

# Modélisation des vagues à haute résolution

FABIEN LECKLER<sup>(1)</sup>,  
MARION HUCHET<sup>(1,2)</sup>,  
GUILLAUME DODET<sup>(3)</sup>,  
AUDREY VARING<sup>(4)</sup>,  
JEAN-FRANÇOIS FILIPOT<sup>(4)</sup>

*(1) SHOM, Brest, France*

*(2) LOPS, UMR 6523 CNRS-IFREMER-IRD-UBO, Plouzané, France*

*(3) LETG-GEOMER, UMR 6554 UBO-IUEM, Plouzané, France*

*(4) FRANCE ENERGIES MARINES, Plouzané, France*

## Introduction

- La modélisation des vagues
- Le spectre des vagues

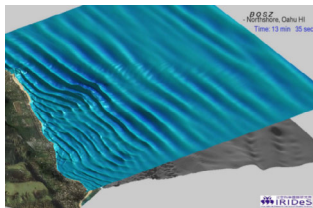
## Diverses applications de la modélisation à haute résolution

- Modélisation HR pour les EMR
- Modélisation HR pour les études de processus

## Conclusions

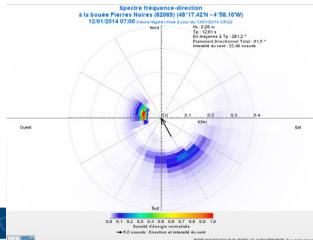
### Modèles à phase résolue

- ▶ Modélisation de la surface libre  $Z(x, y, t)$
- ▶ Résolution horizontale nécessairement de l'ordre du mètre
- ▶ Résolution temporelle de l'ordre de la seconde
- ▶ Temps de calcul : de l'ordre du jour pour 1 heure de simulation
- ▶ Permet de modéliser les interactions vagues-vagues



### Modèles spectraux

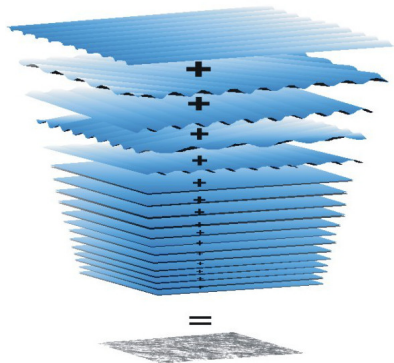
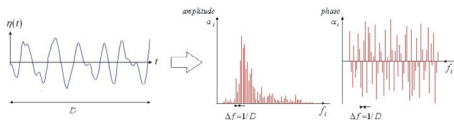
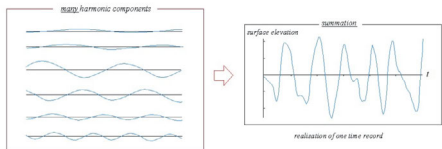
- ▶ Modélisation du spectre des vagues  $E(x, y, t, f, \theta)$
- ▶ Résolution horizontale très variable (du degrés à la dizaine de mètres)
- ▶ Résolution temporelle adaptée à la résolution horizontale (de l'heure à la seconde)
- ▶ Temps de calcul : de l'ordre de la minute pour 1 heure de simulation
- ▶ Incapable de résoudre les interactions vagues-vagues



# Le spectre des vagues

Une information incomplète sur les vagues

- ▶ Décomposition de l'élévation de surface en une superposition d'ondes sinusoïdales
- ▶ Chaque onde est définie par une longueur d'onde (i.e. une fréquence) et une direction
- ▶ Le spectre représente alors la répartition de l'énergie des vagues sur ces fréquences et directions



## Diverses applications de la modélisation à haute résolution

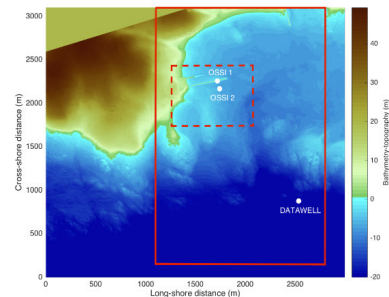
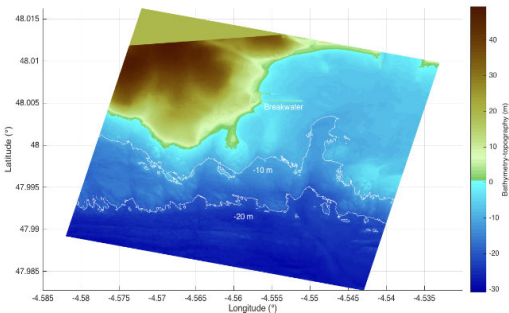
Modélisation HR pour les EMR

Modélisation HR pour les études de processus

# Modélisation HR pour les EMR

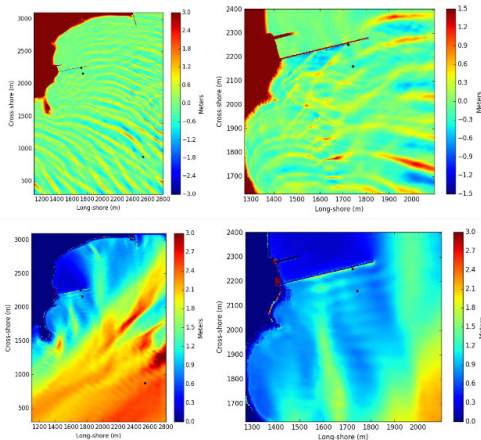
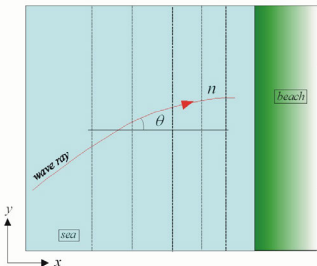
Le brise lame d'Esquibien

- ▶ Site potentiel EMR pour la récupération d'énergie houlomotrice (projet EMACOP)
- ▶ Campagne d'observations
- ▶ Modélisation à phase résolue avec BOSZ [V. Roeber, 2010]



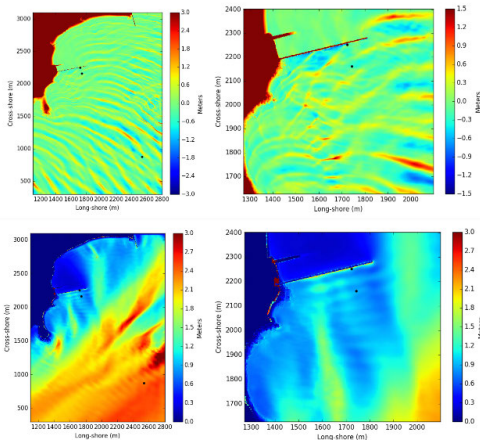
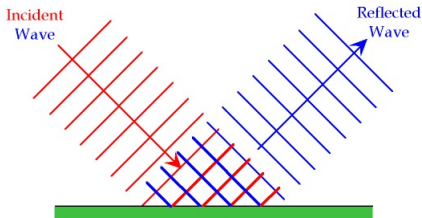
### Élévation de surface et hauteur significative des vagues

- ▶ Réfraction des vagues
  - ⇒ Les crêtes des vagues s'enroulent autour des faibles profondeurs
  - ⇒ Les crêtes des vagues tendent à devenir parallèles aux iso-contours



### Élévation de surface et hauteur significative des vagues

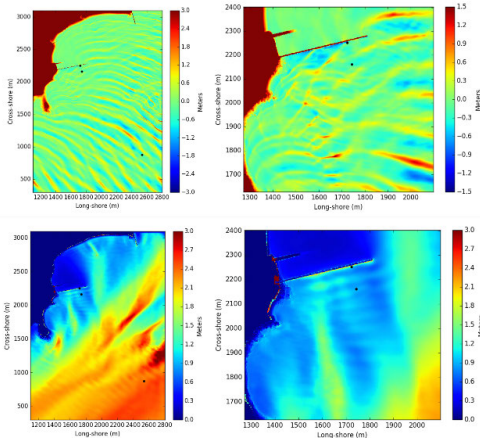
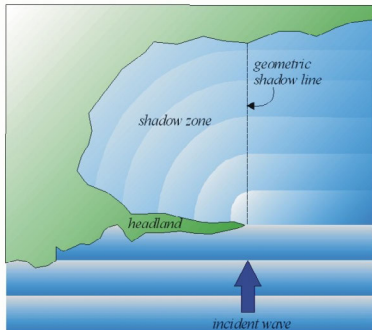
- ▶ Réflexion des vagues sur la digue  
⇒ La forme caractéristique des crêtes de vagues devant la digue est due à la somme des vagues incidentes et des vagues réfléchies  
⇒ L'interférence des vagues incidentes et réfléchies crée des vagues stationnaires





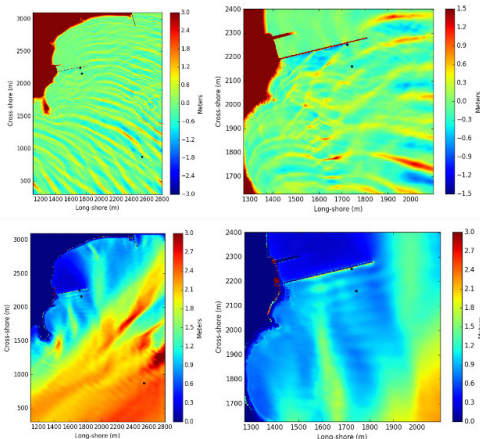
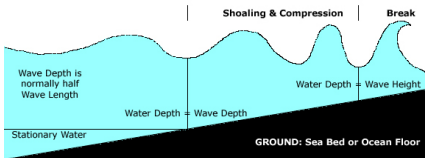
### Élévation de surface et hauteur significative des vagues

- ▶ Diffraction des vagues derrière la digue  
⇒ Les vagues se propagent dans la zone d'ombre derrière la digue

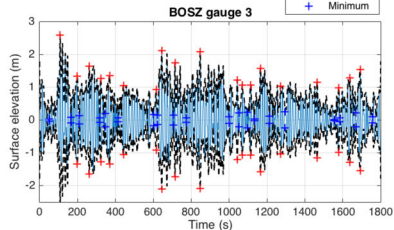
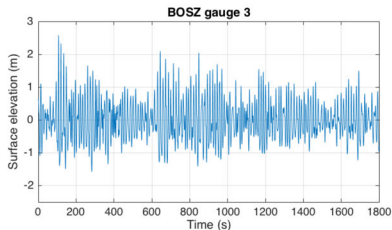
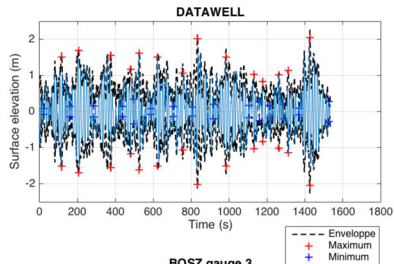
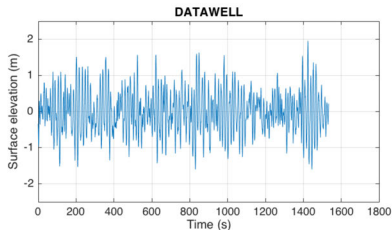


### Élévation de surface et hauteur significative des vagues

- ▶ Levage et déferlement des vagues à la côte et sur les hauts-fonds
  - ⇒ Amplification de la hauteur significative avec la diminution de la profondeur (levage)
  - ⇒ Les crêtes des vagues disparaissent et leur hauteur significative tend vers zéro (déferlement bathymétrique)

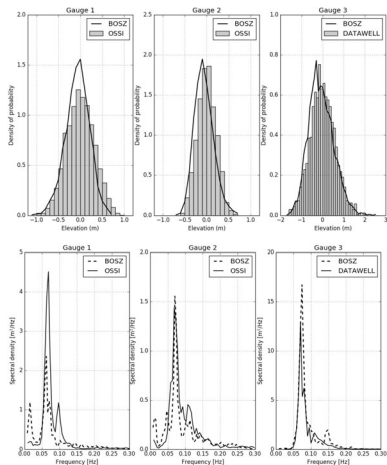


### Validation du modèle par comparaison aux observations



### Validation du modèle par comparaison aux observations

- ▶ Comparaison modèle/observations des statistiques d'élévation globalement satisfaisante
  - ⇒ Bonnes corrélations des PDF d'élévation de surfaces
  - ⇒ Moins bonnes corrélations des spectres en fréquence (échanges d'énergie entre les vagues et leurs harmoniques peu satisfaisants)
- ▶ Comparaison modèle/observations des paramètres intégraux des vagues ( $T_p$ ,  $H_s$ ) très satisfaisants

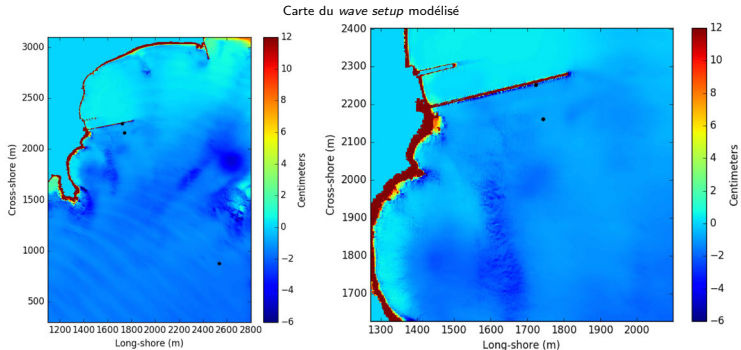
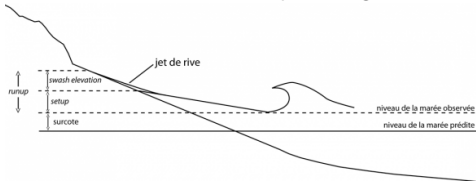


	GAUGE 1			GAUGE 2			GAUGE 3		
	Ossi	Bosz	Er (%)	Ossi	Bosz	Er (%)	Datawell	Bosz	Er (%)
$H_s$ (m)	1.32	1.09	17	0.95	0.86	8	2.11	2.45	16
$T_p$ (s)	14.6	16.0	9	14.6	14.2	3	14.3	13.5	6

# Modélisation HR pour les EMR

Modélisation des vagues à phase résolue

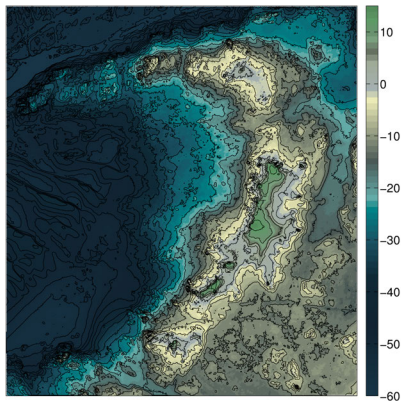
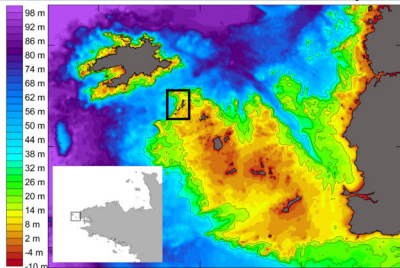
## Modélisation du *runup* des vagues



# Modélisation HR pour les études de processus

L'archipel de Molène : un terrain de jeux de choix pour la modélisation des vagues

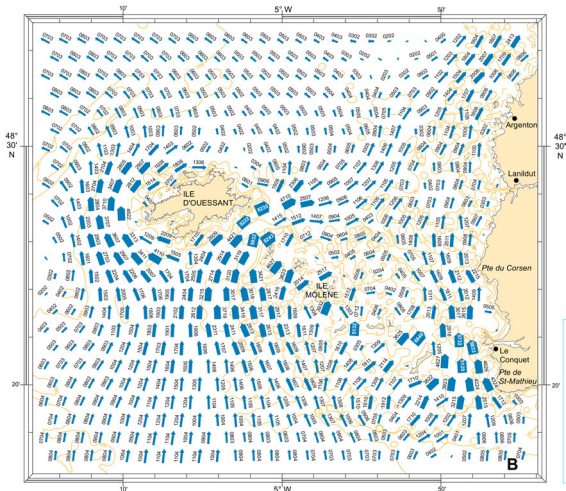
- ▶ Une bathymétrie très accidentée



# Modélisation HR pour les études de processus

L'archipel de Molène : un terrain de choix pour la modélisation des vagues

- ▶ Une bathymétrie très accidentée
- ▶ Présence de très forts courants de marée



# Modélisation HR pour les études de processus

Activité géomorphologique extrême sur l'île de Bannec [Autret et al., sous presse]

April 2008





# Modélisation HR pour les études de processus

Activité géomorphologique extrême sur l'île de Bannec [Autret et al., sous presse]

April 2008



# Modélisation HR pour les études de processus

Activité géomorphologique extrême sur l'île de Bannec [Autret et al., sous presse]

April 2014

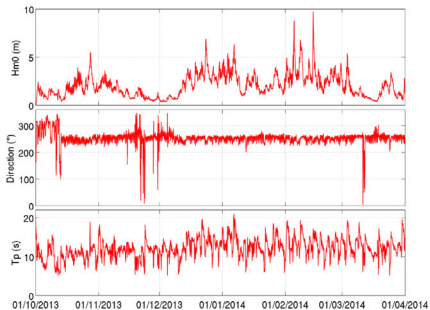


## Campagnes PROTEVS-Littoral

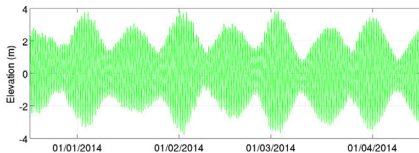
- ▶ Déploiement d'un grand nombre d'instruments
- ▶ Campagne reconduite tous les hivers depuis l'hiver 2012-2013
- ▶ Succession d'événements extrêmes durant l'hiver 2013-2014

# Modélisation HR pour les études de processus

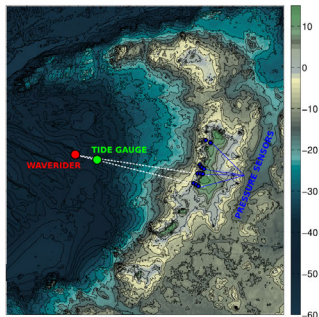
Observations *in situ* : Campagnes PROTEVS-Littoral



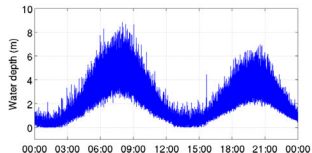
Offshore wave parameters



Offshore elevation time series



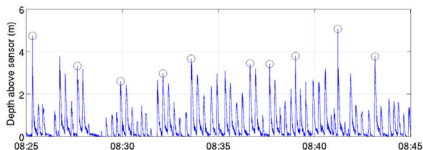
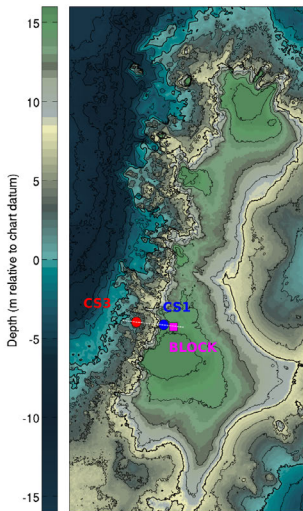
Location of instruments



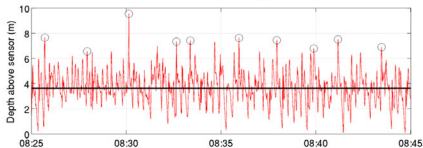
Nearshore elevation time series

# Modélisation HR pour les études de processus

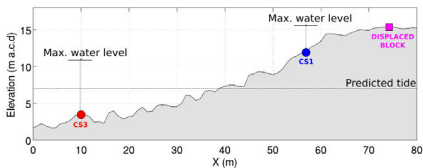
Observations *in situ* : Campagnes PROTEVS-Littoral



Water levels at CS1 on February 5 2014



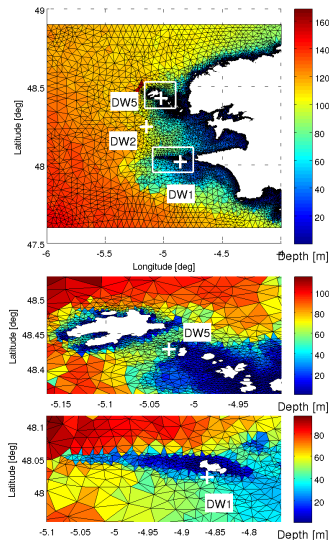
Water levels at CS3 on February 5 2014



# Modélisation HR pour les études de processus

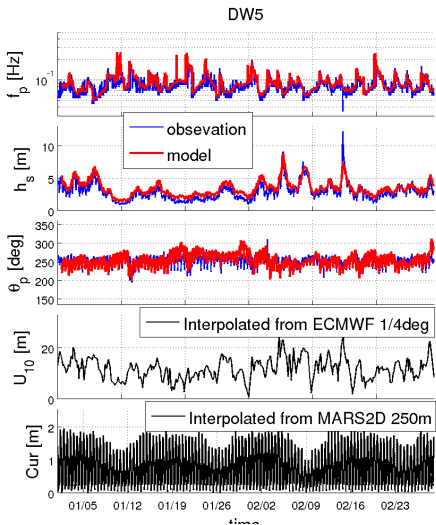
Modélisation spectrale avec le modèle WaveWatchIII [Toldman et al., 2014]

- ▶ WW3 implémenté sur une grille de calcul non-structurée de 12 518 noeuds (Ardhuin et al., 2012)
  - ▶ 121 points de forçage espacés de 5 km aux frontières ouvertes
  - ▶ Resolution à la côte de 200 m
- ▶ Forçage du modèle
  - ▶ MARD2D à 250m pour les courant et les hauteurs d'eau
  - ▶ ECMWF à 0.25 degrés pour les champs de vent
- ▶ 3 bouées houlographes pour la validation :
  - ▶ au large (DW2)
  - ▶ derrière la Chaussée de Sein (DW1)
  - ▶ dans le passage du Fromveur (DW5)



# Modélisation HR pour les études de processus

Modélisation spectrale avec le modèle WaveWatchIII [Toldman et al., 2014]



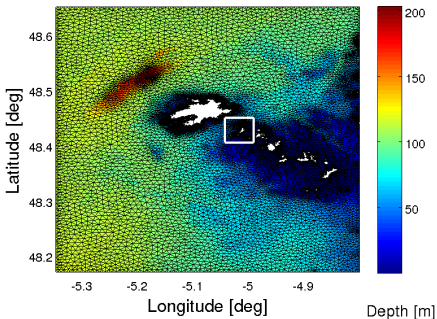
	RMSE	N-RMSE	BIAS
$f_p$	0.018 Hz	20.95 %	-0.004 Hz
$h_s$	0.50 m	16.23 %	-0.15 m
$\theta_p$	13.6 deg	5.43 %	2.9 deg

- ▶ Scores très satisfaisants mais ...
- ▶ ... résolution bien trop faible pour l'étude des événements géo-morphologiques  
⇒ Implémentation d'une grille à très haute résolution

# Modélisation HR pour les études de processus

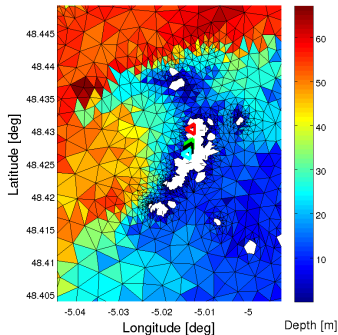
Modélisation spectrale avec le modèle WaveWatchIII [Toldman et al., 2014]

- ▶ WW3 implémenté sur une grille de calcul non-structurée de 83 179 noeuds
  - ▶ Resolution à la côte de 10 m  
⇒ Développement d'un schéma implicite d'intégration des équations



## ▶ Validation :

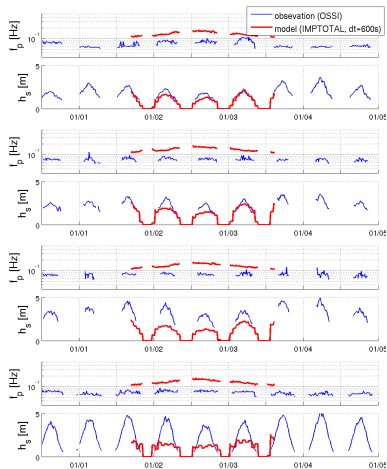
- ▶ 1 bouée houlographe dans le passage du Fromveur (DW5)
- ▶ 4 capteurs de pression OSSI installés sur l'estran



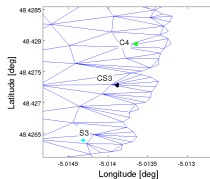


# Modélisation HR pour les études de processus

Modélisation spectrale avec le modèle WaveWatchIII [Toldman et al., 2014]



- ▶ Bonne corrélation modèle/observations à la bouée
- ▶ Incohérences modèle/observations au niveau des capteurs sur l'estran  
⇒ résolution insuffisante ?

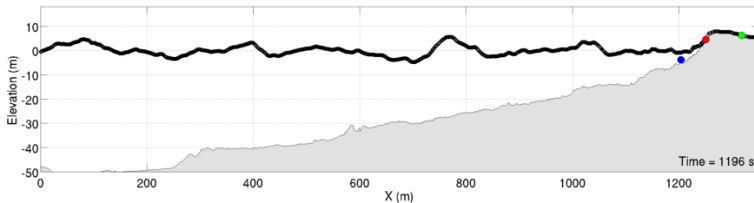
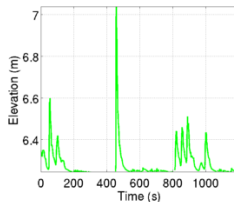
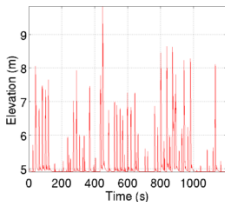
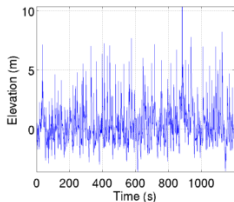


- ▶ Modèle spectral incapable de capturer la physique des vagues par très faible profondeur  
⇒ Modélisation à phase résolue

# Modélisation HR pour les études de processus

Modélisation à phase résolue avec le modèle SWASH [Zijlema et al., 2011]

Implémentation du modèle à phase résolue SWACH en 2DV le long d'un profil *cross-shore* durant un événement de tempête (5 février 2014)



Le modèle SWACH capture la physique des vagues en très faible profondeur

- ▶ Réflexion d'une partie des vagues
- ▶ Levage des vagues
- ▶ Développement des interactions vague-vague (infra-gravitaire)

⇒ Certaines vagues atteignent et dépassent le haut de falaise  
⇒ Cohérence avec les observations de mouvements des blocs rocheux

# Conclusions

Conclusions

# Conclusions

Nécessité de bathymétrie à (très) haute résolution pour la modélisation fine des vagues en zone côtière

- ▶ La modélisation est un outil complémentaire à l'observation *in situ*
  - ⇒ L'observation *in situ* est généralement ponctuelle et de durée limitée
  - ⇒ L'utilisation de modèle (validée par les observations) permet de combler les zones et les périodes non couvertes par les observations
- ▶ Très forte interaction des vagues avec la bathymétrie en faible profondeur
  - ⇒ Les phénomènes de réfraction, de réflexion, de levage et de déferlement sont fortement liés à la bathymétrie
  - ⇒ L'utilisation d'une bathymétrie à (très) haute résolution avec des modèles adaptés permet la modélisation de vagues à (très) haute résolution
- ▶ La modélisation est un outil pour la compréhension de phénomènes, notamment les interactions non-linéaires entre les vagues
  - ⇒ Meilleure compréhension des phénomènes de surcôtes extrêmes et de géo-morphologie des plages

# Conclusions

Nécessité de bathymétrie à (très) haute résolution pour la modélisation fine des vagues en zone côtière

- ▶ La modélisation est un outil nécessaire pour la prévision des événements extrêmes et l'anticipation des risques qui y sont liés
  - ⇒ Prévision et localisation précise des épisodes d'inondations liées aux tempêtes
  - ⇒ Dimensionnement des ouvrages de protection
- ▶ La modélisation est un outil indispensable pour le développement des EMR
  - ⇒ Sélection des sites EMR (évaluation du potentiel houlomoteur)
  - ⇒ Evaluation des impacts à l'échelle de quelques mètres
  - ⇒ Optimisation des technologies EMR
  - ⇒ Gestion et maintenance des installations

La modélisation à haute résolution nécessite :

- ▶ un accroissement des ressources de calcul (DATARMOR),
- ▶ une adaptation des modèles (prise en compte de nouveaux processus, nouveaux schémas d'intégration des équations, parallélisation des calculs, ...)
- ▶ et une bathymétrie à haute résolution.

MERCI DE VOTRE ATTENTION