

# Récapitulatif des événements météo-marins de forte houle sur le littoral de l'Hérault de l'été 1979 à l'été 2018



**EID Méditerranée  
Pôle Littoral**

165 avenue Paul Rimbaud  
34 184 Montpellier Cedex 4  
[www.eid-med.org](http://www.eid-med.org)

Rapport de novembre 2018

## CONTACTS

Mathieu GERVAIS

[mgervais@eid-med.org](mailto:mgervais@eid-med.org)

04.30.63.67.80

Hugues HEURTEFEUX

[hheurtefeux@eid-med.org](mailto:hheurtefeux@eid-med.org)

04.67.63.72.99



# Table des matières

---

Préambule .....	3
Localisation des stations de mesures (houle, marée, vent) existantes dans le Golfe du Lion .....	6
I) Résultats .....	7
1.1. Base de données sur la houle .....	8
1.2. Vision générale de l'énergie des vagues par hiver depuis 1979 .....	9
1.3. Extraction des tempêtes.....	10
1.4. Tempêtes majeurs depuis 1979 dans l'Hérault.....	10
1.5. La dernière tempête de mars 2018.....	12
1.6. Direction des houles lors des coups de mer.....	12
1.7. Analyse de la dérive sédimentaire depuis 2007.....	13
1.8. Atlas des tempêtes .....	14
Bilan.....	15

# Préambule

---

L'intérêt de ce référencement, déjà débuté il y a deux ans pour la période 1988-2016 (Heurtefeux et Boulet, 2017), est la création d'une base de données météo-marines concernant les épisodes de tempêtes majeurs qui ont touché la côte centrale et nord du Golfe du Lion. Nous nous intéressons ici en priorité au littoral de l'Hérault et du Gard, et plus précisément à toute la bande côtière sableuse entre les Saintes-Maries-de-la-Mer et l'embouchure de l'Aude.

Le facteur qui crée indéniablement de forts dégâts sur la côte et de l'érosion, c'est-à-dire des pertes en sable sur la plage, est la présence de fortes houles marines, à savoir des vagues de forte hauteur et de grande vitesse au large qui vont déferler sur la côte. Ces épisodes d'agitation extrême sont quasi-systématiquement accompagnés dans la région de forts vents marins et de fortes surcotes qui facilitent la submersion des plages et les impacts sur la dune ou le bâti. Cependant, les paramètres vent-surcote sont plus secondaires pour amorcer des modifications importantes morphologiques, et il est, en premier lieu, important d'évaluer précisément la houle afin de mieux comprendre la morphodynamique naturelle du littoral qui est à la fois saisonnière et événementielle.

Pour les besoins de l'inventaire, plusieurs objectifs ont été fixés : tout d'abord la capitalisation et la mise en place d'une base de données fiable des états de mer et conditions météorologiques atmosphériques, une détermination des seuils significatifs de tempêtes et de coups de mer, l'extraction des événements majeurs avec la quantification de leur énergie, et enfin la réalisation d'un « atlas » de tempêtes en Languedoc-Roussillon qui sera ce document accompagné de fiches descriptives pour les tempêtes majeures qui ont marqué l'histoire récente de la région.

Pour contextualiser ce document technique sur la houle face au problème d'érosion des côtes, plusieurs études font le constat que la position du trait de côte de plusieurs grandes cellules hydro-sédimentaires va varier de manière assez analogue selon les années, ceci pour toute une emprise dite « régionale » du littoral dont l'exposition à la houle se montrera assez similaire. Concrètement, certaines années le trait de côte avance, et d'autres années il recule, du moins en comparaison de l'évolution observée sur plusieurs décennies.

La raison supposée à cela consiste pour le moment essentiellement à la présence d'un **hiver énergétique, riche en tempête** et/ou composé d'événements exceptionnellement ; Ou bien à l'inverse, d'une période hivernale plutôt calme et d'un printemps/été constitué d'une longue présence de petites houles favorables à la remontée du sable sur la plage.

La **Figure 1** montre par exemple que les plages des quatre départements du littoral occitan ont réagi en moyenne de la même façon ces dernières années avec une tendance dominante à l'élargissement des plages entre l'été 2012 et l'été 2015, mais à l'inverse une tendance dominante au rétrécissement de la bande sableuse entre l'été 2015 et l'été 2017.

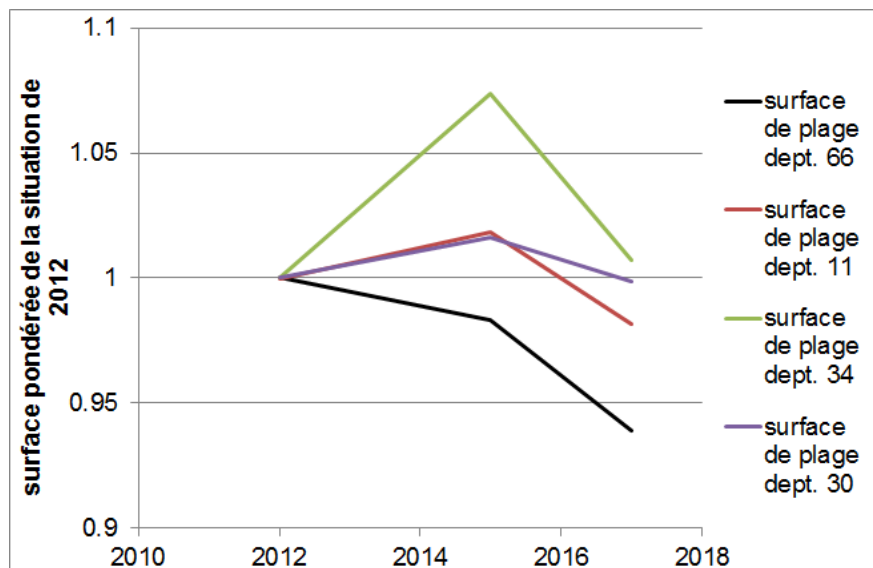


Figure 1 : évolution de la surface des plages par département entre les été 2012-2015-2017, ceci pondérée de la surface observée initialement en 2012 (étude SIC, 2018).

La Figure 2 montre l'évolution de la surface totale de plage sur tout le littoral sableux du Roussillon selon deux jeux de données sur le trait de côte :

- l'un à basse fréquence, sur 100 ans montrant les grandes tendances du littoral (accrétion dominante du littoral ; puis impact bénéfique des aménagements et des épis dans un premier temps lors de la mission d'aménagement Racine ; puis dominance actuellement de l'érosion depuis 1975 environ) ;
- l'autre à plus haute fréquence incluant de très nombreuses données ces dernières années.

Ce second jeu de données montre que certaines années se montrent a priori particulièrement érosives, et d'autres beaucoup moins. Certaines favorisent même une accrétion temporaire, à savoir ici un élargissement des plages. Contrairement au premier jeu de données, et à celui de la Figure 1 précédente, le trait de côte n'est ici pas toujours relevé à la même période de la fin de l'été, mais parfois au printemps et à l'automne ce qui peut expliquer aussi une partie de la variabilité du signal.

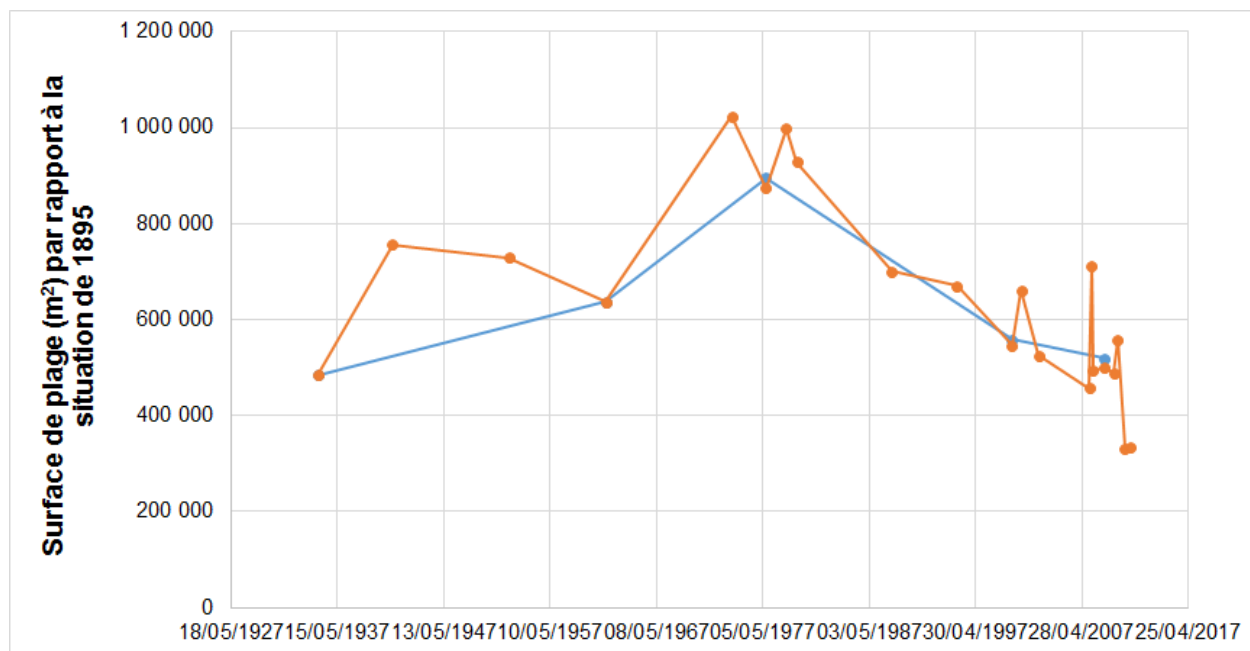
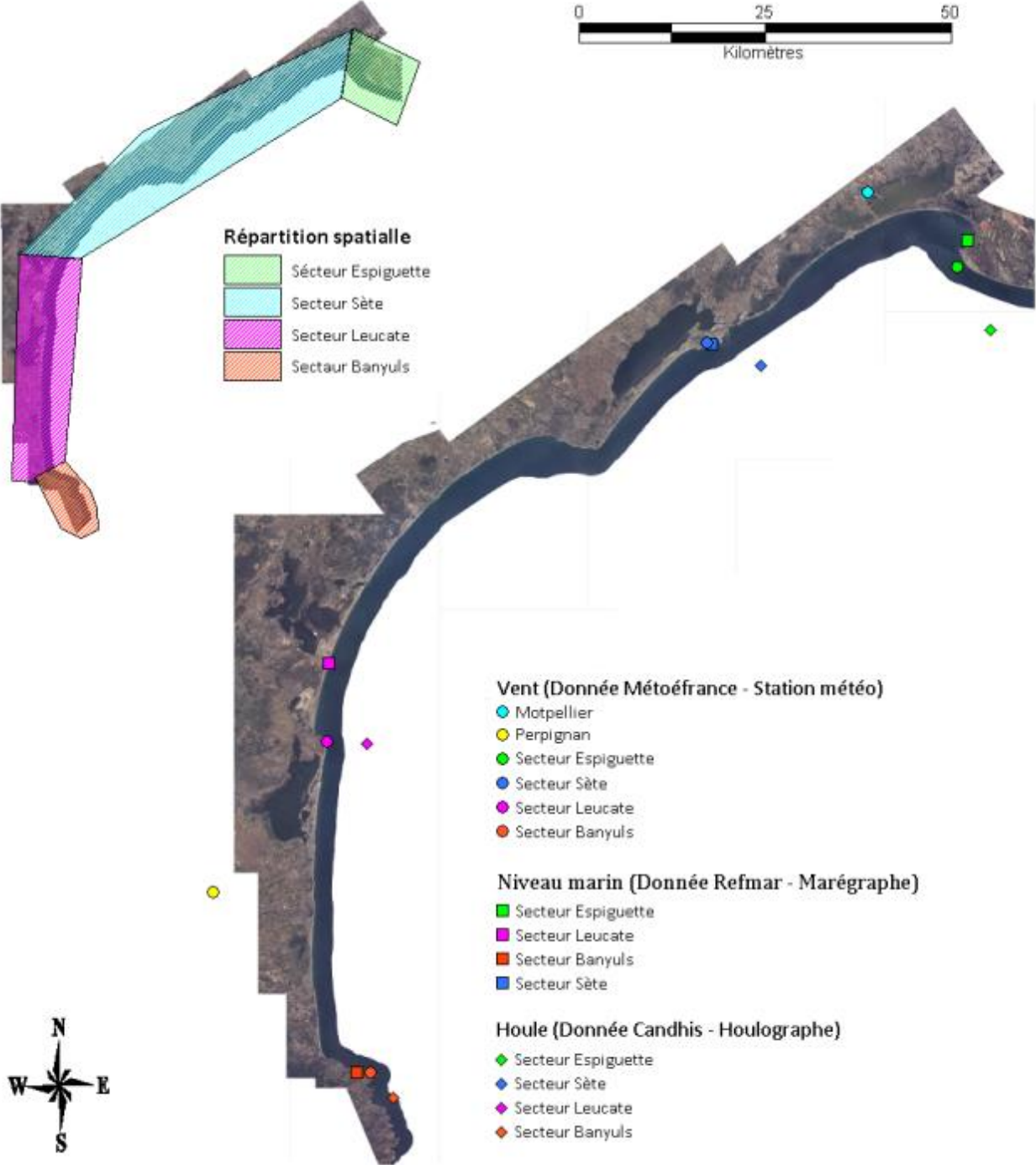


Figure 2 : Evolution de la surface de plage sur l'unité Roussillon entre le Racou et le cap Leucate depuis 1895 selon deux jeux de données sur le trait de côte : basse fréquence (~tous les 20 ans), et plus haute fréquence sur la dernière décennie (tous les 1-2 ans ; d'après Sabatier et Hanot, 2012)

Ces deux exemples d'études confirment indéniablement que les conditions de houle durant des périodes de temps de plusieurs mois sont la clef de la compréhension de la dynamique du trait de côte observé entre deux dates, et ainsi des volumes de plage perdus ou gagnés sur la zone émergée du profil sableux (voir pour les volumes et leurs variations interannuelles : [Aleman \*et al.\*, 2017](#) par exemple).

# Localisation des stations de mesures (houle, marée, vent) existantes dans le Golfe du Lion



# I) Résultats

Les résultats traités dans la majorité de ce chapitre concernent des observations sur le secteur géographique de Sète. Ce choix a été fait car c'est la station la plus complète en ce qui concerne les données et qui a la plus grande représentativité temporelle. De plus, en théorie, c'est celle qui reçoit le plus d'impact de tempêtes car elle est moins protégée de par sa configuration géographique (Gervais, 2012). D'une manière générale, tous les secteurs de la côte sableuse subissent un climat de houle de caractéristiques assez comparable quel que soit les plages : une houle moyenne très faible (0,55 m), mais des coups de mer avec des vagues dépassant largement les 3 m de hauteur. Les statistiques générales sont présentées sur les tableaux ci-dessous :

**Tableau I.1 : Statistiques des hauteurs significatives de la houle sur les 6 houlographes côtiers (~30 m de fond) et la bouée au large du golfe du Lion (150 km de côtes) sur la période d'octobre 2008 à mai 2016 (Beauduc = période 1999-2003)**

	Banyuls	Leucate	Sète	Espiguette	Beauduc (aujourd'hui enlevée)	Le Planier (Marseille)	Large du Golfe du Lion
Hs moyen	0,63 m	0,60 m	0,57 m	0,64 m	~0,7 m	0,84 m	1,56 m
Hs quantile à 90%	1,28 m	1,19 m	1,09 m	1,23 m	~1,3 m	1,66 m	3,25 m
Hs quantile à 95%	1,6 m	1,5 m	1,6 m	1,6 m	~1,6 m	2,0 m	3,9 m
Hs quantile à 99% et direction	2,4 m de 103°	2,9 m de 104°	3,1 m de 135°	2,9 m de 158°	~2,3 m	2,6 m de 234°	5,1 m
Hs quantile à 99,9% et direction	3,6 m de 94°	3,8 m de 103°	4,0 m de 128°	3,4 m de 169°	~3,5 m	3,3 m de 239°	6,6 m
Nombre d'événements supérieurs à 3 m	14	15	29	26	Période non comparable	~25	Non estimé
Nombre d'événements supérieurs à 4 m	4	7	7,5	3	Période non comparable	~0,1	Non estimé

**Tableau I.2 : Statistiques des périodes significatives de houle sur les 6 houlographes côtiers et la bouée du large sur la période d'octobre 2008 à mai 2016**

	Banyuls	Leucate	Sète	Espiguette	Beauduc (aujourd'hui enlevée)	Le Planier (Marseille)	Large du Golfe du Lion
Ts moyen	4,4 s	4,1 s	4,2 s	4,3 s	~4,6 s	4,8 s	5,5 s
Ts quantile à 90%	6,0 s	6,0 s	6,1 s	6,0 s	~6,0 s	6,1 s	7,5 s
Ts quantile à 99% et direction	8,0 s de 101°	7,9 s de 115°	7,8 s de 145°	7,6 s de 167°	~7,7 s	7,3 s de 199°	9,0 s
Ts quantile à 99,9% et direction	9,1 s de 92°	9,0 s de 110°	8,9 s de 141°	8,6 s de 170°	~8,9 s	8,1 s de 205°	>14 s

**Tableau I.3 : Estimation des hauteurs significatives pour différentes périodes de retour par ajustement statistique d'une loi de Pareto (GPD ; source Cerema/Candhis).**

Points analysés	Hs T1 ans (m) = Occurrence annuelle	Hs T5 ans (m)	Hs T10 ans (m)	Hs T20 ans (m)	Hs T50 ans (m)
CANDHIS_06601 (Banyuls)	3.9	5.22	5.80	6.40	-
CANDHIS_01101 (Leucate)	4.1	5.32	5.65	5.91	-
CANDHIS_03403 & CANDHIS_03404 (Sète)	4.2	4.98	5.26	5.52	5.81
CANDHIS_03001 (Espiguette)	3.7	4.16	4.35	4.51	-

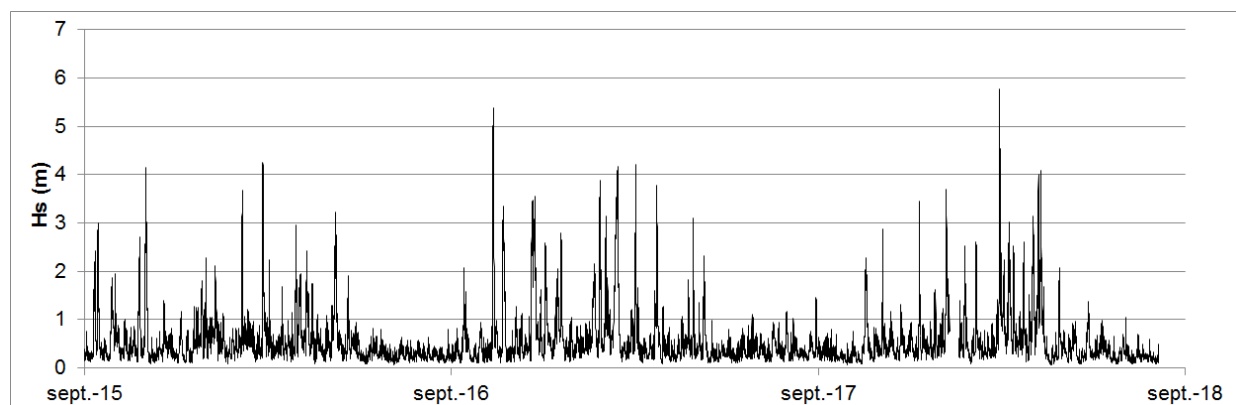
## 1.1. Base de données sur la houle

La base de donnée provient de la mesure de houle à Sète par la bouée houlographe directionnelle *datawell* gérée par la DREAL-Occitanie et mouillée à -30 m devant la corniche de Sète (données temps-réel visualisables sur le portail du CEREMA : <http://candhis.cetmef.developpement-durable.gouv.fr/>).

Les statistiques de base sur l'ensemble de la série à Sète ont permis d'avoir une vision d'ensemble de l'état de mer dit « normal » dans tout le Golfe du Lion :

La houle est en moyenne très faible et environ égale à 0,55 m de hauteur significative (= Hs). Cependant l'on voit rapidement que la phase dite hivernale : de mi-octobre à fin avril, reste une phase très agitée avec de très nombreux épisodes de houles, certes souvent brefs, mais intense en terme de hauteur des vagues (Hs = 3 à 6 m).

Le graphique de la **Figure 3** montre par exemple que chaque « hiver » (c'est-à-dire période d'octobre à avril) comporte « son lot de tempêtes marines / coups de mer » à Sète.



**Figure 3 : série temporelle de hauteur significative de houle mesuré à -30 m de fond par le houlographe de Sète entre septembre 2015 et septembre 2018**

La Hs est le paramètre le plus représentatif de la taille de vagues. Il correspond à la hauteur « crête à creux » moyenne du tiers des vagues les plus haute des *bursts* d'enregistrement de 20 min relevant en continue chaque vague qui passe au niveau la bouée de houle. Le graphique de la **Figure 3** montre que les coups de mer importants de l'hiver varient entre 3 et 6 m de Hs. La Hmax associés à ces pics de houles est de 5 à 9 m, ce qui correspond à la hauteur de la plus haute vague des *bursts* de mesure au pic des tempêtes. Les hauteurs maximales (Hmax) enregistrées lors des pics de houles ne sont pas forcément très représentatives de la puissance générale de l'évènement, et sont en moyenne 1,75 fois plus élevées que la Hs, mais celles-ci peuvent aller jusqu'à 2,3 fois la Hs exceptionnellement si l'épisode de houle est accompagné de beaucoup de vent. C'est pourquoi les épisodes de houle ne seront décrits dans ce document que par leur pic de Hs, paramètre plus représentatif du spectre de houle que la Hmax.

Les études académiques (ex. : **Gervais, 2012**) ont permis de définir des seuils de houle en rapport à leurs effets morphogènes sur la plage :

- un « coup de mer » comme un épisode de houle dont les vagues atteignent au paroxysme de l'évènement Hs = 3 m (se produit ~5 fois par an)
- une tempête comme un épisode de houle dont les vagues atteignent au paroxysme de l'évènement Hs = 4,5 m (un épisode qui se produit en moyenne une fois tous les 1-2 ans sur tout le littoral de la région)

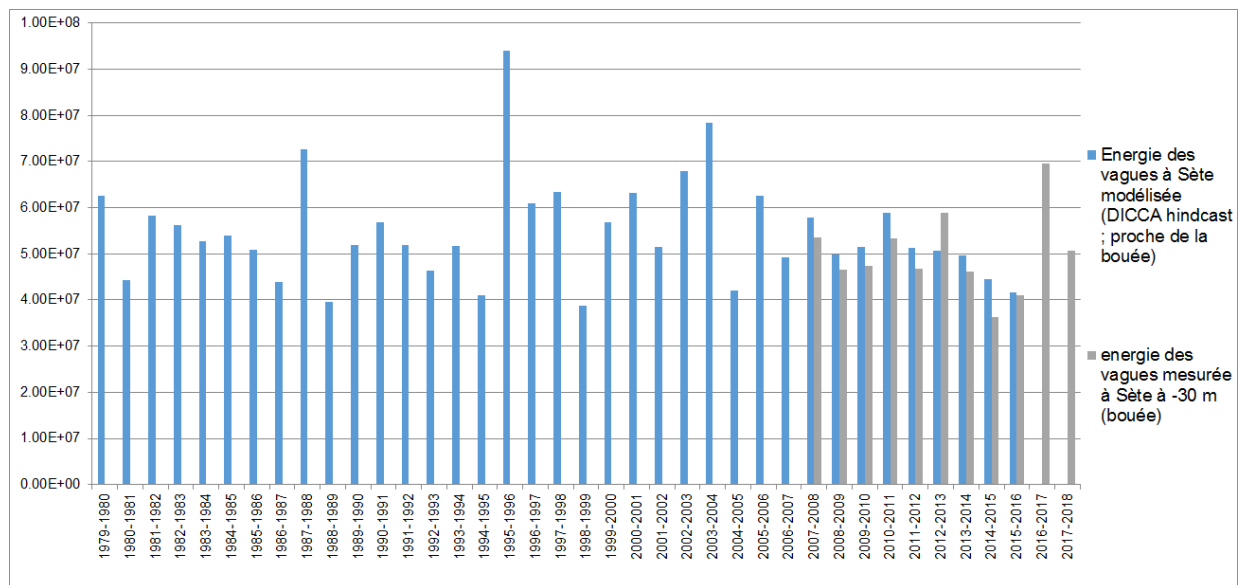


## 1.2. Vision générale de l'énergie des vagues par hiver depuis 1979

La **Figure 4** présente l'énergie cumulée chaque hiver depuis 1979 d'après un projet de modélisation rétrospective des vagues (projet *hindcast* du laboratoire DiCCA italien : données disponibles sur <http://www.dicca.unige.it/meteocean/hindcast.html>), ainsi que les mesures de houle de la bouée de Sète.

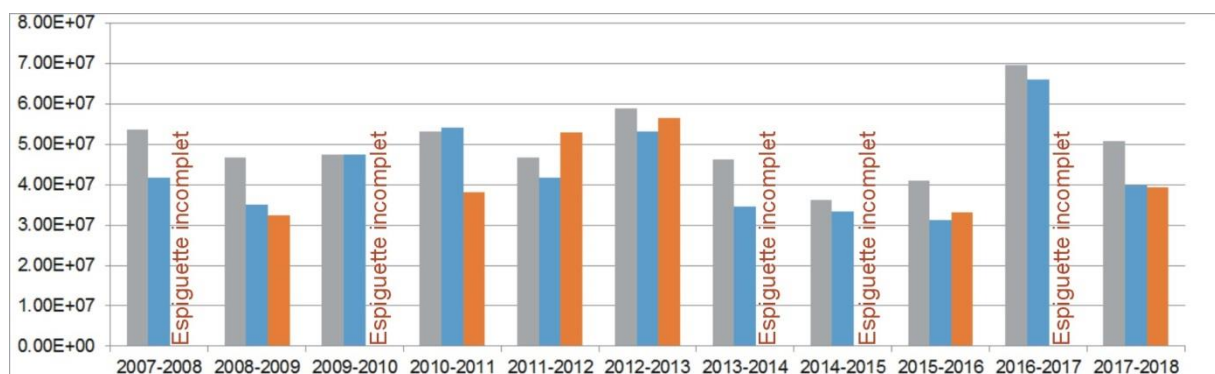
Cette figure montre que certains hivers comme les hivers : 1987-1988 ; 1995-1996 ; 2002-2003 ; 2003-2004 ; ou encore le dernier hiver 2016-2017 ont été particulièrement riches en coups de mer.

Même si les grandes tempêtes majeures comme celles de novembre 1982 et décembre 1997 ont contribué fortement au bilan énergétique de toute la saison (contribution de près de 40-50 % en seulement quelques jours), ce ne sont pas systématiquement les hivers avec les plus grandes tempêtes de l'histoire qui se sont montrés au final les plus énergétiques.



**Figure 4 : Cumul de l'énergie des vagues par saison centrée autour de l'hiver, d'après de la modélisation (projet du laboratoire DICCA) et de la mesure au large de Sète (seules les données récentes ou la mesure est continue sont présentées)**

Au regard de ce calcul, il apparaît très probable que l'accumulation générale du trait de côte entre les étés 2012 et 2015 (**Figure 1**), puis l'érosion en 2015-2017, s'explique par un contexte de décroissance, puis de croissance de l'énergie des vagues lors des phases hivernales concernées.



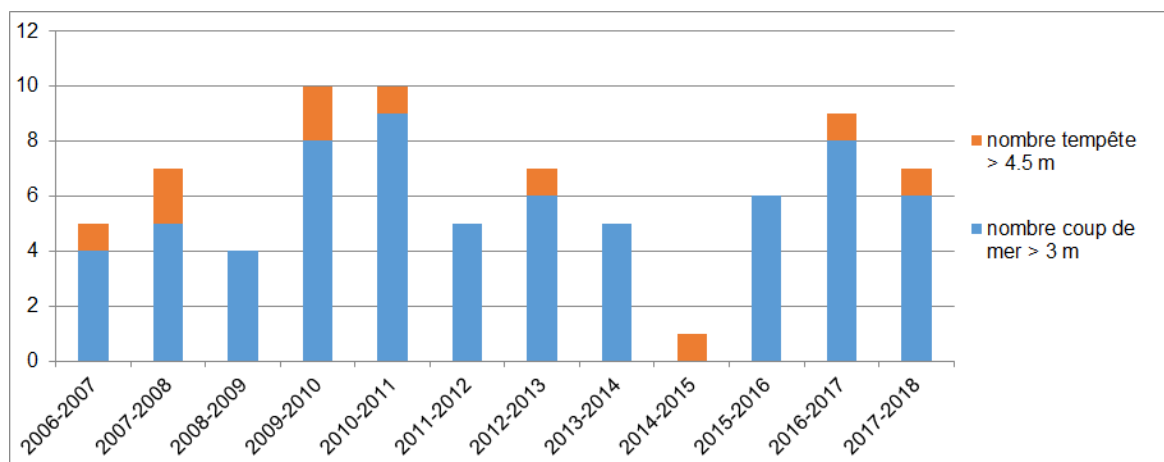
**Figure 5 : énergie des houles marines cumulée par saison hivernale (septembre à septembre) pour les 3 stations de mesure de houle de la zone nord du Golfe du Lion (en gris Sète, en bleu Leucate, et en orange l'Espiguette quand la bouée fonctionnait toute la saison).**

Le diagramme de la **Figure 5** montre l'énergie des vagues cumulée par saison hivernale d'après la mesure des 3 bouées qui sont situées proches du littoral de l'Hérault. Ce graphique montre une relative bonne correspondance entre les stations de mesure : dans le sens qu'un **hiver énergétique le sera généralement partout sur la côte**, de même qu'un hiver plutôt « calme ». Notons néanmoins que la majorité du temps, hormis lorsque les tempêtes de l'hiver proviennent essentiellement d'une direction sud à sud-ouest, la bouée de l'Espiguette reçoit un peu moins de houle que celle de Sète et Leucate en raison de son positionnement dans une zone légèrement abritée du golfe d'Aigues Mortes, en particulier vis-à-vis des tempêtes venant de la direction est à sud-est. A l'inverse, certaines années comme durant l'hiver 2011-2012, la bouée de l'Espiguette reçoit d'avantage d'énergie du fait de la répétition de coups de mer venant d'une direction majoritairement « sud ».

### 1.3. Extraction des tempêtes

L'analyse détaillée des données de la bouée de Sète a permis d'extraire 153 événements sur le secteur entre 1989 à 2018. Ils sont au nombre de 24 tempêtes (Hs du pic > 4,5 m) et 129 coups de mer (Hs > 3 m).

En termes d'événements comptabilisés par période hivernale (**Figure 6**), depuis septembre 2006, les périodes hivernales 2009-2010, 2010-2011, et enfin 2016-2017 se sont révélées les plus riches en coups de mer avec plus de 8 épisodes ordinaires, dont 1 épisode -ou 2 de tempêtes (Hs > 4,5 m).



**Figure 6: Comptage des événements mesurés par catégorie sur Sète depuis l'hiver 2006-2007**

### 1.4. Tempêtes majeurs depuis 1979 dans l'Hérault

Tous les épisodes de la classe « coups de mer » ne sont pas ici répertoriés, pour cela on peut se reporter au rapport de 2016. Seuls les événements de classe « tempête » sont ici comptabilisés, mais en prenant cette fois en compte les événements remontant à 1979 grâce au projet de modélisation rétrospective des vagues du DICCA.

40 épisodes de tempêtes ont été retenus dans une liste (**Tableau 4**), à la fois grâce à des observations/modélisations sur le site de Sète, mais aussi sur le site de Leucate afin de considérer les coups de mer qui ont touchés en priorité la partie sud du département de l'Hérault sur les plages à l'ouest du cap d'Agde.

➔ Les 4 tempêtes les plus importantes de ces 40 dernières années sont ici entourées d'un cadre épais.

(N.B : En orange sont présentés des coups de mer de direction sud à sud-est qui se sont focalisés uniquement sur la partie nord et le secteur du golfe d'Aigues-Mortes avec des mesures de forte houle à la bouée de Beauduc sur les dates anciennes, ou de l'Espiguette pour les dates récentes).

**Tableau 4 : liste des fortes tempêtes qui ont marqué des records de hauteur de houle dans l'Hérault (Hs au pic de tempête indiqué à Leucate et à Sète ; en l'absence de mesure le projet de modélisation du DICCA est utilisé, ici en texte gris)**

Date du pic de tempête	Hs max mesurée à Sète	Hs max mesurée à Leucate	Hs max modélisé à Sète	Hs max modélisé à Leucate
19/01/1979			5,0	<b>5,7</b>
<b>07/11/1982</b>			<b>5,2</b>	<b>5,5</b>
04/12/1987			4,9	<b>5,7</b>
17/11/1989	5,0		4,6	<b>5,1</b>
22/10/1990			5,0	4,8
27/09/1992	4,9		3,7	3,8
14/02/1994	5,2		4,9	4,2
19/10/1994	5,3		4,9	4,5
22/11/1995	4,6		3,2	4,3
08/12/1995	4,7		4,1	4,2
16/12/1995	4,7		4,0	<b>4,5</b>
22/01/1996	4,7		4,2	3,8
<b>16/12/1997</b>	<b>6,8</b>		<b>5,5</b>	<b>6,9</b>
31/12/1998	5,0		3,1	2,6
12/11/1999	5,2		4,8	<b>5,8</b>
23/12/2000	4,9		4,3	<b>5,1</b>
17/10/2003	4,0		4,2	<b>5,6</b>
04/12/2003	4,9 (ou 5,7 ?)		4,5	<b>5,1</b>
31/10/2003	>4,1		4,1	<b>3,3</b>
<b>21/02/2004</b>	<b>5,4</b>		<b>5,3</b>	<b>6,8</b>
28/01/2006			4,1	3,8
18/02/2007	4,8			
21/11/2007	4,4	4,3		
04/01/2008	4,9	4,6		
26/12/2008	4,0	<b>4,7</b>		
21/10/2009	4,5	3,3		
14/01/2010	4,8	4,2		
08/03/2010	3,7	<b>5,5</b>		
11/10/2010		4,8	4,2	
12/03/2011	5,1	4,9		
06/03/2013	4,7	<b>6,0</b>		
24/12/2013	4,4	2,9		
28/11/2014	4,9	4,4		
03/11/2015	4,1	4,0		
27/02/2016	4,3	3,4		
13/10/2016	5,4	5,3		
13/02/2017	4,1	<b>5,0</b>		
25/03/2017	3,8	<b>4,3</b>		
07/01/2018	3,7	<b>4,3</b>		
<b>01/03/2018</b>	<b>5,8</b>	<b>6,1</b>		

Du point de vue des records, un classement énergétique (cumul sur l'évènement) a été réalisé sur les évènements les plus marquants :

1///	16/12/1997	: 49 406 506 KJ/m	(et 74h où Hs > 2 m)
2///	07/11/1982	: 31 073 193 KJ/m	(et 56h où Hs > 2 m)
3///	21/02/2004	: 29 012 320 KJ/m	(et 45h où Hs > 2 m)
4///	01/03/2018	: 11 569 546 KJ/m	(et 82h où Hs > 3 m)

La tempête de 1999 n'est pas inclut dans ce classement car d'après plusieurs projets de modélisation, la houle n'a pas été aussi intense que les autres épisodes cités, en particulier du point de vue d'une ampleur régionale des phénomènes.

Cette liste traite des tempêtes dans la partie nord du Golfe du Lion et ne considère pas certaines tempêtes de *Levante* (vents d'E-NE au large) qui ont touché la côte catalane plus au sud (voir données de la bouée de Banyuls).

## 1.5. La dernière tempête de mars 2018

En comparaison de l'hiver précédent (2016-2017), le dernier hiver 2017-2018 n'a pas été un hiver particulièrement agité, avec moins de 10,5 jours de vagues > 2 m dans l'année (contre 16 jours la saison précédente). En revanche la tempête du 01 mars 2018 constitue un épisode de houle tout à fait exceptionnel :

D'après les périodes de retour et les statistiques sur les bouées littorales, cet épisode de houle est **d'ampleur décennale** (et la période de retour conjointe houle-surcote serait de 30 ans selon le BRGM), avec des Hs atteintes de ~6 m à Sète et Leucate (d'après les mesures du signal brute), et des valeurs très fortes de période de retour > à 5 ans à Banyuls et à l'Espiguette.

On peut considérer qu'un tel évènement ne s'est pas produit depuis les épisodes intenses de fin 2003 –début 2004 (dont l'évènement le plus représentatif du 21/02/2004, mais il reste certains doutes sur l'ampleur de la tempête de décembre 2003 qui se serait révélé beaucoup plus intense que ce qui fut mesuré pendant l'arrêt de la bouée de Sète, puisque plus de 8 m de Hs aurait été enregistré à Banyuls par un capteur de pression posé sur le fond).

En particulier, ce qui reste tout à fait exceptionnel lors de l'épisode de mars 2018 c'est la violence des vents marins (d'E-SE), soufflant à plus de 80 km en moyenne sur toute la côte entre Agde et Leucate, qui fut aussi la plus touchée par les vagues. Les rafales ont atteint dans ce secteur plus de 110 km/h, ce qui n'était arrivé historiquement que depuis les épisodes de novembre 1982, décembre 1997, novembre 1999, et décembre 2003 -février 2004. Au large les vents auraient dépassé les 100 km/h en moyenne. La surcote marine a atteint 0,9m à Port la Nouvelle.

## 1.6. Direction des houles lors des coups de mer

Les bouées de houle directionnelles donnent depuis 2006-2008 les directions de propagation des vagues. Cela permet d'évaluer l'angle d'incidence des vagues par rapport à l'orientation générale de la côte qui tourne progressivement dans le Golfe du Lion (Figure 7).

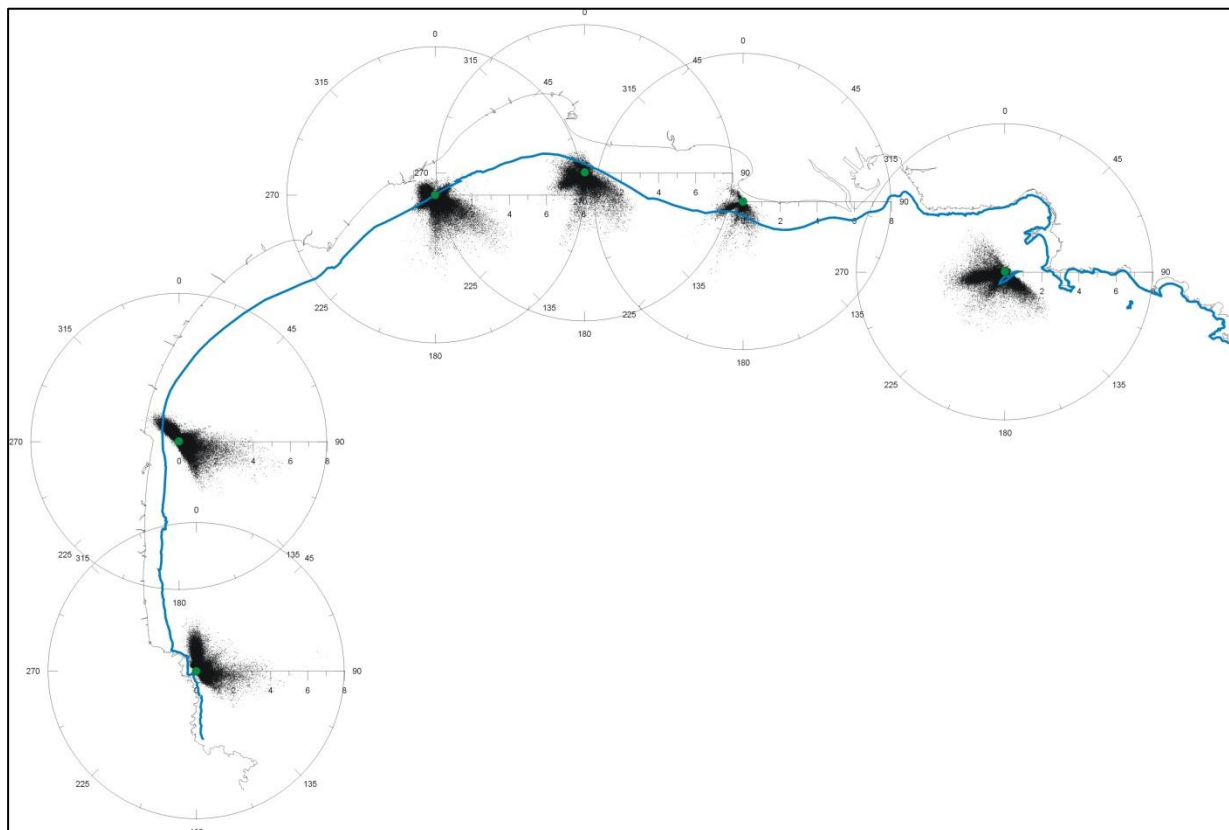
Deux directions de flux de tempêtes/coups de mer dominant les champs de vagues d'origine marine au large du Golfe du Lion (épisodes de tramontane/mistral exclus car ne produisant pas de vagues sur la côte mais au large) :

- Un flux de houle provenant du sud-sud-est
- Un flux de houle provenant de l'est-sud-est

Ces deux flux sont liés aux vents de tempêtes qui longent habituellement les côtes au large et s'accroissent du fait de cette contrainte de bordure de bassin.

Le secteur de Sète, plus exactement celui entre Gruissan et Frontignan est la partie du littoral de l'Hérault la plus fréquemment soumise à la houle car elle est le lieu ciblé à la fois par les deux flux de tempêtes / fortes houles au large précédemment cités.

Les tempêtes d'E-SE sont en générale les plus importantes en termes de hauteur de houles et de période (équivalent à la vitesse des vagues au large) car ce sont celles qui ont le *fetch* le plus important.

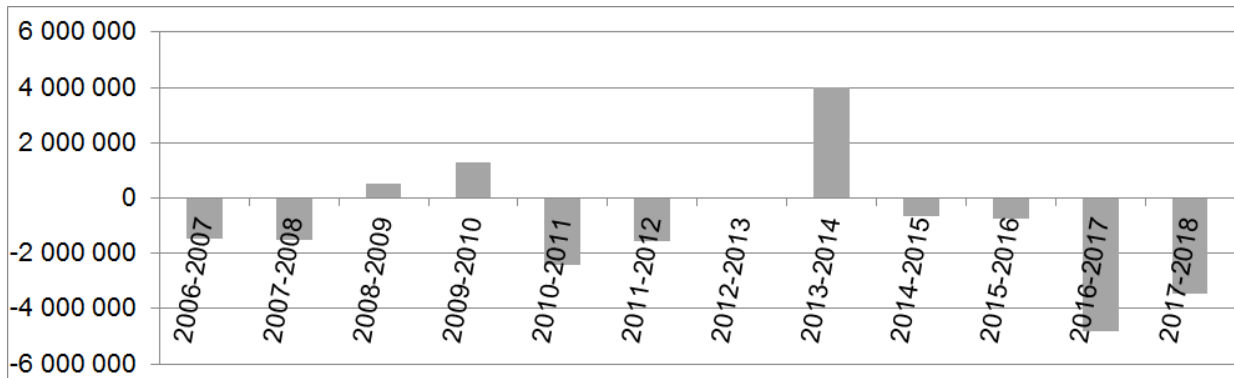


**Figure 7 : représentations de toutes les mesures de Hs des vagues et des directions d'incidence sur les bouées houlographes côtiers entre 1999-2003 (beauduc) et 2006-2016 (autres bouées), montrant les deux flux principaux de fortes vagues sur chaque capteur**

## 1.7. Analyse de la dérive sédimentaire depuis 2007

Connaissant l'angle d'incidence des vagues lors de chaque coup de mer et tempête, un calcul simplifié de la direction et de l'intensité résultantes de la dérive sédimentaire peut être fait pour chaque saison. Ce calcul se base sur l'orientation de la côte et de la composante longitudinale à la côte du vecteur puissance de houle sur chaque enregistrement (toute les 30 min.).

La **Figure 8** montre ce calcul sur le secteur central du Lido de Sète à Marseillan d'après les données du houlographe de Sète. Cette méthode, bien qu'assez théorique, se révèle dans les faits très proche des modélisations plus complexes de la dérive jusqu'à la côte (ex. : Kulling, 2017).



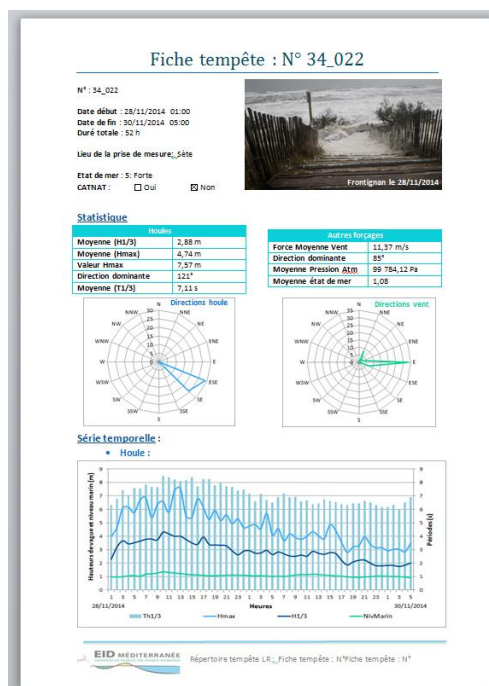
**Figure 8 : calcul théorique de l'intensité résultante de la dérive sédimentaire sur le Lido de Sète à Marseillan d'après le *wave energy flux* mesuré par la bouée houlographe de Sète (orientation du trait de côte selon la direction 48 °N). Une valeur positive signifie que la dérive est inversée et dirigée vers le NE sur le Lido.**

D'après nos calculs, il apparaît de manière assez certaine que la dérive a été très faible ou inversée par rapport à la situation normale sur les sites faisant face au sud-est lors des années 2008-2009, 2009-2010, 2012-2013, et surtout lors de l'année 2013-2014 ou de manière certaine la dérive s'est inversée et du sable a transité vers l'E-NE, et ceci sur la majorité des sites de l'Hérault.

## 1.8. Atlas des tempêtes

Des fiches tempêtes ont été réalisées afin de caractériser un événement (exemple pour la tempête de 1997), Elles contiennent l'état de mer basé sur la description de l'état de mer (échelle de Douglas) utilisé par PréviMer, mais indique également si l'événement a été classé catastrophe naturelle (CATNAT), De plus, des informations physiques sur la houle, le vent et la pression atmosphérique y sont répertoriées,

Ces fiches indiquent également si des dégâts matériels (route, habitation, ouvrage) ou humains ont été observés (décès, blessés, évacuation), une illustration qualitative de l'érosion et la submersion marine via des photos d'archive, et si possible le coût des dégâts occasionnés, Le tout est illustré par des photos de terrain prises par l'EID Méditerranée



# Bilan

---

La base de données sur la houle est complète à 80% sur le site de Sète avec une représentativité de 30 ans de mesures. Cette base a été complétée entièrement et étendue de 10 années grâce à la modélisation, en incluant par la même le site de mesure de Leucate. L'état de mer moyen sur le secteur d'étude est caractérisé par une houle en moyenne faible mais des tempêtes de puissance tout à fait comparable à certains épisodes violents de la Mer du Nord.

D'après les mesures à Sète, les tempêtes ayant impacté le secteur depuis 1989 et le début des mesures sont au nombre de 24 avec 129 « coups de mer » de puissance plus ordinaire. La direction dominante des événements varie d'E-SE à S, mais il a été montré que deux directions principales de tempête dominant dans la région en raison de la canalisation des vents marins au large dans le Golfe du Lion provoquant des houles souvent légèrement obliques (même si des événements frontaux de SE ne sont pas exclus).

D'après nos observations de terrain et suivis de l'érosion, l'avancée généralisée du trait de côte, puis son recul respectivement entre les étés 2012-2015 et 2015-2017 sont à relier à la présence des tempêtes et leurs « répétitions/forces » durant la saison hivernale.

Grâce à la modélisation et les autres enregistrements des bouées dans le Golfe du Lion, 40 épisodes de tempêtes « majeurs » ont été répertoriés depuis 1979 sur la zone entre le Narbonnais et l'Espiguette. Un croisement entre impact historiques et valeurs sur la houle doit être encore mené, mais il ressort ici que la tempête de mars 2018 est classée comme un épisode d'occurrence (supra-)décennale et parmi les 4 tempêtes les plus fortes depuis 1979.

Le calcul de l'énergie des tempêtes est important pour faire une estimation des forces qui se sont exercées sur une côte pendant un fort événement, il permet notamment de connaître les directions de transport longitudinal du sable qui vont s'exprimer sur la côte annuellement. De cette façon, il apparaît que certaines années, comme lors des hivers 2009-2010 et 2013-2014, les directions habituelles de transport du sable le long de la côte ont pu être inversées sur la plupart des secteurs de l'Hérault.