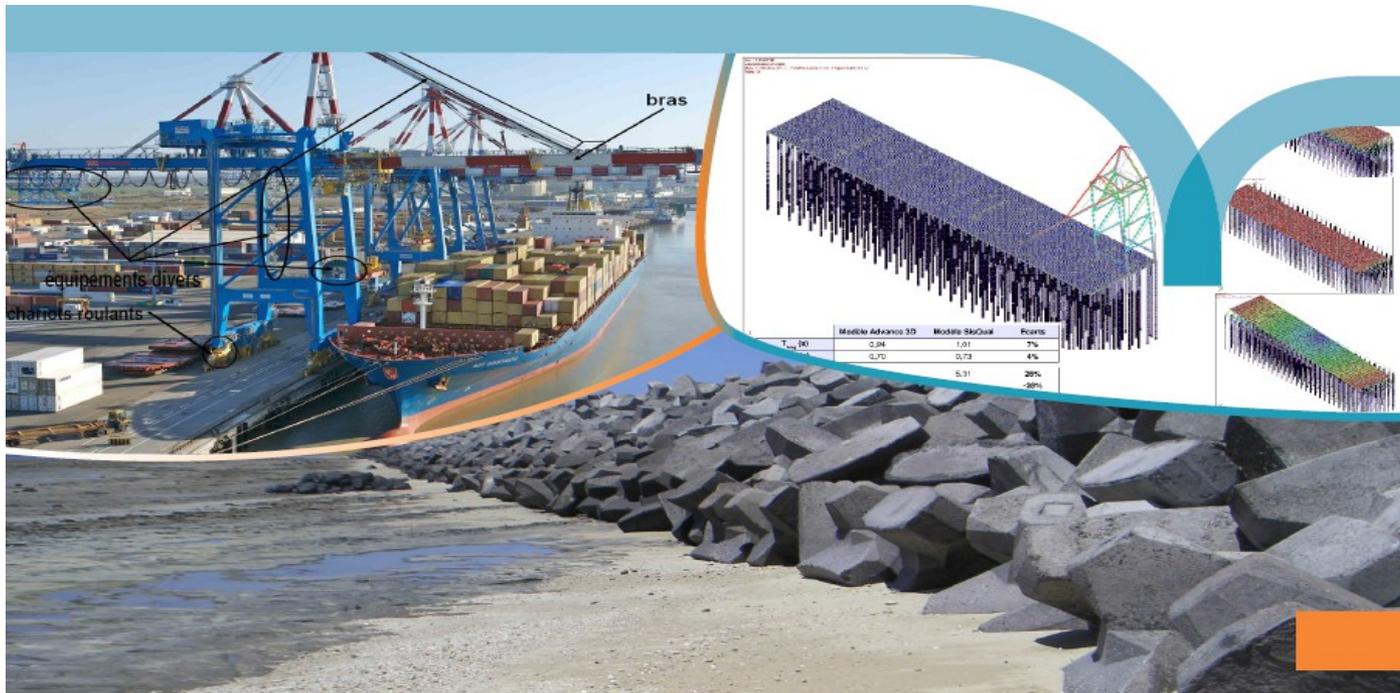


# Présentation générale des phénomènes



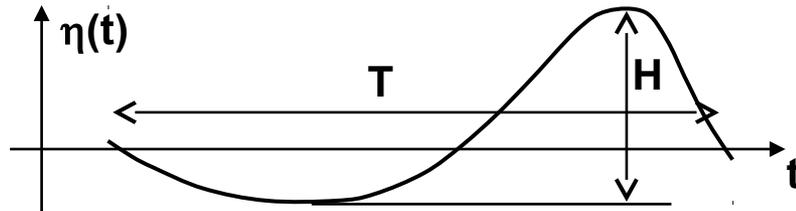
# Plan de la présentation

- La houle
- Les niveaux marins
- Tsunami → présentation de cet après-midi
- Problématiques opérationnelles
  - Les franchissements
  - Dimensionnement des parties en enrochements
  - Forces sur les éléments structurels
  - Les affouillements
  - Le recul d'infrastructures

# La houle

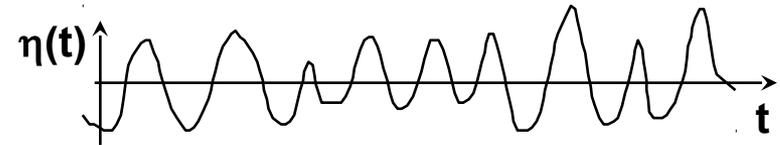
Source : M Benoit

La vague => 10 s



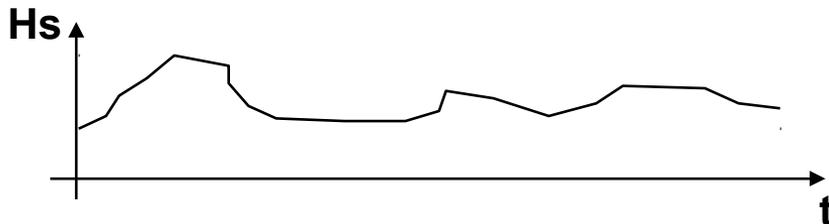
Paramètres :  $H$ ,  $T$   
+ asymétrie, ...

L'état de mer => 0.5 à 6 h



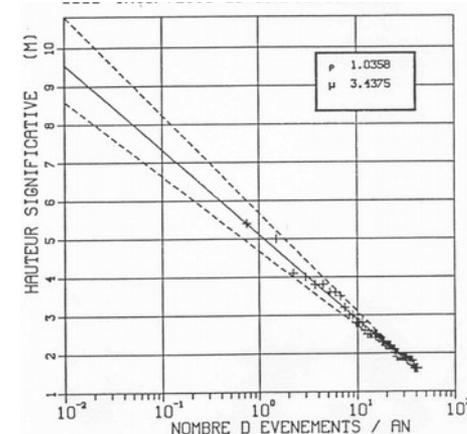
Conditions moyennes  
supposées stationnaires.  
Paramètres :  $H_s$ ,  $T_p$ ,  $Dir_m, \dots$

La climatologie moyenne  
=> 0.5 à 5 ans



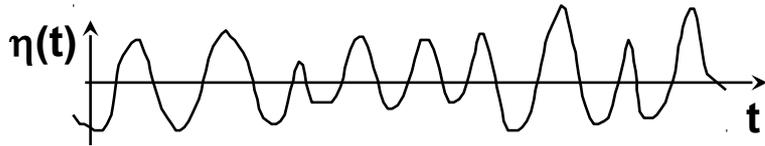
Histogrammes  $H_s$ ,  $T_m$ ,  $T_p, \dots$   
Distributions conjointes ( $H_s$ ,  $T_m$ )  
Effets saisonniers/mensuels

Les valeurs extrêmes  
=> 10 à 100 ans



# La houle

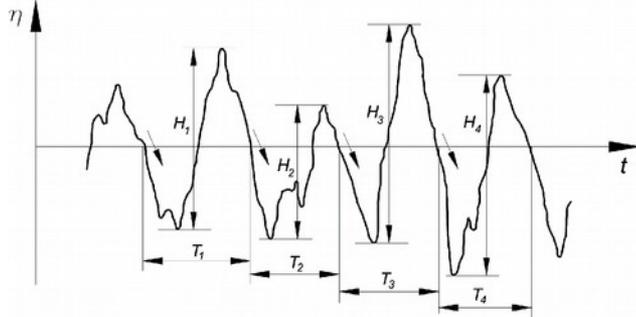
L'état de mer => 0.5 à 6 h



Conditions moyennes  
supposées stationnaires.

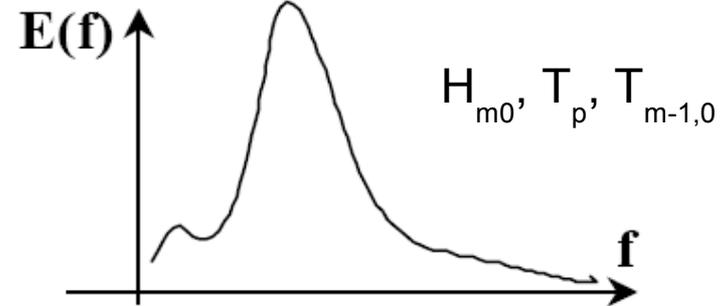
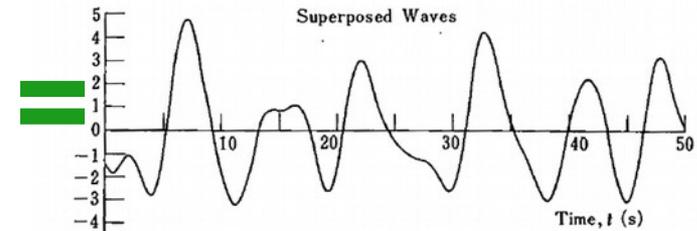
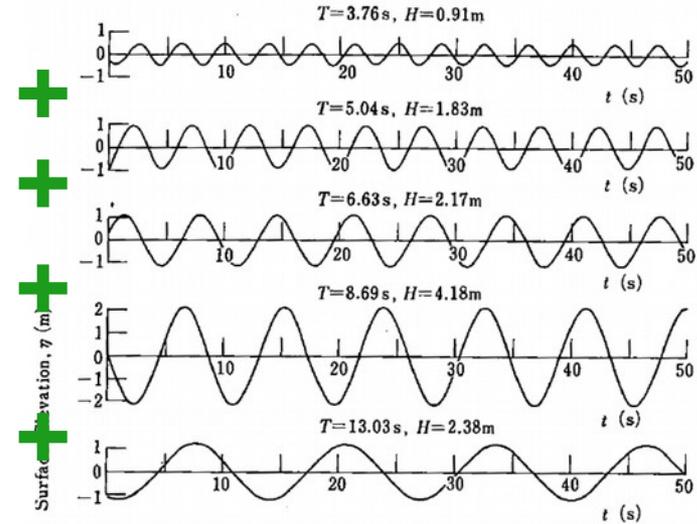
Paramètres :  $H_s$ ,  $T_p$ ,  $Dir_m, \dots$

## Approche temporelle



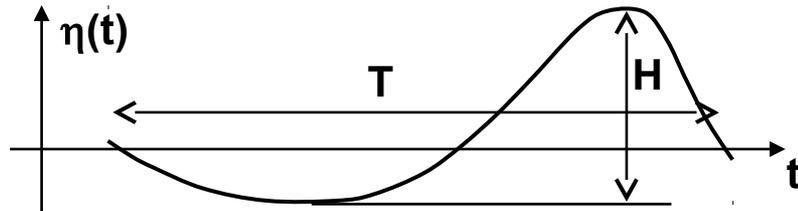
$H_{1/3}$ ,  $T_{1/3}$ ,  $H_m$ ,  $T_m$ ,  $H_{max}$ ,  $T_{max}$

## Approche spectrale



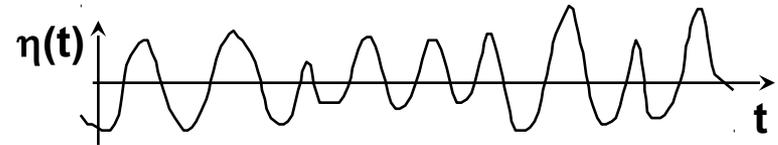
# La houle

La vague => 10 s



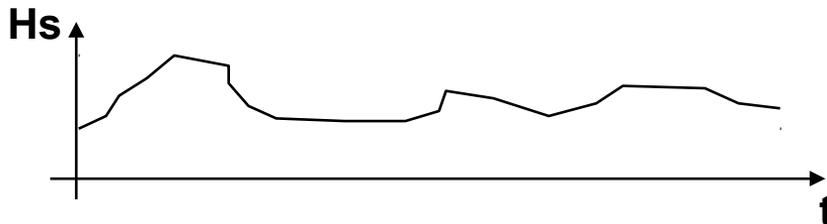
Paramètres :  $H$ ,  $T$   
+ asymétrie, ...

L'état de mer => 0.5 à 6 h



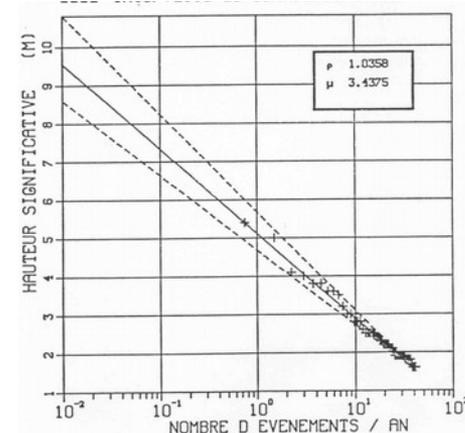
Conditions moyennes  
supposées stationnaires.  
Paramètres :  $H_s$ ,  $T_p$ ,  $Dir_m, \dots$

La climatologie moyenne  
=> 0.5 à 5 ans



Histogrammes  $H_s$ ,  $T_m$ ,  $T_p, \dots$   
Distributions conjointes ( $H_s$ ,  $T_m$ )  
Effets saisonniers/mensuels

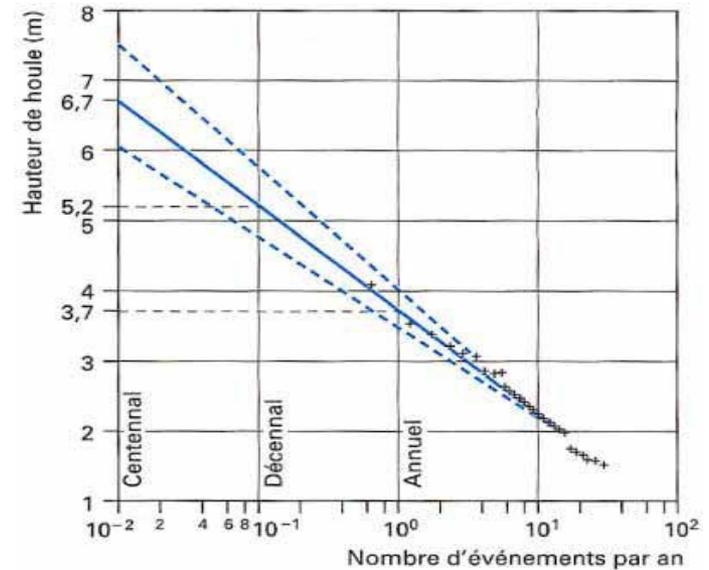
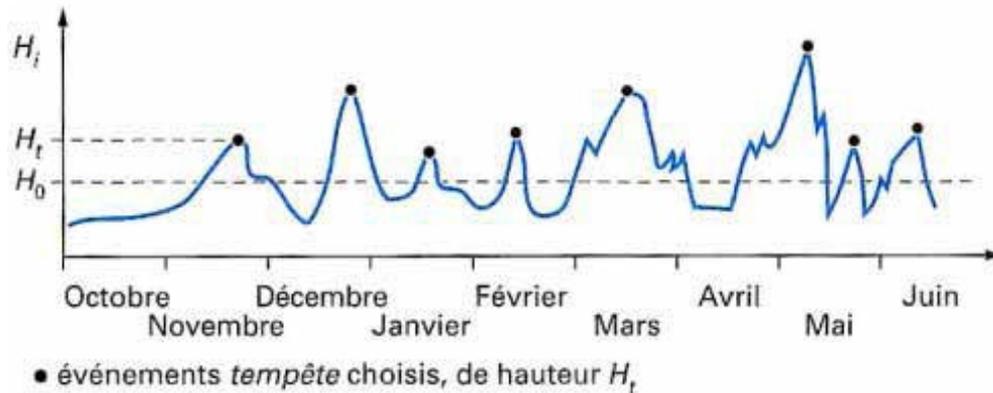
Les valeurs extrêmes  
=> 10 à 100 ans



# La houle

Source : C4 610 – Techniques de l'ingénieur

**Les valeurs extrêmes  
=> 10 à 100 ans**



Longueur de l'échantillon > 1/3 Tretour

Événement de période de retour x ans  
→ probabilité de 1/x de se produire chaque année

# La houle – Les données

Réseau des houlographes côtes de France

Base et site Internet CANDHIS du CEREMA

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



Bienvenue sur le site du Centre d'Archivage National de Données de Houle In Situ



Candhis (Centre d'Archivage National de Données de Houle In-Situ) désigne à la fois le réseau national côtier de mesure in situ de houle, le site Internet et la base de données archivant les mesures.

Les informations disponibles sur ce site sont :

- les données temps réel au jour le jour et heure par heure
- des graphes mensuels des hauteurs des vagues
- des données statistiques (histogrammes et corrélogrammes)

L'ensemble des données disponibles ainsi que les précautions d'utilisation sont détaillés dans la section "documentation".

## ACTUALITES

>> Bréhat Nord <<  
Mise en service d'un nouveau point de mesure. [21/06/16]

>> Banyuls <<  
Déradage du houlographe. [4/06/16]

>> St-Pierre & Miquelon <<  
Les données sont à nouveau disponibles. [3/06/16]

>> St-Pierre & Miquelon <<  
Le houlographe est retiré pour sa maintenance annuelle. [26/05/16]

>> FICHES SYNTHETIQUES <<  
Les fiches synthétiques des campagnes de mesure ont été mises à jour. [26/04/16]

>> Le Planier <<  
Remise en service du houlographe. [22/04/16]

V 2.0.0 - 0709

© Ministre de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire.  
CETMEF Centre d'Études Techniques Maritimes Et Fluviales - DELCE/DHSM/GMD - DRM/DSTV/GWB

Mentions légales - Contacts

# La houle – Les données



28 juin 2016

aléas naturels

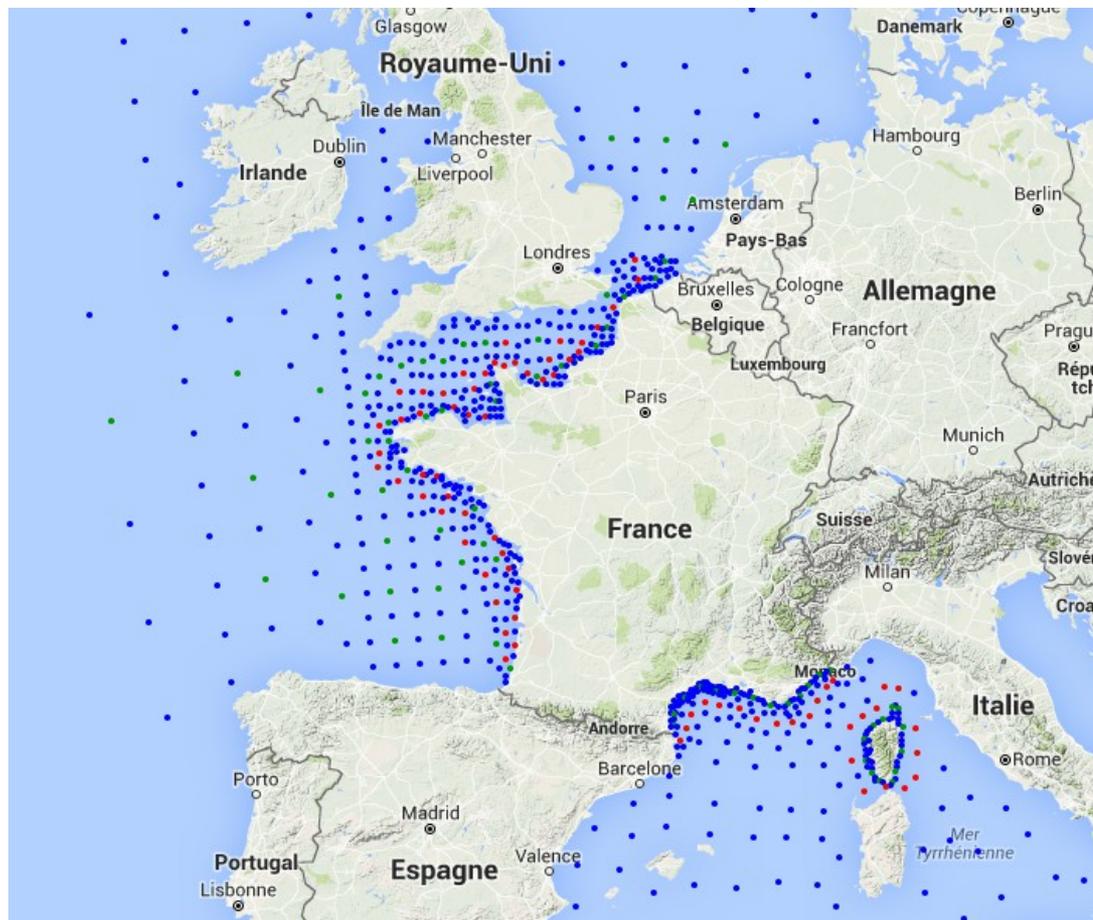
Données cartographiques ©2013 GeoBasis-DE/FGK ©2009



Liste des dernières mesures Temps Réel de la campagne 01305 - Le Planier

Date et heure (T.U.)	H1/3 (mètres)	Hmax (mètres)	Tht/3 (secondes)	Dir au pic (degrés)	Etalement au pic (degrés)	Température mer (degrés C)
22/06/2016 09:00	0.2	0.4	4.3	238	31	17.6
22/06/2016 08:30	0.2	0.4	4.3	232	37	17.5
22/06/2016 08:00	0.2	0.4	4.5	228	40	17.4
22/06/2016 07:30	0.2	0.4	4.5	188	48	17.3
22/06/2016 07:00	0.2	0.3	4.4	134	44	17.2
22/06/2016 06:30	0.2	0.4	4.4	146	29	17.2
22/06/2016 06:00	0.3	0.4	4.8	156	34	17.2
22/06/2016 05:30	0.3	0.4	4.8	142	38	17.0
22/06/2016 05:00	0.2	0.4	4.4	202	47	17.1
22/06/2016 04:30	0.2	0.3	4.3	221	42	17.1
22/06/2016 04:00	0.2	0.3	4.6	155	37	17.1
22/06/2016 03:30	0.2	0.3	4.4	214	42	17.1
22/06/2016 03:00	0.2	0.4	4.6	157	38	17.1
22/06/2016 02:30	0.2	0.5	4.6	138	35	17.1
22/06/2016 02:00	0.2	0.4	4.7	226	47	17.1
22/06/2016 01:30	0.2	0.4	4.5	208	46	17.1
22/06/2016 01:00	0.2	0.4	4.2	212	32	17.1
22/06/2016 00:30	0.2	0.4	4.3	173	31	17.1
22/06/2016 00:00	0.2	0.4	4.3	235	55	17.0
21/06/2016 23:30	0.3	0.5	4.3	148	39	17.1
21/06/2016 23:00	0.3	0.4	4.2	252	39	17.1
21/06/2016 22:30	0.3	0.5	4.5	184	46	17.1
21/06/2016 22:00	0.3	0.4	4.6	256	47	17.1
21/06/2016 21:30	0.3	0.4	4.8	134	41	17.0

# La houle – Les données



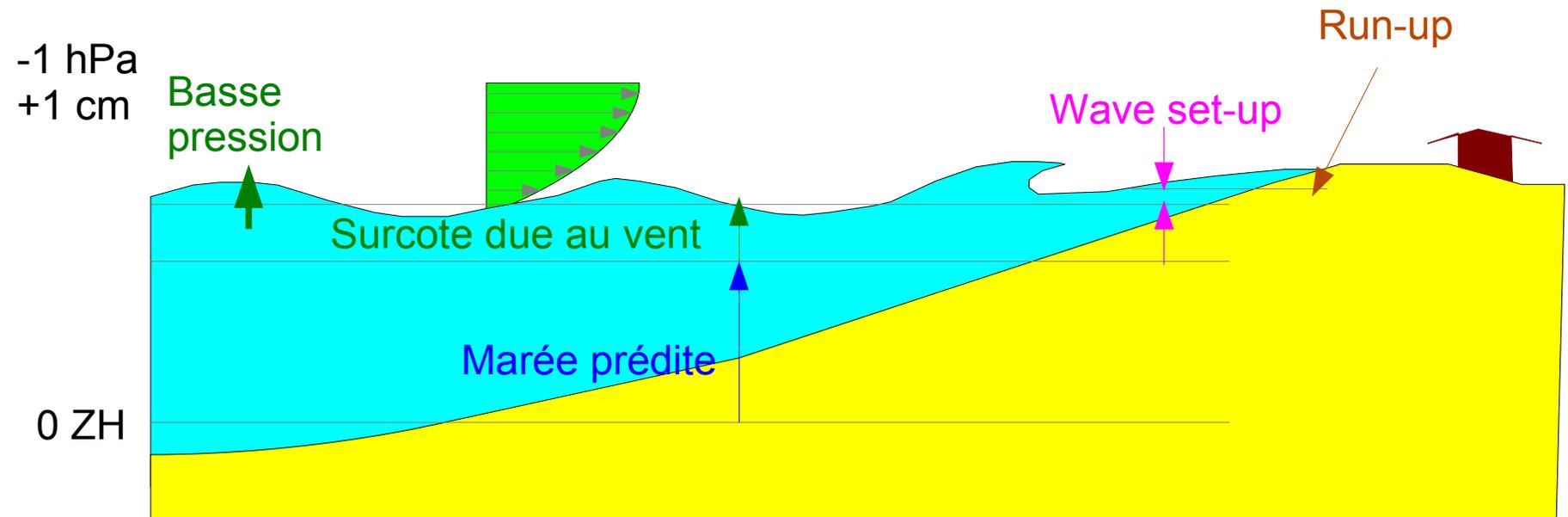
Reconstitution des houles à partir des vents sur la période 1979-2002 ou 2008

Anemoc (EDF-Cerema)

<http://anemoc.cetmef.developpement-durable.gouv.fr/>

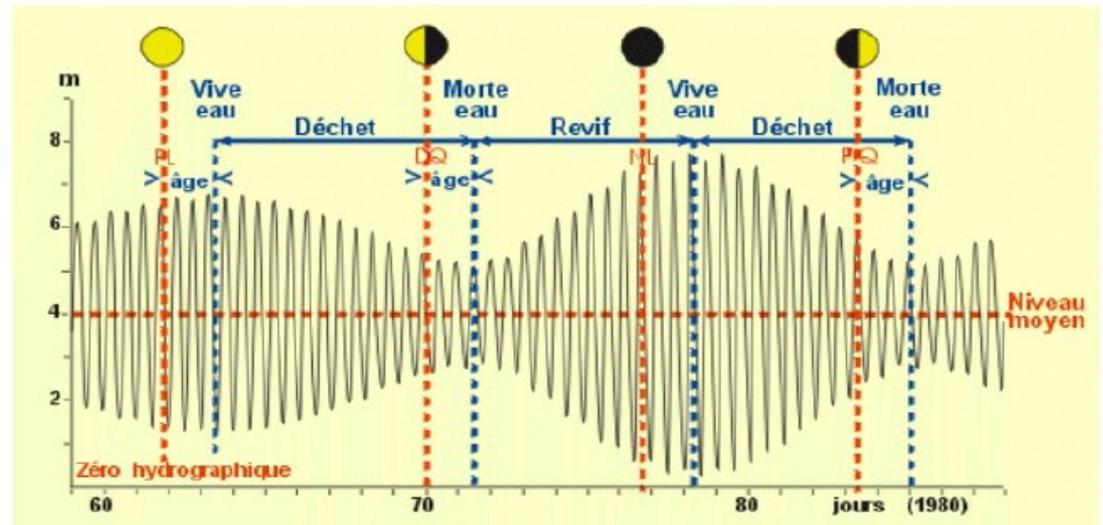
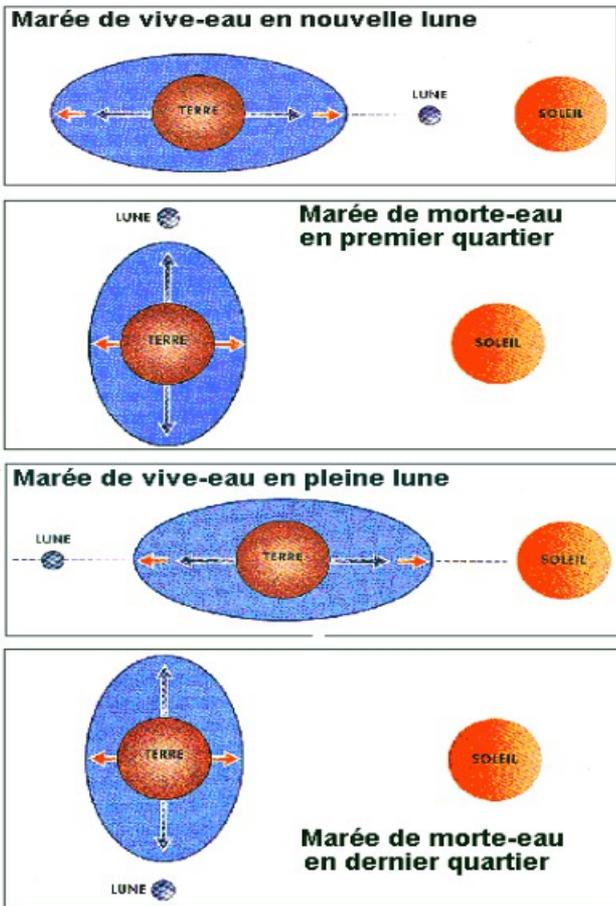
# Les niveaux marins

- **Le niveau de la mer « au large »**
  - Marée prédite
  - Surcote ou décote météorologique
- **En proche côtier**
  - Composante liée aux vagues, wave set-up
- **Sur une plage ou un ouvrage**
  - Le run-up



# La marée

Variation périodique du niveau de la mer due à l'action astronomique (surtout la lune)



# Les coefficients de marée

En France, le coefficient de marée est calculé à Brest

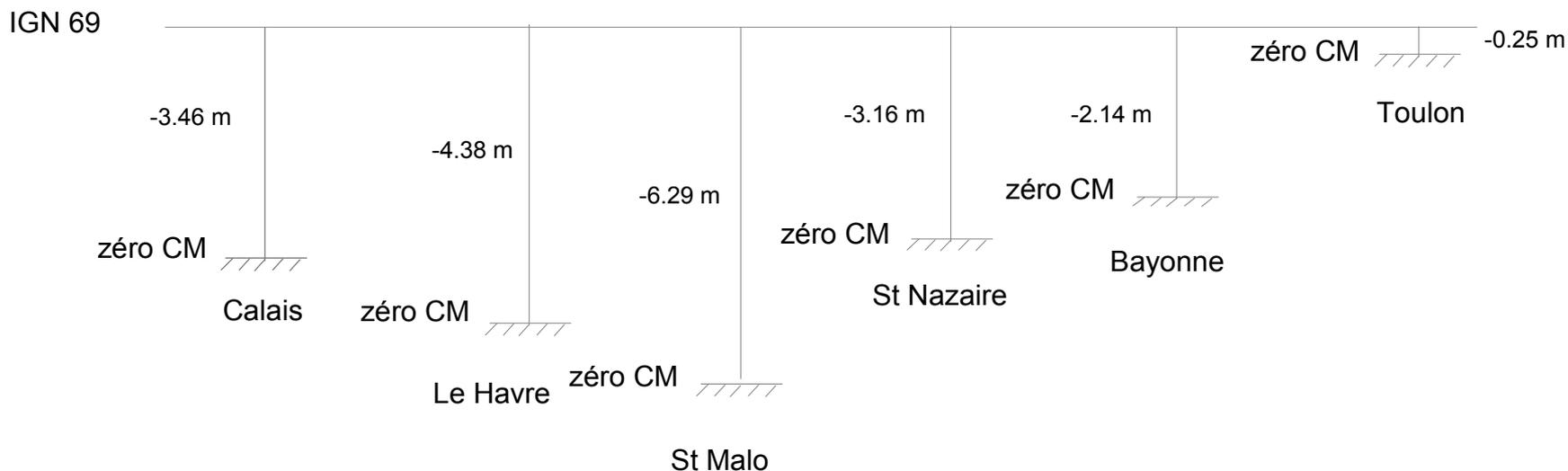
$$\text{Coefficient de marée} = \text{amplitude semi-diurne} / 3.05 * 100$$

Le coefficient de marée est identique pour un jour donné sur le bassin Manche-Atlantique

- Marée de vive-eau exceptionnelle : 120
- Marée de vive-eau moyenne : 95
- Marée moyenne : 70
- Marée de morte-eau moyenne : 45
- Marée de morte-eau exceptionnelle : 20

# Les niveaux de référence

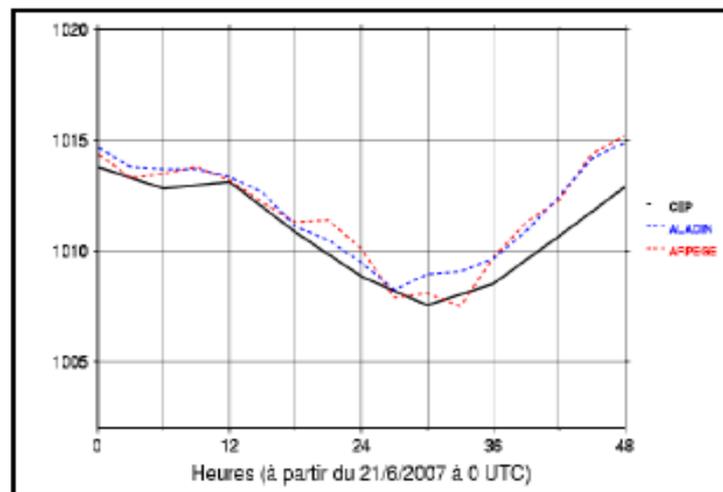
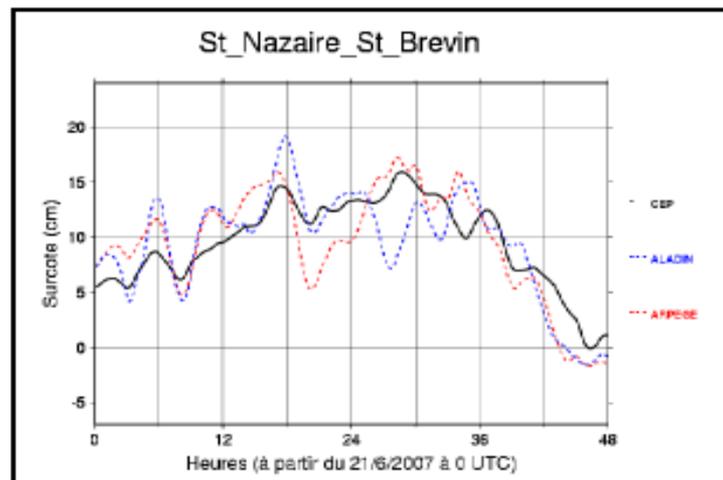
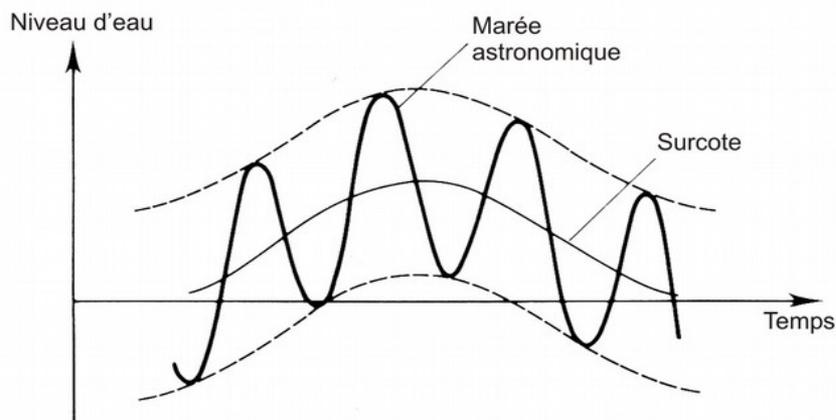
- Les hauteurs de marée sont données par rapport à la Cote marine (CM) aussi appelée Zéro Hydrographique (ZH)
- ZH  $\approx$  Niveau des plus grandes basses mers
- Détails sur le site internet du shom ([www.shom.fr](http://www.shom.fr))
- IGN 69 = niveau moyen de la mer à Marseille



# Les surcotes

La surcote comprend les effets :

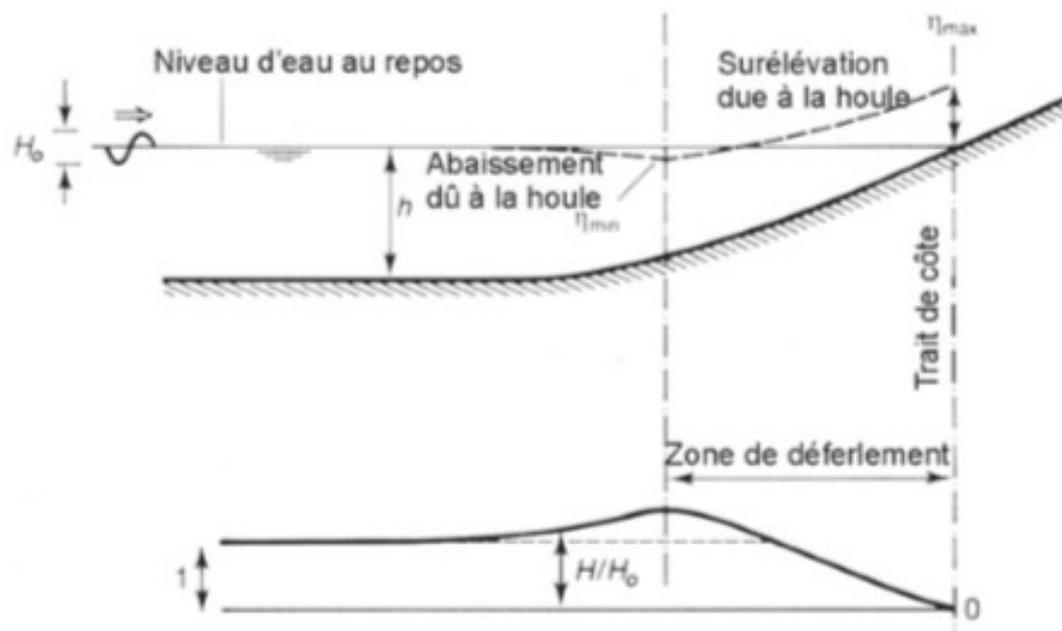
- des dépressions atmosphériques (effet du baromètre inversé)
- du vent qui pousse l'eau à la côte (win set-up)
- de la vitesse de déplacement des dépressions
- de la configuration de la côte et de la bathymétrie



Effet barométrique inverse  
(minisite Vendée Météo-France)

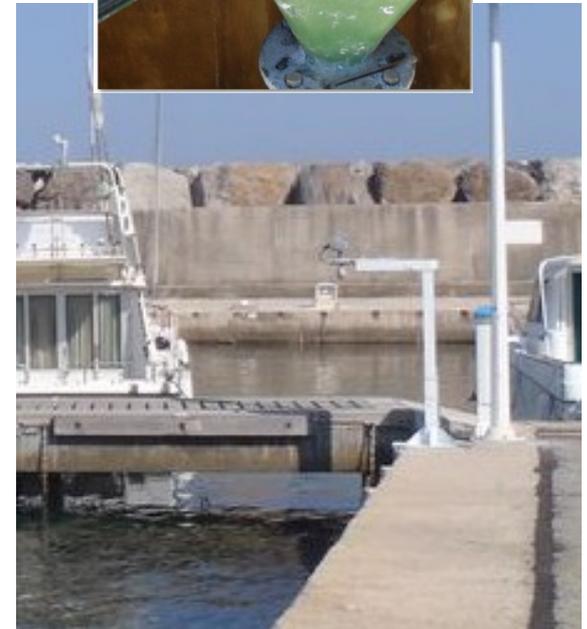
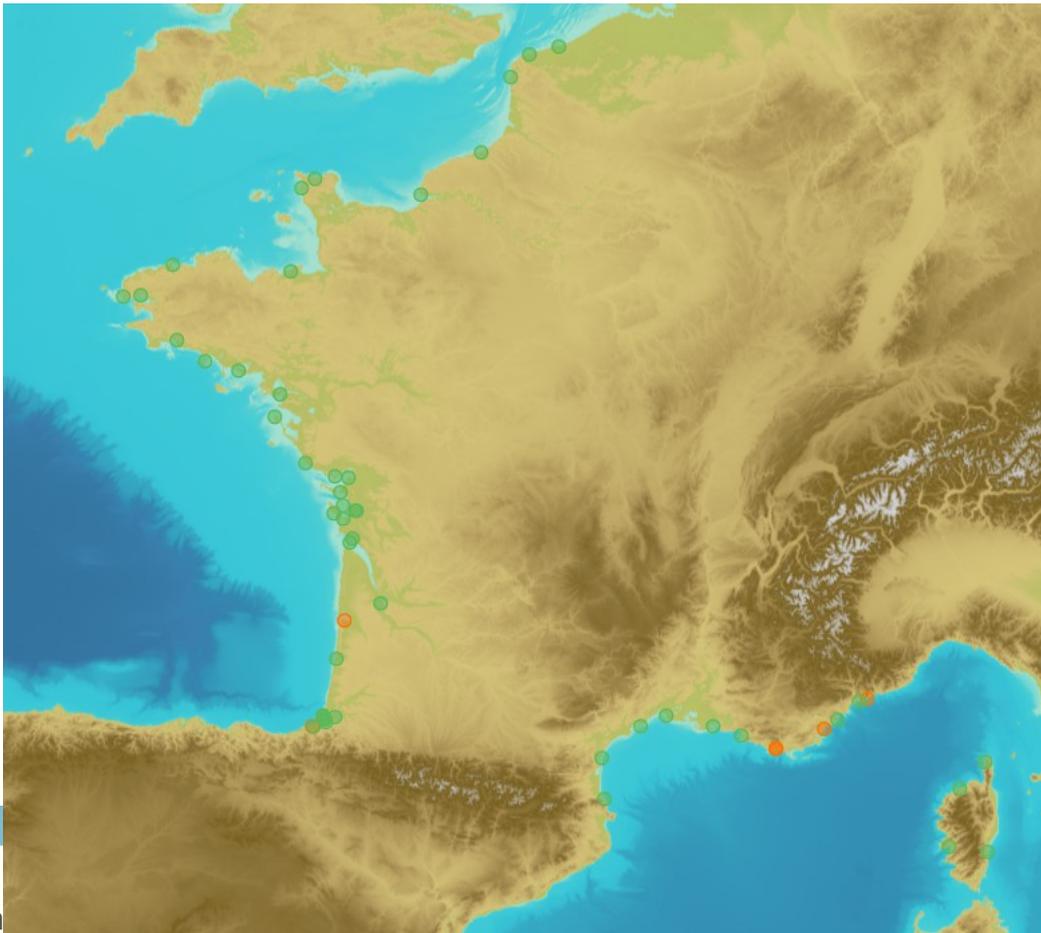
# Wave set-up

Surélévation du niveau moyen due à la houle déferlante



# Les niveaux marins

Où trouve-t-on les données ?



# Quels périodes de retour choisir ?

Durée de vie (année)	Probabilité d'occurrence ( %) pour différentes périodes de retour								
	5	10	20	30	50	100	200	500	1000
1	20 %	10 %	5 %	3 %	2 %	1 %	<1 %	<1 %	<1 %
5	67 %	41 %	23 %	16 %	10 %	5 %	2 %	1 %	<1 %
10	89 %	65 %	40 %	29 %	18 %	10 %	5 %	2 %	1 %
30	>99 %	96 %	78 %	64 %	45 %	26 %	14 %	6 %	3 %
50	>99 %	99 %	92 %	82 %	64 %	39 %	22 %	9 %	5 %
100	>99 %	>99 %	99 %	97 %	87 %	63 %	39 %	18 %	10 %
500	>99 %	>99 %	>99 %	>99 %	>99 %	99 %	92 %	63 %	39 %

# Les franchissements

Paramètre dimensionnant :  $q_{\text{moyen}}$  en litre/s/ml

Définit la cote d'arase des ouvrages

$$\frac{q}{\sqrt{g H_{m0}^3}} = 0.2 \exp\left(-2.3 \frac{R_c}{H_{m0} \gamma_f \gamma_\beta}\right)$$



Source : AVP NLSDO - EGIS

# Les franchiss

q  
m³/s/m

litre

SECURITE DU TRAFIC		SECURITE DES STRUCTURES			
VEHICULES	PIETONS	BATIMENTS	DIGUE MARITIME	DIGUE MARITIME ENHERBEE	REVETEMENTS
Dangereux à n'importe quelle vitesse	Très dangereux	Dommages structurels	Dommages même en cas de protection maximale	Dommages	Dommages même pour promenade pavée
			Dommages si le talus arrière n'est pas protégé		Dommages si promenade non pavée
			Dommages si la crête n'est pas protégée	Début de dommages	Aucun dommage
			Aucun dommage		
Stationnement dangereux	Dangereux	Dommages minimales (équipements)	Aucun dommage	Aucun dommage	Aucun dommage
Dangereux à vitesse élevée	Inconfortable mais pas dangereux				
Sûr à n'importe quelle vitesse	Humide mais pas inconfortable	Aucun dommage			

# Exemples de prise en compte des franchissements

## La route du littoral de la Réunion En condition centennale

### ↳ Approche qualitative

- ✓ aucun franchissement de lame d'eau (verte ou blanche) par-dessus la protection maritime (limite = GBA côté mer),
- ✓ aucun franchissement de paquets d'embruns projetés à grande vitesse sur les voies côté falaise,
- ✓ tolérance pour les projections de paquets d'embruns sur les voies côté mer.

### ↳ Approche quantitative

- ✓ voies côté mer :  $q < 10$  l/s/m. Ces voies pourront rester ouvertes mais avec une limitation de vitesse stricte (par exemple 30 km/h) ou être réservées aux véhicules de secours.
- ✓ voies côté falaise :  $q < 0,05$  l/s/m. Ces voies pourront rester ouvertes sans restriction de circulation.

+

- ✓  $q < 0,01$  l/s/ml sur chaque couple de voies pour la houle de période de retour  $< 5$  ans,
- ✓  $q < 0,05$  l/s/ml sur chaque couple de voies pour l'état de mer  $T = 10$  ans.

# Exemples de prise en compte des franchissements

Route du littoral de la Réunion

Mise hors d'eau des appuis pour une houle centennale + 1 m de revanche

→ viaduc entre 18,80 m et 25,50 m au dessus du niveau de mer

# Dimensionnement des parties enrochements

## Formule d'Hudson

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = (K_D \cot \alpha)^{1/3}$$

$H_s$  : hauteur significative de la houle

$D_{n50}$  : diamètre nominale des blocs de carapace  $M_{50} = \rho_s D_{n50}^3$

$\alpha$  : angle du talus par rapport à l'horizontal

$\Delta$  : densité relative déjaugée =  $(\rho_s - \rho_w) / \rho_w$

$\rho_s$  : densité des blocs de carapace

$K_D$  : coefficient de stabilité

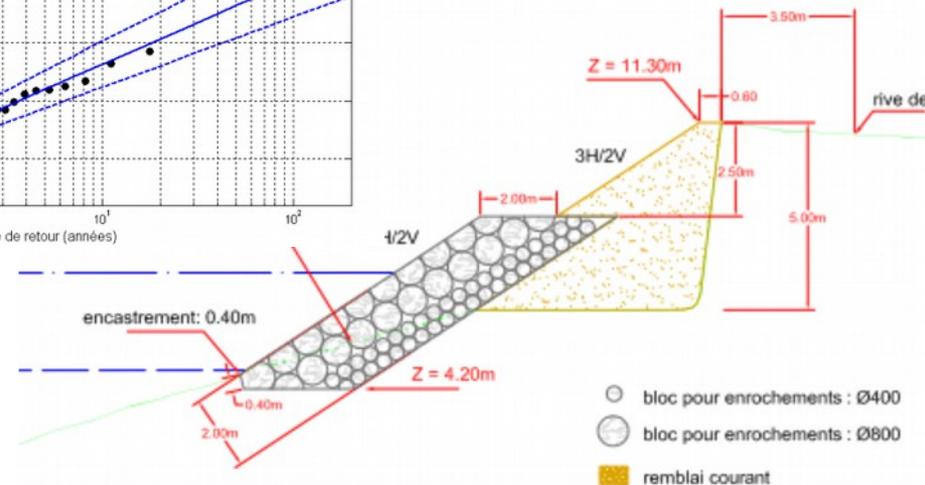
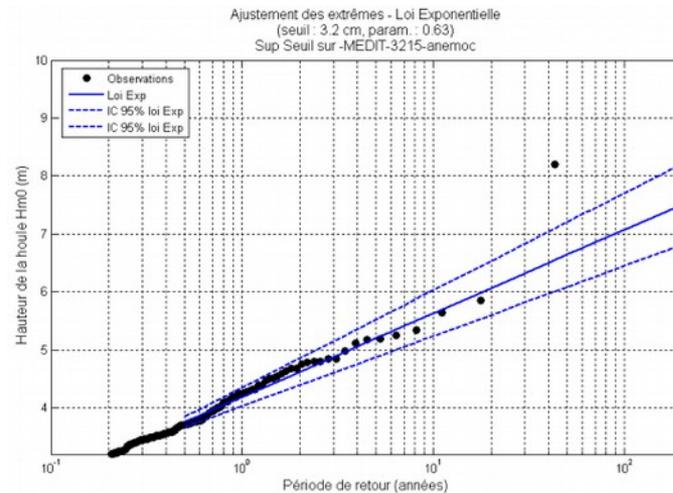
# Dimensionnement des parties enrochements

Exemple d'un ouvrage de protection routier RD81 au nord de la commune de Tiuccia



Houle : Anemoc  
Niveau marin :  
marégraphe d'Ajaccio

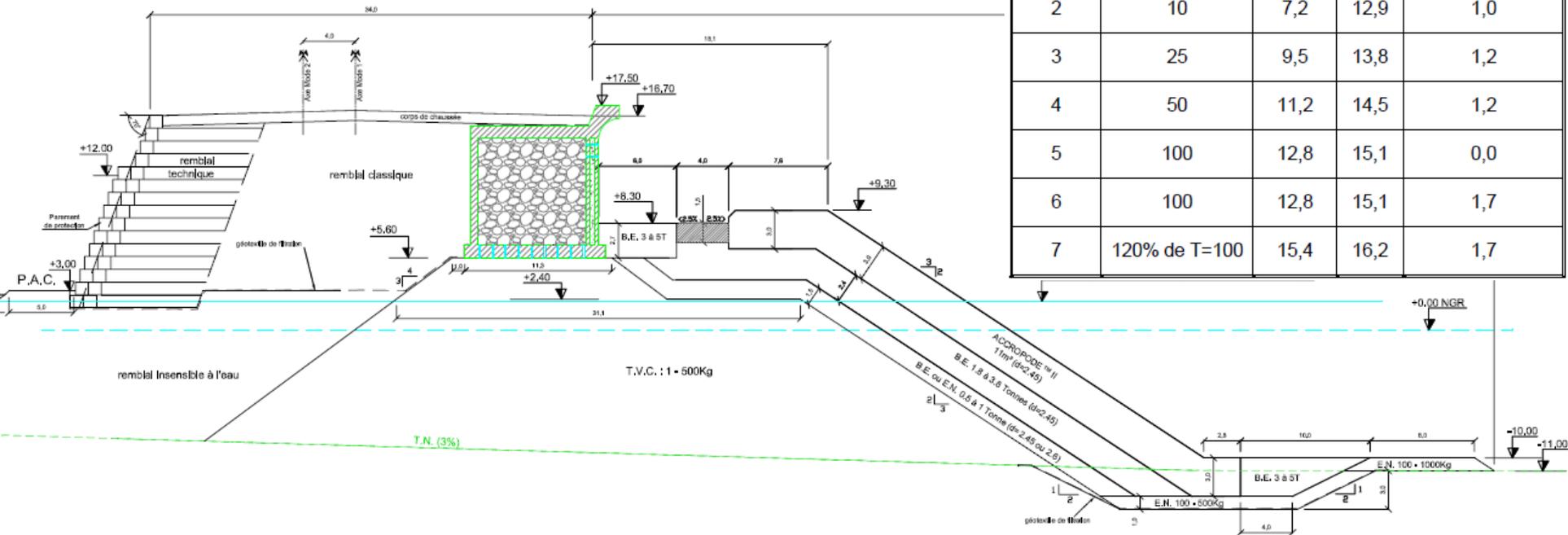
→ Propagation à la côte  
avec Swan1D



# Dimensionnement des parties enrochements

Exemple de la route du littoral de la Réunion

N° essai	Conditions de houle			Niveau de la mer (m NGR)
	Période de retour (ans)	H <sub>m0</sub> (m)	T <sub>P</sub> (s)	
1	<< 5	3,0	10,0	1,0
2	10	7,2	12,9	1,0
3	25	9,5	13,8	1,2
4	50	11,2	14,5	1,2
5	100	12,8	15,1	0,0
6	100	12,8	15,1	1,7
7	120% de T=100	15,4	16,2	1,7

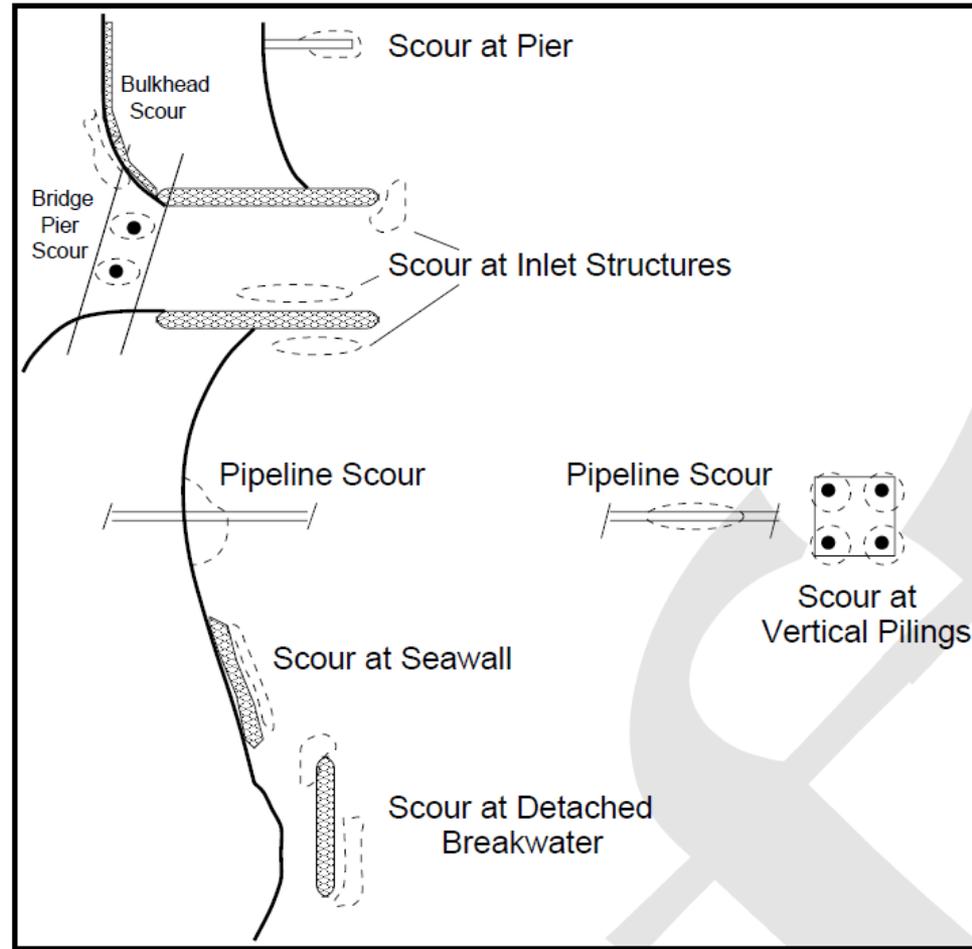


# Forces sur les éléments structurels

- Mur de couronnement (parapet)
- Caisson béton
- Sur les pieux
- Sur et sous les dalles

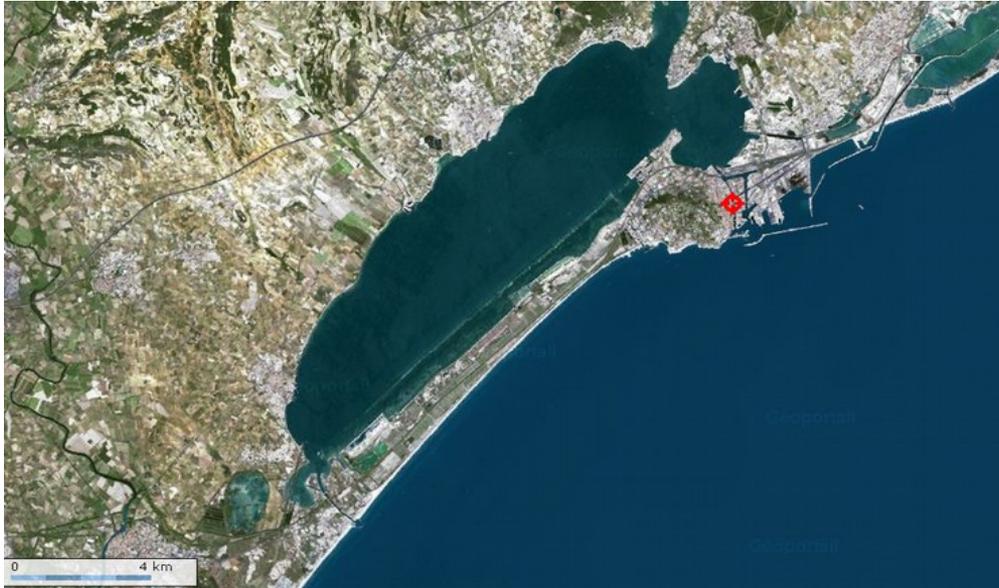
Forces dépendantes soit des paramètres caractéristiques de la houle ou des vitesses des particules d'eau mises en mouvement par la houle

# Les affouillements



# Recul de route

Opération du lido de Sète à Marseillan



[www.thau-agglo.com](http://www.thau-agglo.com)

# Recul de route



# Autres exemples

Entre le petit et le grand travers à la Grande Motte (démolition d'un morceau de la RD 59)

Réflexion en cours à Hyères (boulevard urbain) (Projet relocalisation des activités et des biens du ministère de l'environnement)

# Merci de votre attention

Céline TRMAL

Cerema Méditerranée