



**PRÉFET
DU VAR**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Direction Départementale
des territoires et de la mer du Var

Service mer et littoral

Bureau littoral ouest

DELIMITATION DU RIVAGE DE LA MER

Commune de Sanary Sur Mer

PARCELLE AW 269



DOSSIER D'ENQUÊTE PUBLIQUE

Analyse de données CEREMA
de houles Porquerolles
Janvier 2021

D.11.1

Fiches synthétiques de mesure des états de mer du réseau CANDHIS

Tome 2 – Méditerranée - Janvier 2021



Fiches synthétiques de mesure des états de mer Tome 2 – Méditerranée Janvier 2021

Collection | **Données**

Édition Cerema

Cerema Eau, mer et fleuves – 134, rue de Beauvais – CS 60039 – 60280 Margny-lès-Compiègne Tél: +33 (0) 3 44 92 60 00
Siège social: Cité des Mobilités - 25, avenue François Mitterrand - CS 92 803 - F-69674 Bron Cedex - Tél: +33 (0) 4 72 14 30 30

L'ouvrage est une œuvre collective éditée sous la direction du Cerema.

Cet ouvrage a été rédigé par **Xavier Kergadallan**, **Alain Le Berre** et **Ronan Sanquer** du Cerema Eau, mer et fleuves.

Les fiches synthétiques de mesure des états de mer regroupées dans le présent document ont été établies à partir des observations temps différé disponibles le 1^{er} décembre 2020.

Comment citer cet ouvrage :

Cerema. Fiches synthétiques de mesure des états de mer - Tome 2 – Méditerranée - Janvier 2021

Cerema, 2021. Collection : Données. ISBN : 978-2-37180-498-2

Toute reproduction intégrale ou partielle, faite sans le consentement du Cerema est illicite (loi du 11 mars 1957). Cette reproduction par quelque procédé que ce soit, constituerait une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code pénal.

Sommaire

1. INTRODUCTION	4	CORSE	123
2. DÉFINITIONS	5	02B02 - Cap Corse	124
2.1 Analyse vague par vague	5	02B03- Bastia	132
2.2 Analyse spectrale	5	02B04 - La Revellata	134
3. RAPPEL THÉORIQUE	6	02B05 - Alistro	144
3.1 Analyse vague par vague (ou analyse temporelle)	6		
3.2 Analyse spectrale	7		
3.2.1 Spectre de variance non directionnel	7		
3.2.2 Spectre directionnel de variance	7		
4. LA MESURE	8		
4.1 Le réseau de mesures CANDHIS	8		
4.2 Les appareils de mesure	9		
4.3 État des données	10		
4.3.1 Avertissement quant à l'usage des données	10		
4.3.2 Pas de mesure des paramètres d'états de mer	10		
4.4 Contrôle des données	10		
4.4.1 Premier niveau de contrôle	10		
4.4.2 Deuxième niveau de contrôle	11		
5. PRÉSENTATION DES RÉSULTATS	12		
5.1 Convention d'unités	12		
5.2 Informations générales	13		
5.3 Climatologie moyenne	13		
5.4 Analyse des valeurs extrêmes	14		
5.4.1 Méthodologie	14		
5.4.2 Interprétation	14		
5.5 Sélection des événements remarquables	15		
5.5.1 Méthodologie	15		
5.5.2 Interprétation	15		
6. RELEVÉS CANDHIS	16		
6.1 Durées effectives et périodes de mesure des campagnes	16		
DE BANYULS-SUR-MER À FOS-SUR-MER	17		
01101 - Leucate	18		
01301 - Camargue	26		
01302 - Port-de-Bouc	34		
01303 - Fos	36		
03001 - Espiguette	38		
03401 - Sète (Marseillan)	48		
03402 - Sète (Frontignan)	56		
03403-03404 - Sète	58		
06601 - Banyuls	67		
DE FOS-SUR-MER À MENTON	75		
00601 - Nice	76		
01304 - Marseille	88		
01305 - Le Planier	94		
08301-08302 - Porquerolles	104		
98000 - Monaco	113		

1. INTRODUCTION

Le présent recueil constitue le premier tome du catalogue des fiches synthétiques de mesure des états de mer. Ce deuxième tome porte sur les campagnes de mesures localisées le long du littoral métropolitain de Méditerranée (voir figure 1).

Les fiches synthétiques regroupent, par campagne de mesures, les métadonnées et une analyse des observations des états de mer issues de la base de données CANDHIS.

Les observations utilisées sont les données « temps différé » disponible au 1^{er} décembre 2020.

Pour rappel, les données « temps différé » sont calculées à partir et après vérification des données brutes (les trois déplacements). Les données brutes sont collectées sur le terrain tous les deux ou trois mois pour les stations les plus accessibles, jusqu'à un minimum d'une fois par an pour les autres.

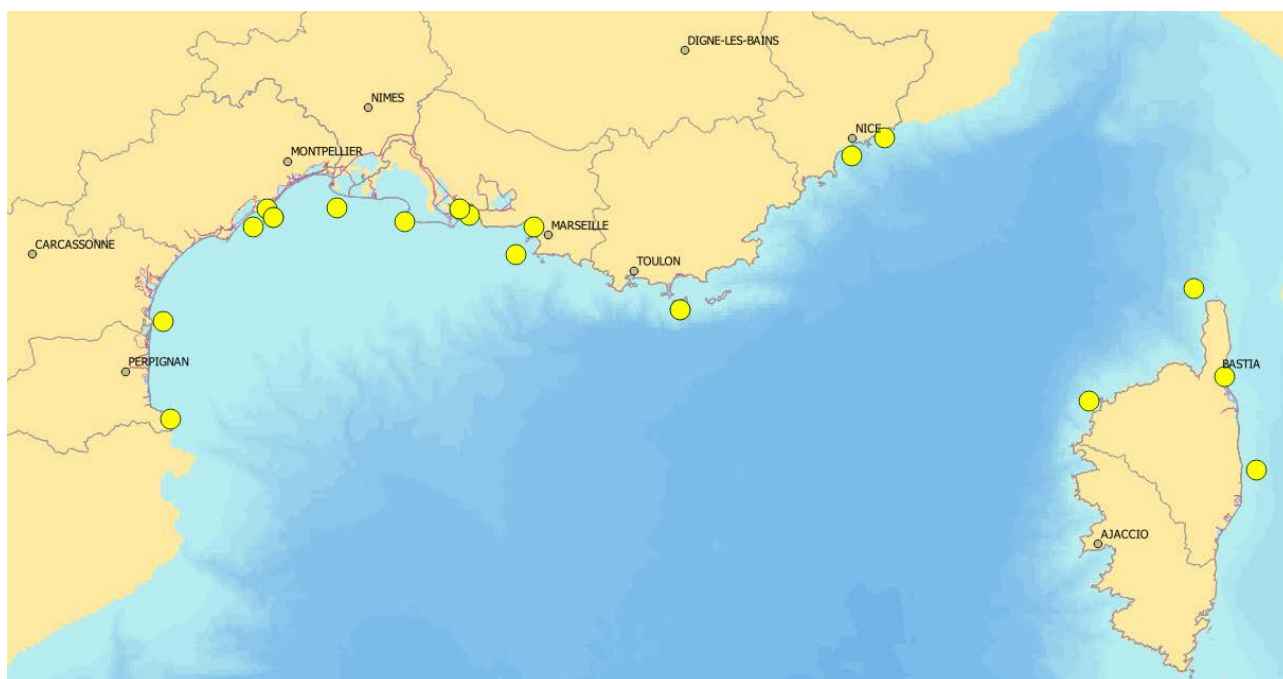


Figure 1 : localisation des campagnes de mesure CANDHIS en Méditerranée

Le tome 1 porte sur les campagnes de mesures localisées le long du littoral métropolitain de la mer du Nord, la Manche et l'Atlantique, le tome 3 porte sur les campagnes outre-mer.

2. DÉFINITIONS

2.1 Analyse vague par vague

- $H_{1/3}$: hauteur significative, valeur moyenne du tiers supérieur des hauteurs des vagues observées sur une durée de 30 minutes.
- $H_{1/10}$: valeur moyenne du dixième supérieur des hauteurs des vagues observées sur une durée de 30 minutes.
- H_{\max} : hauteur de la plus grande vague observée sur une période de 30 minutes.
- T_{avg} : période moyenne des vagues observées sur une durée de 30 minutes définies par passage au niveau moyen par valeurs décroissantes.
- $T_{H1/3}$: période significative, définie par la valeur moyenne des périodes du tiers supérieur des plus grandes vagues observées sur une durée de 30 minutes.
- $T_{H1/10}$: valeur moyenne des périodes du dixième supérieur des plus grandes vagues observées sur une durée de 30 minutes.
- $T_{H\max}$: période de la vague de la plus grande hauteur observée sur une durée de 30 minutes.

2.2 Analyse spectrale

- H_m0 : estimation de la hauteur significative des vagues à partir du moment d'ordre zéro de la densité spectrale.
- T_{02} : période moyenne calculée en prenant la racine carrée du rapport du moment d'ordre zéro sur le moment d'ordre deux de la densité spectrale.
- T_E : période d'énergie définie par le rapport du moment d'ordre moins un sur le moment d'ordre zéro de la densité spectrale.
- T_p : période correspondant au maximum de la densité spectrale.
- Dir_p : direction moyenne de provenance des vagues au pic du spectre d'énergie. L'angle est compté positivement, suivant le sens des aiguilles d'une montre, entre le nord géographique et la direction de provenance des vagues.
- Eta_p : largeur directionnelle, caractérise l'étalement directionnel de l'énergie autour de la direction moyenne au pic (fonction de répartition angulaire de l'énergie associée à la fréquence de pic du spectre d'énergie).

3. RAPPEL THÉORIQUE

3.1 Analyse vague par vague (ou analyse temporelle)

Il s'agit d'une analyse statistique des vagues définies par le passage au niveau moyen calculé sur l'ensemble du signal étudié (voir figure 2).

Les principaux paramètres d'états de mer calculés par l'analyse vague par vague sont les suivants: $H^{1/3}$, $H^{1/10}$, H_{max} , T_{avd} , $T_{H1/3}$, $T_{H1/10}$ et T_{Hmax} .

Analyse vague par vague

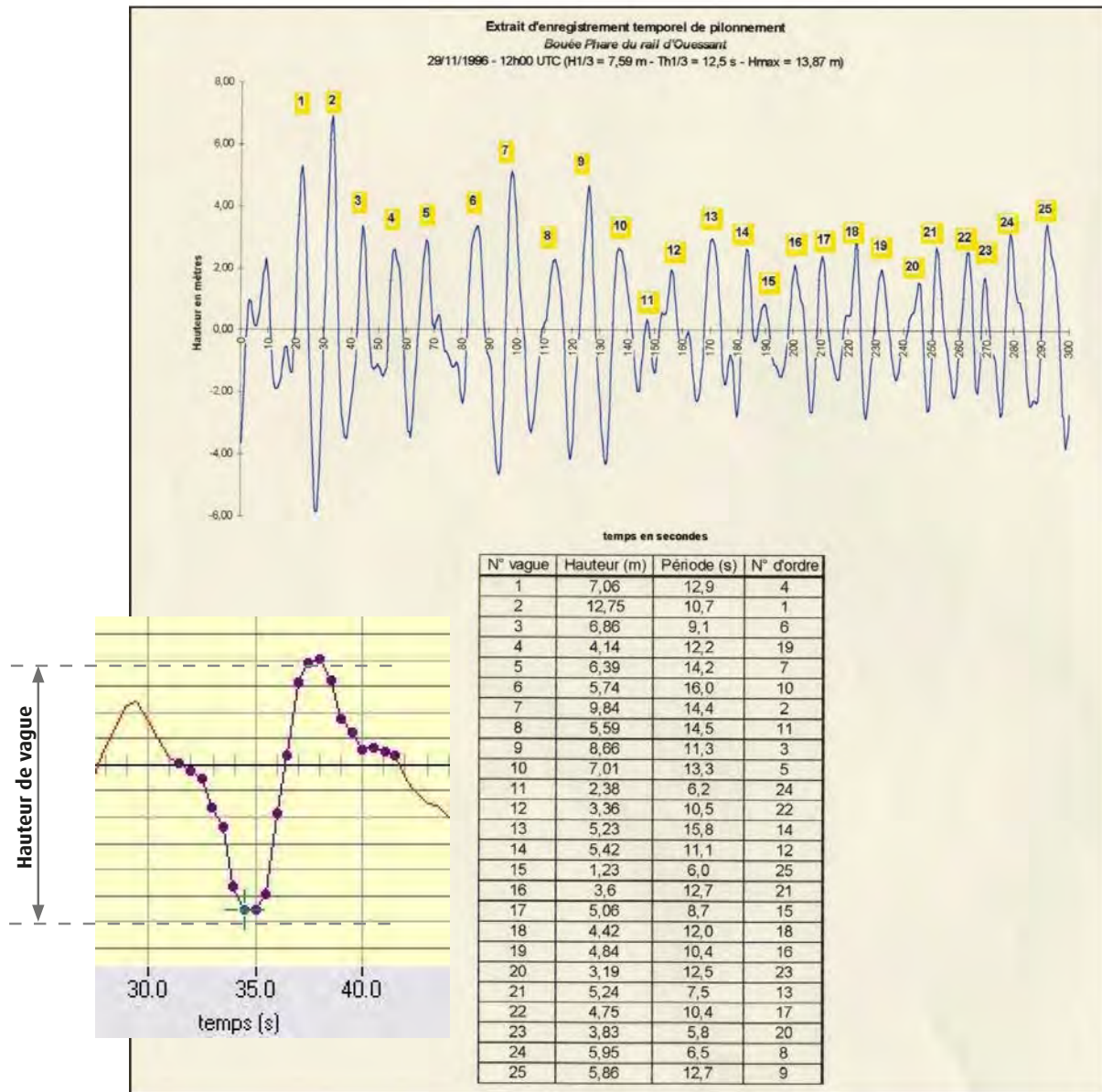


Figure 2 : définition des hauteurs de vagues par l'analyse vague par vague

3.2 Analyse spectrale

L'analyse spectrale repose sur le calcul de la densité spectrale (ou spectre de variance). Elle permet de caractériser la nature des états de mer (houle, mer du vent).

3.2.1 Spectre de variance non directionnel

Le spectre de variance est établi à partir du déplacement vertical de la surface libre (voir figure 3). C'est un spectre à deux dimensions, représentant la répartition de l'énergie

des vagues en fonction de la fréquence. L'état de mer est représenté par une superposition linéaire d'ondes sinusoïdales élémentaires, sans prendre en compte la direction de provenance des vagues.

Les principaux paramètres d'états de mer calculés à partir du spectre de variance non directionnel sont les suivants: H_{m0} , T_{02} , T_E et T_p .

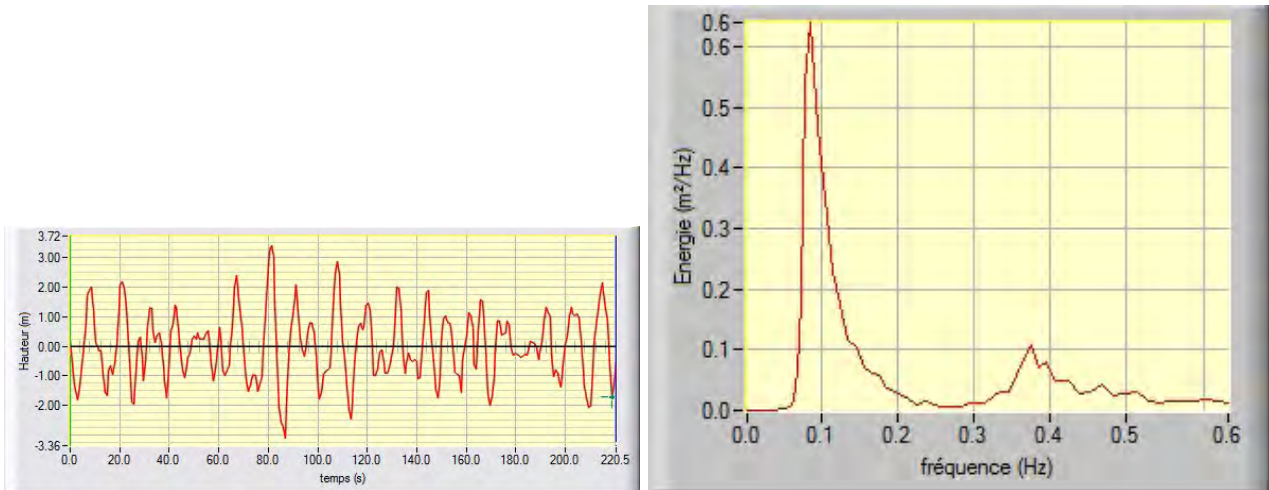


Figure 3 : exemple de série temporelle et de spectre de variance non directionnel associé (source : CANDHIS)

3.2.2 Spectre directionnel de variance

Le spectre directionnel de variance (appelé spectre directionnel) est un spectre à trois dimensions, représentant la répartition de l'énergie des vagues en fonction de la

fréquence et de la direction de provenance. Pour établir ce spectre, le capteur doit mesurer au minimum trois signaux: par exemple trois déplacements, ou une pression et deux vitesses. L'état de mer est représenté par une superposition linéaire d'ondes sinusoïdales élémentaires en prenant en compte la direction de provenance des vagues (voir figure 4).

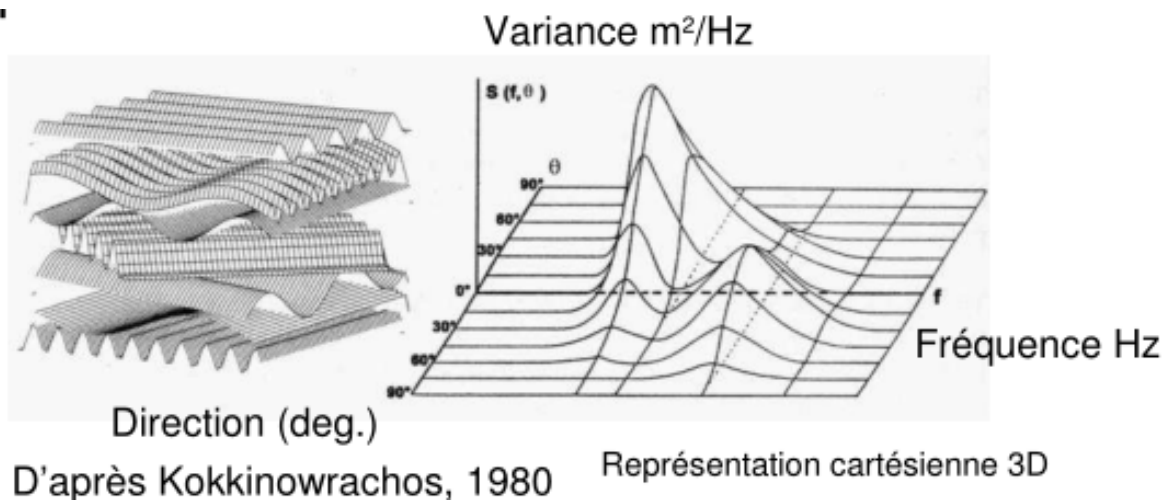


Figure 4 : exemple de superposition linéaire d'ondes sinusoïdales et spectre directionnel de variance associé

La répartition de l'énergie est représentée à la fois sur les fréquences et sur les directions. Le spectre directionnel est généralement représenté sous forme polaire (**voir figure 5**).

Les principaux paramètres d'états de mer directionnels sont les suivants: Dir_p et $Etal_p$.

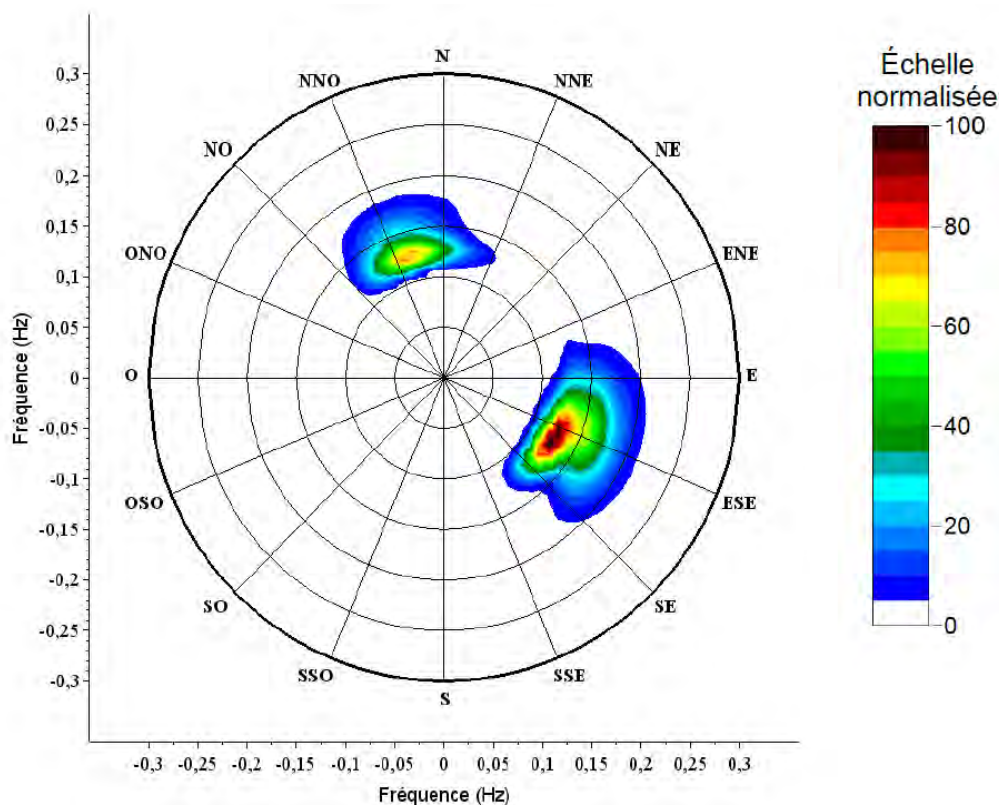


Figure 5 : représentation polaire du spectre directionnel de variance (houlographe de Monaco, états de mer du 15 mars 2015 à 18h30)

4. LA MESURE

4.1 Le réseau de mesures CANDHIS

L'acronyme CANDHIS, pour Centre d'archivage national de données de houle *in situ*, désigne à la fois :

- le réseau national côtier de mesures *in situ* de houle ;
- le site Internet ;
- et la base de données archivant les mesures.

L'objectif principal de CANDHIS est de promouvoir l'observation de la houle dans le domaine proche côtier et d'assurer la diffusion des données auprès de la communauté scientifique, des professionnels de la mer et du grand public.

Le Cerema Eau, mer et fleuves assure la gestion du réseau national de mesures *in situ* de houle CANDHIS. Au 1^{er} décembre 2020 ce réseau comptait 32 stations de mesure en métropole et Drom-Com.

Ce réseau regroupe un ensemble de partenaires :

- des organismes scientifiques et techniques : Météo-France Ifremer, CNRS, SHOM, les universités de Bordeaux, La Rochelle et Pau, l'École centrale de Nantes, l'Observatoire océanologique de Banyuls ;
- des organismes portuaires : les Grands ports maritimes du Havre, de Marseille, Nantes-Saint-Nazaire, Guadeloupe, les Ports normands associés, les ports de Bastia et de Bayonne ;
- des organismes dépendants de l'administration : ministère de la Défense, DGA, DDTM 06, les DREAL Occitanie et des Hauts-de-France, les DEAL Guyane et Réunion, la DM Guyane ;

- des partenaires locaux : Brest métropole aménagement, la région Nouvelle-Aquitaine, CCI de Morlaix et de Bayonne, les départements des Pyrénées Atlantiques et de Vendée, la communauté d'agglomération Pays Basque, la collectivité territoriale de Martinique, les communes de Saint-Denis, Saint-Pierre et Saint-Joseph, le service des travaux publics de Monaco;
- un partenaire industriel : EDF.

En tant que gestionnaire du réseau CANDHIS, le Cerema assure les missions suivantes :

- définition des réseaux d'observation des états de mer et notamment de leur architecture;
- coordination de la collecte des observations des états de mer sur l'ensemble du réseau CANDHIS;
- coordination de la diffusion opérationnelle des observations en temps réel et en temps différé;
- gestion et archivage des observations collectées en temps réel et en temps différé;
- application des contrôles qualité des observations, en conformité avec les normes en vigueur.

Le Cerema apporte son assistance technique et met à disposition ses logiciels de récupération et de traitement des données auprès de l'ensemble de ses partenaires.

Le matériel premier est financé par un partenaire ou par le Cerema. Selon la station de mesure, le Cerema finance ou non la maintenance (crédits ministère de Transition écologique et solidaire) et intervient ou non directement sur les matériels pour effectuer les opérations de maintenance.

Pour ses interventions en mer, le Cerema s'appuie sur les moyens nautiques mis à disposition par les services des phares et balises.

Les données CANDHIS sont mises à disposition de l'ensemble des professionnels de la mer. Elles sont utilisées, entre autre par :

- Météo-France, dans le cadre de sa mission de surveillance de l'océan superficiel;
- le Cerema Eau, mer et fleuves, pour répondre aux sollicitations des préfetures en vue d'instruire les demandes de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle liée au phénomène de submersion marine.

CANDHIS est partenaire de Coriolis. Le centre de données Coriolis (CNES, CNRS, Ifremer, IPEV, IRD, Météo-France, Shom) contribue au volet "mesures *in situ*" de l'océanographie opérationnelle.

4.2 Les appareils de mesure

La mesure est effectuée, selon les campagnes, par :

- une bouée de mesure de houle non directionnelle : bouée Datawell ou bouée Datawell intégrée dans une bouée de protection STPB DM25 (voir figure 6);
- une bouée de mesure de houle directionnelle : bouées Wavescan, TriAxys, Datawell (voir figure 6);
- une centrale d'attitude MRU5/6 ou un capteur Datawell de pilonnement roulis-tangage positionné sur une bouée phare (voir figure 7).

Les mesures brutes sont envoyées par liaison radio à une station de réception à terre où elles sont enregistrées, contrôlées et diffusées en temps réel quand cela est possible. Dans certains cas les mesures sont, en outre, enregistrées sur une carte mémoire interne au matériel, ce qui permet de limiter les pertes de données liées aux problèmes de transmission vers la station de réception à terre.

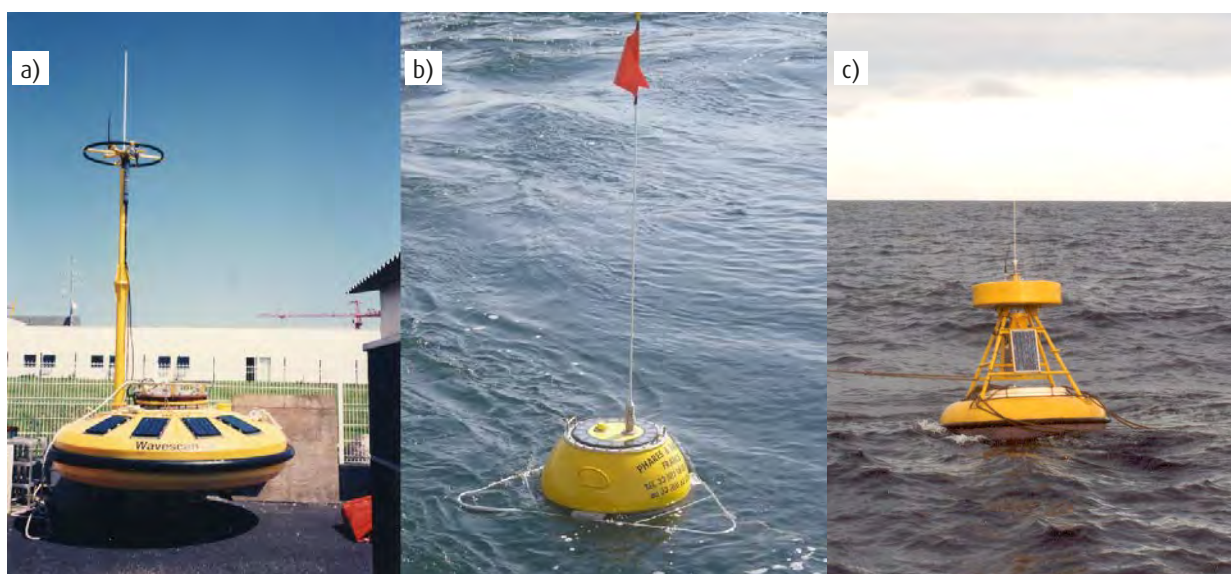


Figure 6 : bouées de mesure de houle : Wavescan (a), Datawell (b) et Datawell intégrée dans une bouée de protection STPB DM25 (c)



Figure 7 : bouée phare de Ouessant instrumentée

4.3 État des données

4.3.1 Avertissement quant à l'usage des données

Les données sont issues des campagnes de mesure *in situ*. Des valeurs aberrantes peuvent apparaître :

- en cas de collision ou manipulation du houlographe ;
- si le matériel est en limite d'autonomie ;
- en cas de défaillance du système ;
- etc.

Un certain nombre de contrôles sont effectués afin de limiter l'influence de ces valeurs mais le résultat ne peut être garanti (voir § 4.4).

En cas de tempêtes, des problèmes de transmission et/ou d'autonomie peuvent engendrer une interruption des mesures.

La répartition non homogène dans le temps des mesures peut donner plus de poids à une période particulière dans les résultats d'analyses statistiques globales (quantiles, histogrammes, corrélogrammes...).

4.3.2 Pas de mesure des paramètres d'états de mer

Le pas de mesure est variable selon l'ancienneté de la campagne de mesures :

- 3 heures avec, sur déclenchement sur seuil en cas de tempête, passage à 1 heure ou 30 minutes ;

- 1 heure ;
- ou 30 minutes.

Les houlographes actuels fonctionnent avec un pas de mesure de 30 minutes.

La variation du pas de mesure dans le temps pour une même campagne peut donner plus de poids à une période ou un événement particulier dans les résultats d'analyses statistiques globales (quantiles, histogrammes, corrélogrammes...). Afin de pallier le problème, l'ensemble des données a été ré-échantillonné ici à 30 minutes avant d'effectuer ces analyses. Il convient toutefois d'interpréter ces résultats en regard des périodes de fonctionnement du matériel.

4.4 Contrôle des données

Un certain nombre de contrôles sont effectués afin de limiter la présence de valeurs aberrantes.

4.4.1 Premier niveau de contrôle

Des tests sont réalisés directement au niveau de la base de données CANDHIS par les logiciels Houle4 (non directionnel) ou Houle5 (directionnel) développés par le Cerema :

- suppression de l'horodate si le nombre de vagues est insuffisant (inférieur à 75) ;
- vérification des ordres de grandeurs de $H_{1/3}$, H_{\max} , $TH_{1/3}$. (les relations suivantes doivent être respectées : $TH_{1/3} < 30$ s et $H_{\max} < 3 H_{1/3}$).

4.4.2 Deuxième niveau de contrôle

Le deuxième niveau de contrôle est laissé à l'appréciation de l'utilisateur de la donnée. Il s'effectue à travers l'interprétation des tests de skewness et kurtosis.

Principe

Les tests de skewness et kurtosis permettent, uniquement en présence de houles linéaires, de juger de la qualité de la distribution de l'élévation de la surface de l'eau.

Le skewness et le kurtosis mesurent respectivement l'asymétrie et l'aplatissement de la distribution (voir figures 8 et 9). Pour des houles linéaires (théorie linéaire) et en l'absence de problème sur la mesure, l'élévation de la surface de l'eau suit une loi normale (skewness = 0 et kurtosis = 3).

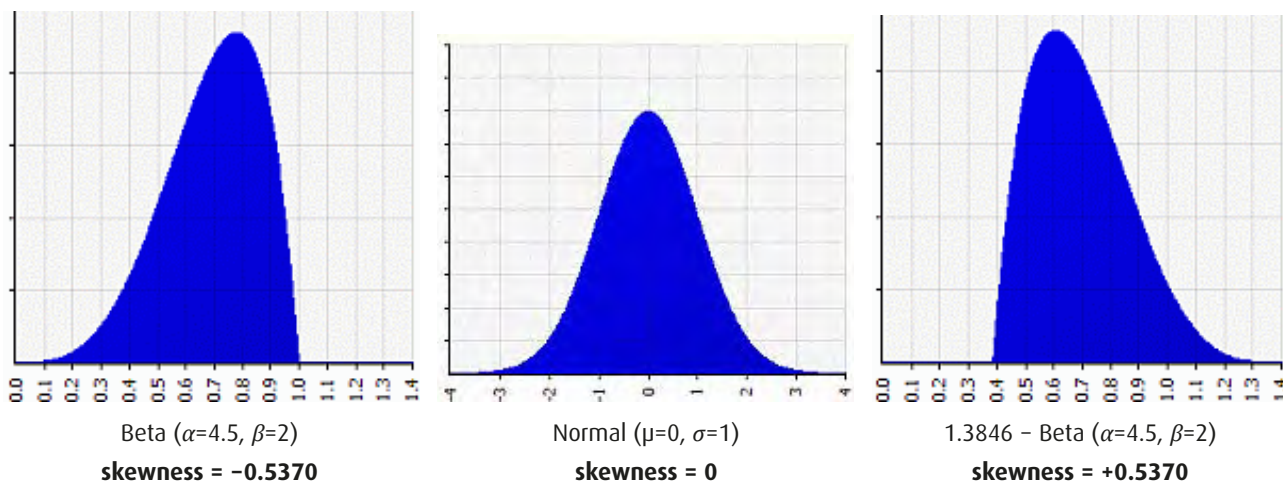


Figure 8 : skewness : mesure de la symétrie (source : © 2008-2012 par Stan Brown, Oak Road Systems)

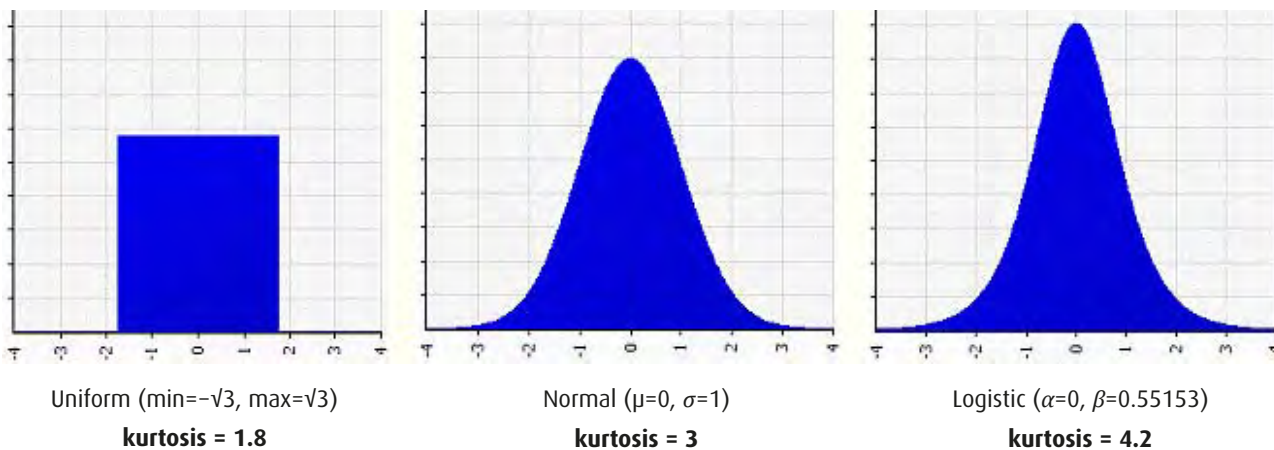


Figure 9 : kurtosis : mesure de l'aplatissement (source : © 2008-2012 par Stan Brown, Oak Road Systems)

Domaine de validité

La théorie linéaire est valable si la condition suivante est vérifiée :

$$\frac{\gamma}{\tanh(2\pi d/L)} \ll 1$$

avec $\gamma = H/L$ la cambrure, H la hauteur de vague, L la longueur d'onde et d la profondeur.

Utilisation pratique

Dans la pratique, on se situe rarement complètement dans la théorie linéaire. Pour un état de mer donné, il existe presque toujours quelques vagues de forte cambrure pour des périodes inférieures à deux ou trois secondes. Toutefois, si l'énergie associée est faible, ces vagues auront peu d'incidence sur l'état de mer.

La règle proposée ici est la suivante :

- on considère que la théorie linéaire est valide si
$$\frac{\gamma_s}{\tanh(2\pi d/L_{H1/3})} < \frac{1}{10}$$

avec $\gamma_s = H_{1/3}/L_{H1/3}$ la cambrure significative

et $L_{H1/3}$ la longueur d'onde significative correspondant au $T_{H1/3}$.

- et dans ce cas le skewness doit être compris entre -0,3 et +0,3 et le kurtosis être supérieur à 5.

L'interprétation des résultats aux tests de skewness et kurtosis n'est cependant pas aisée. Il s'agit plus ici de pointer quelques valeurs isolées méritant d'être confirmées, que de réels tests de rejet.

Pour une analyse plus fine sur les tests de normalité, il est possible d'appliquer, par exemple, un test de χ^2 d'Agostino (R. B. D'Agostino, A. Belanger, R. B. D'Agostino Jr, 1990, «A suggestion for using powerful and informative tests of normality», *The American Statistician* 44-4: 316-321).

5. PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

Les résultats sont présentés sous forme de fiches synthétiques de mesure de houle. Les fiches se décomposent en quatre parties :

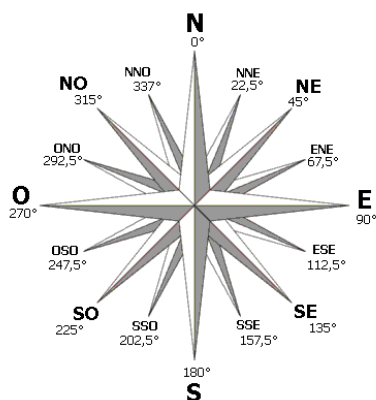
- informations générales;
- climatologie moyenne (optionnelle, selon la durée de mesure);
- analyse des valeurs extrêmes (optionnelle, selon la durée de mesure);
- sélection des événements remarquables.

5.1 Convention d'unités

Les heures sont en heures « TU ». Les heures correspondent au début de la plage d'observation de l'élévation de la surface de l'eau. Par exemple une $H_{1/3}$ repérée à 12h00, a été établie à partir des vagues observées entre 12h00 et 12h30.

Hauteurs et périodes sont respectivement présentées en mètres et secondes.

Les directions de provenance des vagues (Dir_p) sont repérées par une rose des vents à 16 directions (voir figure 10), dans le sens des aiguilles d'une montre.



N : 348,75° à 11,25°	S : 168,75° à 191,25°
NNE : 11,25° à 33,75°	SSO : 191,25° à 213,75°
NE : 33,75° à 56,25°	SO : 213,75° à 236,25°
ENE : 56,25° à 78,75°	OSO : 236,25° à 258,75°
E : 78,75° à 101,25°	O : 258,75° à 281,25°
ESE : 101,25° à 123,75°	ONO : 281,25° à 303,75°
SE : 123,75° à 136,25°	NO : 303,75° à 326,25°
SSE : 136,25° à 168,75°	NNO : 326,25° à 348,75°

Figure 10 : repérage des directions de provenance des vagues

5.2 Informations générales

Les informations générales présentent :

- la période de mesure totale et la plage de mesure directionnelle (potentiellement différentes en cas de changement de matériel);
- la localisation du point de mesure;
- la profondeur (valeur approximative);
- la distance à la côte (valeur approximative);
- et le marnage VEM (vive eau moyenne, valeur approximative).

Est également fourni un tableau avec les taux de disponibilité mensuel, annuel et total. Pour construire ce tableau et du fait de la durée d'échantillonnage variable (voir §4.3.2) :

- l'ensemble des données a été ré-échantillonné au pas de 30 minutes;
- la donnée est considérée manquante si deux horodates consécutives sont distantes de plus de trois heures.

De ce fait, pour les campagnes de mesures avec un échantillonnage constant à 30 minutes ou une heure, les interruptions de mesures de durée inférieure ou égale à trois heures ne sont pas prises en compte dans les calculs des taux de disponibilité.

5.3 Climatologie moyenne

La caractérisation d'une climatologie moyenne nécessite en principe un minimum de deux à trois ans de mesures. La climatologie moyenne est ici établie à partir d'une année de durée cumulée d'observation. Il est donc important d'interpréter les figures décrites ci-après en corrélation avec les taux de disponibilité fournis dans les informations générales.

La climatologie moyenne présente sous forme de figures :

- les corrélogrammes H_{m0} fonction de T_p et H_{m0} fonction de T_{02} ;
- et seulement pour les mesures directionnelles, une rose des houles.

La climatologie moyenne est établie :

- sur l'année (climatologie annuelle sur tous les mois de l'année);
- sur les six mois d'été (climatologie estivale d'avril à septembre);
- sur les six mois d'hiver (climatologie hivernale d'octobre à mars).

Pour construire ces figures et du fait de la durée variable d'échantillonnage, les données ont été ré-échantillonnées à 30 minutes sur le même principe que celui utilisé pour établir les taux de disponibilité (voir §5.2).

Pour les corrélogrammes, les états de mer considérés comme « hors échelle » (T_{02} ou T_p isolé du gros de la distribution) ne sont pas représentés. Le pourcentage d'états de mer « hors échelle » est indiqué sous le corrélogramme. Cela ne concerne quasi exclusivement que la représentation des T_p en fonction des H_{m0} .

Pour construire la rose des houles, les directions de provenance associées à une H_{m0} inférieure ou égale à 0,25 m (voir figure 11) n'ont pas été prises en comptes. En effet les directions associées sont jugées peu significatives. Le pourcentage d'état de mer concerné est indiqué au centre de la rose des houles (moins de 1% dans l'exemple figure 11).

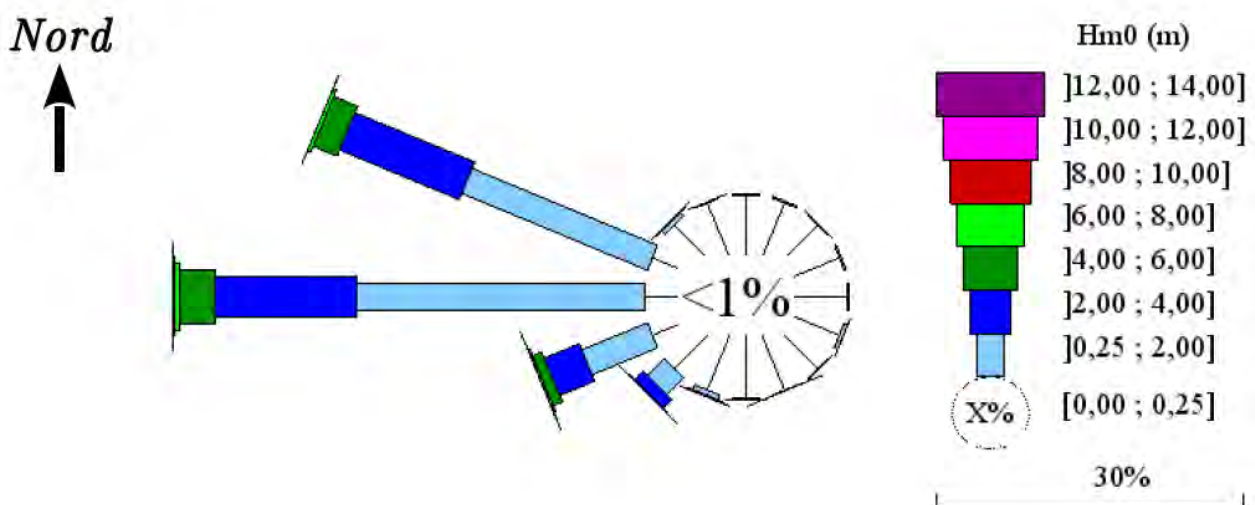


Figure 11 : exemple de rose des houles (houlographe des Pierres Noires)

5.4 Analyse des valeurs extrêmes

5.4.1 Méthodologie

L'analyse des valeurs extrêmes est effectuée sur les $H_{1/3}$ pour les campagnes de mesures de durée cumulée supérieure ou égale à deux ans.

La méthode utilisée ici repose sur la théorie des valeurs extrêmes, qui veut que l'on puisse ajuster une loi de distribution théorique aux observations de pics de tempête, pour peu que ceux-ci soient indépendants (appartenant à des tempêtes distinctes).

La méthode d'échantillonnage utilisée pour isoler les pics de tempêtes est la méthode POT (peak over threshold). Deux pics consécutifs de tempête sont considérés comme appartenant à la même tempête s'ils sont distants de moins de 24 heures.

Le seuil de sélection des événements de tempête est fixé :

- de façon à obtenir une moyenne annuelle de 2 à 8 tempêtes, préférentiellement plus proche de huit que de deux ;
- en visant, préférentiellement et si elle existe, une plage de valeurs où les estimations sont peu sensibles à la variation du seuil ;
- en estimant par un test de χ^2 (à 9 degrés de liberté), la dispersion entre la distribution expérimentale de l'échantillon et la distribution théorique ajustée.

Les résultats sont fournis pour deux lois de distribution théoriques : la GPD (generalized pareto distribution) et la loi Exp. (exponentielle).

Sachant que $Pr\{H_{1/3} > h | h > u\}$ est la probabilité que $H_{1/3}$ soit supérieure à h , sachant que h est supérieure au seuil de tempête u , les deux lois s'écrivent :

- pour la GPD :

$$Pr\{H_{1/3} > h | h > u\} = \left(1 + \xi \frac{-u}{\sigma}\right)^{-1/\xi}$$

avec σ le paramètre d'échelle et ξ le paramètre de forme.

- pour la loi Exp. :

$$Pr\{H_{1/3} > h | h > u\} = \exp[-\rho(h-u)]$$

avec ρ le paramètre de la loi.

5.4.2 Interprétation

Hauteur significative ($H_{1/3}$)

L'analyse est effectuée dans un premier temps toutes directions de provenance des vagues confondues. Le résultat se présente sous la forme d'un tableau et d'une figure fournissant les estimations de périodes de retour associées aux $H_{1/3}$. Selon l'exposition du site, une deuxième voire

une troisième analyse est effectuée pour une direction de provenance des vagues bien particulière.

Les estimations correspondant à des périodes de retour supérieures à cinq fois la durée d'observation (par exemple une période de retour supérieure à 10 ans pour 2 ans d'observations), sont considérées comme particulièrement sujettes à caution. Ces estimations ne sont donc pas communiquées.

Les intervalles de confiance associés correspondent à la seule incertitude d'échantillonnage. Cette incertitude est liée au nombre de pics de tempête sélectionnés pour l'ajustement statistique (fonction de la durée de mesure et du choix du seuil).

Deux estimations sont fournies, établies respectivement par la GPD et la loi Exp. Le choix d'une estimation plutôt que l'autre est laissé à l'appréciation de l'utilisateur. La différence fait partie de l'incertitude du choix du modèle statistique. Cette différence ne suffit pas à écrire cette incertitude. En effet, il conviendrait de tester d'autres lois, d'intégrer l'incertitude sur le choix du seuil de tempête et l'incertitude sur la méthode d'échantillonnage.

Période moyenne (T_{avd})

L'analyse de valeurs extrêmes est effectuée sur la seule $H_{1/3}$. Une étude interne (disponible sur demande) a permis de définir une méthodologie pour calculer la période moyenne T_{avd} associée à une valeur extrême $H_{1/3}$. Le mode de calcul est présenté ci-après.

La cambrure γ est calculée à partir des formules suivantes :

$$\gamma = H_{1/3} / L_{avc} \text{ et } L_{avd} = \frac{g T_{avd}^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L_{avd}}\right)$$

avec g la constante d'accélération de la pesanteur et d la profondeur.

L'hypothèse émise est que :

- pour $H_{1/3}$ supérieur au seuil de tempête,
- la distribution des cambures γ suit une distribution normale asymétrique.

Les paramètres de la distribution normale asymétriques sont établis à partir des observations. Il est donc possible pour un couple de valeurs ($H_{1/3}$, γ) de calculer T_{avd} .

Sont présentés sur les fiches synthétiques :

- la valeur médiane γ issue de la distribution normale asymétrique ;
- les valeurs minimale et maximales γ issues des observations ;
- l'intervalle de confiance T_{avd} pour $H_{1/3}$ de période de retour 5, 10, 20 et 50 ans.

5.5 Sélection des événements remarquables

5.5.1 Méthodologie

La dernière partie des fiches présente une sélection d'événements remarquable; **non pour dresser une liste exhaustive des tempêtes observées**, mais pour zoomer sur les plus fortes $H_{1/3}$ observées.

La méthode de sélection est la suivante :

- dans un premier temps, l'ensemble des pics de $H_{1/3}$ sont repérés;
- les pics, dépassés par d'autres sur une fenêtre de plus ou moins 24 heures, sont éliminés;
- les pics sont ensuite classés par ordre décroissant et seuls les N premiers sont conservés, avec N:
- équivalent aux nombres d'années d'observation;
- limité à 5 pour un houlographe directionnel et à 6 pour un houlographe non directionnel.

Un événement tel que présenté sur les fiches correspond à l'affichage des $H_{1/3}$, H_{max} , Dir_p , T_p et T_{02} , sur une fenêtre temporelle de cinq jours centrée sur la date de pic de $H_{1/3}$.

À noter qu'au-dessus des fenêtres temporelles sont situés dans le temps les moments d'échantillonnage (ligne notée « **Obs.** ») afin de mettre en évidence les interruptions dans les mesures.

Les fiches mentionnent également des informations relatives aux pics de $H_{1/3}$: les valeurs des paramètres d'états de mer et le spectre directionnel de variance s'il est disponible.

Pour aller plus loin, le site Internet CANDHIS présente les évolutions mensuelles des paramètres $H_{1/3}$, H_{max} , H_{m0} , $T_{H1/3}$.

5.5.2 Interprétation

La méthode de sélection des événements remarquables entraîne deux conséquences notables quant à l'interprétation des résultats :

- la première est que pour les faibles durées de mesure, et les campagnes principalement concernées par la saison estivale, il est possible qu'un événement affiché ne corresponde pas à une tempête.
- la seconde est que la fenêtre temporelle de cinq jours n'est pas liée au début et à la fin d'une tempête. Les valeurs observées sur ces cinq jours peuvent donc relever d'autres phénomènes météorologiques.

Sur la figure représentant les évolutions de $H_{1/3}$ et H_{max} au cours du temps, sont repérées les valeurs pouvant être assimilées à une houle linéaire pour des valeurs de skewness et/ou kurtosis sujette(s) à caution (voir l'**utilisation pratique § 4.4.2**). Il n'est pas tenu compte ici du marnage (variation de la profondeur). Il ne s'agit là que d'une information qualitative.

6. RELEVÉS CANDHIS

6.1 Durées effectives et périodes de mesure des campagnes

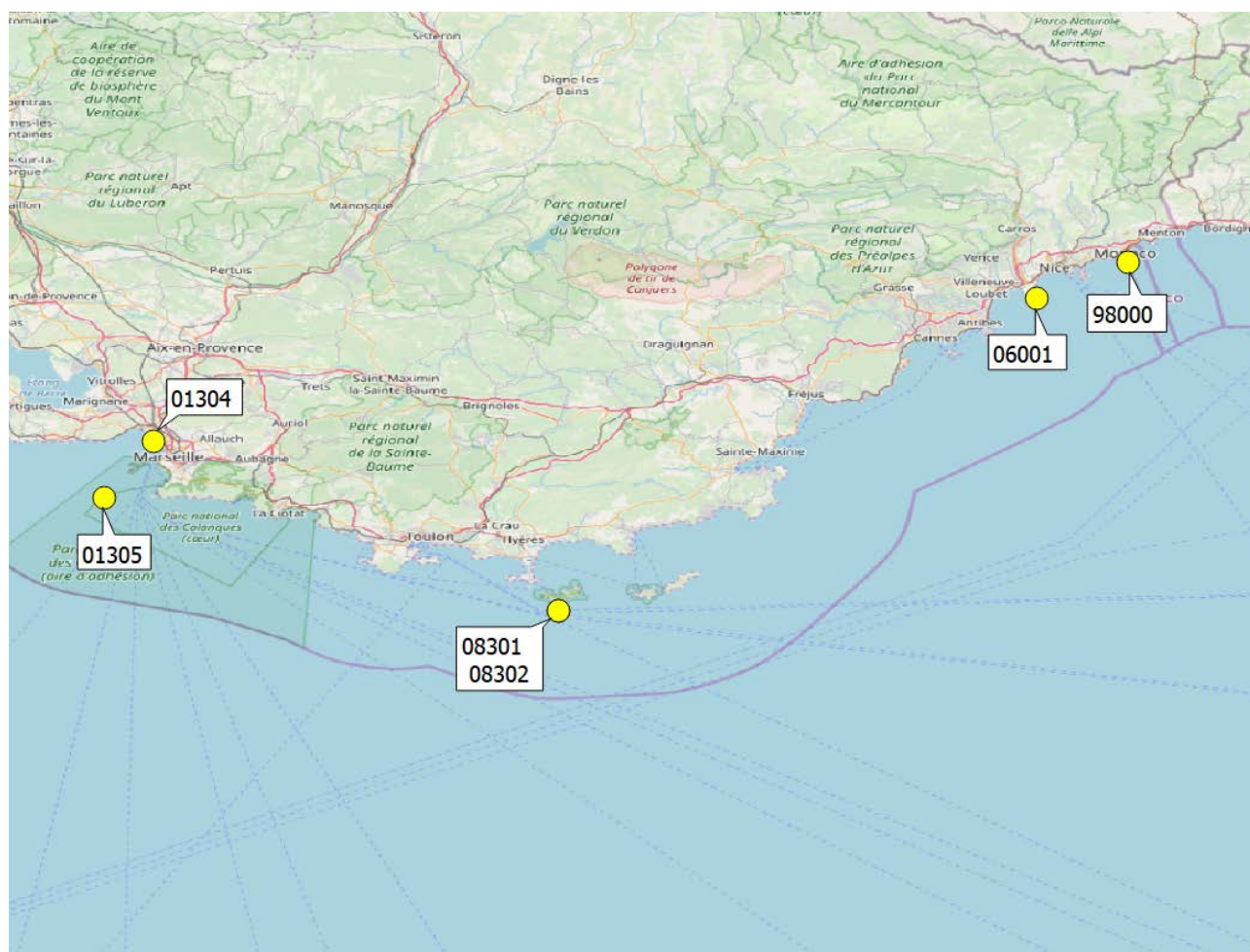
Campagne	Dépt.	Période de mesure	Durée effective (année)
de Banyuls-sur-Mer à Fos-sur-Mer			
01101 - Leucate ❄️	11	du 15/12/2006 au 31/07/2020	12,90
01301 - Camargue	13	du 09/07/1999 au 09/01/2004	2,85
01302 - Port-de-Bouc	13	du 11/07/2002 au 07/12/2002	0,40
01303 - Fos	13	du 25/03/2003 au 24/01/2004	0,24
03001 - Espiguette ❄️	30	du 11/08/2008 au 31/07/2020	9,55
03401 - Sète (Marseillan)	34	du 11/10/1988 au 28/01/2001	8,82
03402 - Sète (Frontignan)	34	du 03/04/2001 au 19/11/2002	1,44
03403&03404 - Sète ❄️	34	du 22/05/2003 au 14/04/2020	14,97
06601 - Banyuls ❄️	66	du 28/11/2007 au 31/07/2020	11,61
de Fos-sur-Mer à Menton			
00601 - Nice	06	du 04/06/2002 au 07/03/2016	9,01
01304 - Marseille	13	du 18/11/2004 au 28/04/2008	2,09
01305 - Le Planier ❄️	13	du 18/01/2011 au 30/11/2020	8,66
08301&08302 - Porquerolles ❄️	83	du 14/05/1992 au 07/02/2019	13,44
98000 - Monaco ❄️		du 29/10/2014 au 30/09/2020	5,39
Corse			
02B02 - Cap Corse	2B	du 16/03/1999 au 01/03/2011	5,49
02B03 - Bastia	2B	du 13/09/2006 au 19/11/2008	1,33
02B04 - La Revellata ❄️	2B	du 02/05/2013 au 31/10/2020	5,80
02B05 - Alistro *	2B	du 15/10/2013 au 26/09/2020	3,94

❄️ Campagne de mesures toujours active.

De Fos-sur-Mer à menton

Campagne	Dépt.	Période de mesure	Durée effective (année)
de Fos-sur-Mer à Menton			
00601 - Nice	06	du 04/06/2002 au 07/03/2016	9,01
01304 - Marseille	13	du 18/11/2004 au 28/04/2008	2,09
01305 - Le Planier*	13	du 18/01/2011 au 30/11/2020	8,66
08301&08302 - Porquerolles*	83	du 14/05/1992 au 07/02/2019	13,44
98000 - Monaco*		du 29/10/2014 au 30/09/2020	5,39

* Campagne de mesures toujours active.



CANDHIS : 08301-08302 – Porquerolles

Informations générales

Durée d'observation : 13,44 ans

du 14/05/92 au 07/02/19

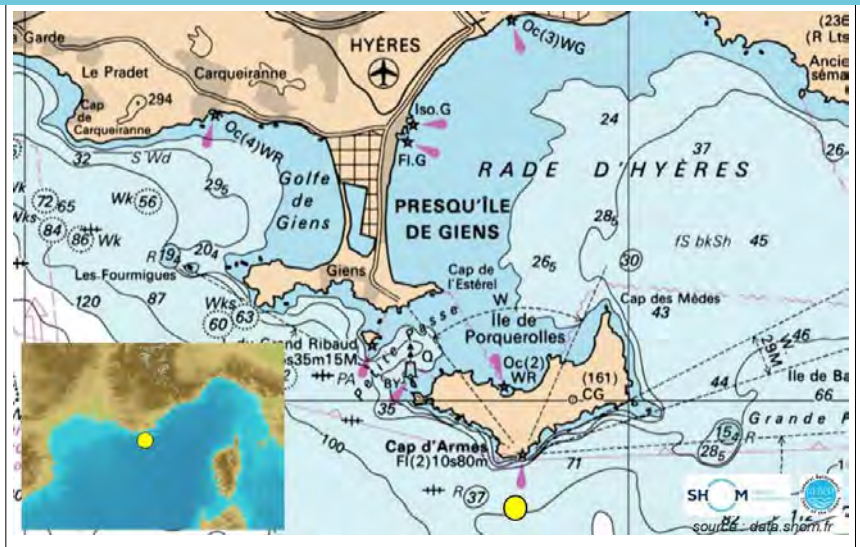
Latitude : 42°58,000'N

Longitude : 06°12,290'E

Distance à la côte : 1 mille

Profondeur : 90 mètres

Marnage (VEM) : -



Taux de disponibilité :

	janv.	fév.	mars	avril	mai	juin	juil.	août	sept.	oct.	nov.	déc.	Total
1992					56%	60%	81%	94%	85%	63%	98%	98%	53%
1993	96%	100%	60%	70%	100%	42%	67%	95%	85%	23%	53%		66%
1994		53%	28%	21%	59%	54%	64%	98%	94%	99%	100%	100%	64%
1995	92%	100%	40%	53%	78%	94%	99%	100%	40%				58%
1996										73%	95%	96%	22%
1997	88%	100%	0%				98%	96%	62%				37%
1998										72%	92%	100%	22%
1999	100%	98%	100%	98%	85%	100%	100%	94%	95%	99%	99%	100%	97%
2000	78%	86%	100%	100%	97%	99%	97%	99%	96%	98%	98%	91%	95%
2001	99%	96%	98%	100%	100%	95%	99%	98%	96%	99%	100%	95%	98%
2002	100%	100%	99%	99%	99%	98%					18%	99%	59%
2003	96%	96%	100%	99%	99%	98%	99%	100%	99%	94%	8%		82%
2004	34%	53%											7%
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
2009										15%	100%	100%	18%
2010	100%	100%	100%	100%	100%	99%	100%	100%	93%	81%	98%	93%	97%
2011	100%	100%	72%	100%	100%	76%	100%	99%	88%	95%	55%	67%	88%
2012	66%	81%	67%	75%	68%	43%							33%
2013												66%	6%
2014	98%	97%	99%	98%	98%	97%	95%	97%	97%	97%	98%	98%	97%
2015	98%	97%	96%	100%	99%	92%	93%	34%					59%
2016													
2017			50%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	79%
2018	100%	77%	87%	99%	99%	100%	99%	99%	96%	94%	94%	100%	95%
2019	100%	22%											10%
Total	52%	52%	43%	47%	51%	48%	50%	50%	44%	43%	47%	50%	48%



Attention

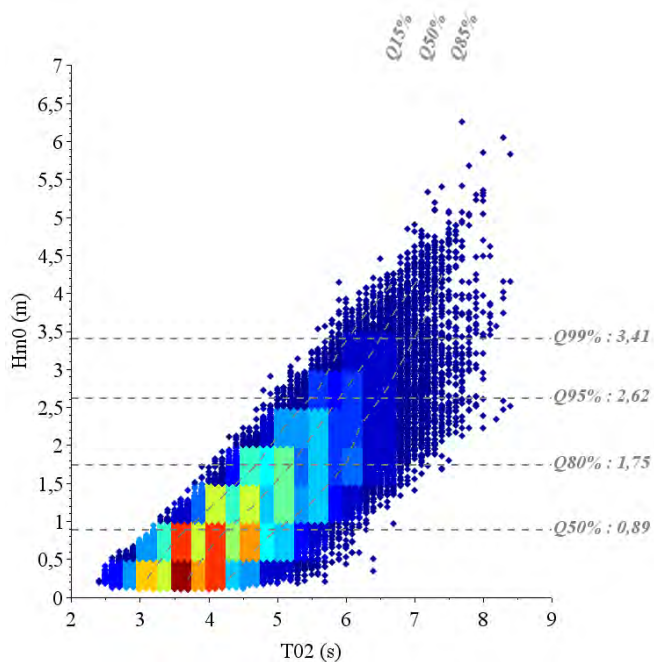
Des données de mai 2006 à juin 2009 sont disponibles, mais sujettes à caution du fait d'un nombre important de « tempêtes ». Ces données non pas été utilisées ici.

CANDHIS : 08301-08302 – Porquerolles

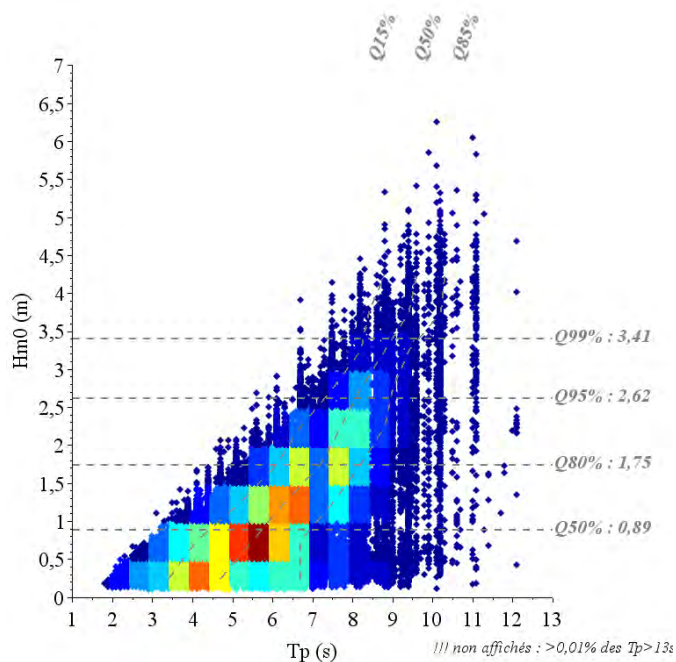
Climatologie moyenne :

ANNUELLE
(janvier à décembre)

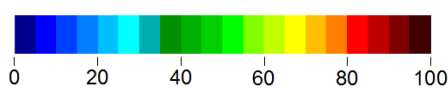
► H_{m0} fonction de T_{02}



► H_{m0} fonction de T_p

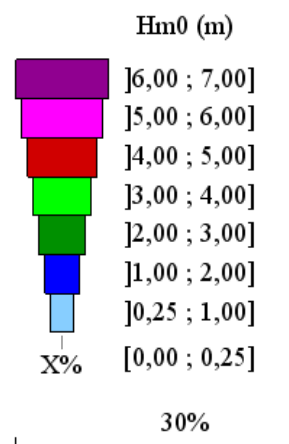
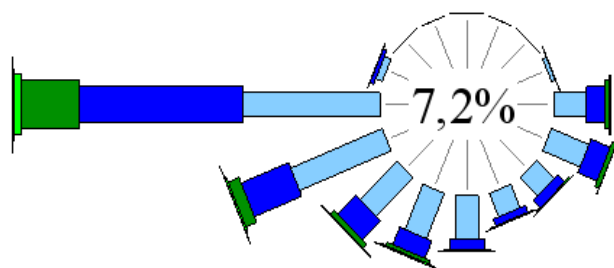


Échelle de couleurs normalisée :



► H_{m0} fonction de Dir_p (rose des houles)

Nord
↑

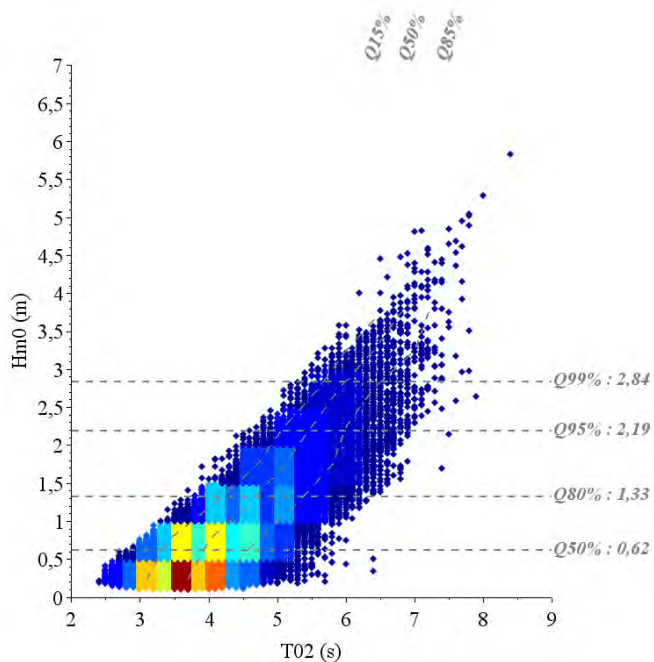


CANDHIS : 08301-08302 – Porquerolles

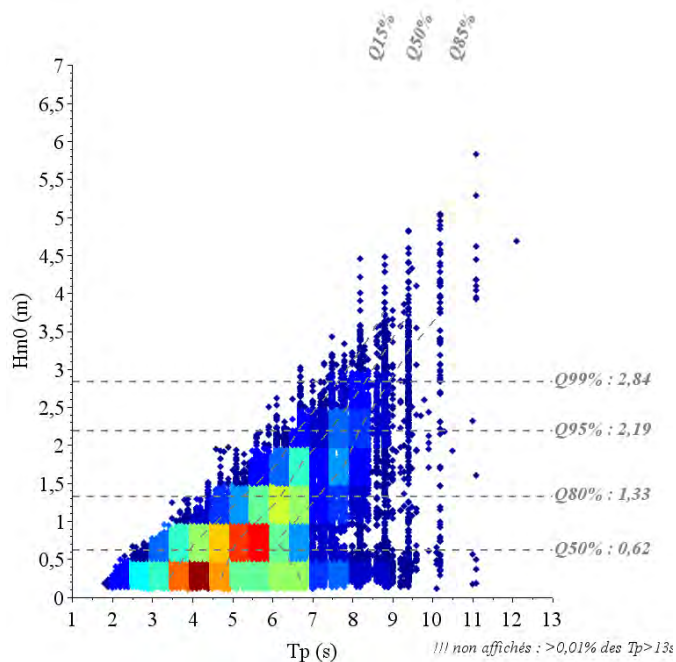
Climatologie moyenne :

ESTIVALE
(avril à septembre)

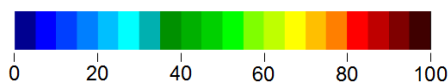
► H_{m0} fonction de T_{02}



► H_{m0} fonction de T_p

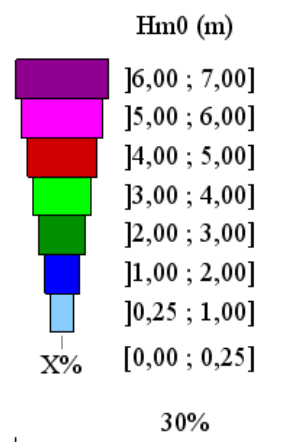
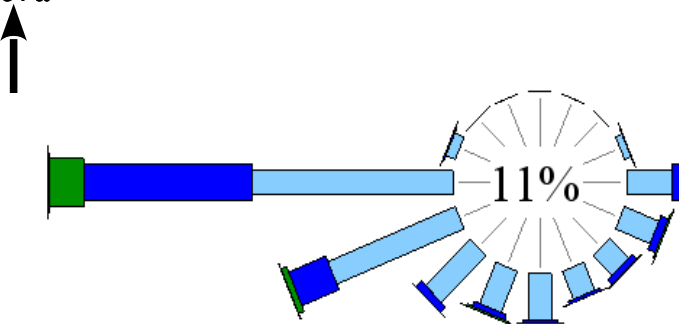


Échelle de couleurs normalisée :



► H_{m0} fonction de Dir_p (rose des houles)

Nord

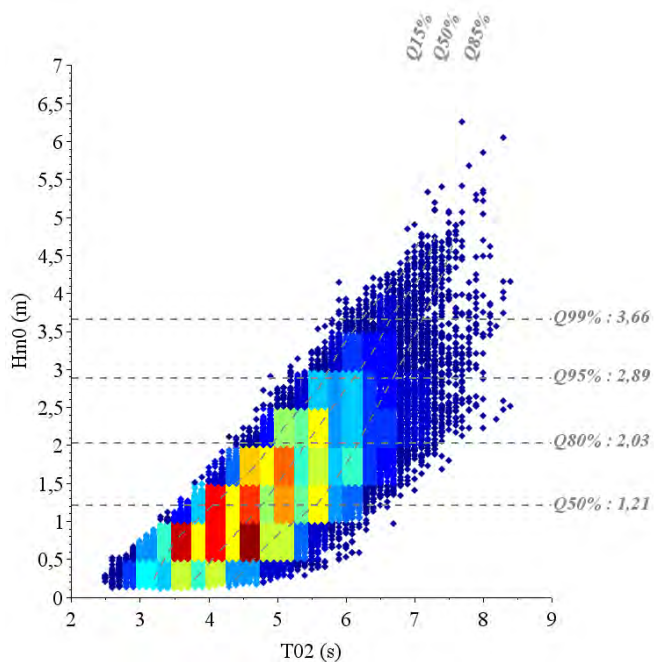


CANDHIS : 08301-08302 – Porquerolles

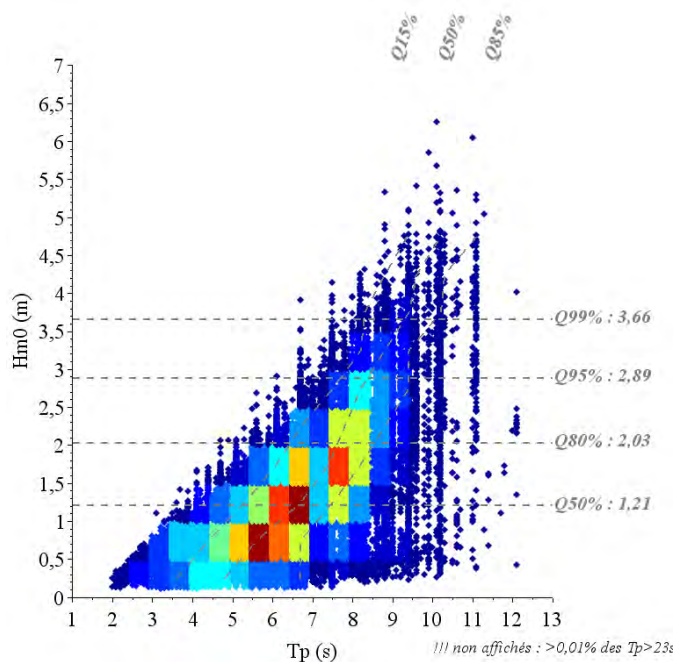
Climatologie moyenne :

HIVERNALE
(janvier à mars et octobre à décembre)

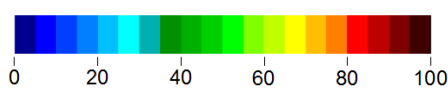
► H_{m0} fonction de T_{02}



► H_{m0} fonction de T_p

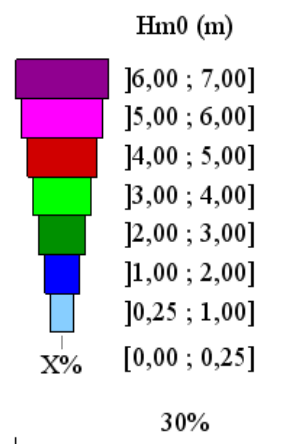
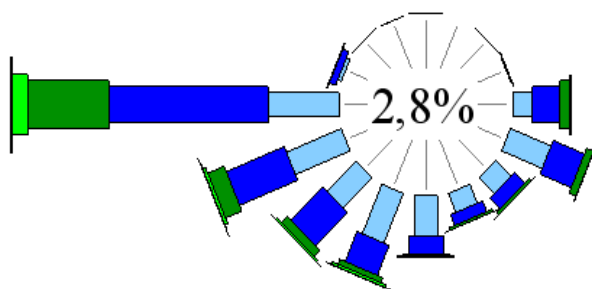


Échelle de couleurs normalisée :



► H_{m0} fonction de Dir_p (rose des houles)

Nord
↑



CANDHIS : 08301-08302 – Porquerolles

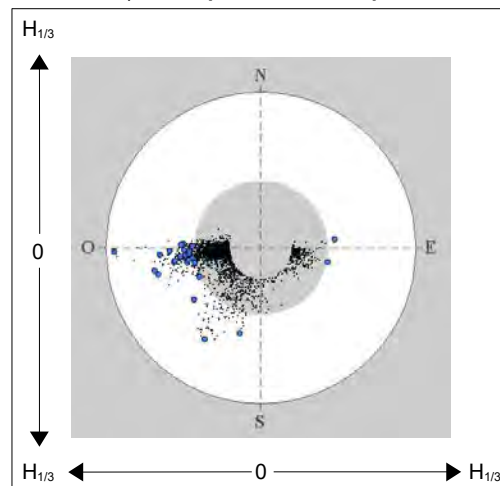
Analyse des valeurs extrêmes de $H_{1/3}$:

DIRECTION DE PROVENANCE 0° à 360°

Sélection des pics de tempête

	Seuil (u)	Nb évts/an	Cambrure $H_{1/3}/L_{avd}$		
			médiane	min.	max.
GPD	3,35 m	8,34	1/20	1/24	1/17
Loi Exp	3,35 m	8,34	1/20	1/24	1/17

Dir_p aux pics de tempête



Paramètres des lois d'ajustement

GPD : $Pr\{H_{1/3} > h | h > u\} = \left(1 + \xi \frac{h-u}{\sigma}\right)^{-1/\xi}$

avec $\sigma = 0,512241$ et $\xi = -0,027003$

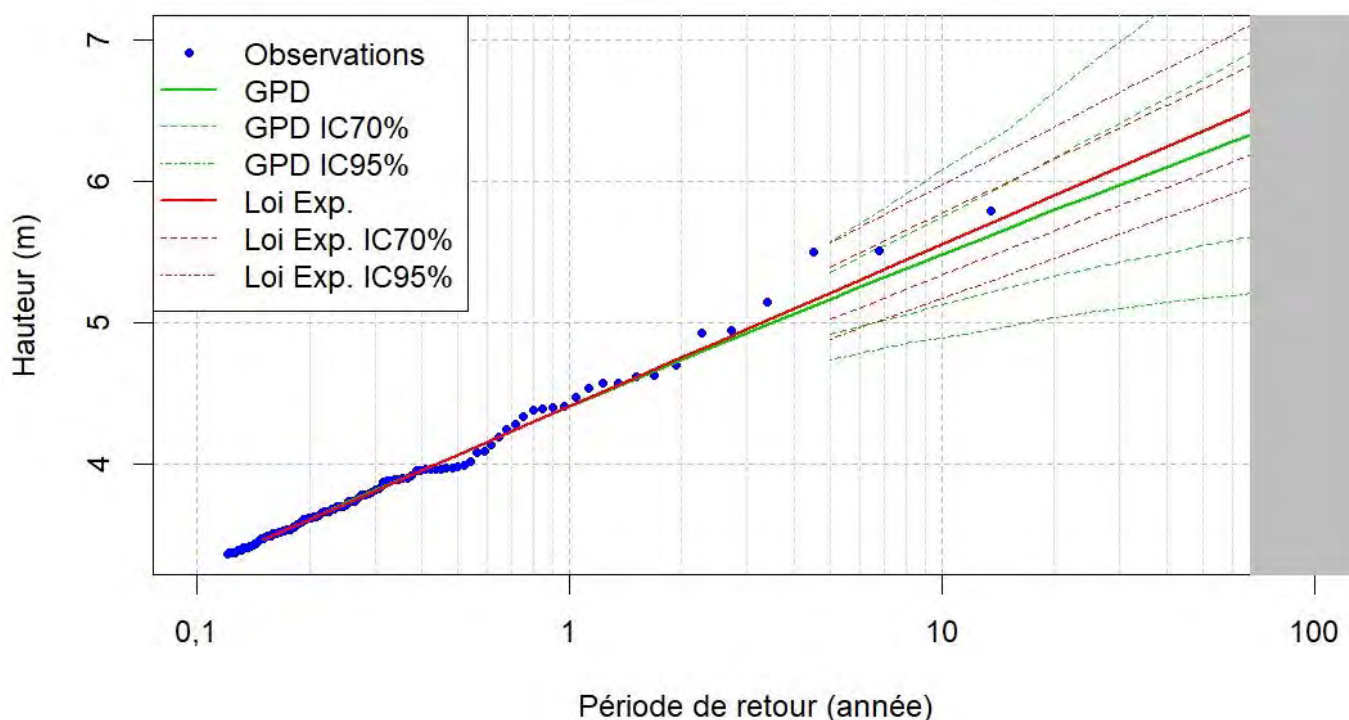
Loi Exp. : $Pr\{H_{1/3} > h | h > u\} = \exp[-\rho(h-u)]$

avec $\rho = 2,005013$

Niveaux de retour

Période de retour	$H_{1/3}$ (mètres)		Int. de Conf. 70% (mètres)		T_{avd} Int. Conf. 70% (secondes)	
	GPD	Loi Exp.	GPD	Loi Exp.	GPD	Loi Exp.
5 ans	5,17	5,21	4,92 à 5,36	5,02 à 5,39	7,53 à 8,82	7,56 à 8,86
10 ans	5,49	5,56	5,13 à 5,75	5,33 à 5,77	7,76 à 9,09	7,81 à 9,15
20 ans	5,80	5,90	5,32 à 6,16	5,65 à 6,15	7,98 à 9,34	8,05 à 9,43
50 ans	6,20	6,36	5,55 à 6,72	6,06 à 6,66	8,25 à 9,67	8,36 à 9,79

Ajustement statistique :



CANDHIS : 08301-08302 – Porquerolles

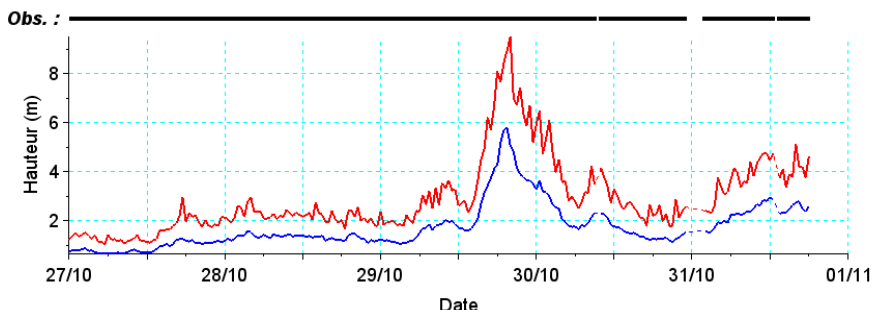
Sélection des événements remarquables

Tempête du 29/10/18

Évolution de H_{max} , $H_{1/3}$

Légende :

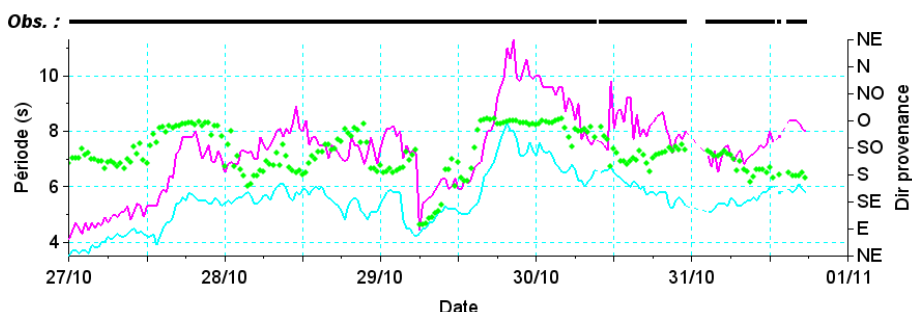
H_{max} —
 $H_{1/3}$ —



Évolution de T_p , T_{02} , Dir_p

Légende :

T_p —
 T_{02} —
 Dir_p ◆



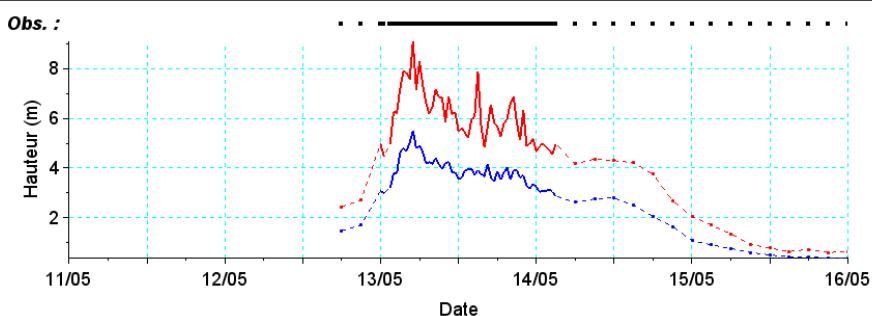
Pic du	$H_{1/3}$ (m)	H_{max} (m)	$T_{H1/3}$ (s)	T_{Hmax} (s)	H_{m0} (m)	T_p (s)	T_{02} (s)	T_e (s)	Dir_p (°)	$Etal_p$ (°)
29/10 19h30	5,79	8,94	9,9	9,8	6,04	11,0	8,3	9,8	269	19

Tempête du 13/05/95

Évolution de H_{max} , $H_{1/3}$

Légende :

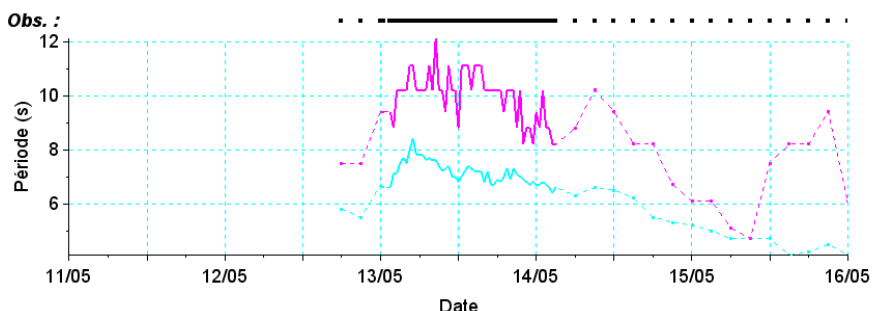
H_{max} —
 $H_{1/3}$ —



Évolution de T_p , T_{02} , Dir_p

Légende :

T_p —
 T_{02} —
 Dir_p ◆



Pic du	$H_{1/3}$ (m)	H_{max} (m)	$T_{H1/3}$ (s)	T_{Hmax} (s)	H_{m0} (m)	T_p (s)	T_{02} (s)	T_e (s)	Dir_p (°)	$Etal_p$ (°)
13/05 5h00	5,51	9,09	10,4	10,6	5,83	11,1	8,4	9,8	-	-

CANDHIS : 08301-08302 – Porquerolles

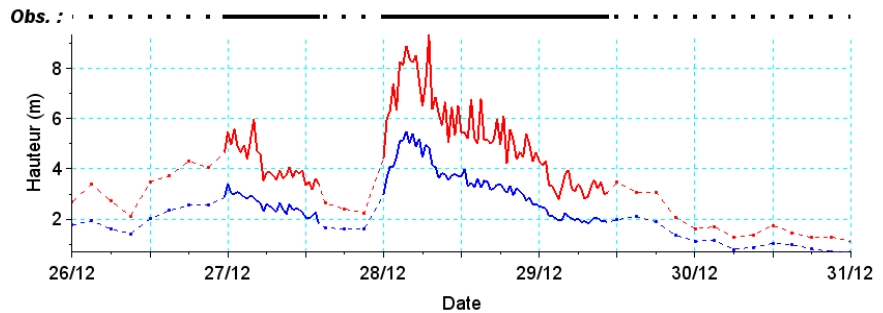
Sélection des événements remarquables

Tempête du 28/12/99

Évolution de H_{max} , $H_{1/3}$

Légende :

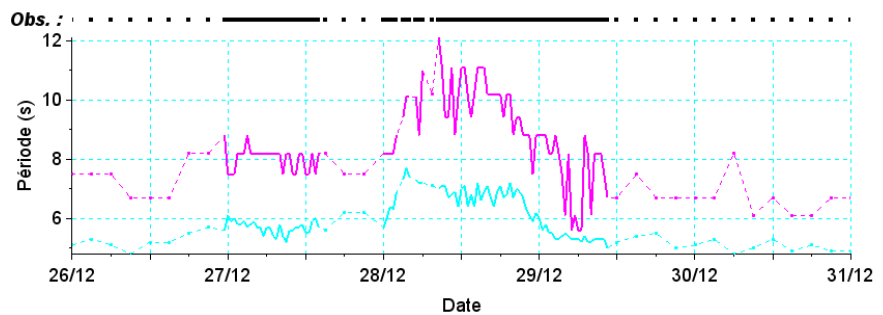
H_{max} —
 $H_{1/3}$ —



Évolution de T_p , T_{02} , Dir_p

Légende :

T_p —
 T_{02} —
 Dir_p ◆



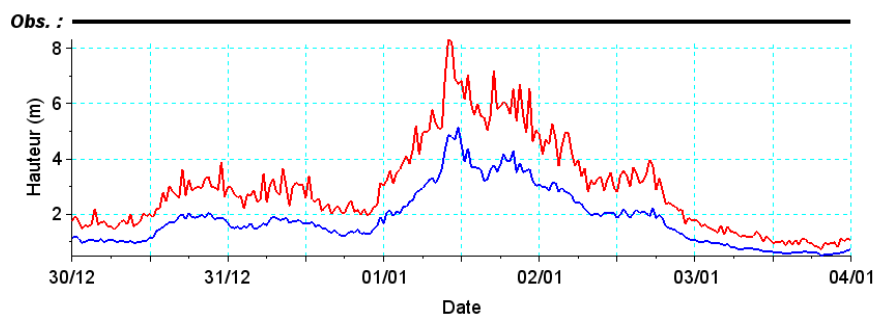
Pic du	$H_{1/3}$ (m)	H_{max} (m)	$T_{H_{1/3}}$ (s)	$T_{H_{max}}$ (s)	H_{m0} (m)	T_p (s)	T_{02} (s)	T_e (s)	Dir_p (°)	$Etal_p$ (°)
28/12 3h30	5,50	8,91	9,0	10,1	6,25	10,1	7,7	9,0	-	-

Tempête du 01/01/10

Évolution de H_{max} , $H_{1/3}$

Légende :

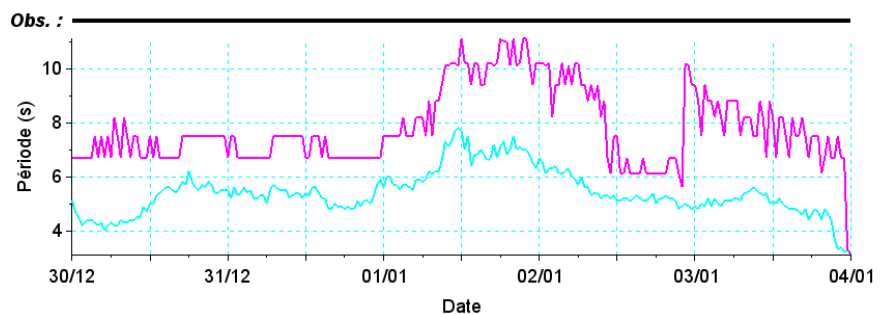
H_{max} —
 $H_{1/3}$ —



Évolution de T_p , T_{02} , Dir_p

Légende :

T_p —
 T_{02} —
 Dir_p ◆



Pic du	$H_{1/3}$ (m)	H_{max} (m)	$T_{H_{1/3}}$ (s)	$T_{H_{max}}$ (s)	H_{m0} (m)	T_p (s)	T_{02} (s)	T_e (s)	Dir_p (°)	$Etal_p$ (°)
01/01 11h30	5,15	6,73	9,4	9,5	5,68	10,1	7,8	8,9	-	-

CANDHIS : 08301-08302 – Porquerolles

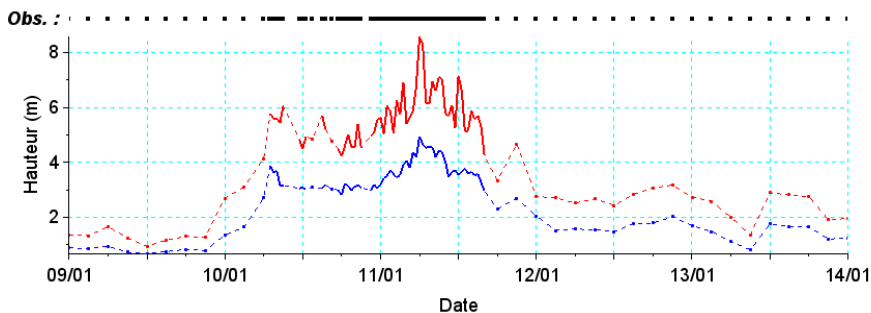
Sélection des événements remarquables

Tempête du 11/01/95

Évolution de H_{max} , $H_{1/3}$

Légende :

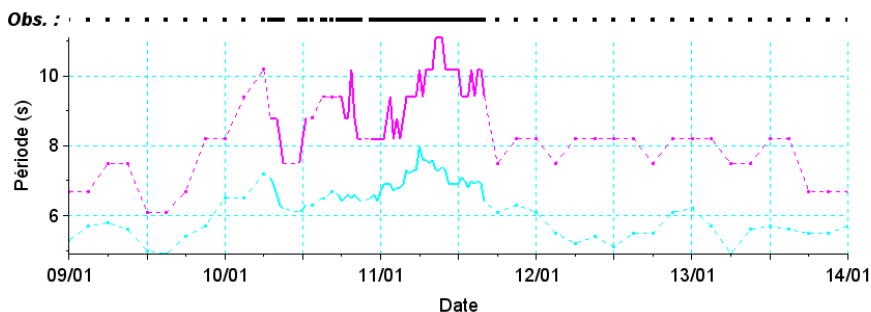
H_{max} —
 $H_{1/3}$ —



Évolution de T_p , T_{02} , Dir_p

Légende :

T_p —
 T_{02} —
 Dir_p ◆



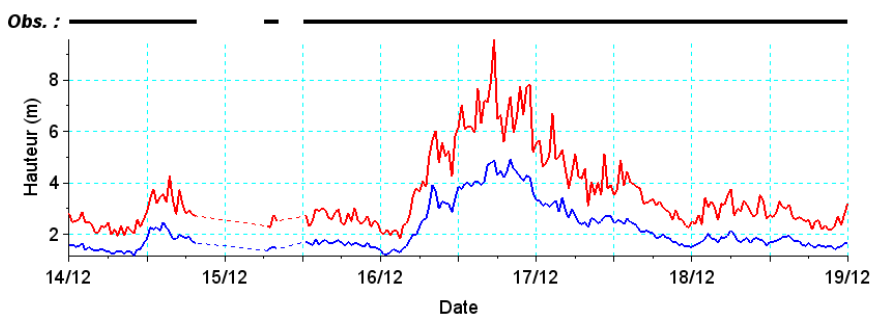
Pic du	$H_{1/3}$ (m)	H_{max} (m)	$T_{H_{1/3}}$ (s)	$T_{H_{max}}$ (s)	H_{m0} (m)	T_p (s)	T_{02} (s)	T_e (s)	Dir_p (°)	$Etal_p$ (°)
11/01 6h00	4,95	8,57	9,4	8,4	5,32	10,2	8,0	9,1	-	-

Tempête du 16/12/11

Évolution de H_{max} , $H_{1/3}$

Légende :

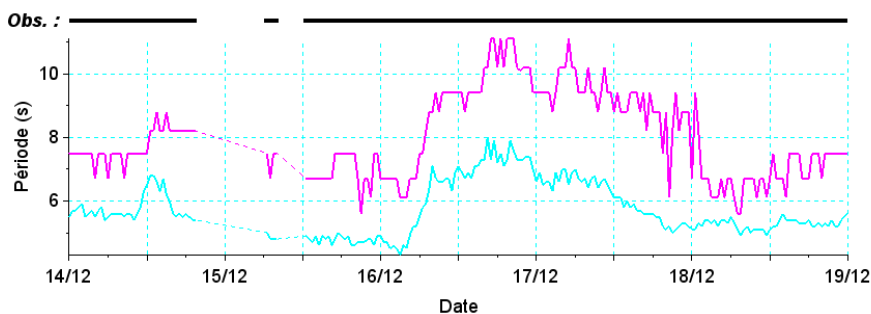
H_{max} —
 $H_{1/3}$ —



Évolution de T_p , T_{02} , Dir_p

Légende :

T_p —
 T_{02} —
 Dir_p ◆



Pic du	$H_{1/3}$ (m)	H_{max} (m)	$T_{H_{1/3}}$ (s)	$T_{H_{max}}$ (s)	H_{m0} (m)	T_p (s)	T_{02} (s)	T_e (s)	Dir_p (°)	$Etal_p$ (°)
16/12 20h00	4,93	7,37	9,9	9,6	5,23	11,1	7,9	9,5	-	-

CANDHIS : 08301-08302 – Porquerolles

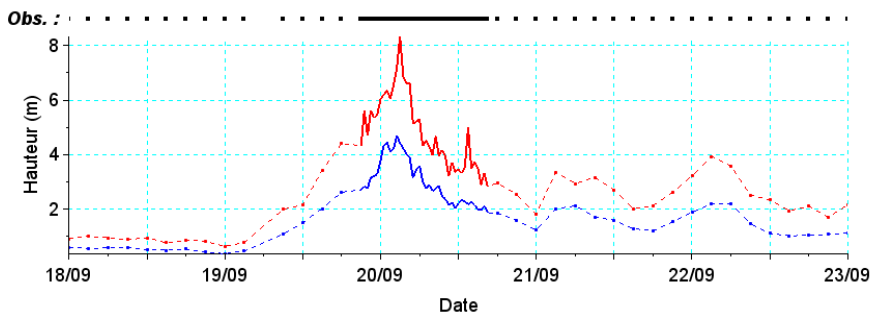
Sélection des événements remarquables

Tempête du 20/09/99

Évolution de H_{max} , $H_{1/3}$

Légende :

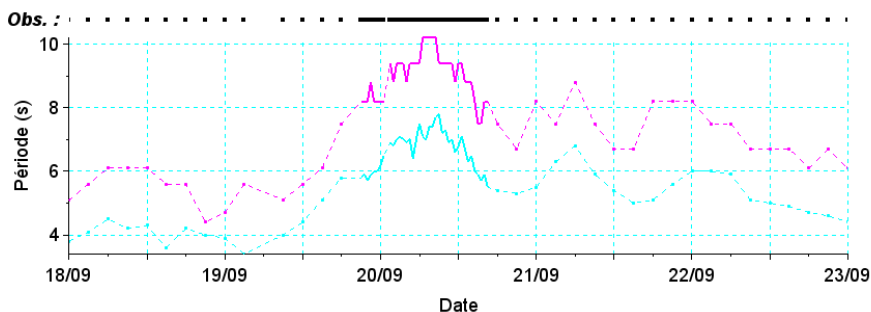
H_{max} —
 $H_{1/3}$ —



Évolution de T_p , T_{02} , Dir_p

Légende :

T_p —
 T_{02} —
 Dir_p ◆



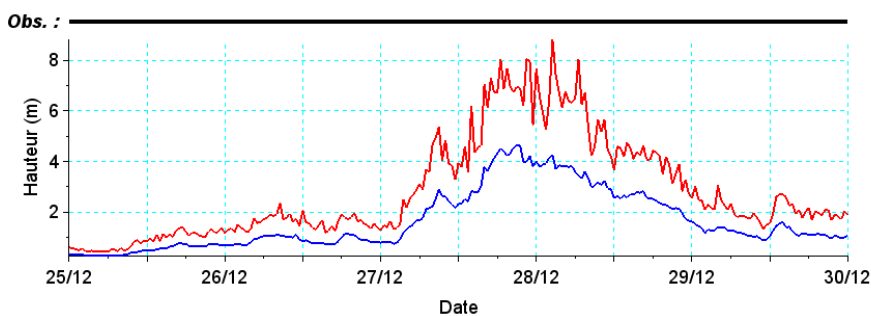
Pic du	$H_{1/3}$ (m)	H_{max} (m)	$T_{H1/3}$ (s)	T_{Hmax} (s)	H_{m0} (m)	T_p (s)	T_{02} (s)	T_e (s)	Dir_p (°)	$Etal_p$ (°)
20/09 2h30	4,70	7,16	8,4	7,6	4,81	9,4	7,0	8,1	-	-

Tempête du 27/12/17

Évolution de H_{max} , $H_{1/3}$

Légende :

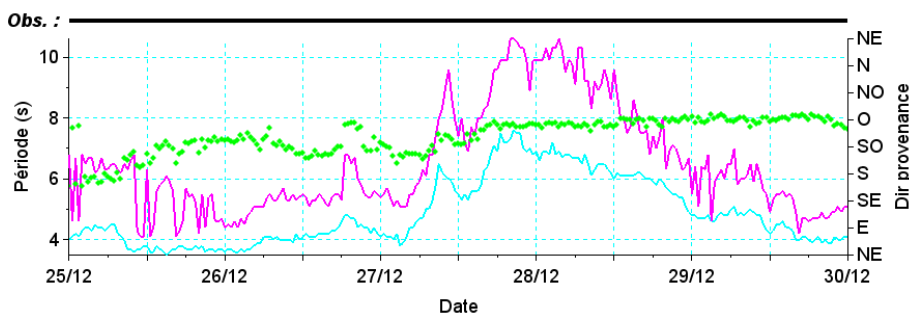
H_{max} —
 $H_{1/3}$ —



Évolution de T_p , T_{02} , Dir_p

Légende :

T_p —
 T_{02} —
 Dir_p ◆



Pic du	$H_{1/3}$ (m)	H_{max} (m)	$T_{H1/3}$ (s)	T_{Hmax} (s)	H_{m0} (m)	T_p (s)	T_{02} (s)	T_e (s)	Dir_p (°)	$Etal_p$ (°)
27/12 21h00	4,63	6,95	9,4	10,0	5,05	10,5	7,5	9,2	258	23

© 2021 - Cerema

Le Cerema, l'expertise publique pour le développement et la cohésion des territoires

Le Cerema est un établissement public qui apporte un appui scientifique et technique renforcé dans l'élaboration, la mise en œuvre et l'évaluation des politiques publiques de l'aménagement et du développement durables. Centre d'études et d'expertise, il a pour vocation de diffuser des connaissances et savoirs scientifiques et techniques ainsi que des solutions innovantes au cœur des projets territoriaux pour améliorer le cadre de vie des citoyens. Alliant à la fois expertise et transversalité, il met à disposition des méthodologies, outils et retours d'expérience auprès de tous les acteurs des territoires : collectivités territoriales, organismes de l'État et partenaires scientifiques, associations et particuliers, bureaux d'études et entreprises.

Coordination-Maquettage : Pôle édition et valorisation des connaissances

Dépôt légal : Janvier 2021

ISBN : 978-2-37180-498-2

ISSN : 2417-9728

Prix : téléchargement gratuit

Illustration couverture : Houlographe de Sète © CANDHIS

Éditions du Cerema

Cité des mobilités,

25 avenue François Mitterrand

CS 92803

69674 Bron Cedex

Cerema Eau, mer et fleuves

134 rue de Beauvais

CS 60039

60280 Margny-lès-Compiègne

www.cerema.fr

La collection « Données » du Cerema

Cette collection regroupe des ouvrages et produits (Cédéroms, cartes...) présentant des données brutes ou consolidées, issues d'enquêtes, de mesures ou de statistiques. Ces données sont principalement destinées aux acteurs chargés de la mise en œuvre de politiques publiques à différentes échelles de temps ou de territoires afin de leur permettre de réaliser des comparaisons et des suivis. La présentation de ces documents peut prendre, suivant les cas, la forme de résultats chiffrés, de statistiques, d'histogrammes, de cartographies.

Fiches synthétiques de mesure des états de mer

Tome 2 – Méditerranée - Janvier 2021

L'observation des vagues est de première importance dans de nombreux domaines tels que la sécurité maritime, les risques d'inondation, les aménagements portuaires, le suivi du trait de côte et les énergies renouvelables. Le Cerema Eau, mer et fleuves assure la gestion du réseau Candhis, réseau national de mesure des états de mer in situ. Ce catalogue est un support à la diffusion des données. Il présente les informations disponibles et leurs traitements et pour chaque campagne une analyse complète des données sur toute la durée des observations disponibles. Cela comprend des informations générales, l'établissement des climatologies moyennes, l'analyse des valeurs extrêmes et un zoom sur les caractéristiques des états de mer observés lors des événements les plus marquants. Ce catalogue est destiné aux bureaux d'ingénierie, aux services de l'État ou des collectivités, aux organismes de recherche, et plus généralement à ceux qui travaillent de près ou de loin sur les états de mer. Ce catalogue est prévu en trois tomes. Ce deuxième tome est une actualisation de l'édition 2020 pour la Méditerranée, avec la prise en compte d'observations plus récentes.

Sur le même thème

Fiches synthétiques de mesure des états de mer du réseau CANDHIS – Janvier 2020–tomes 1, 2 et 3, Cerema EMF, 2020
Étude des aléas littoraux dans le cadre d'une analyse coûts-bénéfices (ACB), Cerema EMF, 2015.

CANDHIS - Observations des états de mer ; Analyse des tempêtes sur le littoral métropolitain. Automne-hiver 2013-2014, Cerema EMF, 2014.

Analyse des surcotes extrêmes le long des côtes métropolitaines, Cetmef, 2013.

Analyse statistique des niveaux d'eau extrêmes - Environnements maritime et estuarien, Cetmef, 2013.

Statistiques des niveaux marins extrêmes des côtes de France (Manche et Atlantique), SHOM, 2012.

Vulnérabilité du territoire national aux risques littoraux, Cetmef, 2012.

