages fortement chargés en eaux et en énergie qui vont entraîner des pluies orogéniques sur un espace très réduit.

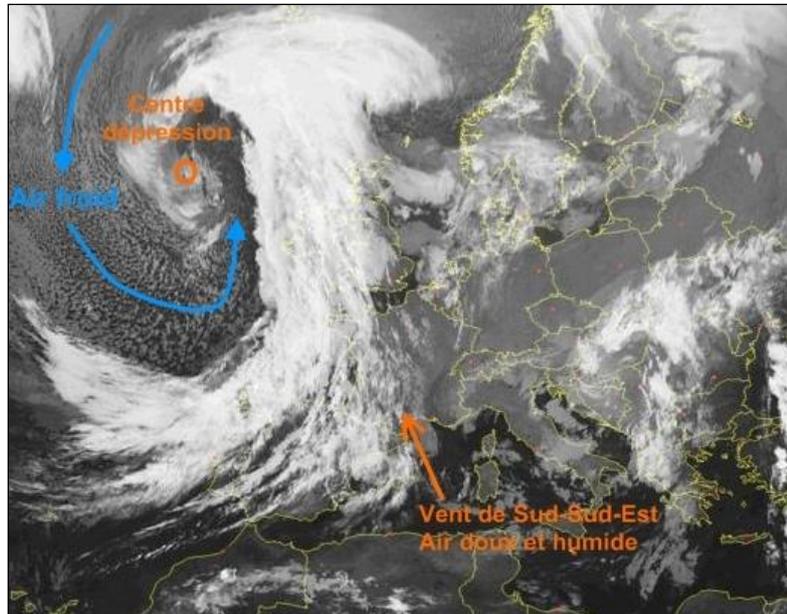


Illustration 9 - Conditions météorologiques lors d'épisodes cévenols sur le Languedoc-Roussillon (source : Météo France).

Les tempêtes liées à ce type d'évènement sont généralement de faible intensité de vent mais les impacts générés sur le littoral peuvent être amplifiés par les fortes précipitations qui peuvent entraîner des phénomènes de bouchons marins au niveau des embouchures des fleuves côtiers. La concomitance de niveaux de surcote importants générés par les vents de SSE et de forts débits aux embouchures accentue ainsi le débordement fluvial. On peut citer comme exemple la tempête d'octobre 2009 ou de décembre 2003.

Pour information, une investigation de ce type de phénomènes et les conséquences relatives de l'interaction submersion marine – inondation fluviale a été réalisée sur la région PACA, à travers l'étude réalisée par Artelia dans le cadre du PAPI de l'Argens (ARTELIA, 2014) et par le BRGM, sur le Gapeau et la plaine du Ceinturon, dans le cadre de l'Appel à Projets du MEDDE « Expérimentation de la relocalisation des activités et des biens : recomposition spatiale des territoires menacés par les risques littoraux » sur le site proposé par la mairie de Hyères-les-Palmiers (Le Roy *et al.*, 2014).

#### 2.4.4. Impacts morphologiques sur les secteurs sableux liés aux tempêtes

En fonction des conditions météorologiques initiales et du secteur concerné, les phénomènes de tempêtes marines peuvent induire de nombreux impacts morphologiques sur le littoral ainsi qu'une évolution plus ou moins importante du profil de plage selon leur intensité.

Parmi ces impacts, on peut observer l'érosion de la plage et du cordon dunaire, les phénomènes de franchissement (*overwash*) ainsi que la submersion des zones côtières basses (Illustration 10).



*Illustration 10 – Recul historique du rivage en Petite Camargue, (Arles) (trait de côte 1947 en rouge ; trait de côte 2005 en noir). Les flèches noires représentent les dépôts d'overwash dans les étangs. La distance entre deux épis est de 200 m (Fond IGN BD-ORHO, 2003, in Sabatier et al., 2008).*

Les impacts morphologiques lors d'épisodes tempétueux ne sont néanmoins pas uniquement dépendants des caractéristiques de la tempête telles la hauteur des vagues ou la surcote. La morphologie du cordon dunaire ainsi que son élévation constituent également des paramètres majeurs.

Le cordon littoral représente à cet égard la première ligne de défense naturelle. En effet, il est évident que des portions de littoral ne présentant pas de dunes ou des dunes faiblement développées seront plus vulnérables à la submersion que des portions de littoral présentant des dunes évoluées.

Certains modèles, notamment celui de Sallenger (2000), permettent de définir des régimes d'impacts différents en fonction de la hauteur maximale atteinte par le niveau d'eau lors de la tempête. Quatre modèles sont ainsi distingués (Illustration 11), les deux premiers ne génèrent pas de submersion marine :

- le régime de jet de rive (*swash*) : ce régime est caractéristique de faibles tempêtes. En effet, dans ce cas, le niveau d'eau induit par la tempête reste inférieur à la hauteur du pied de dune. De ce fait, on peut alors observer une faible érosion de la plage. Toutefois, pendant les mois suivant la tempête, la faible quantité de sables érodés retournera de façon naturelle vers la plage.
- le régime de collision : dans ce cas, le niveau d'eau induit par la tempête dépasse le pied de dune mais reste inférieur à son sommet. Les vagues entrent donc en collision avec les dunes et provoquent leur érosion ainsi qu'un éventuel recul du trait de côte. L'érosion progressive du cordon dunaire par le vent et la houle lors d'épisodes de tempêtes peut favoriser l'apparition de brèches et augmenter l'influence des impacts liés aux tempêtes.

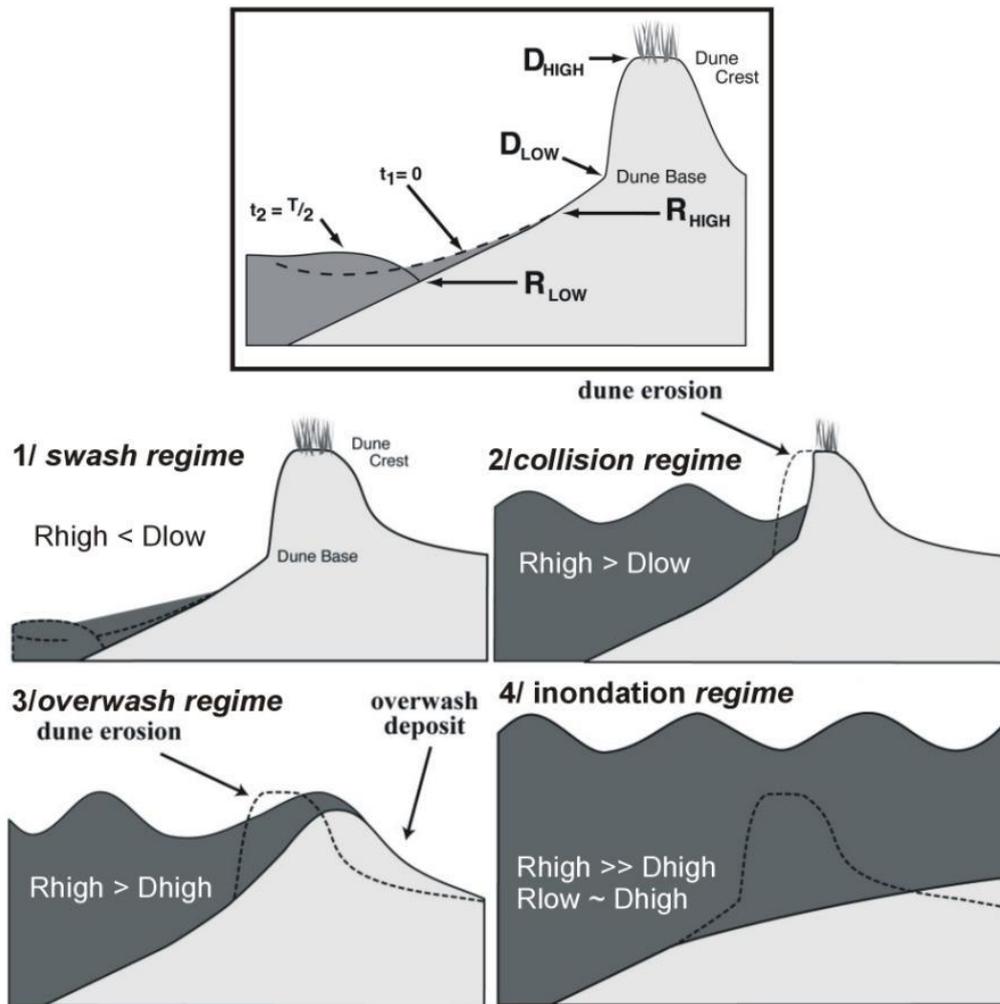


Illustration 11 - Caractéristiques morphodynamiques des impacts liés aux tempêtes (source : Sallenger, 2000).

Les cordons dunaires peuvent être submergés de façon plus ou moins permanente lors de certains épisodes de tempête lorsque le niveau d'eau induit est important. On distingue alors deux types de submersion.

- le régime d'*overwash* (submersion locale) : dans cette situation, la hauteur d'eau atteinte est supérieure au sommet de la dune et une partie du cordon dunaire est submergée momentanément. Cette submersion provoque ainsi un déplacement de sable depuis le large vers l'intérieur des terres. Ce phénomène, appelé « *roll-over* » contribue à la migration globale de la dune en particulier lorsqu'il est précédé d'une phase d'érosion intense du cordon dunaire par les vagues.
- le régime d'Inondation (submersion généralisée) : ce phénomène se produit lorsque le niveau moyen de la mer ainsi que le *set-up* des vagues lors d'une tempête sont plus hauts que la dune. Le *set-up* correspond à une remontée locale du niveau de la mer sous l'effet du déferlement. Dans cette hypothèse, l'ensemble du cordon littoral ainsi que les terrains arrière littoraux sont submergés et inondés pendant l'intégralité de la tempête entraînant également un transport de sable vers l'intérieur des terres.

A ces impacts morphologiques visibles et observables sur la partie émergée des plages, il est essentiel d'ajouter les impacts affectant les petits-fonds sableux et en particulier les barres sédimentaires d'avant côte. Ce sont des bancs sableux très mobiles, qui sont fréquents sur la plupart des littoraux sableux et qui présentent des formes diverses (linéaires, en croissant, double barre, transverses...) en fonction du contexte sédimentaire et hydrodynamique (Wijnberg & Kroon, 2002). En Méditerranée, ces morphologies sont disposées en faible profondeurs (entre 1 et 3 m, selon les secteurs du littoral). Elles constituent une barrière naturelle de protection du littoral mais également un stock sédimentaire sableux. En région PACA, elles sont fréquentes le long du littoral camarguais (barre linéaire en simple ou double exemplaire), et sur les plages de poches de l'Est du Var généralement exposées au régime de vent d'Est (Illustration 12).



*Illustration 12 – Vue oblique des barres d'avant-côte en croissants le long de la plage de Pampelonne (source : Observatoire Marin, Communauté de Communes du golfe de Saint-Tropez, 02/08/2011). La plage présente un régime de double barre en croissants, avec une barre très proche de la plage et une seconde plus au large.*

Durant un évènement de forte intensité, la barre externe peut migrer vers le large, augmentant ainsi la vulnérabilité de la plage. Dans la majorité des cas, le système retrouve ultérieurement sa configuration initiale. Mais, lors d'évènements extrêmes, le système ne peut pas toujours être régénéré, les barres peuvent alors disparaître (Certain, 2002 ; Ferreira, 2005), ce qui a pour conséquence d'augmenter la vulnérabilité du littoral lors des tempêtes suivantes.

#### **2.4.5. Impacts socio-économiques**

Outre les impacts morphologiques, les répercussions des évènements de tempêtes sur le littoral peuvent être d'ordre socio-économique. Le littoral méditerranéen, et en particulier celui de la région PACA, est fortement aménagé et densément peuplé. De nombreux aménagements y ont été réalisés et l'urbanisation s'y est très fortement développée. Les constructions

implantées en front de mer sont désormais fortement exposées et vulnérables lors d'épisodes de tempêtes.

On distingue :

- les impacts socio-économiques directs : ce sont les dommages causés aux infrastructures ou habitations. En effet, lors de tempêtes importantes, il est fréquent d'observer de nombreux dégâts matériels tels l'inondation des habitats de front de mer (Illustration 13 et Illustration 14), voire dans des cas extrêmes, leur destruction. L'ensablement du littoral et la projection de galets depuis le cordon littoral en arrière créent des dommages importants également. (Illustration 14 et Illustration 16) Par ailleurs, les infrastructures de protection marines comme les digues ou les épis subissent elles aussi des dommages liés au déferlement des vagues et au vent. Ces dernières peuvent être partiellement, voire, totalement détruites.



Illustration 13 - Coup de mer du 6 novembre 2011 à Antibes (Source : DDTM06)



Illustration 14 – Ensablement du restaurant et de la route à Villeneuve-Loubet – coup de mer du 6 novembre 2011 (Source : DDTM 06)



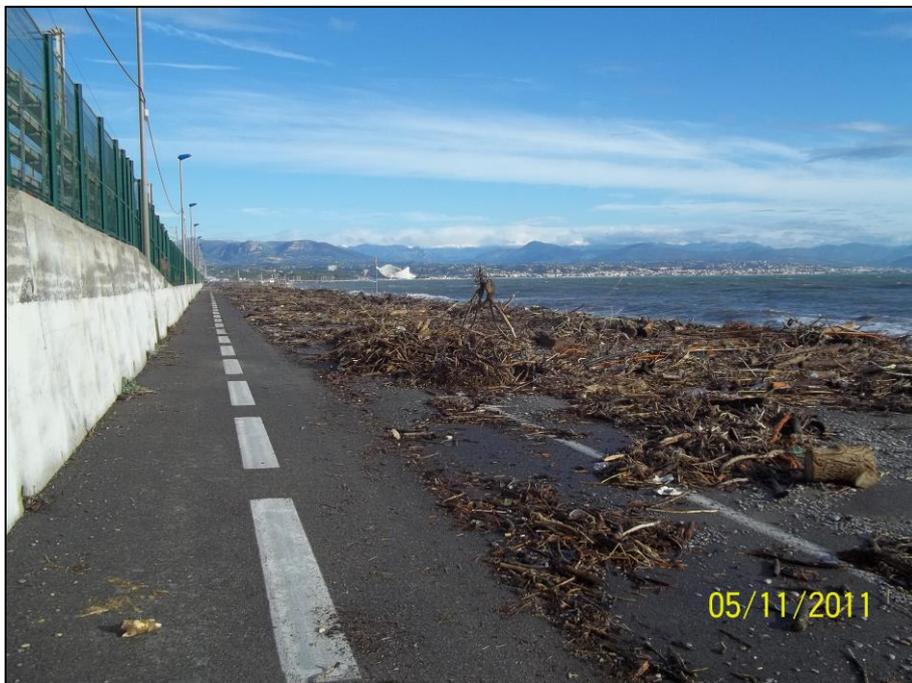
*Illustration 15 - Projection de galets sur la route d'Antibes à Villeneuve-Loubet (source : DDTM 06)*



*Illustration 16 - Projection de galets à l'intérieur d'un restaurant de plage à Villeneuve-Loubet (source DDTM 06)*

- Les impacts socio-économiques indirects : les axes de communication qui longent le littoral sont en effet également exposés aux aléas côtiers et peuvent être soit submergés soit détruits ce qui tend à bloquer les activités économiques d'une commune, d'un département ou de la région. Ils peuvent être également recouverts de sables, galets et/ou de débris apportés par la mer. C'est le cas notamment pour la route de la Siesta entre Antibes et Cannes qui est fréquemment submergée et coupée lors d'épisodes tempétueux (Illustration 17) ou du secteur de la plage de Bona à Hyères qui lors des

coups de vents d'Est est fortement soumis au déferlement des vagues (Illustration 18). La fermeture de ces voies d'accès peut s'avérer particulièrement pénalisante lors de gestions de crise au cours desquelles ces accès sont nécessaires pour les secours ou les évacuations (exemple à Nice, Illustration 19).



*Illustration 17 - Débris (bois flottés) sur la route de la Siesta entraînant la coupure de la route le 5 novembre 2011 (source DDTM06).*



*Illustration 18 - Franchissement de paquets de mer au droit de la plage de Bona, commune d'Hyères-les-Palmiers (source : Mairie d'Hyères)*



*Illustration 19 - Franchissement de paquets de mer et projection de galets sur la promenade des Anglais à Nice le 5 mai 2010 (source inconnue)*



## 3. Méthode et données utilisées

### 3.1. PRINCIPE DE LA RECHERCHE DOCUMENTAIRE

La première phase de la recherche a consisté au regroupement d'un très grand nombre de données sur les événements de tempête qui ont eu lieu en région PACA.

Afin d'orienter les recherches documentaires, l'étude s'est d'abord centrée sur :

- l'inventaire des événements marquants fournis par Météo France ;
- la liste des arrêtés CatNat (inondation, chocs mécaniques liés à l'action des vagues, tempête) ;
- l'inventaire des submersions marines liées aux tempêtes sur le littoral français métropolitain réalisé par le BRGM (Garcin *et al.*, 2011 ; Lambert & Garcin, 2013).

Par la suite, en fonction des dates recensées, les quotidiens de la presse régionale (La Provence, Var matin, Nice Matin) ont été consultés dans les archives départementales, et les coupures de presse ont été numérisées. Le contenu des articles (texte, information, photographies, ...) ont ensuite été analysés et référencés. En effet, les journaux sont en région PACA, la première source d'information en termes de quantité et de précision géographique des données relatives aux dégâts qui ont été générés par les épisodes de tempête. La lecture des coupures de presse a amené à l'identification de dates supplémentaires, antérieures :

Une fois les événements identifiés, les données ont été complétées par les informations recueillies au niveau des houlographes de la région intégrés au réseau CANDHIS. Ces informations sont cependant discontinues et ne débutent que dans les années 1990.

Les informations rassemblées dans le cadre de la mise en place du Plan de Prévention des Risques (PPR) en Camargue (CETE, 2007, 2010) ont aussi permis de renseigner des données d'érosion localisées précisément sur ce secteur particulièrement exposé aux aléas côtiers.

Afin de caractériser au mieux ces événements, un inventaire des photographies et vidéo recueillies a aussi été réalisé, via une recherche sur internet (extraits de journaux télévisés, vidéos). Ces données sont essentiellement issues d'initiatives de personnes se trouvant sur les lieux des coups de mer pour les événements récents.

Des contacts avec les collectivités et les administrations territoriales ont été pris pour leur proposer la mise en forme des informations qu'ils ont à disposition et qui ont été rassemblées de leur propre initiative. Des rendez-vous ont ainsi été organisés avec les DDTM des trois départements concernés. Nous avons également rencontré les mairies d'Antibes et d'Hyères-les-Palmiers dont les services techniques archivent ce type d'informations et qui nous les ont mis à disposition.

### 3.2. SOURCE DE DONNEES

#### 3.2.1. Base de données des événements marquants Météo-France

La délégation régionale d'Aix-en-Provence a été consultée. Elle a mis à disposition un fichier de date d'événements considérés comme marquants par les météorologues. Il s'agit de données collectées au fil de l'eau par les personnels de Météo-France, qui font référence à des coupures de presse recueillies les jours suivants les tempêtes. En revanche, le corpus de coupures de presse n'est pas diffusé

Les évènements sont classés suivant différentes catégories avec des mots-clefs, une date et un bref descriptif. Une recherche par mots-clefs permet de faire ressortir les évènements liés à la mer.

### **3.2.2. Arrêtés de catastrophe naturelle**

Les arrêtés de catastrophe naturelle (disponibles depuis 1982) référencés dans la base de données GASPARD qui concernent des impacts liés à la mer sur les communes littorales, sont classés dans les catégories suivantes, en fonction des années et des communes :

- Tempête ;
- Raz de marée ;
- Chocs mécaniques liés à l'action des vagues ;
- Inondations et chocs mécaniques liés à l'action des vagues ;
- Inondations, coulée de boue, et chocs mécaniques liés à l'action des vagues.

Ainsi, la tempête du 6-11 novembre 1982, qui est une des tempêtes majeures qui a impacté le littoral camarguais (commune des Saintes-Maries-de-la-Mer, Arles, Port-Saint-Louis, Fos-sur-Mer) est référencée au risque « Tempête », sans mention spécifique des actions de la mer, alors que 522 communes de la région PACA ont été déclarées en CatNat lors de cet épisode de forts vents.

Le terme de risque de « Chocs mécaniques liés à l'action des vagues » apparaît en 1992 sur les communes d'Antibes et Vallauris (5/11/1992) et Bandol (5-7/1/1994).

Ainsi, à l'exception de l'évènement de 1982, entre 1982 et 2011, 135 arrêtés de catastrophe naturelle (sur 5297) ont été publiés pour des risques liés à l'action des vagues.

L'arrêté CatNat de « Raz de marée » correspond à l'évènement du 5 août 1985 lors d'une submersion des plages d'Arles, Port-Saint-Louis et des Saintes-Maries-de-la-Mer, par une vague de tsunami de 2,50 m de hauteur, lié probablement à un glissement de terrain sur le delta sous-marin du Rhône (2 morts, Illustration 20).

Pour ce type d'inventaire historique, les arrêtés CatNat constitue une source initiale d'informations récentes. Cependant, elle reste biaisée dans la mesure où la reconnaissance nécessite une demande à l'initiative des autorités communales. De plus, les dossiers d'instruction sont très variés en fonction des communes et des types de dégâts.



Illustration 20 - Submersion marine liée au tsunami sur la plage de Piemanson dans la nuit du 5 au 6 août 1985, commune d'Arles (Le Provençal, 7/08/1985)

### 3.2.3. Revue de presse

Sur la base des dates recueillies au préalable dans la BDEM et les dossiers CatNat, la revue de presse s'est concentrée sur les quotidiens référencés dans l'illustration 21. Les dates concernent les périodes pour lesquelles des événements ont pu être trouvés. Pour les périodes récentes (2005-2014), les consultations sur internet ont permis de retrouver des articles facilement. Pour la période plus ancienne, une recherche au niveau des archives départementales (Marseille, Toulon-Draguignan, Nice) a été réalisée.

Quotidiens	Période
Le Petit Niçois	1906-1924
Le Petit Var	1906-1925
Le Toulonnais	1855-1862
Le Provençal	1947-1994
La Provence	1994-2014
Nice Matin	1947-2014
Var Matin	1947-2014

Illustration 21 - Sources des informations

Les articles exhumés ont été soit scannés, soit photographiés, en fonction du format des documents retrouvés, des possibilités techniques aux archives, et du nombre d'articles que l'on peut y consulter. La numérisation est ainsi de qualité inégale en fonction des documents.

Les articles ont été parcourus pour y relever les informations sur les caractéristiques physiques et les dégâts. Ils sont conservés par évènement et par journal dans un fichier au format pdf.

#### **3.2.4. Exploitation des travaux de recherche et autres documents**

Les nombreuses études qui ont été réalisées sur le littoral de PACA ne contiennent en général que peu d'éléments sur les tempêtes historiques, autres que les grands évènements majeurs qui sont ressortis de la revue de presse.

Les travaux du Laboratoire de Géologie Marine de Luminy entre 1950 et 1980, portés par JJ. Blanc (Blanc *et al.*, Jeudy de Grissac *et al.*), en particulier sur le littoral varois font exception et comportent quelques informations et dates de tempêtes. Nous avons essayé de retrouver ces informations dans la presse locale sans toutefois y parvenir à chaque fois.

Des sources d'informations historiques sont apparues au cours de l'étude et n'ont pas pu être consultées, en raison de la lourde charge que cela représenterait, en particulier :

- les archives des anciens salins des Pesquiers et des Vieux-Salins à Hyères, dans la mesure où les pertes de production engendrés par les coups de mer affectant sur les digues ont dû être notées et documentées ;
- les comptes rendus des conseils municipaux contiennent également des éléments techniques intéressants pour le constat des dégâts et des solutions mises en œuvre par la commune ;

La recherche de ces documents et l'exploitation des informations, via leur renseignement dans la base de données, mériterait un travail d'un historien.

#### **3.2.5. Services de l'Etat**

##### **a) DDTM13**

La Direction Mer et Littoral de la DDTM13 rassemble des documents sur les évènements marins depuis environ 1970 en particulier sur le littoral camarguais et concernant principalement les grands évènements qui l'ont affecté. Ces données ont été exploitées et centralisées en grande partie par le CETE (2007-2010) pour l'élaboration d'un PPRL « submersion marine » en Camargue.

Quelques informations complémentaires, principalement des photographies, sont également disponibles sur Sausset-les-Pins, Marseille et la Ciotat, lors d'évènements majeurs.

##### **b) DDTM83**

La DDTM83 ne compile pas d'information particulière lors des évènements de coups de mer.

##### **c) DDTM06**

La Direction Mer et Littoral de la DDTM06 n'archive pas d'information particulière. En revanche, elle suit les dossiers d'indemnisations lors des coups de mer qui ont eu lieu en 2010 et 2011.

Elle dispose toutefois d'une série de photographies intéressantes en particulier sur le secteur Antibes-Villeneuve-Loubet-Cagnes-sur-mer (Route de la Siesta) qui est fréquemment coupée lors les coups de mer de secteur Est (cf. Illustration 15 à Illustration 17).

### 3.2.6. Collectivités locales

Des informations (photographies, rapport d'observation, coupure de presse) provenant des services techniques des mairies de Hyères-les-Palmiers et d'Antibes ont été rassemblées. Les photographies, sont fournies avec la base de données, mais n'ont pas fait l'objet de géo référencement. en raison de leur grande quantité.

L'Observatoire Marin<sup>5</sup>, structure organisée par la communauté de communes du Golfe de Saint-Tropez, a également fourni des informations. Il faut noter que cet observatoire est une des rares organisations en PACA qui ont une démarche de mesures systématiques de l'évolution des plages par des levés topographiques réguliers, et ainsi donne une indication sur le recul ponctuel du rivage lors des tempêtes.

## 3.3. CREATION DE LA BASE DE DONNEES TEMPETE

Au vu du nombre très important de tempêtes recensées et de la grande variété des informations recueillies, les données ont été stockées sous la forme d'une base de données, au format Access, pour intégrer la majeure partie des documents sources (articles, photos, vidéos).

Les critères et les champs choisis pour caractériser les tempêtes sont issus de l'expérience acquise en Languedoc-Roussillon pour la constitution du Réseau de surveillance des impacts des tempêtes marines données créé en Languedoc Roussillon (Balouin *et al.*, 2011).

Une large place est dédiée aux commentaires pour décrire les phénomènes et les dégâts. En effet, les modes de rédaction sont très disparates dans le temps, entre les différentes sources d'informations et pas toujours transposables aux champs retenus dans la base.

Entre 1694 et l'été 2014, 118 évènements de tempête ont été identifiés. Le code ID de chaque évènement est la date de début de la tempête au format AAAAMMJJ.

La base de données est constituée de 892 entrées, avec un code ID spécifique. Chaque entrée correspond à une information (caractéristique, ou dégât généré) lors d'un évènement de tempête, sur une commune donnée ou bien en un lieu précis.

Le géo-référencement des entrées est réalisé en fonction des données soit :

- à l'endroit de l'observation si l'information est présente ;
- au centroïde de la commune si elle ne l'est pas.

---

<sup>5</sup> <http://www.observatoire-marin.com/>



## 4. Inventaire des évènements de tempêtes en région PACA

### 4.1. LISTE DES EVENEMENTS

Le tableau suivant (Illustration 22) rassemble les principales dates de tempête recueillies lors de l'inventaire bibliographique.

Identifiant Tempête	Date/Heure du début	Date/Heure de fin
16941124	24 novembre 1694	24 novembre 1694
18180223	23 février 1818	23 février 1818
18211224	24 novembre 1821	24 novembre 1821
18550120	20 janvier 1855	20 janvier 1855
18621124	24 novembre 1886	24 novembre 1886
18701226	26 janvier 1870	26 janvier 1870
18761220	20 décembre 1876	20 décembre 1876
18820228	28 février 1882	28 février 1882
18850116	16 janvier 1856	16 janvier 1885
18861110	10 novembre 1886	10 novembre 1886
18861216	16 décembre 1886	16 décembre 1886
19061031	31 octobre 1906	31 octobre 1906
19140525	25 mai 1914	27 mai 1914
19161118	18 novembre 1916	18 novembre 1916
19190105	5 janvier 1919	7 janvier 1919
19200106	6 janvier 1920	6 janvier 1920
19220323	23 mars 1922	23 mars 1922
19241201	1 décembre 1924	1 décembre 1924
19250303	3 mars 1925	3 mars 1925
19261121	21 novembre 1926	21 novembre 1926
19470926	26 septembre 1947	26 septembre 1947
19501223	23 décembre 1950	23 décembre 1950
19571109	9 novembre 1957	9 novembre 1957
19571212	12 décembre 1957	12 décembre 1957
19610201	1 février 1961	1 février 1961
19611006	6 octobre 1961	6 octobre 1961
19611104	4 novembre 1961	4 novembre 1961
19640705	5 juillet 1964	5 juillet 1964
19641008	8 octobre 1964	8 octobre 1964
19650929	29 septembre 1965	29 septembre 1965
19670214	14 février 1967	14 février 1967
19700110	10 janvier 1970	11 janvier 1970
19700118	18 janvier 1970	18 janvier 1970
19700620	20 juin 1970	20 juin 1970

Identifiant Tempête	Date/Heure du début	Date/Heure de fin
19701226	26 décembre 1970	26 décembre 1970
19740418	18 avril 1974	18 avril 1974
19780128	28 janvier 1978	28 janvier 1978
19821106	6 novembre 1982	10 novembre 1982
19831128	28 novembre 1983	28 novembre 1983
19840207	7 février 1984	7 février 1984
19850806	5 août 1985	7 août 1985
19890225	25 février 1989	26 février 1989
19910928	28 septembre 1991	29 septembre 1991
19911218	18 décembre 1991	18 décembre 1991
19920829	29 août 1992	29 août 1992
19921205	5 décembre 1992	5 décembre 1992
19931024	24 octobre 1993	24 octobre 1993
19940105	5 janvier 1994	7 janvier 1994
19940831	31 août 1994	31 août 1994
19950514	14 mai 1995	14 mai 1995
19951228	28 décembre 1995	28 décembre 1995
19960110	10 janvier 1996	14 janvier 1996
19971104	4 novembre 1997	6 novembre 1997
19971216	16 décembre 1997	19 décembre 1997
19990919	19 septembre 1999	20 septembre 1999
19991020	20 octobre 1999	21 octobre 1999
19991228	28 décembre 1999	28 décembre 1999
20000919	19 septembre 2000	19 septembre 2000
20001105	5 novembre 2000	6 novembre 2000
20001106	6 novembre 2000	6 novembre 2000
20001225	25 décembre 2000	25 décembre 2000
20011111	11 novembre 2001	11 novembre 2001
20011115	15 novembre 2001	15 novembre 2001
20011213	13 décembre 2001	14 décembre 2001
20020221	21 février 2002	21 février 2002
20020825	25 août 2002	25 août 2002
20021214	14 décembre 2002	14 décembre 2002
20030817	17 août 2003	17 août 2003
20031017	17 octobre 2003	17 octobre 2003
20031031	31 octobre 2003	1 novembre 2003
20031203	3 décembre 2003	7 décembre 2003
20040221	21 février 2004	21 février 2004
20040912	12 septembre 2004	12 septembre 2004
20041113	13 novembre 2004	13 novembre 2004
20041218	18 décembre 2004	18 décembre 2004
20050121	21 janvier 2005	21 janvier 2005
20050201	1 février 2005	1 février 2005

Identifiant Tempête	Date/Heure du début	Date/Heure de fin
20050213	13 février 2005	13 février 2005
20050409	9 avril 2005	9 avril 2005
20050619	19 juin 2005	19 juin 2005
20051202	2 décembre 2005	3 décembre 2005
20051216	16 décembre 2005	16 décembre 2005
20060126	26 janvier 2006	26 janvier 2006
20070124	24 janvier 2007	24 janvier 2007
20070213	13 février 2007	13 février 2007
20070319	19 mars 2007	19 mars 2007
20070527	27 mai 2007	27 mai 2007
20071025	25 octobre 2007	25 octobre 2007
20071210	10 décembre 2007	10 décembre 2007
20080102	2 janvier 2008	3 janvier 2008
20080122	22 janvier 2008	22 janvier 2008
20080321	21 mars 2008	21 mars 2008
20081030	30 octobre 2008	4 novembre 2008
20081120	20 novembre 2008	24 novembre 2008
20081128	28 novembre 2008	1 décembre 2008
20081214	14 décembre 2008	16 décembre 2008
20081226	26 décembre 2008	27 décembre 2008
20091221	21 décembre 2009	23 décembre 2009
20100101	1 janvier 2010	2 janvier 2010
20100219	19 février 2010	20 février 2010
20100303	3 mars 2010	4 mars 2010
20100411	11 avril 2010	11 avril 2010
20100504	4 mai 2010	4 mai 2010
20101008	8 octobre 2010	12 octobre 2010
20111024	24 octobre 2011	24 octobre 2011
20111108	8 novembre 2011	9 novembre 2011
20121031	31 octobre 2012	1 novembre 2012
20130119	19 janvier 2013	19 janvier 2013
20130123	23 janvier 2013	23 janvier 2013
20130212	12 février 2013	12 février 2013
20130304	4 mars 2013	6 mars 2013
20130305	5 mars 2013	5 mars 2013
20130314	14 mars 2013	14 mars 2013
20130723	23 juillet 2013	23 juillet 2013
20130729	29 juillet 2013	29 juillet 2013
20131224	24 décembre 2013	26 décembre 2013
20140209	9 février 2014	9 février 2014
20140403	3 avril 2014	3 avril 2014

*Illustration 22 - Liste des évènements de tempête synthétisés dans la base de données BD Tempête en région PACA*

118 évènements ont été répertoriés depuis 1694.

Seuls quelques exemples de données recueillies seront présentés dans ce rapport. L'ensemble des informations sont synthétisées dans la base de données

## 4.2. EXEMPLES D'INFORMATIONS RASSEMBLEES

### 4.2.1. Tempête de 1906

Les dégâts de cette tempête ont fait l'objet d'une description très détaillée dans le Petit Niçois (Illustration 23)



Illustration 23 - Coupure de presse du Petit Niçois (2/11/1906).

#### 4.2.2. Tempête du 6 janvier 1920

Cette tempête a fortement atteint Nice et le Var, comme le détaille le Petit Niçois et le Petit Var (Illustration 23 et Illustration 25). Cette source d'information nous renseigne sur de nombreux secteurs de la côte qui ont été touchés. A noter que ce coup de vent, probablement de type cévenol, a entraîné aussi une inondation du Gapeau.

La description dans le Petit Var permet de localiser les dommages.

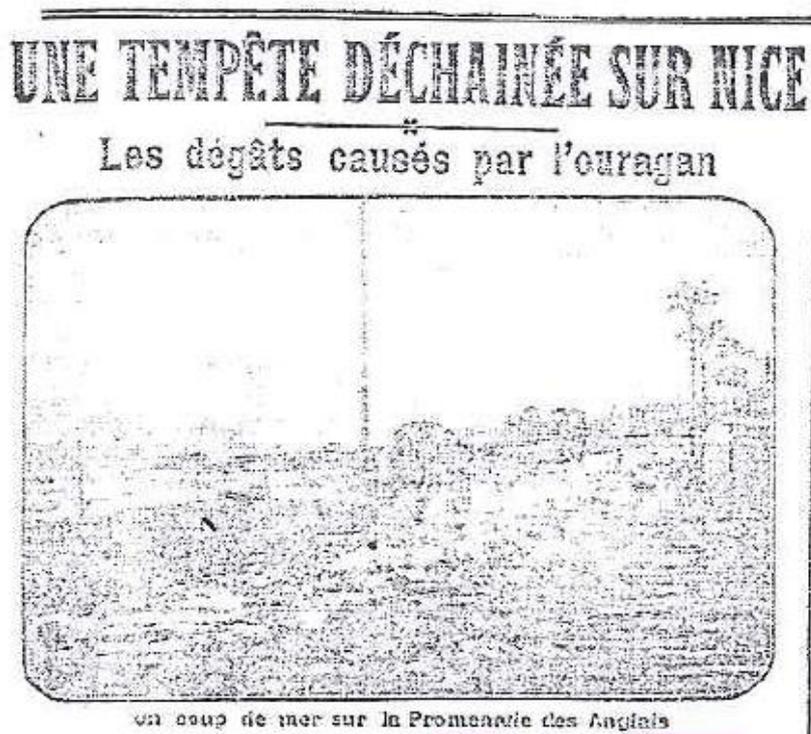


Illustration 24 - Coupure de presse du Petit Niçois (7/01/1920).

# Le Mauvais Temps

## A TOULON

Le mauvais temps qui sévit un peu partout n'a pas épargné notre région. Dans la nuit de lundi au mardi, la pluie et le vent ont fait rage. De violentes rafales ont causé de nombreux et importants dégâts en ville. Des palissades ont été arrachées et des cheminées se sont écroulées.

Sur la place de l'ancien hôpital de la marine, des gradiers d'un échafaudage d'une maison en réparations, se sont abattus sur la chaussée. La pluie, qui a tombé avec une extrême violence a grossi démesurément les ruisseaux et dans le bas de la ville, les rues furent littéralement inondées.

Sur les quais, le rug de mer a effrayé le seul des marginaux et des cirlés. Le délabrement des bateaux de la Seyne, chassés par le vent est venu se combler le long du quai.

Sur mer, la tempête a empêché toute navigation. Plusieurs embarcations ont subi des avaries sérieuses.

## A SAINT-MANDRIER

A Saint-Mandrier, les quais du Centre d'aviation ont été complètement submergés. Un charland qui était amarré au long du quai « Henri-IV », est parti à la dérive vers les ateliers du Creusot.

Les jetées de la rade ont été littéralement balayées par des vagues énormes.

On ne signale aucun accident grave de personnes.

## A HYERES

Par suite de l'orage de la nuit dernière, le Gapeau a débordé du côté du pont du chemin de fer. Aux Vieux Salins, le piquetage du bord de mer a été sérieusement endommagé et des pans de murs se sont écroulés.

Hier, les bateaux n'ont pu sortir du port.

Aux quartiers de la Godine et de la Jétéa, la route disparaissait sous les eaux.

## A UZERS

Au cours de l'avant-dernière nuit, un orage s'est abattu sur la région. Les éclairs et les tonnerres ont fait rage pendant plusieurs heures, accompagnés d'une pluie diluvienne qui a continué à tomber durant toute la journée, occasionnant de graves dommages à divers immeubles.

L'agriculture a eu particulièrement à souffrir du mauvais temps.

## AU GOLFE-JUAN

Une violente tempête d'Est avec pluie, s'est abattue à nouveau, dans la nuit de lundi à mardi, en Méditerranée et sur nos côtes, et a soufflé durant toute la nuit avec une extrême violence. Cette nouvelle tempête nous a amené encore plusieurs grands navires voiliers sur notre rade, où ils sont venus chercher un abri. A l'heure où nous écrivons ces lignes, la mer est démontée au large et la pluie tombe en abondance. Fort heureusement, on ne nous signale aucun sinistre maritime dans nos parages.

Illustration 25 - Coupure de presse du Petit Var (7/01/1920).

### 4.2.3. Tempête du 2 mars 1925

Le Petit Var (Illustration 26) relate les dégâts subis par le littoral à Toulon et Bandol

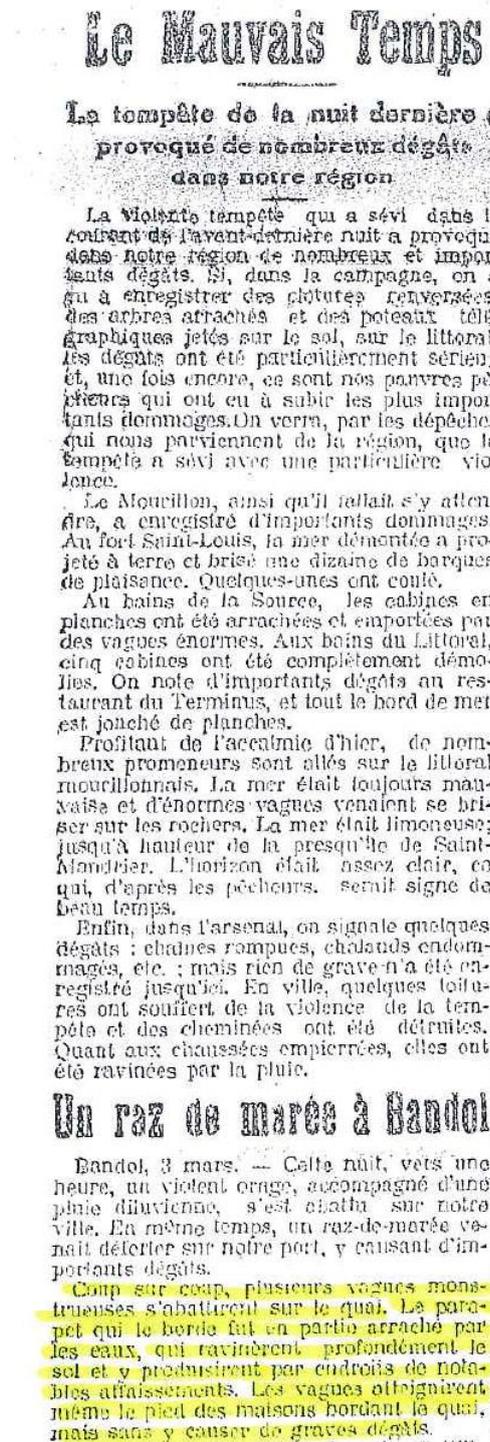


Illustration 26 - Extrait du Petit Var du 4 mars 1925

#### 4.2.4. Tempête du 25 septembre 1947

Le 25 septembre 1947, la côte provençale est balayée par un violent coup de vent de secteur Est.



Illustration 27 - Extrait du Provençal du 27 septembre 1947

## Raz de marée sur le littoral varois

(Suite de la 1<sup>re</sup> page)

A La Ciotat, le paquebot « Cyrnos », actuellement en réparation dans le port de La Ciotat, a rompu ses amarres et a chaviré.

Les dégâts sont très importants et le navire ne pourra pas reprendre son service sur la ligne de la Corse au mois de mars 1948 comme il était prévu. Le « Cyrnos » jauge 2.500 tonnes.

Les paquebots « La Marseillaise », en construction et « El-Mansour », en réparation, ont rompu la nuit dernière, leurs amarres provoquant des dégâts sérieux au quai ainsi qu'aux embarcations de pêche et de plaisance mouillées à proximité. Une trentaine de ces dernières ont coulé.

A Marseille, de nombreux arbres ont été arrachés et des cheminées détruites.

On signale des dégâts importants dans la banlieue de Marseille. Des barques de pêche ont rompu leurs amarres et ont coulé.

Plusieurs navires qui étaient attendus ce matin dans le port ont été retardés par l'état de la mer

lés à l'aérodrome de Popetta. Toutes les récoltes de la région ont été détruites.

Un télégraphiste de Milan qui la gare centrale a subi de graves dégâts au cours du violent orage qui s'est abattu la nuit dernière sur la région. Dans la campagne, le vent a déraciné de nombreux arbres qui sont abattus sur la voie ferrée Milan - Plaisance, provoquant une interruption du trafic ferroviaire. Les pertes totales provoquées par l'orage s'élèvent à plusieurs dizaines de millions de lires.

### A TOULON

(Suite de la 1<sup>re</sup> page)

Un peu plus loin, la mer furieuse a franchi le Bd Littoral Frédéric Mistral. Elle a envahi les caves de l'Hôtel de la Réserve, dont la bourrasque avait déjà mis la toiture à mal.

Des équipes d'ouvriers munis de pelles déblayaient la route qui disparaissait sous une épaisse couche de sable.

Illustration 28 - Extrait du Petit Varois du 27 septembre 1947

#### 4.2.5. Tempête de novembre 1982

Cette tempête de Sud-Est est probablement une des plus importantes qu'a subies le littoral méditerranéen à l'échelle du XX<sup>ème</sup> siècle. Le littoral de Camargue, a particulièrement souffert, avec une rupture de digue qui entrainé la submersion par la mer de la partie est des Saintes-Maries-de-La-Mer (Illustration 29).



Illustration 29 - Extrait du Provençal du 7/11/1982

### 4.2.6. Tempête du 25 février 1989

Un violent coup de vent ravage la côte des Alpes-Maritimes en créant de nombreux dégâts et des victimes (

Illustration 30).

# Coup de tabac meurtrier entre Cannes et Menton

## Des lames de dix à quinze mètres de hauteur ont balayé le rivage, semant la panique et la mort parmi les promeneurs

Les coups de tabac de la Méditerranée sont rares. Ils n'en sont que plus meurtriers tant ils surprennent par leur soudaineté et leur violence. On en a eu la terrible démonstration hier, avec les gigantesques vagues qui ont déferlé sur le littoral.

De véritables lames de fond ont semé la mort et la dévotion sur leur passage tant à Menton, Eze et Cap-d'Ail où trois promeneurs ont trouvé la mort qu'à Nice et Cannes où une dizaine de personnes, également surprises,

## Cap-d'Ail et Eze : un mort, un disparu

La mer a tué, hier après-midi, à Cap-d'Ail et vraisemblablement aussi à Eze, Théodore de ce double drame : le senior des Douvriers qui se promenait à flanc de rocher depuis la plage Marquet jusqu'à la pointe de la Mala et au-delà.

Vers 14 heures, des promeneurs assésés, impuissants, au premier acte de cette tragédie : un rouleau plus puissant que les autres déferle sur le cap Eze et emporte un jeune homme (deux l'identité n'était toujours pas connue hier soir), accompagné de son chien, qui sont aussitôt engloutis. L'alerte est donnée. La vedette de la gendarmerie de Saint-Jean-Cap-Ferrat avec à son bord deux plongeurs des secours-pompiers de Nice, sillonne la zone tandis que l'Indicopère de la Préfecture civile effectue de multiples relevés. Les recherches se poursuivront avec la collaboration du Sémaphore du Cap-Ferrat et la Croix-Rouge jusqu'à la tombée de la nuit. En vain.

## Menton : la vague plus rapide que le malheureux retraité

Il était environ 16 h 30 et M. Jules Minot, 82 ans, retiré, demeurant 3, rue Palmiro à Menton, se trouvait sur le promenade du bord de mer, à proximité du Bastion, en compagnie de son petit-fils Cédric âgé de 30 ans.

Les deux hommes observaient la mer démontée — la route du bord de mer avait été fermée à la circulation — et les vagues battant sur la grève. Ils virent soudain une vague de plus grande envergure, haute de dix à

## Nice : une déferlante de dix mètres

à trois mètres, arriver droit sur eux. Plus par crainte, d'être

au bord de mer, ont été projetés par ces vagues à la force titanesque et plus ou moins sérieusement blessés.

A ce tragique et foudroyant événement ont apporté les dégâts assez considérables provoqués par ce métronome de mer sur des bateaux qui ont rompu leurs amarres et se sont échoués, des restaurants et établissements de bord de mer gravement endommagés, des voitures sérieusement matraquées par les flots déchaînés et des chaussees inondées et recouvertes par de véritables retombées de galets.

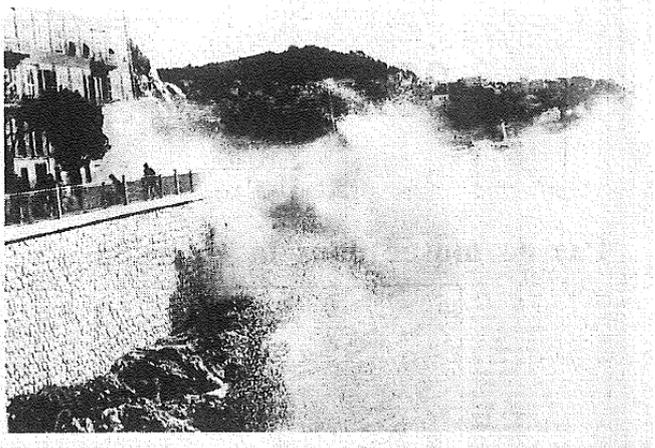
Une jeune femme, Marie-Claude Nirasco, âgée de 35 ans, infirmière à Nice à l'hôpital Saint-Roch, chemine en rive. Un violent paquet de mer la projette à terre avant de l'aspirer dans un réfrigérateur d'écuries. Ses amis, damasés un instant, la voient se débattre au milieu des lames sans pouvoir rien tenter sinon appeler au secours les gendarmes qui poursuivirent un peu loin sur la commune d'Eze, les recherches concernant le premier disparu.

La mer a tué avec une facilité d'ordinaire plus terrible que la Méditerranée jouit — à tort — d'une réputation d'espace marin paisible. Mais sa violence continue est redoutable.

D'autre part, au fond de la rade de Villefranche, cinq bateaux ont rompu leur amarres avant de se disloquer sur la grève.

et M. Michel Giuliani, fils du secrétaire général de la mairie de Menton. Puis la victime était prise en charge par une ambulance des secours pompiers de Menton qui la conduisit au centre hospitalier La Palmosa.

Elle devait, hélas !, décider durant le trajet, autant des suites de la fracture du crâne que d'un début de noyade. Installé à Menton depuis un peu plus d'un an, M. Jules Minot y séjournerait régulièrement depuis plusieurs années.



## Un blessé à Juan-les-Pins

A Juan-les-Pins, la femme d'un pêcheur, boucanée par une déferlante, a été blessée et a dû être soignée aux urgences de l'hôpital Saint-Louis de Nice (voir par ailleurs).

Les plages ont été testées et les établissements balnéaires inondés. Ce qui a nécessité l'intervention des secours pompiers qui ont procédé à des opérations de pompage.

La mer a aussi endommagé de nombreux pontons et détruit un petit valet qui se trouvait au mouillage en face de la pinède, où les vagues passaient littéralement par-dessus le toit.

(Photo René Uho)

## Cagnes : la route du bord de mer coupée

Dirigement « au contact » de la plage, le chausseé au de la route du bord-de-mer a dû être fermée à la circulation dans sa portion comprise entre la promenade Casino de Villefranche-Loubet et le boulevard Kennedy, bordant l'hippodrome de Cagnes-sur-Mer. La D.D. a pris cette décision vers 16 heures, alors que, depuis le milieu de la matinée (dix), les services s'employaient à débayer la route recouverte de galets et inondée.

La circulation Cannes-Nice a donc été déviée sur la N.10, où des bouclons se sont succédés jusque vers 19 heures, heure à laquelle le trafic était établi sur une voie à la hauteur du mail-tunnel de l'hippodrome, précédant des travaux techniques de la ville ont créé un canal d'évacuation vers la mer, afin de pouvoir accéder aux quais à pied presque sec.

Parmi les différentes interventions conduites à ce coup de mer, les pompes (un d'axe du molin et soudainement arrêté) se sont mis à l'eau pour aller rucherer en... balnear, baigné contre un bouclon à une vingtaine de mètres des installations de la plage Cadeo, dont les installations ont beaucoup souffert. Le balnear impuissant, sous quel inconnu — un habitant de Cagnes-sur-Mer — vint-il profiter d'une avarie pour faire sauter. Sans l'intervention de son sauvetage, il aurait été mort d'hypothermie et de noyade.

## Voiture folle à Saint-Paul Un jeune motocycliste de 22 ans tué sur le coup

L. P.

Illustration 30 - Nice-Matin du lundi 27 février 1989

#### 4.2.7. Tempête du 16-17 décembre 1997

Cette tempête est bien documentée par les travaux du CETE (2007, 2010) en Camargue. Elle a également touché le littoral varois (Illustration 31).

## ***Le Var sous le vent***

Le mauvais temps qui sévit sur le littoral a provoqué de sérieux dégâts, notamment à Ramatuelle et Hyères

**L**ES "coups" de vent d'est affectent toujours beaucoup la plage de Pampelonne, qui s'ouvre entièrement au soleil levant. Durant ces deux jours, les rafales ont été d'une violence particulière et ont causé d'importants dégâts aux bâtiments légers des plages.

De mémoire d'anciens, une telle puissance du vent d'est, ce n'était pas vu depuis plus de quarante ans. Un des premiers plagistes de Pampelonne, Félix Patrai, le patron de Tahiti, évoquait bien l'hiver de 1954.

De fait, le vent d'est s'accompagne mardi et hier, d'une montée importante de la mer, qui a envahi l'intérieur de plusieurs restaurants de plages, les détruisant en grande partie, comme à Tabou-Plage.

Quelques arbres ont été déracinés, l'un d'eux, plus gros, s'est mis en travers de la route de Tahiti, et les pompiers ont dû le tronçonner pour la rendre à la circulation.

D'une façon générale, chaque tempête d'est provoque des dégâts spectaculaires sur Pampelonne. C'est bien pourquoi le maire essaie depuis plusieurs années d'obtenir pour les plages, des constructions en dur qui permettraient de mieux résister aux intempéries.

Mais pour le moment, le principe de ces constructions, attaqué par les associations de défense des sites, n'a pu être appliqué.

#### **Sainte-Maxime : la RN 99 fermée à la circulation**

Dans le cimetière de Précorail, la mer était complètement démontée à la suite de la tempête. De nombreux dégâts mineurs ont été constatés à Sainte-Maxime.

Par mesure de sécurité, la RN 99, sur le bord de mer, à hauteur du Pont du Pré-



Le vent d'est a pratiquement tout détruit à Tabou-Plage.

(Photo J.M.R)

corail a été fermée hier à la circulation, et une déviation mise en place. Des pierres sur la route, des algues

à d'autres endroits notamment à hauteur de La Croisette, ont quelque peu perturbé les automobilistes. Une ram-

barde, en partie endommagée lors d'un précédent orage violent, s'est cette fois littéralement érodée.

Illustration 31 - Var Matin le 17 décembre 1997



## 5. La base de données tempêtes

Afin de faciliter la compilation des documents et des informations, l'ensemble des données rassemblées dans l'inventaire des événements de tempête sur la région PACA, a été saisi dans une base de données Access.

En vue d'une éventuelle future mise en ligne de la base en particulier sur le site de l'Observatoire Régional des Risques Majeurs, le modèle de données de la base Access retenu est une transposition directe de celui de la base de données, développée par le BRGM, pour les participants au Réseau Tempêtes.

Ce réseau mis en place en région Languedoc-Roussillon dans le cadre du CPER 2007-2013 renseigne une base d'informations sur les tempêtes actuelles est librement consultable sur le site internet dédié aux études sur le milieu littoral réalisées dans le CPER :

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

### 5.1. LE RESEAU TEMPETE EN LANGUEDOC-ROUSSILLON

#### 5.1.1. Historique

La connaissance des tempêtes et de leurs impacts morphologiques et/ou socio-économiques constitue une donnée de base indispensable pour l'amélioration de la connaissance sur les évolutions actuelles et futures du littoral, la caractérisation fine des aléas érosion et submersion marine pour la prévention des risques côtiers, ou encore l'évaluation de l'efficacité et de la durée de vie des aménagements de protection.

Cette donnée historique restant difficilement accessible et utilisable en raison de sources très diverses, de dispositifs de suivi peu comparables, voire de portions littorales non couvertes, les acteurs du CPER en Languedoc-Roussillon ont décidé de mettre en place une organisation afin de mutualiser et d'homogénéiser les démarches existantes en matière de suivi des tempêtes et de leurs impacts, et de les généraliser sur l'ensemble du littoral de la région Languedoc-Roussillon en s'appuyant sur la mise en réseau des organismes et services administratifs concernés.

Depuis 2011, le BRGM coordonne ainsi la mise en œuvre d'un « Réseau Tempête » dédié à la surveillance des tempêtes et de leurs impacts dans le cadre des « Etudes stratégiques et prospectives sur l'évolution des risques littoraux » du volet « Gérer durablement le Littoral » du Contrat de Projet Etat-Région.

Cette mise en œuvre a nécessité :

- la constitution d'un réseau partenarial à l'échelle régionale d'organismes volontaires et impliqués sur le suivi des tempêtes ;
- la définition de sites de suivi minimum (32 « Points Fixes » et 3 Stations Vidéo) et l'harmonisation des méthodes de suivi validées sur le terrain (rencontres dans chaque département) ;
- la mise en place d'outils pour le déclenchement des suivis (message automatique d'information tempête) et la mutualisation des informations (plateforme FTP, puis base de données Postgres en ligne, accessible aux partenaires).

### **a) Membres du réseau et fonctionnement**

Les partenaires opérationnels, en charge des suivis sur leur terrain d'intérêt de leur propre initiative, 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 Béziers Méditerranée ;
- la Communauté d'Agglomération Hérault Méditerranée ;
- Perpignan Méditerranée Communauté d'Agglomération ;
- Thau Agglo ;
- l'EID-Méditerranée ;
- le BRGM.

Le réseau est activé par courrier électronique en fonction des prévisions de hauteur significative des vagues (modèle PREVIMER) dans le Golfe du Lion suivant 3 seuils :

- Seuil 1 : lorsque les vagues atteignent 3 m, les mesures et images réalisées sur les instruments (houlographes, marégraphes, stations météorologiques et stations vidéo) sont rapatriées ;
- Seuil 2 : lorsque les vagues atteignent 4 m, 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 5 m, 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<sup>6</sup> qui permet aux membres du réseau de saisir les observations et qui génère automatiquement des fiches par tempête.

### **b) Activité du Réseau**

Sur la période d'octobre à décembre 2011, le réseau a principalement été activé à l'occasion de la tempête du 24/25 octobre qui, en raison d'un dépassement du seuil 2 ( $H_s > 4m$ ), a vu les équipes intervenir sur le terrain. D'intensité limitée, cette tempête (inférieure à la tempête annuelle) a été suivie par de petits coups de mer successifs qui ont généré des impacts modérés en termes d'aléas côtiers (érosion et submersion) et de dégâts sur les ouvrages. Une victime a toutefois été à déplorer dans les Pyrénées Orientales.

La seconde « période » 2012-2013 d'activité du Réseau Tempête a essentiellement été marquée par le coup de mer du 05-06 mars 2013 qui a mobilisé les observateurs sur le terrain (seuil 2 dépassé pour les 4 départements). Avec des vagues dépassant 6 m à Leucate et une surcote de l'ordre de 50 cm à Sète, l'ensemble des plages ont été submergées avec des franchissements de paquets de mer en arrière de certains cordons sédimentaires. Cette

---

<sup>6</sup> <http://littoral.languedocroussillon.fr/suivi-des-tempetes-et-de-leurs-impacts.html>

tempête a donc généré des modifications importantes des morphologies côtières (front de dune entaillé, brèches, overwash,...) et des impacts en termes de dégâts et de submersion sur les fronts de mer, les ports, les réseaux routiers et les ouvrages tant « légers » (ganivelles) que « lourds » (brise-lame, jetée). Une concomitance avec des débordements de cours d'eau a également été constatée, avec un millier de personnes déplacées, notamment sur l'Agglo. Le bilan fait également état de deux victimes (Aude et Pyrénées Orientales). Le retour d'expérience sur le fonctionnement du réseau sur cette seconde période et particulièrement sur cette tempête majeure indique que les seuils et les moyens de déclenchement du réseau sont globalement robustes et adaptés mais que les prévisions tendent à sous-estimer les valeurs de vague mesurées pendant l'évènement. La mutualisation des observations peut être longue après la tempête, avec parfois des difficultés pour accéder au serveur ftp. Il a donc été décidé de développer un outil de saisie et de consultation en ligne via un espace dédié sur le site du CPER Littoral.

L'outil de 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  $H_s=3\text{m}$  est atteint ou dépassé. Jusqu'à fin 2013, la routine utilisait les sorties du modèle WW3 Méditerranée d'Iframer archivées sur le serveur ftp du projet IOWAGA (sorties de modèle PREVIMER). 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 Estado<sup>7</sup> a été demandé et la routine pointe maintenant vers leur serveur ftp.

La dernière période de suivi, 2013-2014, 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  $H_s=4.6\text{m}$  à l'Espiguette et  $H_s=4.2\text{m}$  à Sète entre le 24/12 à 16h et le 25/12 à 2h.

### **c) Retour d'expérience**

Sur l'ensemble de la période, le fonctionnement du réseau a été relativement efficient. En effet, 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 ;
- passage du mail dans les indésirables (spams) des boîtes de réception des destinataires.

Enfin, la fiabilité des sorties du modèle espagnol de prévision de la houle a pu être observée via une comparaison entre les séries temporelles des hauteurs significatives des vagues estimées et celles issues des mesures du réseau Candhis. De manière générale, sur l'ensemble des bouées, le modèle semble toutefois surestimer les conditions de vague notamment lorsque les mesures des hauteurs significatives ne dépassent pas 2 mètres.

---

<sup>7</sup> [www.puertos.es](http://www.puertos.es)

#### d) Bilan 2011-2014 du Réseau

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. Une synthèse cartographique des impacts en termes d'érosion, de submersion marine et de dégâts matériels a permis 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.

Des améliorations sont 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. Actuellement, le Réseau Tempête est maintenu en mode « *best effort* » sur la base du dispositif actuel.

#### 5.1.2. Base de données tempête en région Languedoc-Roussillon

La base de données est structurée afin de reprendre dans ses tables et leurs champs l'ensemble des informations produite par le réseau (Illustration 32), à savoir :

- les dates de la tempête ;
- les mesures (pic de houle, vent, pression, niveaux) à l'échelle régionale selon différentes stations géolocalisées ;
- les impacts à la commune (déclaration d'un dossier CATNAT notamment) ;
- les observations locales par Point fixe ou point libre (érosion, submersions, dégâts) ;
- les photos de Point fixe ou libres.

The image shows a screenshot of a web application interface for storm data entry. The main window is titled "Détail de la tempête" and displays a form for "Mesure de houle au pic de la tempête". The form includes fields for "Date/heure", "Houlographe" (set to "Sète"), "Hauteur significative (m)", "Hauteur max (m)", "Période (s)", and "Direction" (set to "sélectionner"). There is a "Source" field with a "+ Attacher une source" button. Below the form are "Annuler" and "Enregistrer" buttons. The background shows a sidebar with "Tempête 20081101", "Pic de vent", "Pic de dépression", "Situation", "Sète", and "Observations".

Illustration 32 – Exemples d'écran de l'application de saisie

### a) Edition d'états pour la consultation

La consultation des informations saisies et contenues dans la base se fait par l'édition de fiches de tempêtes accessible par date sur le site du CPER<sup>8</sup> via un mot de passe commun aux partenaires du réseau.

<sup>8</sup> <http://littoral.languedocroussillon.fr/>

---

<b>1986</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>Tempête <a href="#">19861012</a> du dimanche 12 octobre 1986 au lundi 13 octobre 1986</li><li>Tempête <a href="#">19860301</a> du samedi 1er mars 1986 au samedi 1er mars 1986</li><li>Tempête <a href="#">19860226</a> du mercredi 26 février 1986 au vendredi 28 février 1986</li><li>Tempête <a href="#">19860130</a> du jeudi 30 janvier 1986 au vendredi 31 janvier 1986</li></ul>
<b>1984</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>Tempête <a href="#">19841108</a> du jeudi 8 novembre 1984 au vendredi 9 novembre 1984</li></ul>
<b>1982</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>Tempête <a href="#">19821106</a> du samedi 6 novembre 1982 au jeudi 11 novembre 1982</li></ul>
<b>1979</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>Tempête <a href="#">19790118</a> du jeudi 18 janvier 1979 au samedi 20 janvier 1979</li></ul>
<b>1978</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>Tempête <a href="#">19780110</a> du mardi 10 janvier 1978 au mardi 10 janvier 1978</li></ul>
<b>1976</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>Tempête <a href="#">19760923</a> du jeudi 23 septembre 1976 au jeudi 23 septembre 1976</li></ul>
<b>1970</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>Tempête <a href="#">19700110</a> du samedi 10 janvier 1970 au samedi 10 janvier 1970</li></ul>
<b>1969</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>Tempête <a href="#">19690706</a> du dimanche 6 juillet 1969 au dimanche 6 juillet 1969</li></ul>
<b>1965</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>Tempête <a href="#">19651009</a> du samedi 9 octobre 1965 au samedi 9 octobre 1965</li></ul>
<b>1963</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>Tempête <a href="#">19631105</a> du mardi 5 novembre 1963 au mardi 5 novembre 1963</li></ul>
<b>1958</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>Tempête <a href="#">19580904</a> du jeudi 4 septembre 1958 au jeudi 4 septembre 1958</li></ul>



*Illustration 33 – Extrait de la liste de tempête accessible sur le site internet*

L'implémentation html est basée sur une fiche principale dite « Fiche tempête » qui regroupe les informations sur les mesures et les impacts à la commune (déclaration CATNAT notamment) et à partir de laquelle un lien oriente vers les fiches de site contenant les observations (érosion, submersion, impacts sociétaux) et les photos attenantes. Ces fiches de consultation sont générées automatiquement dès la création d'une tempête dans la base. Il y a donc une dynamisation entre la base et la fiche, permettant qu'elle se mette à jour dès qu'une information nouvelle est saisie sur la tempête concernée.

### ***b) Modèle de données***

Le modèle de données est rappelé dans la figure ci-dessous (Illustration 34).





### 5.2.2. Interface de saisie

Une interface de saisie simple a été développée sous Access pour le renseignement de la base de données (Illustration 36 et Illustration 37).

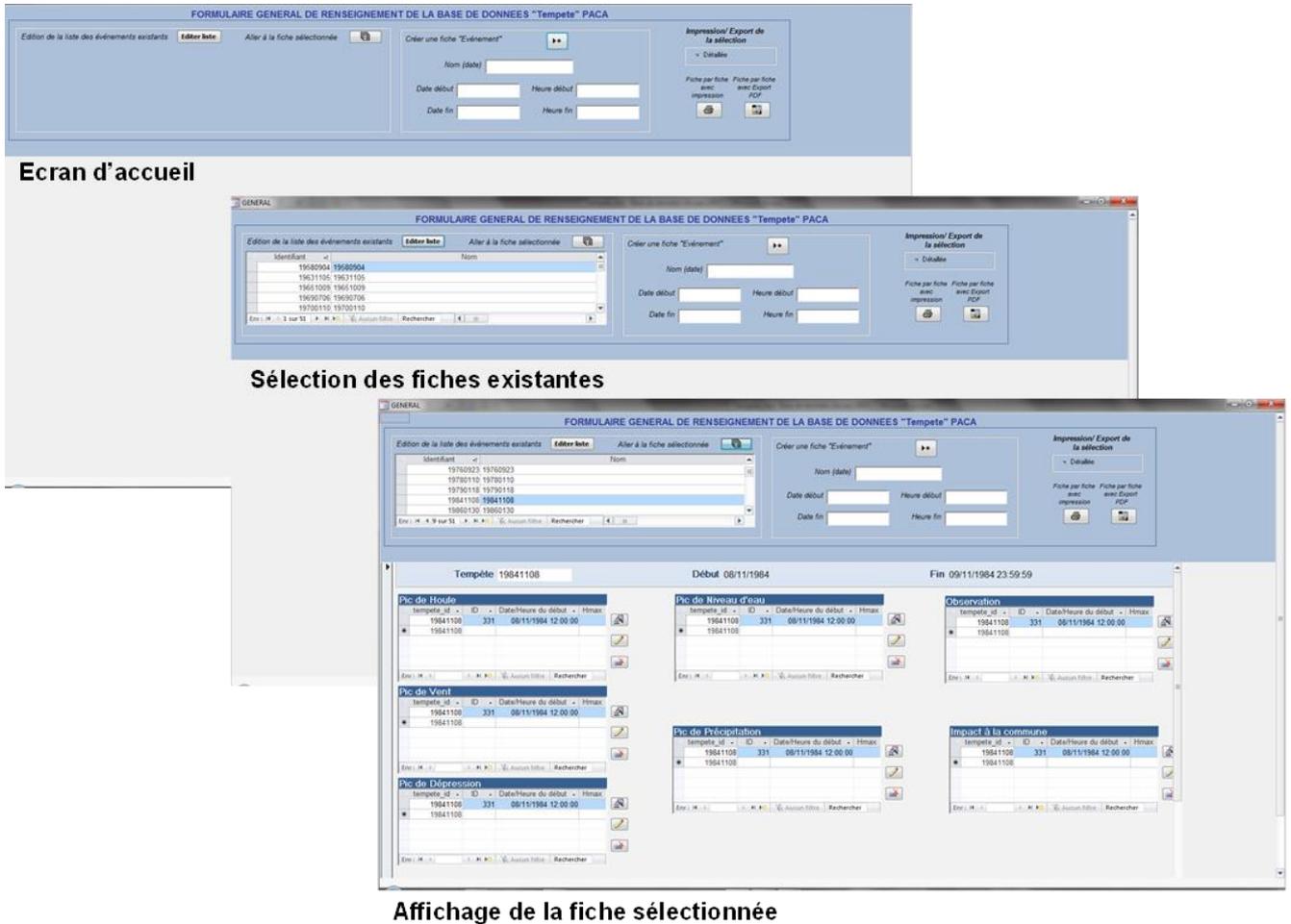


Illustration 36 - Interface de saisie pour créer/sélectionner une fiche (évènement)

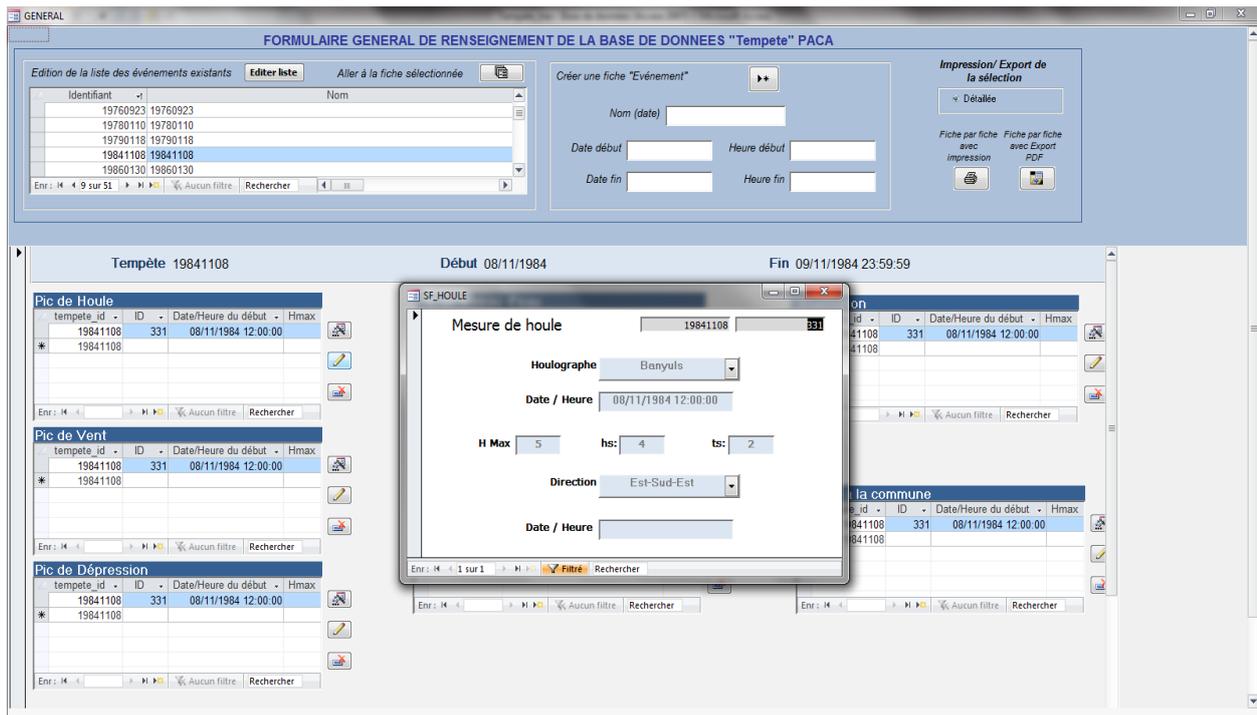


Illustration 37 - Renseignement de la fiche (actions sur les données d'un thème : modifier/crée/supprimer)

### 5.2.3. Caractéristiques de la base

118 évènements de tempête ont été identifiés. Le code ID de chaque évènement est la date de début de la tempête au format AAAAAMMJJ.

La base de données est constituée de 892 entrées, avec un code ID spécifique. Chaque entrée correspond à une information (caractéristique, ou dégât généré) lors d'un évènement de tempête, sur une commune donnée ou bien en un lieu précis. :

- Paramètres hydrodynamiques
- Typologie des dommages
- Submersion marine (extension, conjointe avec crue...)
- Indicateurs état côte sableuse (recul/avancée du TC, perte/gain sédimentaire)
- Indicateurs côtes rocheuses (éboulements...)
- Photographies
- Données géo référencées
- Autres...

Le géo-référencement des entrées est réalisé en fonction des données soit :

- à l'endroit de l'observation si l'information est présente ;
- au centroïde de la commune si elle ne l'est pas.

A travers le modèle de données, un grand nombre de champs sont définis et différentes requêtes sont possibles pour la consultation de la base.

### 5.2.4. Editions d'états de consultation

Les fiches de tempête sont exportables sous forme d'états rassemblant les différentes informations contenues dans la base.

Identifiant Base de données :		20100303		Nom :		20100303						
Heure de début :		03/03/2010		Heure de fin :		04/03/2010		Commentaire :				
1786	83069	Hyères	Inconnu	954700	6229500							
1787	83126	La Seyne-sur-Mer	Inconnu	934400	6226900							
1788	83115	Sainte-Maxime	Inconnu	995200	6252300							
1789	83137	Toulon	Inconnu	938600	6229500							
Informations sur les submersions												
IDentifiant	INSEE	Nom	Mod. acq.	XL93	YL93	Type	Hauteur	Surface	Comment. sub.	Comment. gene.	Id	Documents
1785	83137	Toulon	Inconnu	939731.2	6227505.09	Pas submersion				six bancs en béton de 200kg ont été emportés par les vagues au Mourillon :		
1786	83069	Hyères	Inconnu	954700	6229500	Pas submersion						
1787	83126	La Seyne-sur-Mer	Inconnu	934400	6226900	Pas submersion						
1788	83115	Sainte-Maxime	Inconnu	995200	6252300	Submersion par franchise ment			La RD98 a été inondée par les vagues et ont sauté les digues; immeuble le brutus inondé (8cm d'eau)			
1789	83137	Toulon	Inconnu	938600	6229500	Pas submersion				six bancs en béton de 200kg ont été emportés par les vagues au Mourillon		
Informations sur le profil												

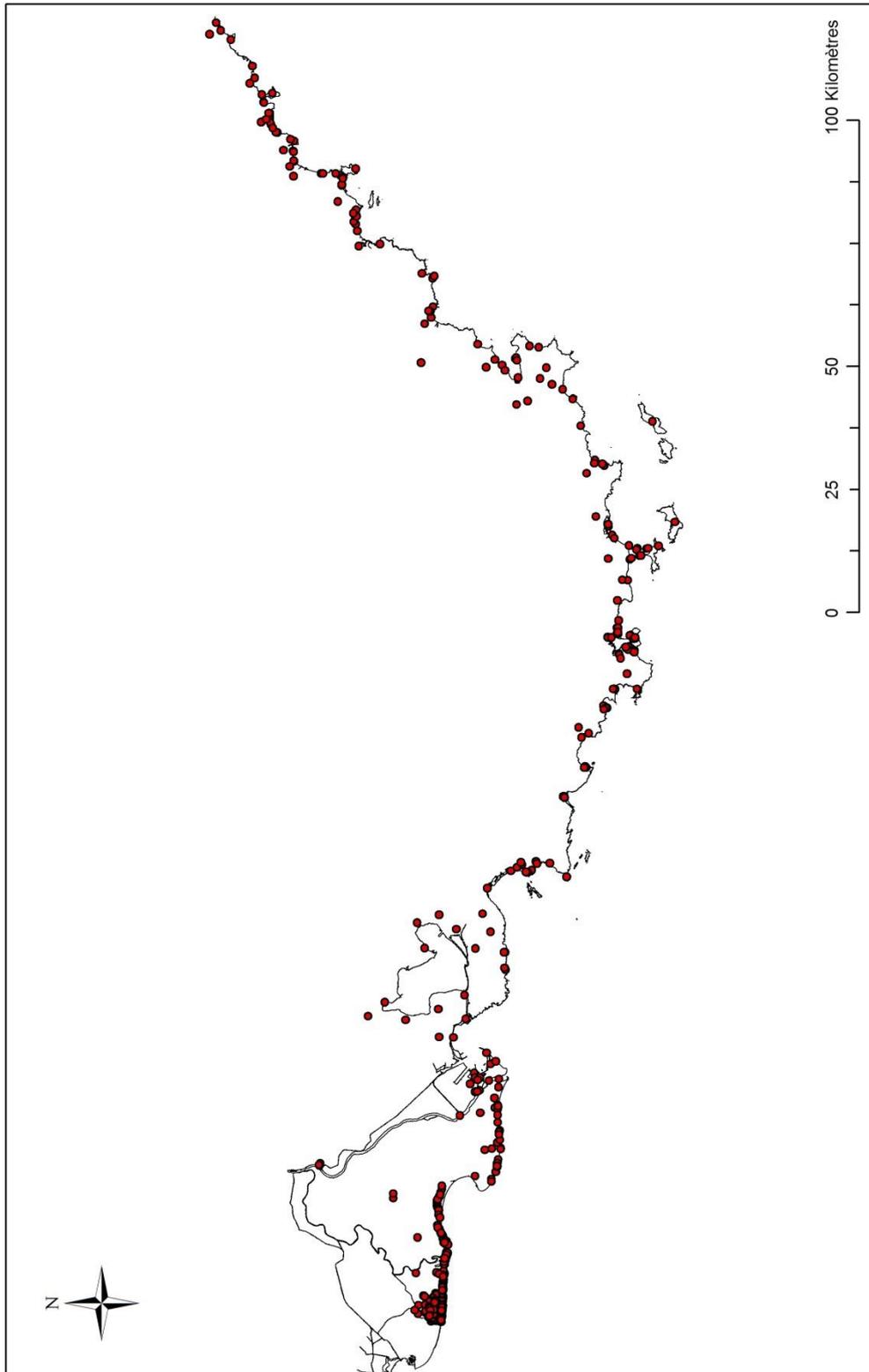
Illustration 38 - Exemple d'états de consultation de la base de données (fiche du 03/03/2010)

### 5.2.5. Exemples de restitutions cartographiques et indicateurs

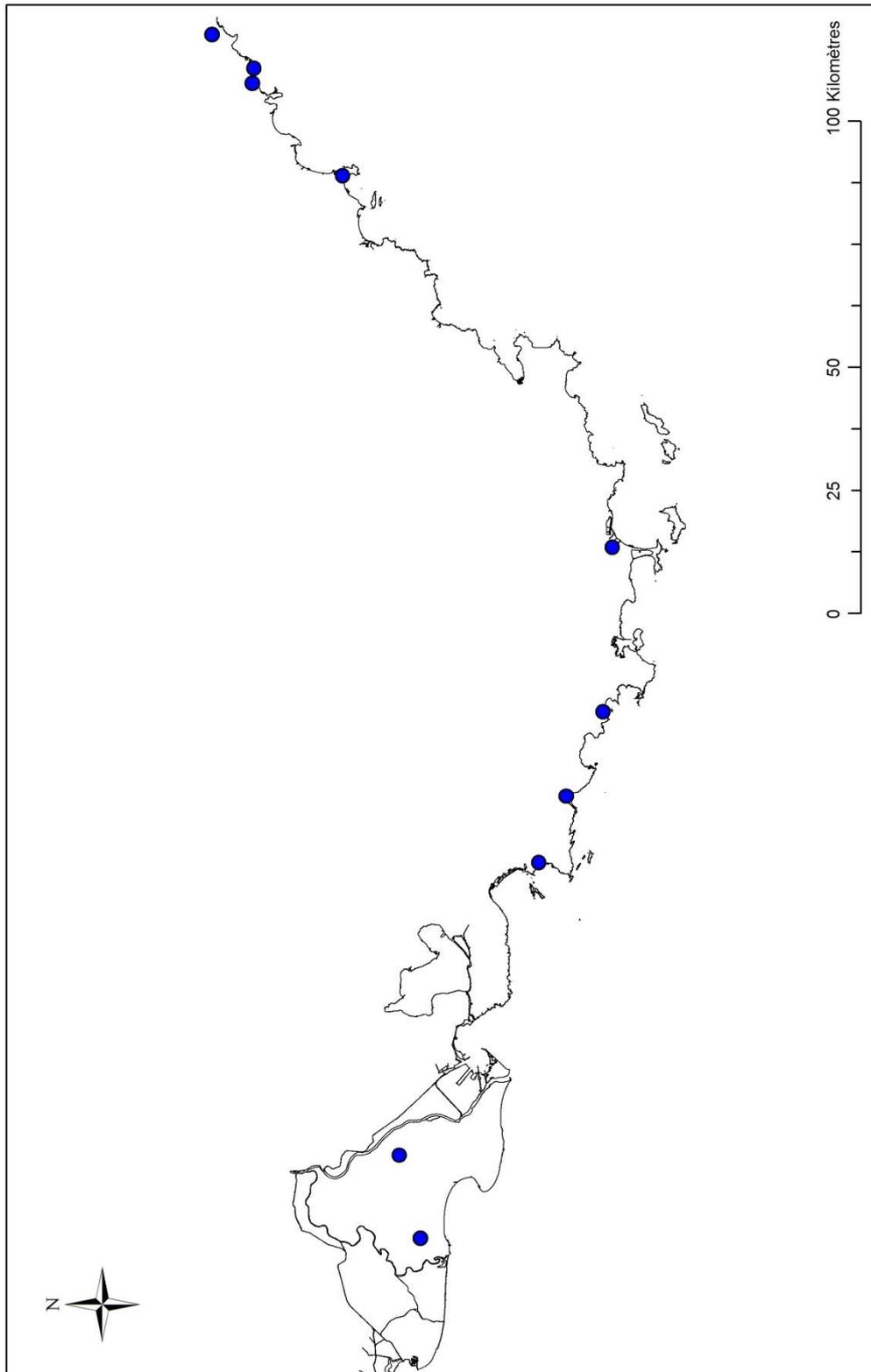
Les données géo-référencées peuvent faire l'objet de rendu cartographique suivant les requêtes réalisées dans la base.

L'illustration 39 rassemble les observations dans la base de données. Elle montre donc une image de l'exposition du littoral aux dégâts et dommages induits par les tempêtes qui est, très logiquement, plus importante aux niveaux des zones basses sableuses (Camargue, rade d'Hyères) et du littoral des Alpes-Maritimes. En effet, la remontée d'information d'un évènement d'éboulement sur les falaises rocheuses des Calanques ou du secteur de la Ciotat, par exemples, est rarement coïncidente avec une tempête.

De même, l'illustration 40 montre les observations avec signalement de décès liés à la tempête (nauffrage inclus).



*Illustration 39 - Points d'informations/observations dans la base de données tempête PACA*



*Illustration 40 - Répartition des décès liés à la tempête, inclus les décès dû à des naufrages (champ booléen : oui/non, géolocalisation à la commune)*

Parmi les indicateurs qui permettent de synthétiser les impacts des tempêtes sur le littoral de la région PACA, on peut retenir le nombre d'évènements (dégâts) recensés par communes littorales (Illustration 40) :

Commune	Nombre d'entrées
Saintes-Maries-de-la-Mer	224
Hyères	57
Nice	57
Marseille	45
Arles	43
Toulon	39
Cannes	35
Antibes	34
La Seyne-sur-Mer	27
Saint-Raphaël	21
Port-Saint-Louis-du-Rhône	17
Bormes-les-Mimosas	12
Cagnes-sur-Mer	12
Saint-Laurent-du-Var	12
Cassis	11
Villefranche-sur-Mer	11
Bandol	10
Eze	10
Le Lavandou	10
Menton	10
Villeneuve-Loubet	9
Sainte-Maxime	8
Saint-Tropez	8
Roquebrune-Cap-Martin	7
Vallauris	7
Cap-d'Ail	6
Saint-Mandrier-sur-Mer	6
Sanary-sur-Mer	6
Carqueiranne	5
La Ciotat	5
Sausset-les-Pins	5
Beaulieu-sur-Mer	4
Cogolin	4
Fréjus	4
La Croix-Valmer	4
Ramatuelle	4
Saint-Cyr-sur-Mer	4
Saint-Jean-Cap-Ferrat	4

Carry-le-Rouet	3
Cavalaire-sur-Mer	3
Fos-sur-Mer	3
Mandelieu-la-Napoule	3
Rayol-Canadel-sur-Mer	3
Six-Fours-les-Plages	3
Théoule-sur-Mer	3
Le Pradet	2
Marignane	2
Ascros	1
Berre-l'Etang	1
Châteauneuf-les-Martigues	1
Ensuès-la-Redonne	1
Gassin	1
Grimaud	1
Istres	1
La Londe-les-Maures	1
Le Rove	1
Miramas	1
Port-de-Bouc	1
Rognac	1
Roquebrune-sur-Argens	1
Saint-Chamas	1
Saint-Mitre-les-Remparts	1
Vitrolles	1

*Illustration 41 - Répartition des entrées de la base de données Tempête en fonction des communes de la région PACA*

Cet indicateur illustre la vulnérabilité des zones basses du littoral régional aux tempêtes avec beaucoup d'informations au niveau des plaines alluviales :

- de la Camargue (Arles et Saintes Maries de la Mer), en raison de son exposition mais aussi de la disponibilité de la synthèse des données locales pour l'établissement des PPRL Submersion marine réalisée par le CETE (2007, 2010) ;
- d'Hyères, au niveau de la rade d'Hyères et du tombolo Ouest ;

Elle montre aussi que les grandes zones urbanisées, Marseille, Toulon, Nice, disposées à proximité des fleuves côtiers (Huveaune, Rade de Toulon, et embouchure du Var) sont également affectées.

Les secteurs de plages sur le littoral rocheux sont bien logiquement moins affectés par ces phénomènes.



## 6. Conclusions

L'objectif de ce travail en partenariat avec la DREAL PACA est de réaliser un inventaire des tempêtes majeures qui ont affecté le littoral régional et qui ont créé des dommages suffisamment importants pour qu'elles soient restées dans la mémoire collective, ou qu'elles aient été documentées dans la presse. La période principale de recherche se concentre depuis 1900, mais des événements plus anciens ont été retrouvés. Il s'agit de rassembler les informations recueillies sur l'historique des grandes tempêtes et le porter à la connaissance des acteurs publics, afin de fournir un support de travail utile à l'aménagement du territoire. En effet, la compilation de toutes ces informations participe à une meilleure évaluation des aléas érosion côtière et submersion marine, à travers la mise en perspective historique des tempêtes récentes.

Il est ainsi utile à :

- des opérations de Porté à Connaissance ;
- l'élaboration des plans de prévention des risques (PPR littoraux) ;
- une aide à l'évaluation des demandes de classement en Catastrophe Naturelle, suite à des intempéries.

Il peut également participer à la caractérisation des zones soumises à un aléa submersion marine dans le cadre de la mise en œuvre de la Directive Inondation, en apportant des éléments de comparaison avec les cartographies produites concernant l'aléa « submersion marine » (EPRI, TRI).

La construction de l'inventaire s'est faite en priorisant certaines données, en particulier les arrêtés de Catastrophe Naturelle qui permettent d'identifier les tempêtes récentes majeures (1982, 1997, 2008, 2011), la liste des événements marquants de Météo France, et une recherche bibliographique importante, en particulier des coupures de presse des quotidiens régionaux qui constituent la meilleure source d'informations sur les dégâts occasionnés par ces événements passés. Des recoupements entre ces différentes sources ont amené à l'identification de nouveaux événements. Les informations recueillies se focalisent sur les caractéristiques des événements et sur leurs impacts, en termes de surcote, de submersion marine de recul du trait de côte et de dommages occasionnés aux infrastructures littorales (route, ouvrages, ports,...).

Cet inventaire d'informations géolocalisées apporte ainsi une estimation de la vulnérabilité du littoral de la région PACA face à ces phénomènes. Il apparaît ainsi que, malgré la répétition d'événements récents particulièrement importants et générateurs de dégâts, les tempêtes majeures occasionnant des dégâts très importants sur le littoral provençal ne sont pas un phénomène nouveau, puisque l'on a pu remonter à des événements marquants jusqu'en 1694.

L'inventaire contient à ce jour 118 événements depuis 1694, 107 depuis 1900 et 58 sur la période 2000-2014. Certains événements sont particulièrement violents. Ainsi, à titre d'exemple, et au vu de l'inventaire des dégâts disponibles pour la tempête de 1906 et des caractéristiques recueillies (surcote de 1 m à Nice, submersion par franchissement et débordement sur une distance de 200 m), cet événement, bien qu'il soit difficile de qualifier sa période de retour, est d'une intensité probablement supérieure, aux dernières tempêtes enregistrées sur la zone, comme celles particulièrement dévastatrices de 1989, de mai 2010 ou novembre 2011.

Si les processus liés à la submersion (débordement, franchissement) sont bien documentés, il n'en est pas de même des impacts des vagues en termes d'érosion des plages et du recul du trait de côte liés aux coups de mer. Ceux-ci restent rarement quantifiés, tant qu'il n'y a pas de démarches de mesures topographiques systématiques après les coups de mer.

Les informations sont structurées dans une base de données, au format Access, dont les champs correspondent à la base de données Tempêtes, mise en œuvre depuis 2011 dans la région Languedoc-Roussillon, afin d'homogénéiser les démarches à l'échelle de la façade du bassin Rhône-Méditerranée

Malgré les incertitudes dues aux multitudes de sources de données disponibles, ce travail constitue la source actuelle de données la plus complète sur les aléas côtiers liés aux tempêtes en région Provence-Alpes-Côte d'Azur. Les données rassemblées sont directement exploitables pour des applications en termes de prévention des risques et de développement de la culture du risque.

En termes de perspectives, les événements majeurs étant référencés, l'inventaire doit se poursuivre à travers une recherche systématique de documents (dans les collectivités, *via* les comptes rendus des conseils municipaux, etc.). En outre, l'exploitation des archives de la compagnie des Salins-du-midi peut également être profitable sur les sites de production de sel. Le fond documentaire étant large, ce travail devrait être réalisé suivant une démarche méthodologique d'historien.

Enfin, le grand public, qui est de plus en plus sensibilisé aux phénomènes naturels et aux effets du changement climatique sur ces derniers, peut disposer de fonds documentaires utiles à intégrer pour préciser les observations lors des événements. L'ORRM, Observatoire Régional des Risques Majeurs en région PACA, peut servir de plate-forme d'alimentation de ce type de données et de remontée d'information.

En termes d'exploitation de la base de données, les observations recueillies sont de première importance pour estimer et valider les zones d'extension de la submersion marine issues des modèles numériques à condition de disposer des données d'entrées (forçages, vagues ou niveau d'eau,...) quand il s'agit d'événements réels.

Enfin, l'ensemble des coupures de presse constitue un fond documentaire original qui peut être exploité par des spécialistes des SHS, historiens et sociologues, pour étudier l'évolution de la prise en compte et de la perception des aléas côtiers liés aux tempêtes, à travers l'évolution des modalités de narration de ces phénomènes.

## 7. Bibliographie

**ARTELIA (2014).** Etude de la conjonction entre crue et submersion marine à l'embouchure de l'Argens. Action n°6 du PAPI Argens et affluents. Rapport de synthèse, 34 p.

**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..

**Bessemoulin P. (2002).** Les tempêtes en France. Annales des Mines, août 2002, p. 9-14.

**Blanc JJ. (1975)** - Recherches de sédimentologie appliquée au littoral rocheux de la Provence aménagement et protection. Rapport CNEXO 164p.

**Bulteau T., Mugica J., Mallet C., Garnier C., Rosebery D., Maugard F., Nicolae Lerma A., Nahon A., et Millescamps B. (2014)** - Évaluation de l'impact des tempêtes de l'hiver 2013-2014 sur la morphologie de la Côte Aquitaine. Rapport final, BRGM/RP-63797-FR, 68 p., 138 fig., 8 tab., 2 ann.

**Certain R. (2002).** Morphologie d'une côte sableuse microtidale à barres : le golfe du Lion (Languedoc-Roussillon). Thèse de Doctorat de l'Université de Perpignan en océanologie/géologie, 209 p.

**CETE (2010)** : Élaboration d'un Plan de Prévention de Risques Submersions Marines en Camargue. Acquisition de données supplémentaires (CETE Méditerranée) 27p.

**CETMEF (2012).** Fiches synthétiques de mesure des états de mer. Rapport CETMEF, 294 p.

**Daubord C. (2014)** : Caractérisation de 7 événements de tempête de l'automne-hiver 2013-2014 à partir des données disponibles au SHOM. SHOM, Rapport N°001/2014 37p.

**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.

**De la Torre Y., Balouin Y. et Morel O. (2013)** – « Réseau Tempête » Languedoc-Roussillon : activité 2012-2013 et développement des outils en ligne. Rapport final. BRGM/RP-62731-FR, 30 p., 22 ill.

**De la Torre Y., Bélon R. et Bodéré G. (2014)** – « Réseau Tempête » Languedoc-Roussillon 2013-2014. Rapport final. BRGM/RP-64178-FR, 31 p.

**Favennec J., Rosebery D., Daubet B., & Mallet C. (2009)** - Tempête Klaus du 24 Janvier 2009 en Aquitaine. Impacts de la tempête sur le littoral - Rapport provisoire au 11 février 2009. Communiqué de l'Observatoire de la Côte Aquitaine. 7 p. [www.littoral.aquitaine.fr](http://www.littoral.aquitaine.fr)

**Ferreira Ó. (2005).** Storm groups versus extreme single storms: predicted erosion and management consequences. Journal of Coastal Research, SI42:221-227.

**Garcin M., Pedreros R., Monfort D., et Krien Y. (2011)** - Base de données d'observation des effets de la tempête Xynthia sur le littoral. Rapport BRGM/RP-59395-FR 23p.

**Garcin M., Lambert J., et Vinchon C. (2011)** - Contribution au recensement des submersions marines historiques liées aux tempêtes sur le littoral Français métropolitain – Exploitation des fiches. Rapport BRGM/RP-60531-FR 27 p., 4 fig.

**Kerdagallan X. et al (2012)**. Fiches synthétiques de mesure des états de mer CETMEF : C12.01 394 p.

**Lambert J. (2011)**. Contribution au recensement des submersions marines historiques liées aux tempêtes sur le littoral Français métropolitain. Rapport final. BRGM/RP-59937-FR 137 p. 1 CD-Rom

**Lambert J., Garcin M. (2013)** - Submersions marines historiques. Rapport BRGM/RP-62644-FR, 99 p., 74 ill., 11 tabl., 1 ann..

**Lee G., Nicholls R.J., et Birkemeier W.A. (1998)**. Storm-driven variability of the beach-nearshore profile at Duck, North Carolina, USA, 1981-1991. *Marine Geology*, 148, 163-177.

**Le Roy S., Stepanian A., Pedreros R., Bulteau T., Nicolae-Lerma A. et Balouin Y. (2014)** – Modélisation de la submersion marine sur la Plaine du Ceinturon (Hyères-les-Palmiers). Rapport final. BRGM/RP-63945-FR, 98 p., 80 ill., 6 ann., 8 cartes hors-texte.

**MEDDE (2014)** – Guide méthodologique : plan de prévention des risques littoraux. MEDDE/DGPR, 169 p.

**MEED (2002)**. Les tempêtes, Dossier d'information – Risques Naturels Majeurs, 24 p.

**MEEDAT (1997)**. Plans de prévention des risques littoraux. Guide méthodologique. Ed. La documentation française, 49 p.

**Mendoza E.T. (2008)**. Coastal vulnerability to storms in the catalan coast. Thèse de Doctorat de l'Universitat Politècnica de Catalunya, 192 p.

**Pedreros R., Garcin M., Krien Y, Monfort Climent D., Mugica J., et François B. (2010)** – Tempête Xynthia : compte rendu de mission préliminaire. Rapport BRGM/RP-58261-FR, 45 p., 31 Figs.

**SHOM-CETMEF (2013)** : service hydrographique et océanographique de la marine/centre d'études techniques Maritimes et Fluviales (2012) Statistiques des niveaux marins extrêmes des côtes de France. Rapport SHOM, 160p.

**Sabatier F., Heurteufaux H., & Hanot B. (2008)**. Dépôts d'overwash et tempêtes à moyen terme sur deux lidos méditerranéens. Xèmes. Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil, 14-16 octobre 2008, Sophia Antipolis, 477-486.

**Stépanian A., Lecacheux S., Nicolae-Lerma A., et Pedreros R. (2014)** – Evaluation des Risques Naturels Littoraux sur le territoire du SCoT Provence- Méditerranée - Cartographie des zones soumises au phénomène de submersion marine. *Rapport final* (à paraître).

**Tabeaud M. (1995)**. Les tempêtes sur les côtes méditerranéennes françaises. In: *Annales de Géographie*, 1995, t. 104, n°584. pp. 389-401.

**Tirard E. (2010).** Impacts des tempêtes sur le littoral du Golfe du Lion – Mise en place d'une méthodologie d'évaluation de la vulnérabilité. Rapport de stage BRGM, Master Géorisque, Université de Montpellier, 45 p. + ann.

**Ullman A. (2008).** Surcotes dans le Golfe du Lion et conditions atmosphériques : variabilité contemporaine et future (1905-2100). Thèse de Doctorat, Université d'Aix-Marseille I, 250 p. + ann.

**Wijnberg K.M. & Kroon A., (2002).** Barred beaches. *Geomorphology* 48: 103-120.





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](http://www.brgm.fr)

**Direction régionale Provence-Alpes-Côte d'Azur**  
BP. 168  
117, avenue de Luminy  
13276 – Marseille Cedex 09 – France  
Tél. : 04 91 17 74 77