

Récapitulatif des événements météo-marins sur le département de l'Hérault de 1988 à 2016



**EID Méditerranée
Pôle Littoral**

165 avenue Paul Rimbaud
34 184 Montpellier Cedex 4
www.eid-med.org

CONTACTS

Hugues HEURTEFEUX
hheurtefeux@eid-med.org
04.67.63.72.99
Delphine BOULET
dboulet@eid-med.org
04.30.63.67.81



Table des matières

Nomenclature.....	3
Indicateur national de l'érosion côtière	5
Localisation des stations de mesures dans le Golfe du Lion	9
Résultats sur le secteur de Sète	10
1.1. Base de données.....	10
1.2. Extraction des tempêtes.....	11
1.3. Analyse et hiérarchisation	14
Total wave energy flux.....	14
Run-up	15
1.4. Atlas des tempêtes	15
1.5. Les tempêtes	16
L'énergie des tempêtes	16
1.6. Bilan	17
Récapitulatif des évènements en Languedoc-Roussillon depuis 2007	18

Préambule

L'intérêt de ce référencement, effectué sur les côtes languedociennes pour l'EID Méditerranée, est la création d'une base de données météo-marines fiable pour l'évaluation de l'énergie des tempêtes. L'objectif est de mieux comprendre ce phénomène naturel qui engendre des dégâts dans le milieu naturel et urbain. Pour répondre à cette question et ainsi comprendre les événements majeurs passés afin de mieux anticiper et contrer ceux à venir, plusieurs objectifs ont été fixés : la mise en place de bases de données fiables des états de mer et météorologique, une détermination des seuils significatifs de tempêtes et de coups de mer, l'extraction des événements majeurs avec la quantification de leur énergie, et la réalisation d'un atlas de tempêtes en Languedoc-Roussillon.

Nomenclature

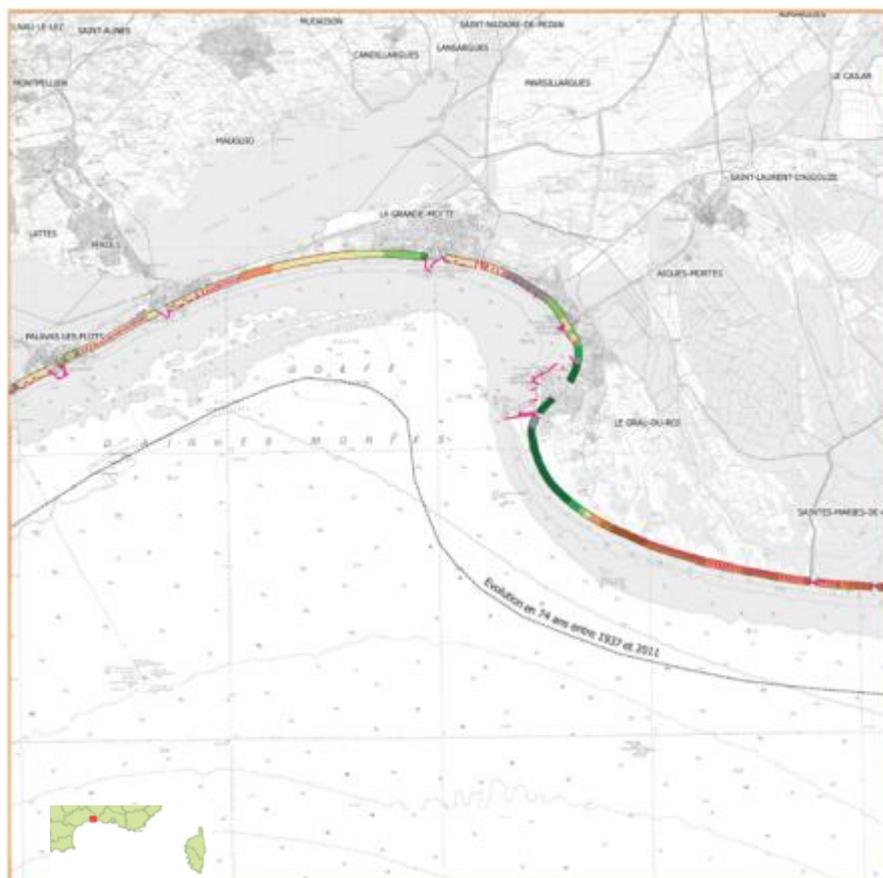
Lettres latines :

• a	Amplitude des vagues	(m)
• H	Hauteur des vagues	(m)
• T	Période des vagues	(s)
• C	Vitesse de phase	(m/s)
• D	Profondeur d'eau	(m)
• $H_{1/3}$	Hauteur significative des vagues	(m)
• H_s	Hauteur significative des vagues	(m)
• H_{max}	Hauteur maximum des vagues	(m)
• $T_{H1/3}$	Période significative des vagues	(s)
• T_{Hmax}	Période maximum des vagues	(s)
• NivM	Niveau marin	(m)
• Dir	Direction de la houle	(Degrée)
• DirV	Direction du vent	(Degrée)
• Vm	Vent moyen	(m/s)
• Pres	Pression atmosphérique	(Pa)
• EF	Flux d'énergie	(W/m/mn)
• P	Flux d'énergie des vagues	(kJ/m)
• G	Accélération de la pesanteur	($m.s^{-1}$)
• D	Durée de l'événement	(s)
• Pt	Flux total d'énergie des vagues	(kJ/m)
• t_0	Début de l'événement	
• t_n	Fin de l'événement	
• Rhigh	Run-up	(m)
• Wl	Niveau d'eau mesuré (=NivM)	(m)
• L0	Longueur d'onde des vagues en eau profonde	(m)
• H0	Hauteur des vagues en eau profonde	(m)

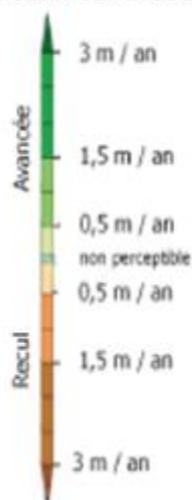
Lettres grecques :

• λ	Longueur d'onde	(m)
• ρ	Densité de l'eau	($kg.m^{-3}$)
• β_r	Pente de la plage	(Degrés)

Indicateur national de l'érosion côtière



Evolution du trait de côte



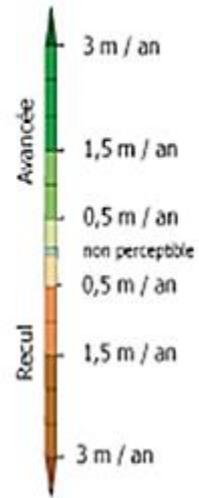
■ Pas de calcul possible

Artificialisation
 — Ouvrages de défense et autres constructions





Evolution du trait de côte



■ Pas de calcul possible

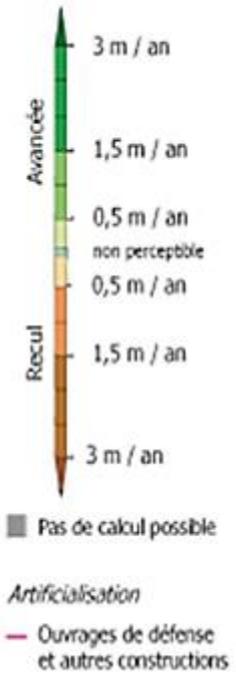
Artificialisation

— Ouvrages de défense et autres constructions



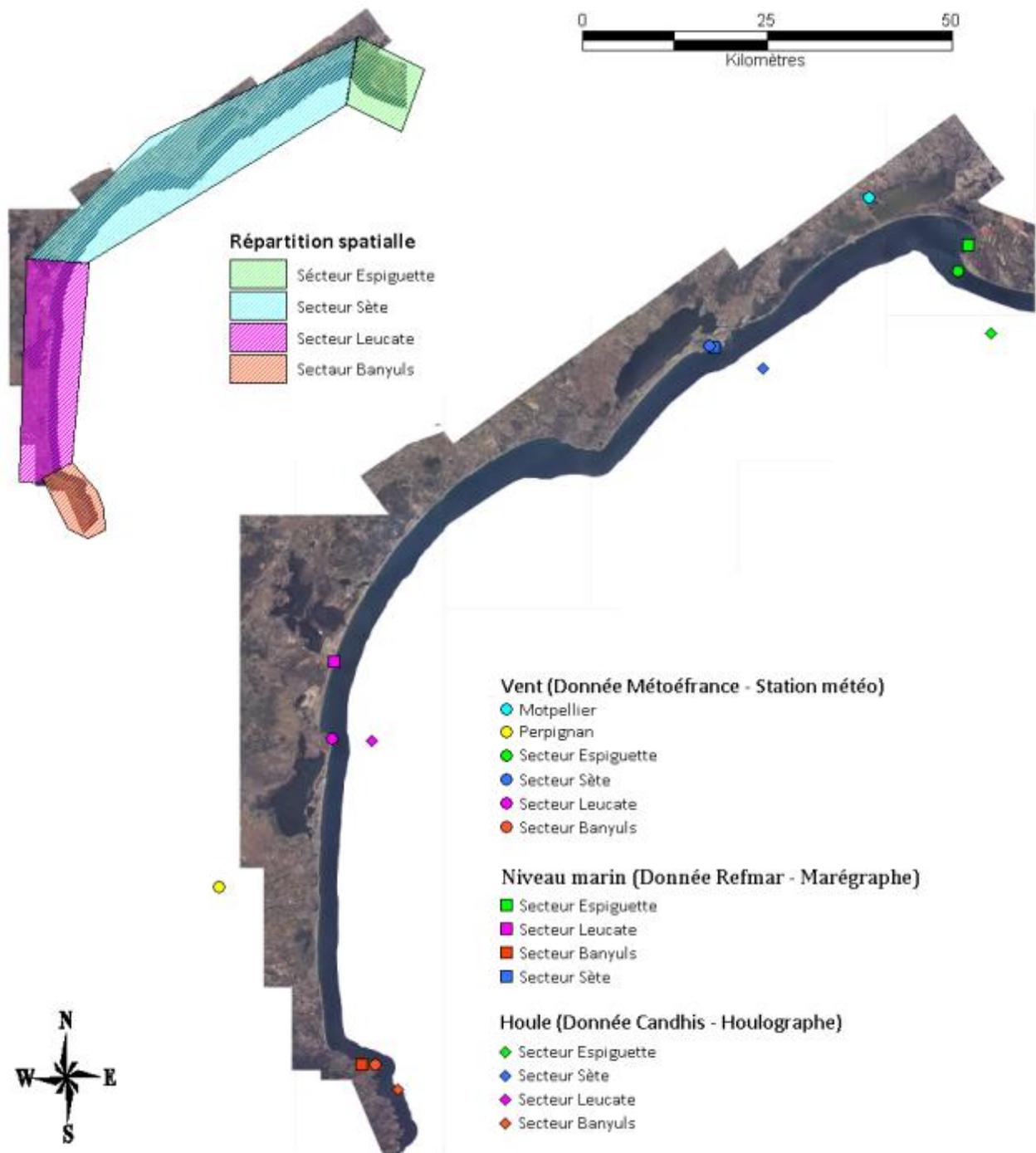


Evolution du trait de côte



Projection : Lamber-93
 Echelle : 1 :100 000 (pour une impression en A3)
 Source : Cerema, 2016

Localisation des stations de mesures dans le Golfe du Lion



Résultats sur le secteur de Sète

Les résultats traités ici ne concernent que le secteur 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 par sa configuration géographique. Les résultats des autres secteurs sont néanmoins retrouvés en annexe.

1.1. Base de données

La base de données a révélé avoir des lacunes importantes indiquées dans les fichiers par NaN (Not a Number). Après analyse, un comptage des lignes a été effectué afin de déterminer le pourcentage de valeur manquante qui est de 20,59 % (soit 28 979 sur 141 035 lignes de données pour les paramètres de houle).

Les statistiques de base sur l'ensemble de la série ont permis d'avoir une vision d'ensemble de l'état de mer dit « normal », où la houle moyenne est environ égale à 0.65 m avec une hauteur maximale de 1.10 m.

Tableau 1: Statistiques de base sur la série de Sète						
Statistiques	Hauteurs significatives	Hauteur max	Périodes significatives	Périodes max	Direction	Niveau Marin
moyenne	0,65	1,10	4,44	4,80	182,77	0,44
max	6,73	11,42	21,38	52,34	359,4	1,35
min	0,02	0,02	1,88	1,03	0,09	-0,41
médiane	0,44	0,76	4,1	4,2	173	0,44
écart type	0,42	0,69	1,13	1,68	55,94	0,11

La représentativité des données, sur un graphique réalisé sur Excel, montre l'évolution des séries au cours du temps :

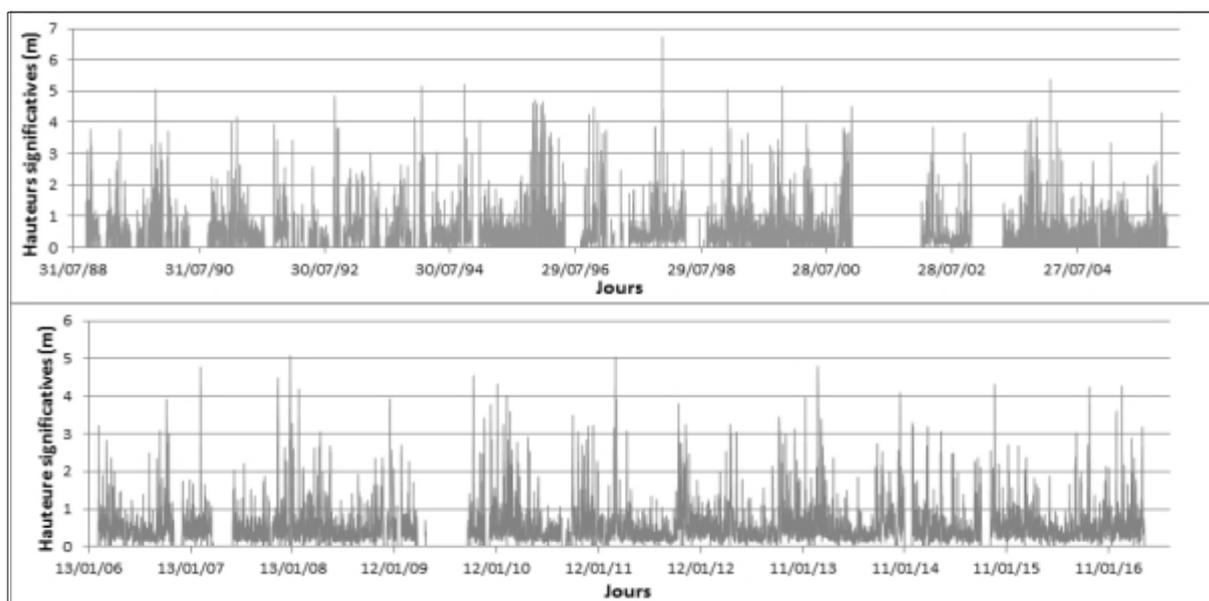


Figure 1: Série temporelle de Sète de 1989 à 2016

Ce graphique permet déjà de voir qu'il y a des événements remarquables dépassant le seuil de 2 m qui pourront être interprétés comme événement marquant, soit en coup de mer soit en tempête.

1.2. Extraction des tempêtes

L'analyse détaillée des données a permis d'extraire 138 événements sur le secteur de Sète. Ils sont au nombre de 22 tempêtes et 115 coups de mer de 1988 à 2016. Le diagramme des événements sur Sète montre la répartition dans le temps des coups de mer et des tempêtes sur le secteur concerné. Les données manquantes sont un fort handicap à la détection d'événements. La répartition des événements est inégale dans le temps, mais sur l'ensemble de la période, il y a en moyenne 4 événements par an.

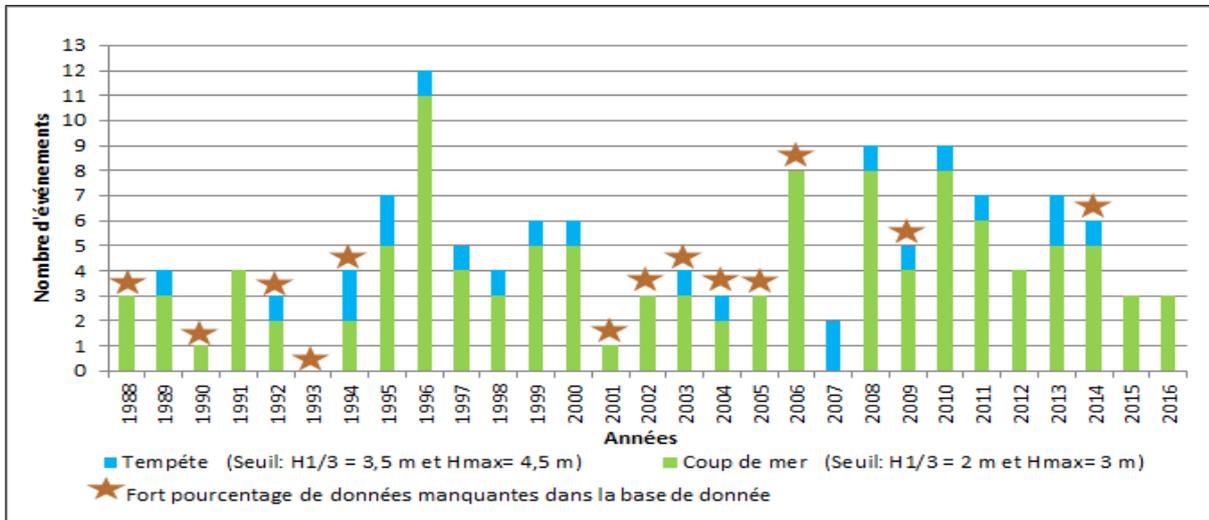


Figure 2: Diagrammes des événements sur Sète de 1988 à 2016

Les bouées de houle directionnelles (données à partir de 2006) donnent des directions de propagation de l'événement. Cela permet d'évaluer la direction et le pourcentage des événements au niveau de la côte.

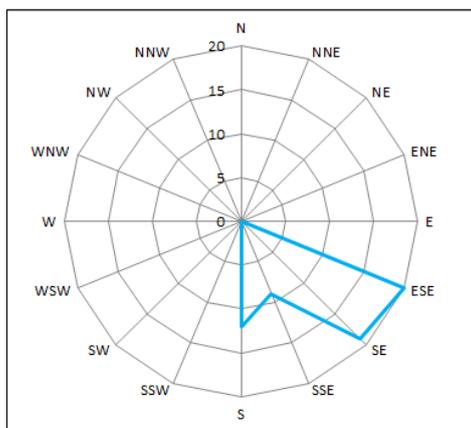


Figure 3: Direction des événements sur Sète de 2006 à 2016

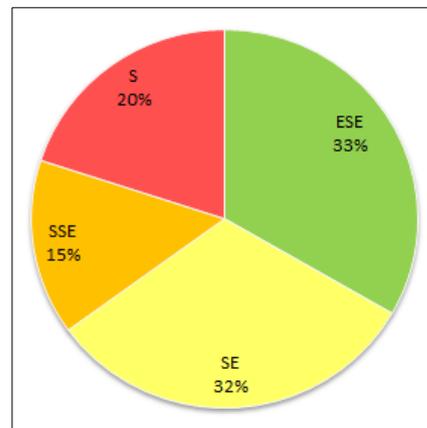


Figure 4: Pourcentage des événements par secteur directionnel sur Sète de

Le secteur de Sète, de 2006 à 2016, est concerné par l'influence de vagues allant d'Est-Sud-Est jusqu'au Sud avec deux secteurs dominants, le Sud-Est et l'Est-Sud-Est qui représentent 65 % des directions des événements.

Tableau 2: Evènements extrêmes marins de 1989 à 2016 à Sète

Tempêtes

N°	Début	Fin	Moy (h1/3)	Moy (Hmax)	Duré totale (h)	Duré h1/3 > 3,5 m	Observation Hmax (m)	Moy Direction
1	17/11/1989 04:00	18/11/1989 16:00	3,99	6,29	40	36	8,74	/
2	26/09/1992 16:00	27/09/1992 13:00	3,76	6,01	21	10	8,47	/
3	14/02/1994 07:00	15/02/1994 17:00	3,95	6,19	34	26	8,16	/
4	19/10/1994 08:00	19/10/1994 18:30	3,96	6,35	10	6	8,22	/
5	08/12/1995 06:00	09/12/1995 03:00	3,78	6,05	21	13	8,58	/
6	15/12/1995 00:00	17/12/1995 05:00	3,75	5,90	47	28	7,46	/
7	22/01/1996 05:00	23/01/1996 15:00	3,84	6,07	34	26	8,19	/
8	16/12/1997 06:00	19/12/1997 00:00	4,25	6,73	66	58	11,42	/
9	31/12/1998 01:00	31/12/1998 18:00	3,70	5,97	18	12	7,43	/
10	12/11/1999 06:00	13/11/1999 14:00	3,94	6,20	29	14	9,99	/
11	21/12/2000 22:00	23/12/2000 10:00	3,61	5,84	36	24	8,75	/
12	03/12/2003 12:00	04/12/2003 13:00	3,66	5,82	25	13	7,49	/
13	20/02/2004 19:00	21/02/2004 13:00	3,48	5,45	24	12	8,43	/
14	17/02/2007 13:00	18/02/2007 13:00	3,55	5,92	24	12	8,2	121 ESE
15	20/11/2007 01:00	22/11/2007 03:00	3,48	5,76	51	22	7,76	128 SE
16	02/01/2008 18:00	04/01/2008 12:00	3,79	6,26	44	29	9,08	118 ESE
17	21/10/2009 03:00	21/10/2009 14:00	3,55	6,02	10	5	8,47	123 ESE
18	14/01/2010 08:00	14/01/2010 23:00	3,69	6,05	16	8	7,36	130 SE
19	12/03/2011 10:00	13/03/2011 18:00	3,87	6,27	32	15	11,64	129 SE
20	05/03/2013 01:00	06/03/2013 21:00	3,84	6,17	44	21	8,10	124 SE
21	24/12/2013 08:00	25/12/2013 07:00	3,49	5,65	24	4	6,89	185 S
22	28/11/2014 02:00	29/11/2014 06:00	3,39	5,67	28	15	7,57	121 ESE

Coups de mer

N°	Début	Fin	Moy (h1/3)	Moy (Hmax)	Duré totale (h)	Duré h1/3 > 2 m	Observation Hmax (m)	Moy Direction
1	17/10/1988 09:00	18/10/1988 18:00	2,32	3,79	34	26	5,24	/
2	04/11/1988 09:00	05/11/1988 06:00	3,00	4,93	21	20	7,82	/
3	08/11/1988 00:00	10/11/1988 00:00	2,46	4,01	48	42	5,41	/
4	24/04/1989 18:00	26/04/1989 06:00	2,99	4,74	36	29	6,32	/
5	16/12/1989 18:00	19/12/1989 03:00	2,44	3,94	59	31	5,73	/
6	27/12/1989 03:00	28/12/1989 09:00	2,33	3,72	30	24	4,57	/
7	31/01/1990 06:00	01/02/1990 04:00	2,81	4,55	24	24	6,68	/
8	01/02/1991 18:00	03/02/1991 00:00	3,09	5,00	33	29	6,70	/
9	05/03/1991 15:00	08/03/1991 12:00	2,88	4,70	68	57	7,58	/
10	09/10/1991 03:00	11/10/1991 21:00	2,98	4,82	62	56	6,78	/
11	26/10/1991 15:00	28/10/1991 00:00	2,69	4,20	33	31	5,71	/
12	09/10/1992 06:00	10/10/1992 00:00	2,71	4,42	18	17	6,91	/
13	19/10/1992 09:00	20/10/1992 09:00	3,00	4,69	24	18	6,50	/
14	05/01/1994 21:00	07/01/1994 00:00	3,34	5,36	30	27	6,95	/
15	03/11/1994 03:00	05/11/1994 21:00	2,57	4,17	66	31	6,60	/
16	17/01/1995 12:00	18/01/1995 18:00	3,37	5,31	28	26	6,71	/
17	11/11/1995 00:00	12/11/1995 17:00	2,44	3,87	41	39	4,93	/
18	21/11/1995 12:00	23/11/1995 09:00	3,06	4,86	45	42	7,25	/
19	24/11/1995 21:00	26/11/1995 21:00	3,10	5,00	48	44	7,06	/
20	30/12/1995 03:00	31/12/1995 03:00	2,41	3,94	24	19	5,32	/
21	06/01/1996 18:00	12/01/1996 10:00	2,86	4,66	144	64	7,68	/
22	28/01/1996 09:00	30/01/1996 03:00	3,07	4,98	42	37	8,63	/
23	31/01/1996 15:00	02/02/1996 19:00	2,97	4,83	50	48	7,13	/
24	25/02/1996 12:00	27/02/1996 21:00	2,89	4,68	55	52	6,56	/
25	08/03/1996 03:00	10/03/1996 03:00	2,52	4,09	48	44	5,52	/
26	13/03/1996 18:00	14/03/1996 21:00	2,52	3,98	27	24	5,35	/
27	21/04/1996 21:00	23/04/1996 14:00	2,79	4,48	41	39	6,47	/
28	13/10/1996 15:00	14/10/1996 18:00	3,09	5,02	27	25	7,06	/
29	10/11/1996 18:00	13/11/1996 01:00	2,83	4,61	55	50	7,05	/
30	04/12/1996 06:00	05/12/1996 08:00	3,24	5,27	27	24	6,79	/
31	21/12/1996 15:00	22/12/1996 23:00	2,31	3,79	33	12	5,40	/
32	02/01/1997 09:00	04/01/1997 02:30	2,51	4,11	42	22	6,62	/
33	21/01/1997 12:00	23/01/1997 03:00	2,69	4,21	39	31	6,10	/
34	04/11/1997 03:00	07/11/1997 03:00	2,88	4,65	72	70	6,52	/
35	25/11/1997 18:00	27/11/1997 03:00	2,30	3,69	33	19	5,19	/
36	12/01/1998 12:00	14/01/1998 00:00	2,27	3,66	36	21	4,98	/
37	15/04/1998 00:00	15/04/1998 19:00	2,67	4,18	19	17	5,18	/
39	16/01/1999 12:00	17/01/1999 13:00	2,76	4,44	25	23	6,19	/
40	25/03/1999 03:00	26/03/1999 01:00	2,61	4,25	24	24	6,19	/
41	28/04/1999 18:00	29/04/1999 14:00	2,64	4,19	20	20	5,57	/
42	20/10/1999 03:00	21/10/1999 06:00	2,68	4,33	27	24	6,38	/
44	02/04/2000 15:00	04/04/2000 03:00	2,94	4,87	37	36	7,55	/
45	05/11/2000 15:00	06/11/2000 08:00	3,23	5,23	14	13	7,51	/
N°	Début	Fin	Moy (h1/3)	Moy (Hmax)	Duré totale (h)	Duré h1/3 > 2 m	Observation Hmax (m)	Moy Direction
47	22/11/2000 21:00	23/11/2000 15:00	2,74	4,41	18	18	6,14	/
48	05/12/2000 18:00	08/12/2000 10:00	2,59	4,20	64	60	6,10	/
49	15/01/2001 12:00	19/01/2001 12:00	2,21	3,60	72	35	5,84	/
50	19/10/2001 03:00	21/10/2001 00:00	2,25	3,71	47	23	5,52	/
51	28/03/2002 21:00	30/03/2002 06:00	2,37	3,84	33	30	5,27	/
52	11/04/2002 00:00	12/04/2002 00:00	2,83	4,49	24	22	6,22	/

53	09/10/2002 03:00	10/10/2002 03:00	2,73	4,34	24	21	5,99	/	
54	16/10/2003 06:00	18/10/2003 15:00	2,69	4,27	59	53	6,70	/	
55	28/10/2003 09:00	31/10/2003 21:00	2,82	4,40	84	33	7,08	/	
56	07/12/2003 21:00	08/12/2003 09:00	2,87	4,69	12	12	6,64	/	
57	29/03/2004 21:00	31/03/2004 15:00	2,83	4,39	43	30	6,43	/	
58	16/04/2004 00:00	17/04/2004 04:00	2,54	4,04	28	18	5,44	/	
59	06/02/2005 09:00	09/02/2005 00:00	2,58	4,10	61	59	5,74	/	
60	31/10/2005 06:00	31/10/2005 21:00	2,34	3,99	15	15	5,21	/	
61	02/12/2005 00:00	03/12/2005 00:00	3,02	4,85	24	23	7,05	/	
62	15/01/2006 15:00	16/01/2006 15:00	2,67	4,25	24	18	5,34	/	
63	28/01/2006 06:00	30/01/2006 06:00	2,65	4,15	48	46	6,39	/	
64	19/02/2006 04:00	19/02/2006 18:00	2,41	3,94	14	12	5,27	175	S
65	18/03/2006 10:00	19/03/2006 20:00	2,25	3,72	34	31	5,18	133	SE
66	24/09/2006 03:00	24/09/2006 23:00	2,34	3,66	20	17	4,86	133	SE
67	18/10/2006 01:00	20/10/2006 04:00	2,61	4,26	51	34	6,60	128	SE
68	22/10/2006 15:00	23/10/2006 22:00	2,13	3,46	31	25	4,42	153	SSE
69	25/10/2006 20:00	27/10/2006 00:00	2,58	4,39	28	24	7,02	115	ESE
70	11/01/2008 04:00	11/01/2008 22:00	2,67	4,50	18	17	6,00	180	S
71	14/01/2008 00:00	14/01/2008 18:00	2,18	3,51	18	16	4,25	152	SSE
72	03/02/2008 12:00	04/02/2008 12:00	2,89	4,88	24	22	6,77	176	S
73	30/03/2008 06:00	30/03/2008 19:00	2,26	3,67	13	13	4,56	150	SSE
74	19/04/2008 21:00	21/04/2008 00:00	2,09	3,42	26	14	4,77	162	SSE
75	25/05/2008 18:00	26/05/2008 09:00	2,20	3,57	15	12	4,31	124	SE
76	26/12/2008 11:00	28/12/2008 15:00	2,34	3,76	52	28	6,29	122	ESE
77	30/12/2008 05:00	01/01/2009 00:00	2,09	3,56	44	26	5,24	148	SSE
78	05/02/2009 01:00	06/02/2009 01:00	2,20	3,75	24	18	4,74	178	S
79	28/11/2009 21:00	29/11/2009 18:00	2,87	4,58	21	21	5,62	179	S
80	21/12/2009 05:00	22/12/2009 11:00	2,80	4,61	30	30	6,42	169	S
81	24/12/2009 09:00	24/12/2009 23:00	2,43	4,00	13	12	5,04	174	S
82	04/02/2010 15:00	05/02/2010 08:00	2,69	4,50	17	15	6,01	118	ESE
83	16/02/2010 11:00	17/02/2010 22:00	2,66	4,27	35	27	6,92	121	ESE
84	27/02/2010 17:00	28/02/2010 09:00	2,76	4,68	16	15	7,77	140	SE
85	08/03/2010 04:00	08/03/2010 19:00	2,20	3,71	15	14	4,47	122	ESE
86	09/10/2010 13:00	11/10/2010 15:00	2,22	3,67	50	32	5,85	121	ESE
87	29/10/2010 14:00	30/10/2010 14:00	2,45	4,09	24	23	5,19	121	ESE
88	14/11/2010 05:00	15/11/2010 04:00	2,22	3,67	24	19	5,14	146	SE
89	05/12/2010 03:00	06/12/2010 03:00	2,49	4,07	24	15	5,68	181	S
90	07/03/2011 17:00	08/03/2011 19:00	2,51	4,22	26	25	5,68	117	ESE
91	22/04/2011 15:00	23/04/2011 21:00	2,28	3,82	30	18	6,20	126	SE
92	23/10/2011 17:00	25/10/2011 03:00	2,84	4,65	34	31	6,97	121	ESE
93	27/10/2011 05:00	28/10/2011 17:00	2,36	3,73	36	30	4,78	134	SE
94	18/11/2011 23:00	20/11/2011 20:00	2,40	4,00	45	41	6,12	121	ESE
95	21/11/2011 06:00	22/11/2011 06:00	2,11	3,48	24	19	4,17	131	SE
96	25/04/2012 10:00	29/04/2012 10:00	2,30	3,77	96	78	5,92	132	SE
97	19/05/2012 09:00	20/05/2012 10:00	2,24	3,64	25	20	5,17	120	ESE
98	17/10/2012 10:00	21/10/2012 12:00	2,48	4,12	98	79	6,23	133	SE
99	13/12/2012 04:00	14/12/2012 04:00	2,39	3,94	24	21	5,32	164	SSE
100	19/01/2013 09:00	20/01/2013 05:00	2,88	4,88	20	17	6,62	139	SE
101	16/03/2013 15:00	18/03/2013 03:00	2,87	4,81	36	35	6,98	154	SSE
102	03/10/2013 23:00	04/10/2013 23:00	2,21	3,79	24	18	5,19	145	SE
103	22/10/2013 08:00	23/10/2013 05:00	2,09	3,60	21	15	5,02	147	SSE
104	24/12/2013 00:00	25/12/2013 15:00	3,00	4,91	39	33	7,29	185	S
105	09/02/2014 20:00	10/02/2014 15:00	2,53	4,19	19	17	5,73	170	S
106	29/03/2014 17:00	30/03/2014 18:00	2,29	3,71	25	23	4,91	141	SE
107	02/04/2014 11:00	03/04/2014 22:00	2,51	4,16	35	30	6,07	118	ESE
108	19/05/2014 11:00	20/05/2014 02:00	2,23	3,59	15	14	4,06	119	ESE
109	21/05/2014 04:00	22/05/2014 11:00	2,33	3,79	31	25	5,36	121	ESE
110	15/09/2015 23:00	17/09/2015 03:00	2,32	3,68	28	24	4,78	177	S
111	27/10/2015 07:00	28/10/2015 10:00	2,19	3,64	27	20	4,72	109	ESE
112	02/11/2015 08:00	04/11/2015 02:00	2,80	4,71	42	38	7,57	125	SE
113	06/02/2016 07:00	07/02/2016 09:00	2,62	4,35	26	21	6,02	147	SSE
114	27/02/2016 03:00	27/02/2016 22:00	2,68	4,51	19	16	8,59	115	ESE
115	08/05/2016 17:00	10/05/2016 09:00	2,39	4,01	40	30	5,61	/	

Légende :

 Événement d'Est

 Événement de Est-Sud-Est

 Événement de Nord

 Événement de Sud-Est

 Événement de Sud-Sud-Est

Seuil :

- coup de mer : H1/3 : 2 m et Hmax : 3 m

- Tempête : H1/3 : 3,5 m et Hmax : 4,5 m

 Événement de Sud

 Événement de Sud-Sud-Ouest

1.3. Analyse et hiérarchisation

Total wave energy flux

Les résultats pour le secteur de Sète sont représentatifs d'une longue période de temps (1989

à 2016) et permettent d'avoir une vision sur trois décennies. Le calcul de l'énergie des tempêtes a été réalisé en utilisant la formule énergie flux F (1) et la Wave Energy flux total Pt (3).

Il est possible de remarquer une grande différence d'énergie entre la tempête la plus énergétique (12_1997) avec 5 298,61 kJ/m (563735,59 W/m/mn) et celle qui a l'énergie la plus basse (10_1994) avec 959,32 kJ/m (95844,27 W/m/mn). En se basant sur des paliers, il est possible de constater que dix tempêtes dépassent 2 000 kJ/m et seulement quatre passent la barre des 3 000 kJ/m.

Les résultats trouvés ont été représentés sous forme d'un diagramme d'énergie afin d'avoir une meilleure vision des résultats, pour l'énergie totale calculée avec Pt.

Tableau 3: Résultats des énergies de tempête		
Tempêtes	Pt (kJ/m)	F (W/m/mn)
11_1989	3271,83	367628,49
09_1992	1494,56	157058,50
02_1994	2737,08	310303,43
10_1994	959,32	95844,27
12_1995	1471,38	155409,19
12_1995	2203,72	241714,31
01_1996	2785,15	299324,73
12_1997	5298,61	563735,59
12_1998	1040,36	121059,80
11_1999	1932,63	211788,64
12_2000	2608,64	294140,73
12_2003	1512,18	167008,86
02_2004	1767,35	184766,27
02_2007	1533,99	165386,12
11_2007	2885,91	322899,17
01_2008	2717,20	303573,98
10_2009	1143,12	120808,82
01_2010	1015,25	109249,85
03_2011	3651,39	379647,17
03_2013	3090,51	342554,07
12_2013	1412,32	153782,38
11_2014	1729,59	184478,82

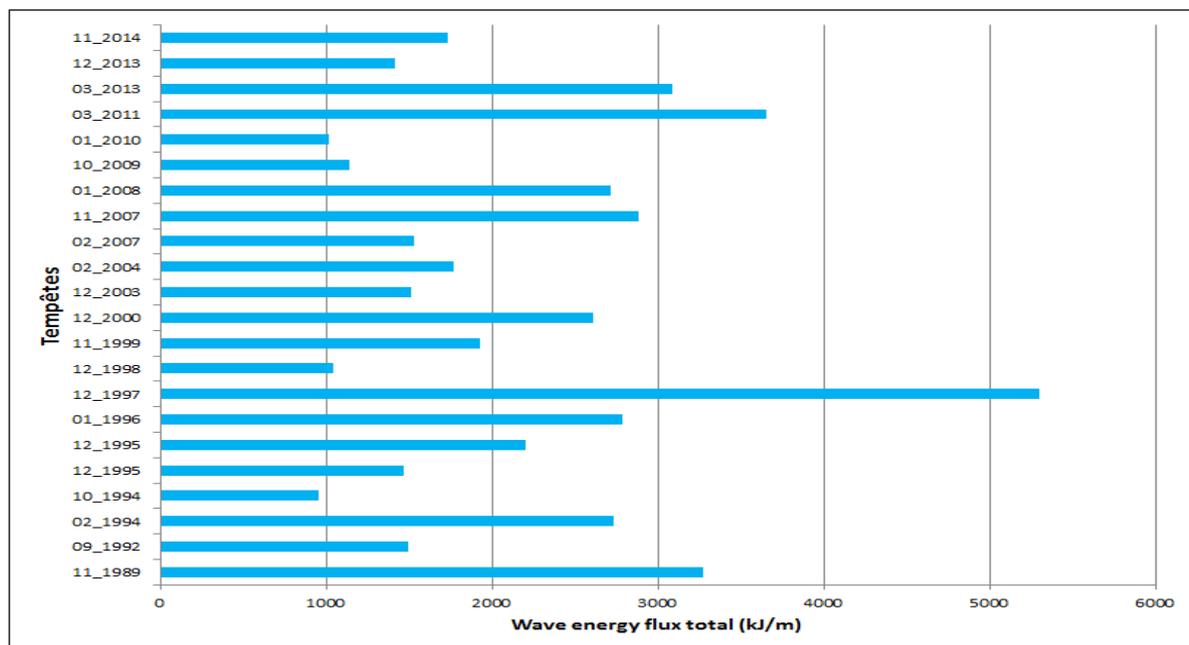


Figure 5: Diagramme des énergies de tempêtes sur Sète

Or le classement des énergies des tempêtes est-il bien représentatif ? Il ne prend pas en compte le niveau marin, qui lors d'évènements extrêmes comme les tempêtes ou les coups de mer peut être élevé et affecter des zones en arrière plage.

Run-up

C'est dans ces conditions que le calcul du run-up intervient. Il permet d'avoir une estimation de la hauteur du jet de rive sur la plage au moment de la tempête. Ici une moyenne des run-up par heure a été effectuée sur l'ensemble de l'évènement.

Les données manquantes de niveau marin vont influencer les résultats obtenus, car ces dernières vont s'appuyer uniquement sur les données de houle (données en rouge sur le tableau). Le run-up des tempêtes de novembre 1989, octobre 1994, décembre 1995 et février 2007, sera sous-évalué. Les résultats sont bas, même si en regardant les run-up maximum obtenus pour ces cinq évènements, il est possible de constater que les valeurs restent élevées.

Tableau 4: Résultats run-up		
Tempêtes	Moy Run-up (m)	Run-up max (m)
11_1989	4,09	5,45
09_1992	4,66	5,90
02_1994	5,40	6,26
10_1994	4,09	5,47
12_1995	4,02	5,01
12_1995	4,16	4,83
01_1996	4,80	5,95
12_1997	5,58	7,49
12_1998	4,45	5,49
11_1999	5,13	6,04
12_2000	4,74	5,79
12_2003	5,15	6,26
02_2004	4,78	5,74
02_2007	3,89	5,23
11_2007	4,71	5,80
01_2008	5,12	6,44
10_2009	4,26	5,86
01_2010	4,90	5,88
03_2011	4,44	6,25
03_2013	5,14	6,12
12_2013	4,43	5,25
11_2014	4,68	6,18

Le run-up, sur ce secteur, montre une élévation moyenne importante au moment des tempêtes. En prenant un seuil de 5 m sur les run-up moyens, il est possible de constater qu'il y a six tempêtes au-dessus mais une seule qui dépasse les 5,50 m. L'élévation du jet de rive la plus importante est repérée pour la tempête de 1997, avec une élévation moyenne 5,58 m et une élévation maximale de 7,49 m.

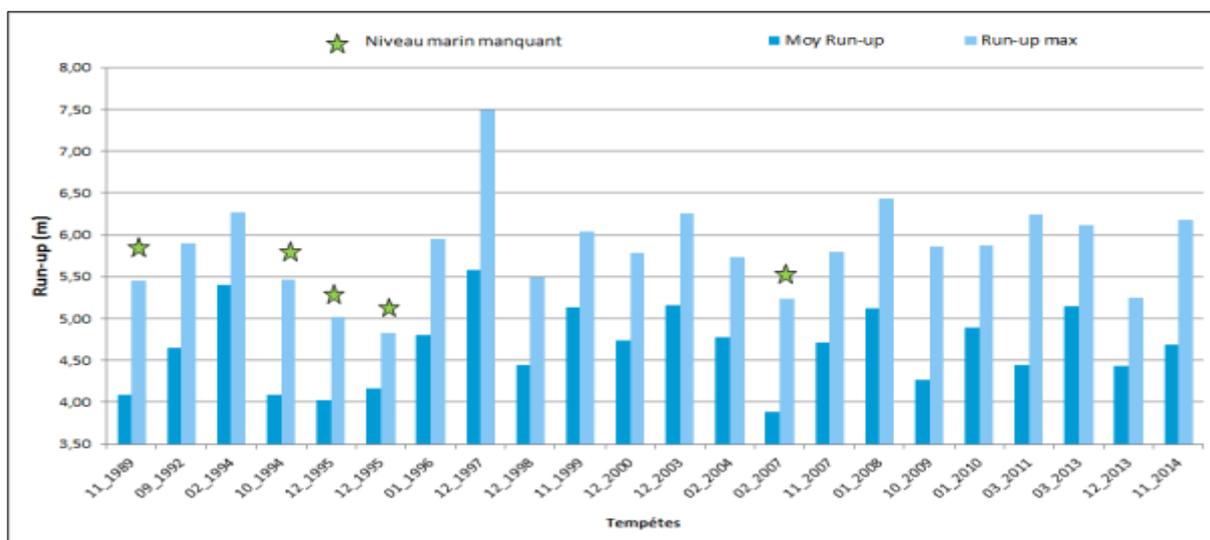


Figure 6: Diagramme du Run-up

1.4. Atlas des tempêtes

Des fiches tempêtes ont été réalisées afin de caractériser un évènement (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'évènement 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

1.5. Les tempêtes

L'extraction de ces événements extrêmes a permis de mettre en évidence 22 tempêtes et 115 coups de mer sur ce secteur. Bien évidemment, les données manquantes perturbent les résultats en termes de représentativité. En moyenne cela représente 5 événements par an pour Sète. Cependant, les lacunes handicapent cette analyse. Il est possible néanmoins d'affirmer (car ces 2 périodes comportent peu de lacunes hivernales) que l'année la plus agitée est 1996, avec 12 événements. A l'inverse, 2007 fut l'année la plus calme.

Les directions dominantes représentatives des houles d'événements extrêmes sont orientées du Sud vers l'Est-Sud-Est avec une dominance du secteur Sud-Est et Est-Sud-Est représenté à 65 %. Cette orientation est due d'une part à l'orientation Est à Sud-Est du fetch qui va générer les houles qui touchent le secteur de Sète (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Mais l'incidence de la houle est également liée à la configuration de la côte. Les houles dont les fetch sont exceptionnels pour le secteur, vont, par un phénomène de réfraction¹, s'orienter parallèlement au trait de côte, qui est ici Nord-Est/Sud-Ouest, et donc avoir une direction perpendiculaire ou casi-perpendiculaire à la côte (Sud-Est). Le houlographe se trouvant à 5 kilomètres, ce phénomène physique peut être important.

L'énergie des tempêtes

Le calcul de l'énergie des tempêtes (total wave energy flux) sur le secteur de Sète a révélé des différences d'énergie entre les différentes tempêtes du secteur, dues à plusieurs paramètres. La hauteur et la période de la houle sont différentes lors des tempêtes. Mais également la période des tempêtes, qui vont être plus ou moins longues dans le temps et donc exercer, sur une durée différente, une énergie plus importante sur la côte que par temps calme.

Ici, la tempête la plus forte en énergie est celle de 1997 qui a duré 75h (soit 3 jours et 3h) avec des hauteurs significatives importantes, dépassant les 4m pendant 24h (cf fiche tempête N°34_008 :). Les observations terrains après le passage de cette tempête montrent bien les conséquences désastreuses sur la côte. D'autres tempêtes ont fait de forts dégâts (ouverture de brèches dans les cordons dunaires, érosion importante...) sur le littoral (constatation interne EID Méditerranée), comme celle de décembre 2003. Toutefois, son énergie (1512,18 kJ/m) est relativement faible et n'entre pas dans le classement des cinq tempêtes les plus importantes alors qu'elle a causé d'importants dégâts (cf fiche tempête N°34_012**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Cela peut être expliqué par le niveau marin.

Élévation du jet de rive

En effet, le calcul de l'énergie des tempêtes prend en compte plusieurs paramètres physiques de houle mais laisse de côté le niveau marin. Or dans certaines configurations de tempête, ce dernier est très important.

En étudiant les résultats obtenus, il est possible de remarquer que l'élévation moyenne du run-up sur cette tempête dépasse 5 m. C'est bien sûr le cas de la tempête de 1997 (avec 5,58 m), mais également celle de 2003 (avec 5,15 m). Ces résultats peuvent expliquer les dégâts engendrés à la côte pour les tempêtes de faibles énergies. L'élévation maximale du jet de rive étant importante, la plage sera submergée mettant ainsi en danger des zones qui, par temps calme, ne sont pas affectées par la

¹ La réfraction : modification de la trajectoire de la houle par la bathymétrie entraînée par une diminution de la célérité de l'onde de houle. (Source : cour Certain, 2013)

houle. Ces zones « plus sensibles » vont subir des dégâts importants, même si l'énergie calculée de la tempête n'est pas très importante

1.6. Bilan

La base de données est complétée à 80% avec une représentativité de 30 ans de mesures. L'état de mer moyen sur le secteur est caractérisé par une houle significative de 0,65 m et une houle maximale de 1,10 m avec une période significative de 4,44 s et un niveau d'eau de 0,44 m.

Les tempêtes ayant impacté le secteur sont au nombre de 22 avec 115 coups de mer. La direction dominante de ces événements est ESE et SE à 65%, ce qui correspond au secteur de fetch impactant la zone.

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. Mais il ne suffit pas à lui seul à caractériser une tempête. L'élévation du jet de rive va être également un point fort qui peut expliquer certains dégâts observés alors que la tempête n'a pas déversé de forte énergie à la côte. Comme le montre la tempête de 2003, dont l'énergie est faible (par rapport aux autres tempêtes) mais le run-up élevé.

Récapitulatif des évènements en Languedoc-Roussillon depuis 2007

	Date	Espiguette	Sète	Leucate	Banyuls
1	17/02/07		TEMPETE	CdM	
2	01/04/07			CdM	
3	19/11/07		TEMPETE	Tempête	
4	15/12/07				CdM
5	21/12/07				CdM
6	02/01/08		TEMPETE	Tempête	CdM
7	11/01/08		CdM		
8	14/01/08		CdM		
9	03/02/08		CdM	CdM	CdM
10	30/03/08		CdM		
11	19/04/08		CdM		
12	25/05/08		CdM		
13	31/10/08	CdM		CdM	
14	02/11/08			CdM	
15	22/11/08				CdM
16	29/11/08	CdM			
17	13/12/08	CdM			
18	26/12/08	CdM	CdM	Tempête	Tempête
19	30/12/08		CdM		
20	01/02/09	CdM			
21	05/02/09	CdM	CdM		
22	06/03/09				CdM
23	25/04/09	CdM		CdM	CdM
24	20/10/09	CdM	TEMPETE	CdM	
25	09/11/09				CdM
26	28/11/09		CdM		
27	21/12/09		CdM		
28	24/12/09		CdM		
29	14/01/10		CdM	CdM	
30	04/02/10		CdM	CdM	
31	16/02/10		CdM		CdM
32	27/02/10		CdM		
33	03/03/10				CdM
34	08/03/10		CdM		CdM
35	03/10/10			CdM	
36	09/10/10		CdM	Tempête	CdM
37	29/10/10		CdM	CdM	
38	14/11/10		CdM		
39	05/12/10		CdM		
40	19/12/10	CdM			
41	21/12/10	CdM			
42	05/01/11	CdM			
43	27/01/11			CdM	CdM
44	07/03/11	CdM	CdM	CdM	CdM
45	12/03/11	CdM	Tempête	Tempête	Tempête
46	14/03/11			CdM	CdM
47	22/04/11	CdM	CdM		CdM
48	24/10/11	CdM	CdM	CdM	CdM
49	27/10/11	CdM	CdM	CdM	CdM
50	02/11/11	CdM		CdM	CdM
51	18/11/11	CdM	CdM	CdM	
52	21/11/11		CdM	CdM	CdM
53	01/12/11	CdM			
54	05/01/12				CdM
55	25/04/12	CdM	CdM	CdM	
56	28/04/12			CdM	
57	19/05/12	CdM	CdM		
58	17/10/12	CdM	CdM	CdM	
59	18/10/12				CdM
60	27/10/12				CdM
61	31/10/12			CdM	CdM
62	09/11/12	CdM			
63	28/11/12				CdM
64	13/12/12	CdM	CdM		
65	19/01/13	CdM	CdM	CdM	
66	28/02/13				CdM
67	01/03/13			CdM	
68	04/03/13	CdM	Tempête	Tempête	Tempête
69	13/03/13				CdM
70	16/03/13	CdM	CdM		
71	18/05/13	CdM			
72	03/10/13	CdM	CdM	CdM	CdM
73	22/10/13	CdM	CdM		
74	17/11/13			CdM	CdM
75	23/12/13	Tempête	Tempête	CdM	
76	05/02/14	CdM			
77	06/02/14	CdM			
78	09/02/14	CdM	CdM		
79	29/03/14		CdM	CdM	
80	02/04/14		CdM	CdM	
81	19/05/14		CdM		
82	21/05/14		CdM	CdM	CdM
83	28/11/14		Tempête	Tempête	Tempête
84	20/03/15				CdM
85	21/03/15	CdM		CdM	
86	15/09/15	CdM	CdM		
87	29/09/15			CdM	CdM
88	27/10/15	CdM	CdM		
89	02/11/15	CdM	CdM	CdM	CdM
90	06/02/16		CdM	CdM	
91	27/02/16		CdM	CdM	
92	09/05/16		CdM	CdM	CdM

Légende :

- Evénement d'Est
- Evénement d'Est-Sud-Est
- Evénement de Sud-Est
- Evénement de Sud-Sud-Est
- Evénement de Sud
- Evénement de Sud-Sud-Ouest
- Evénement de Nord

Pas de'

CdM : Coup de mer

Total :
92 Evènements LR
(2006 à 2016)
+
79 évènements sur Sète
(1988 à 2006)
=
171 évènements majeurs
(Total)

