

Processus dynamiques en milieu littoral

Philippe Bonneton

EPOC, Univ. Bordeaux I, CNRS



Le littoral : pas seulement une zone d'interface mais aussi un milieu spécifique

- processus hydrodynamiques associés à la transformation de la marée et des vagues en milieu peu profond
- transport sédimentaire et évolution morphologique des littoraux
- apport fluviaux et panaches
- couplage littoral / côtier pour les échanges hydro-sédimentaires

Projets ⇨ **Hydrodynamique associée à la transformation des vagues**

BILAN : Hydrodynamique associée à la transformation des vagues

- Modélisation 3D des interactions houle-courant de l'échelle côtière à l'échelle littorale

Responsables : F. Bouchette et Y. Lerrede (Univ. Montpellier)

PATOM 2004-2005, IDAO 2006

- **Hydrodynamique dans la zone affectée par le déferlement**

Responsable : **H. Michallet** (LEGI)

PATOM 2001-2005, IDAO 2006-2008 (90 K€ sur 3 ans)

52 chercheurs (15.5 ETP) de 17 laboratoires

⇒ **pluridisciplinarité** :

Océanographie Physique, Mécanique des fluides, Mathématiques Appliquées

Cadre programmatique

LEFE-IDAO a permis de contribuer à la **coordination nationale** sur ce thème de recherche, dont la majeure partie des financements vient d'autres programmes :

- Régions
- PEA ECORS (SHOM)
- ANR
- INSU : RELIEFS (ST) et EC2CO-PNEC
- Europe : FP7 et INTERREG

Problématique scientifique

- impact des vagues sur le littoral - vagues extrêmes et submersion



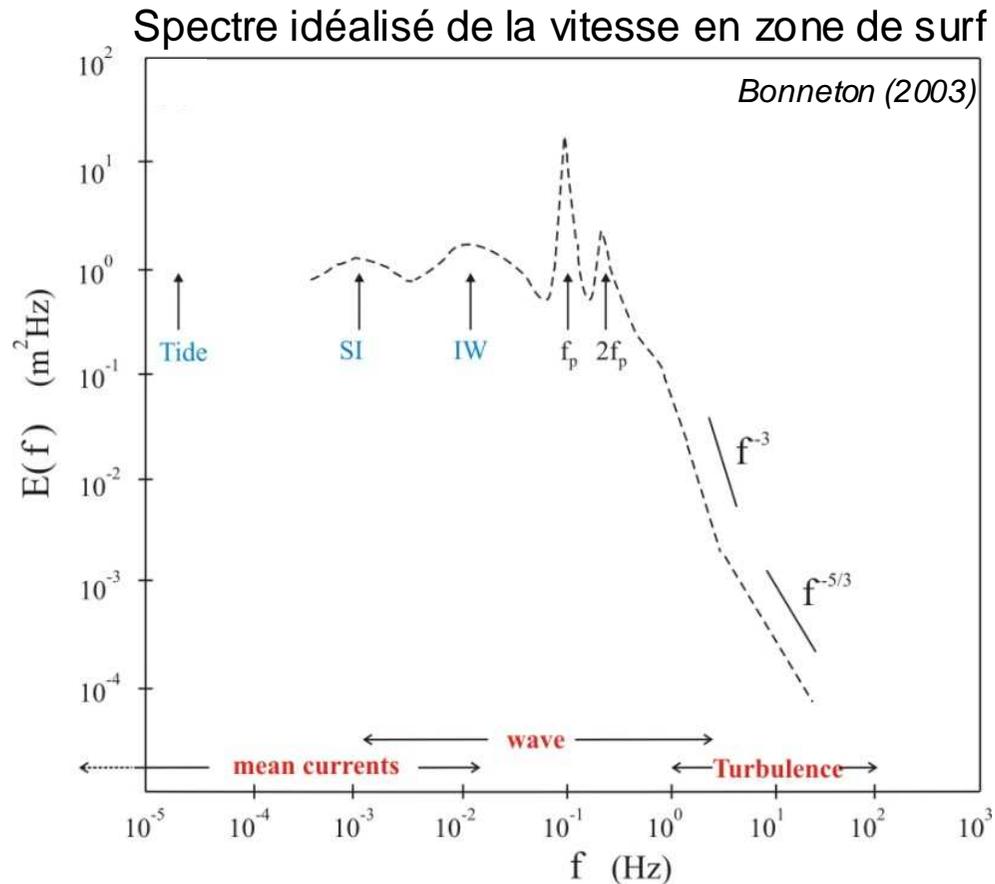
- processus turbulents en zone de surf - mélange des masses d'eau et mise en suspension des sédiments



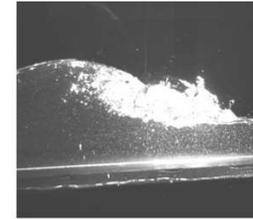
- circulation induite par les vagues



Problématique scientifique



turbulence



Instabilités et macro-structures tourbillonnaires



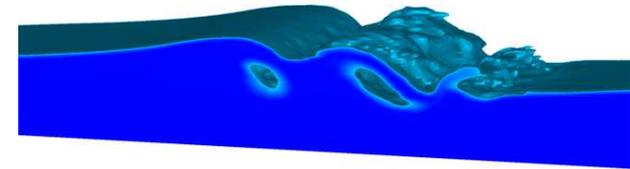
Processus hydrodynamiques non-linéaires sur une large gamme d'échelles spatio-temporelles \Rightarrow **◆ identification et caractérisation**
◆ modélisation

Méthodologie

Expérimentation en laboratoire



DNS et LES diphasiques

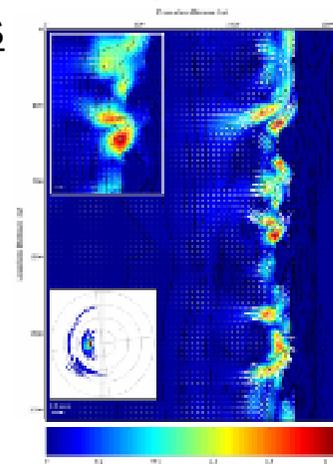


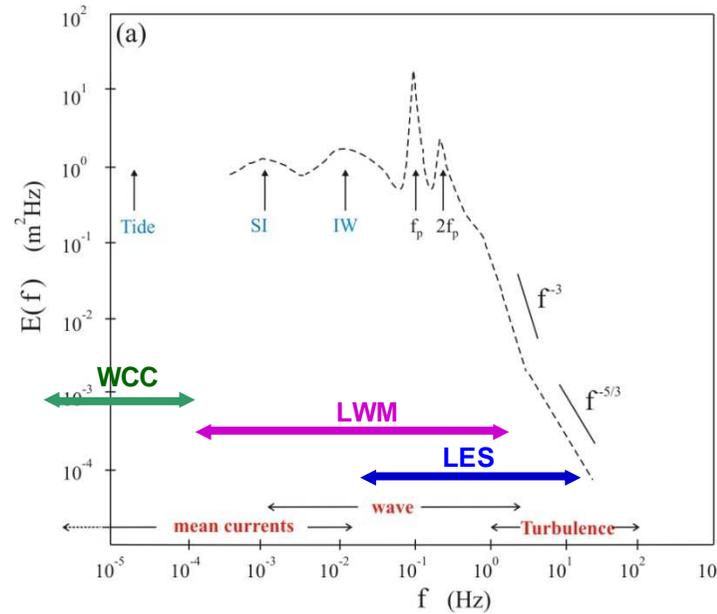
modélisation

Mesures in situ



Modèles numériques littoraux et côtiers

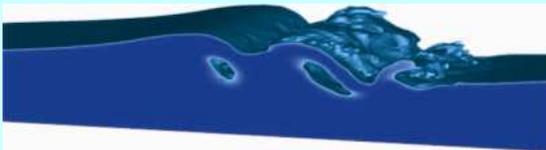




petites échelles

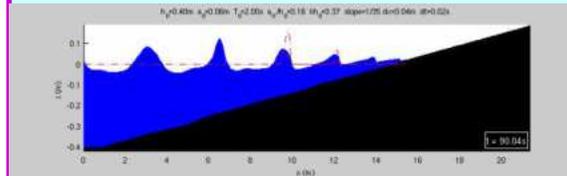
grandes échelles

Two-phase flow LES



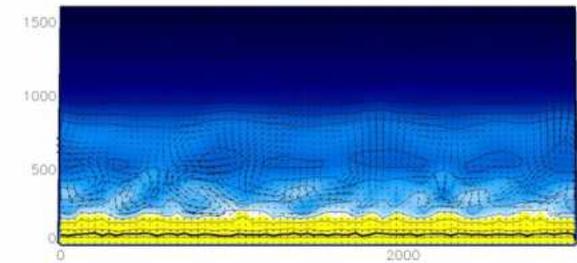
Lubin et al. (2006)

long wave modeling



Cienfuegos et al. (2009)

wave-current coupling



Castelle et al. (2006)

Plusieurs campagnes de mesures : Golfe du Lion, Languedoc-Roussillon et Aquitaine

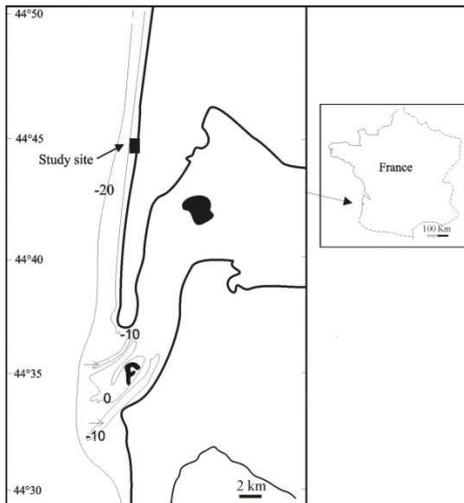
Campagne Internationale Truc Vert 2008 (PEA ECORS-SHOM)

Resp. : N. Sénéchal (EPOC) et F. Ardhuin (SHOM)

mars-avril 2008

120 scientifiques, 16 laboratoires de 6 pays

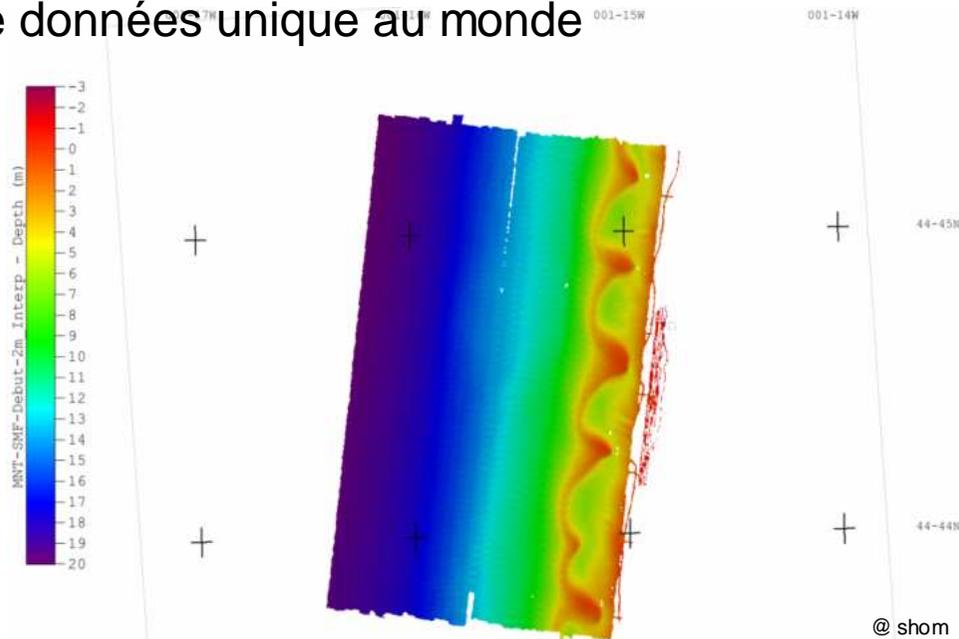
Australie, Etats-Unis, France, Grande-Bretagne, Nouvelle-Zélande et Pays-Bas



Campagne Truc Vert 2008

Plages sableuses, environnement meso-macro tidal, houles très énergétiques ($H_s > 8$ m)

⇒ base de données unique au monde



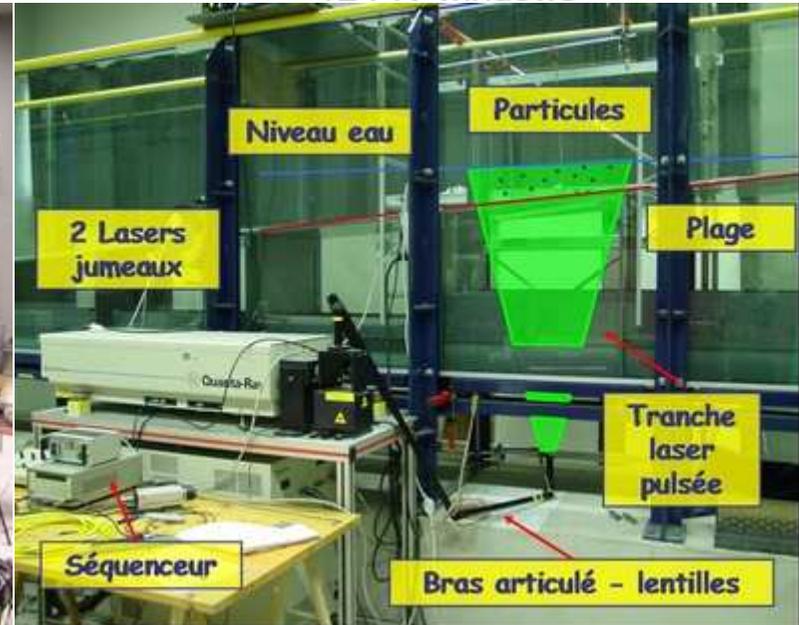
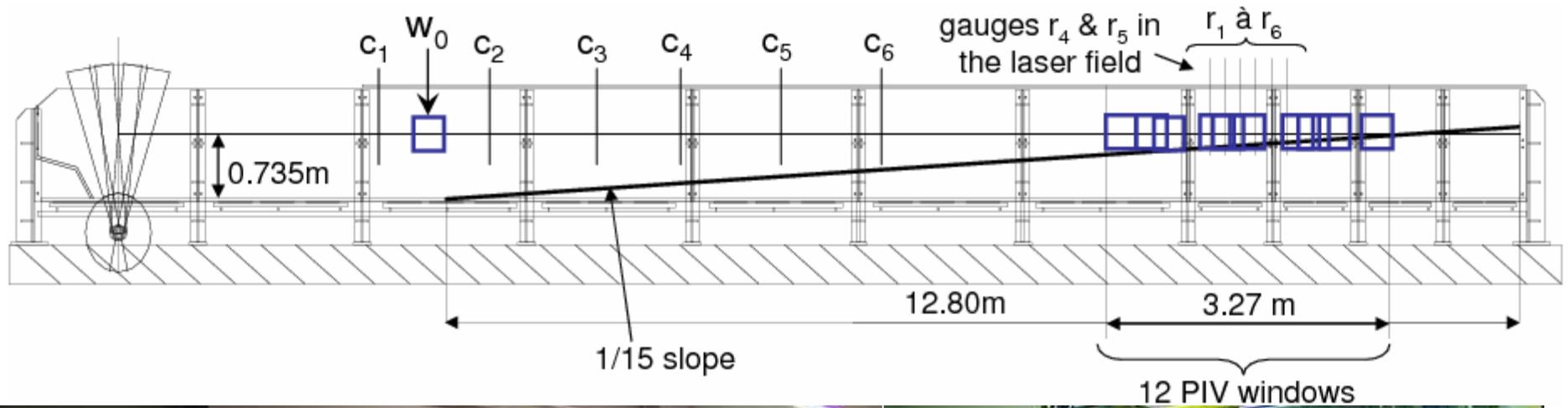
- Evolution morphodynamique des plages sableuses
PEA ECORS et RELIEFS-INSU

- Hydrodynamique induite par les vagues
PEA ECORS et LEFE-IDAO

- ⇒ processus turbulents en zone de surf
- ⇒ circulation et instationnarités

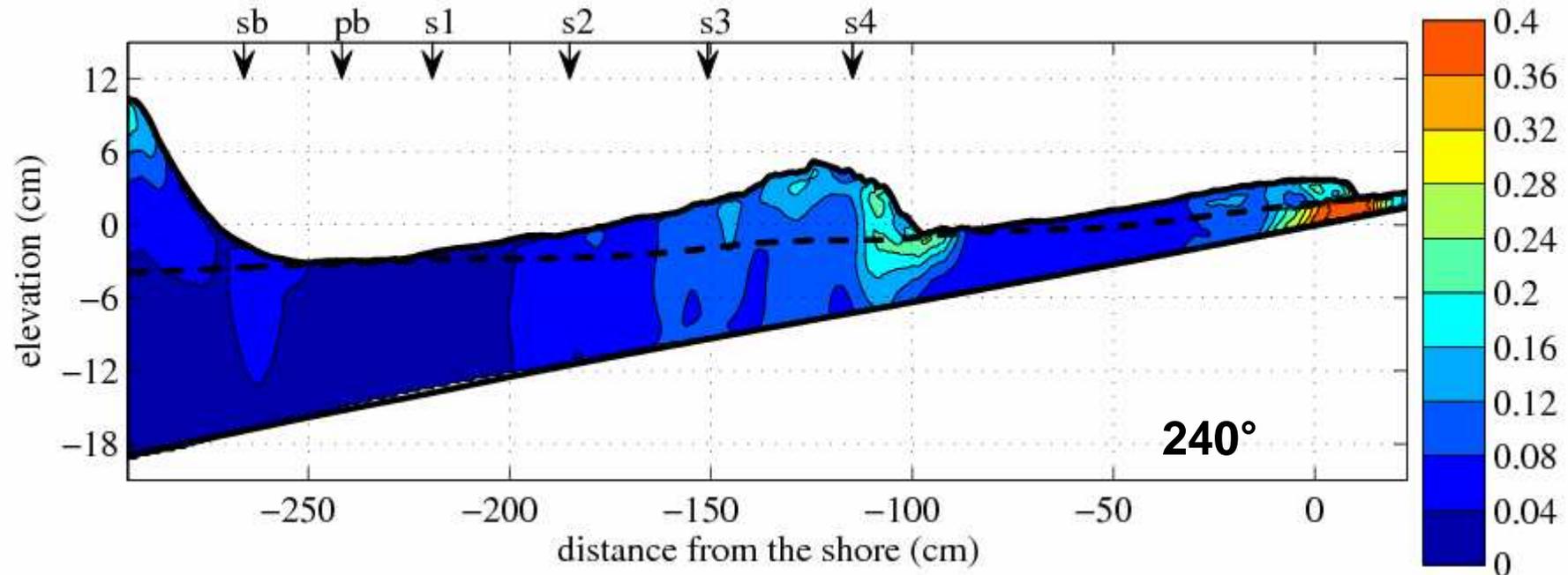


Processus turbulents et diphasiques en zones de surf et de swash



Expérience PIV : Déferlement d'une houle régulière sur une plage inclinée
Kimmoun et Branger (2007)

Energie cinétique turbulente adimensionnelle



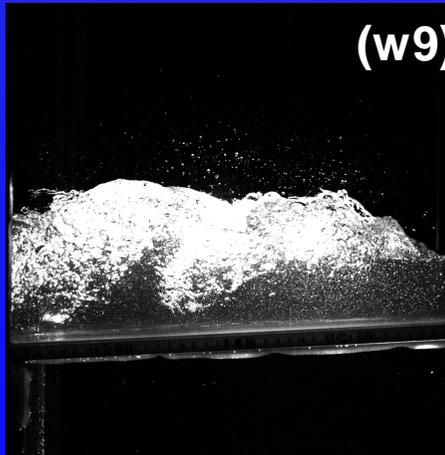
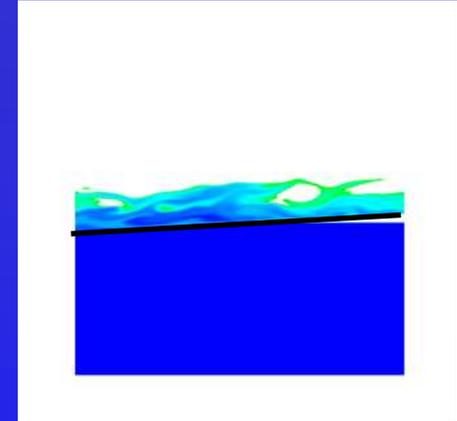
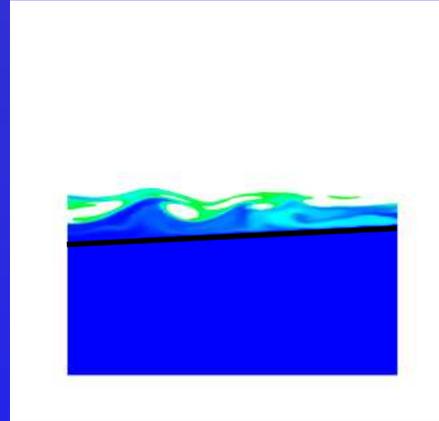
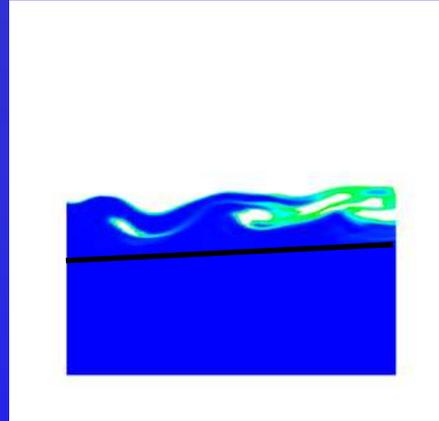
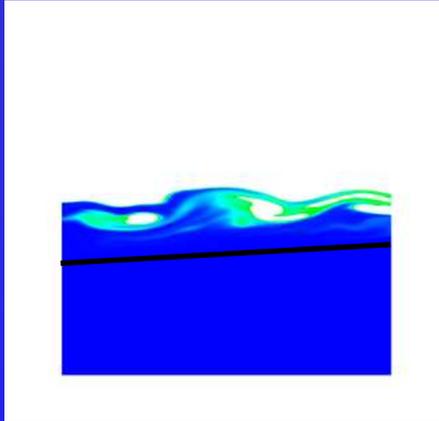
Calcul des valeurs fluctuantes horizontale u' et verticale w'

Kimmoun et Branger (JFM 2007)

Simulations LES

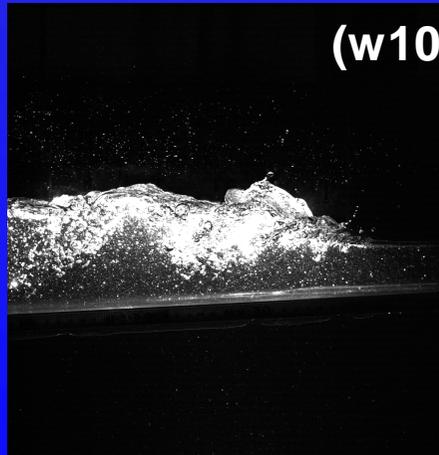
$\Delta x \sim 1$ mm, 520 000 mailles

Lubin et al. (2007)



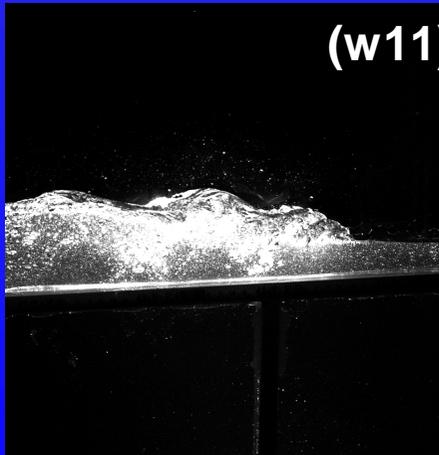
(w9)

$x_9 = 14.225$ m



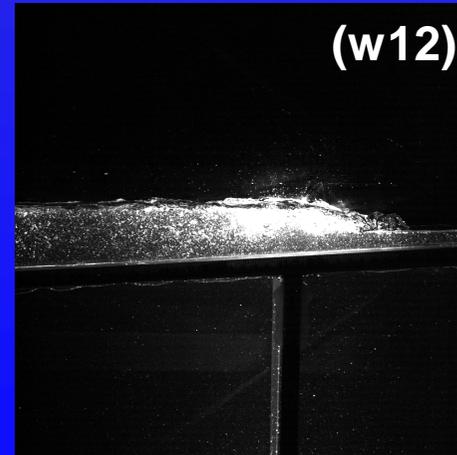
(w10)

$x_{10} = 14.505$ m



(w11)

$x_{11} = 14.795$ m

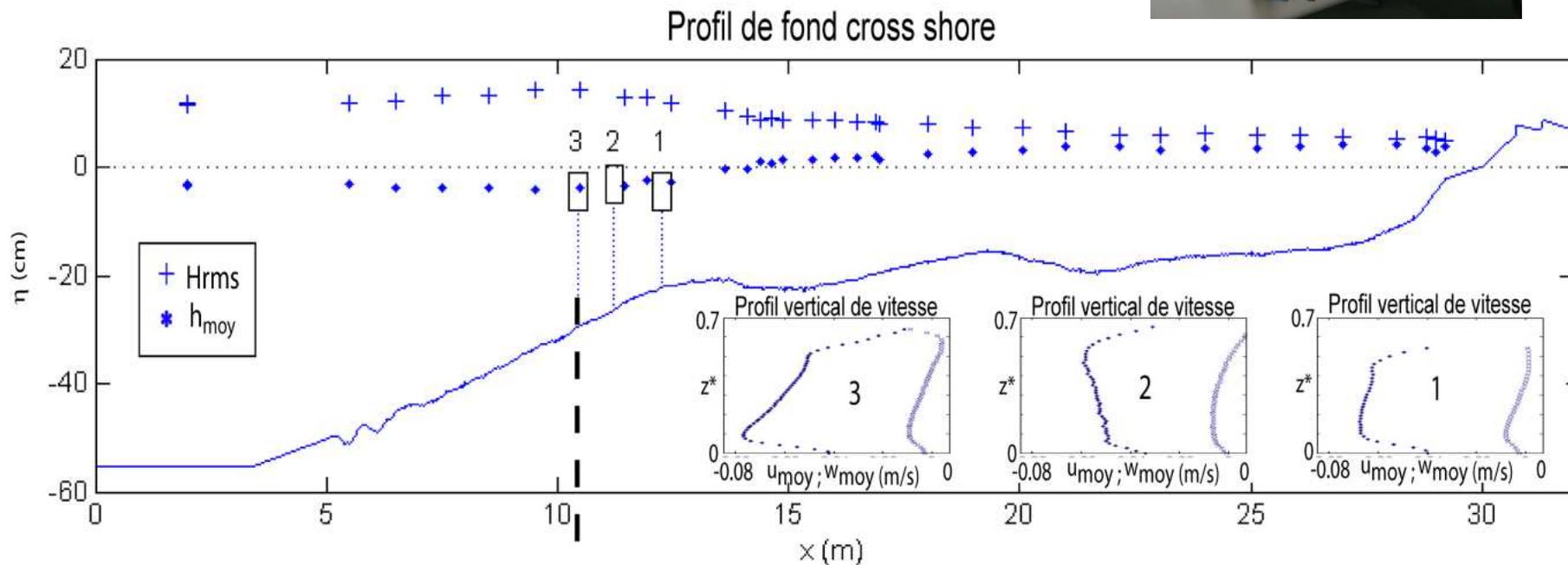
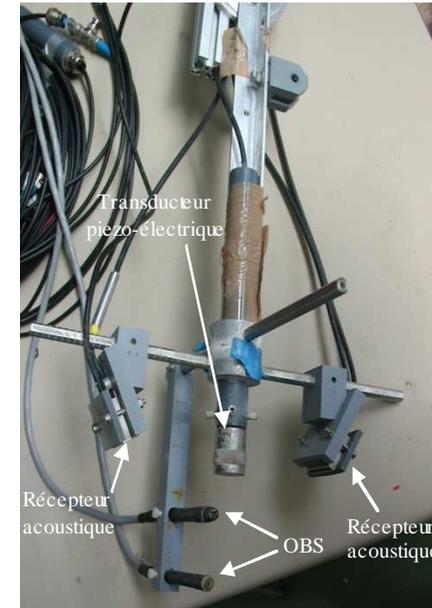


(w12)

$x_{12} = 15.045$ m

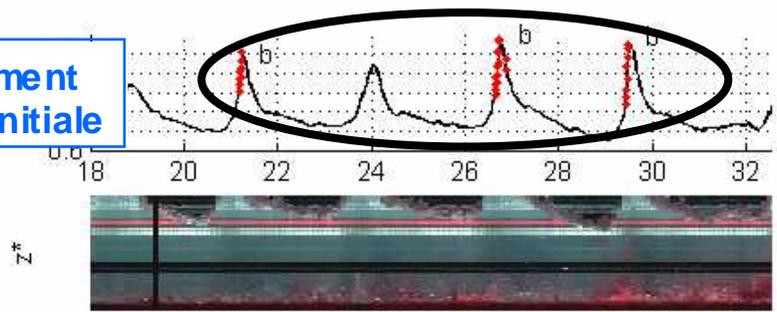
Profileur vélocimétrique Doppler acoustique

Expériences LEGI : houle aléatoire sur fond mobile
Michallet, Hurther, Chassagneux et coll. 2009

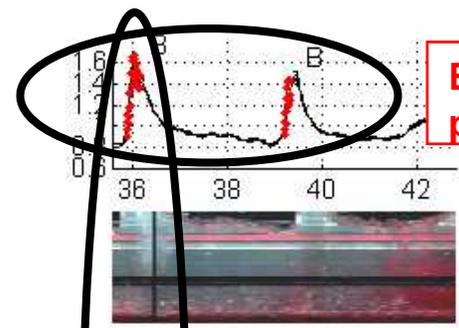


Expériences LEGI

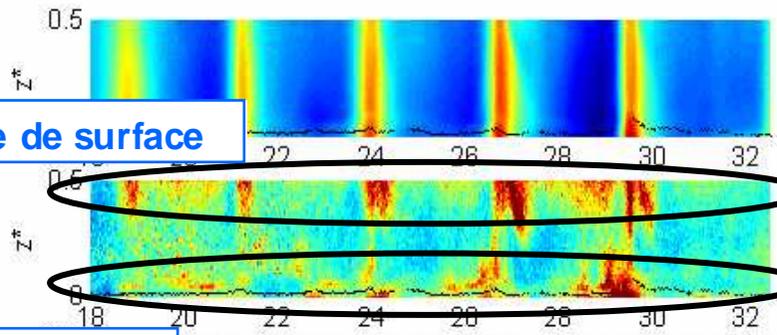
B: Déferlement en phase initiale



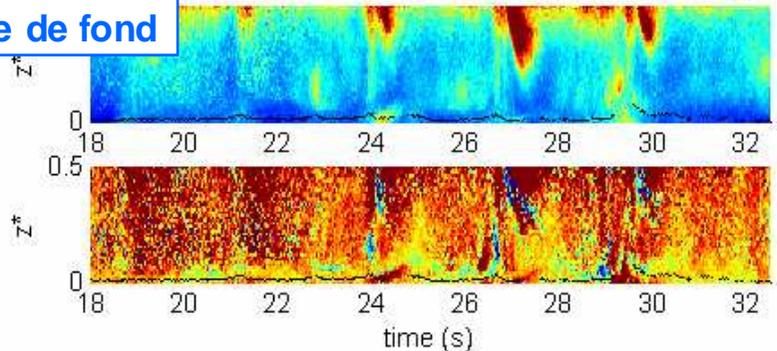
B: Déferlement en phase avancée



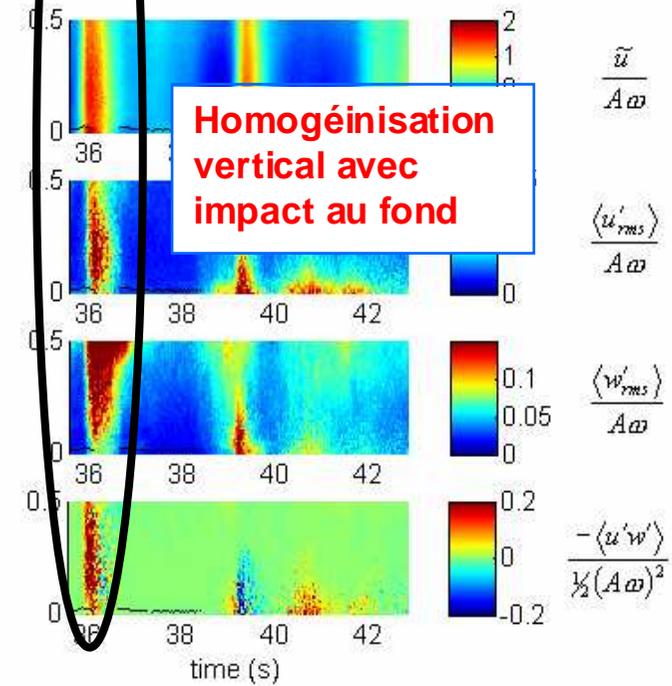
Turbulence de surface



Turbulence de fond



Homogénéisation vertical avec impact au fond



Circulation induite par les vagues

⇒ modèle couplé houle-courant 2DH

⇒ modèle couplé houle-courant 3D

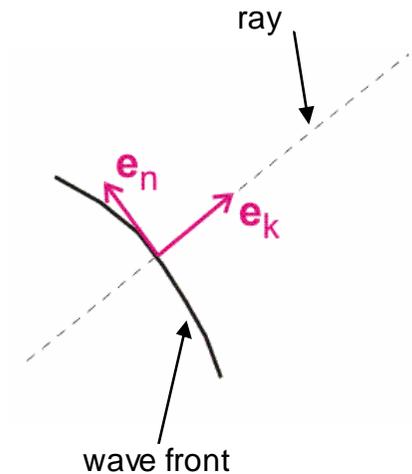
Approche théorique de Smith (2006)

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (A(c_{gj} + U_j)) = -\frac{D_{bm}}{\sigma}$$

$$A = E/\sigma \quad \tilde{M}_i = Ak_i$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{h}}{\partial t} + \nabla \cdot (\bar{h} \mathbf{U}) &= -\nabla \cdot \tilde{\mathbf{M}} \\ \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial t} + (\mathbf{U} \cdot \nabla) \mathbf{U} + g \nabla \bar{\zeta} &= \mathcal{D} \mathbf{e}_k + \frac{\tilde{\mathbf{M}}}{\bar{h}} \wedge (\nabla \wedge \mathbf{U}) - \nabla \tilde{J} \end{aligned}$$

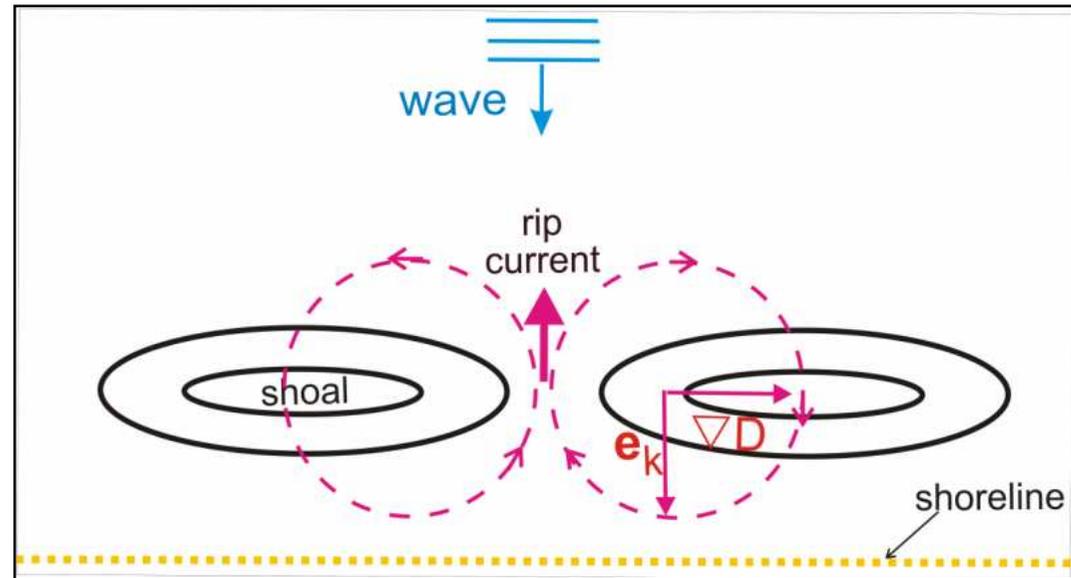
$$\tilde{J} = E \frac{k}{\sinh(2k\bar{h})} \quad \mathcal{D} = \frac{D_{bm}}{\bar{h}c_\phi}$$



Equation de la vorticité



$$\frac{\partial \omega^m}{\partial t} + \nabla \cdot \left(\omega^m \left(\mathbf{U} + \frac{\tilde{\mathbf{M}}}{\bar{h}} \right) \right) = \nabla \mathcal{D} \wedge (\mathbf{e}_k)$$



Modèle 2DH houle-courant :

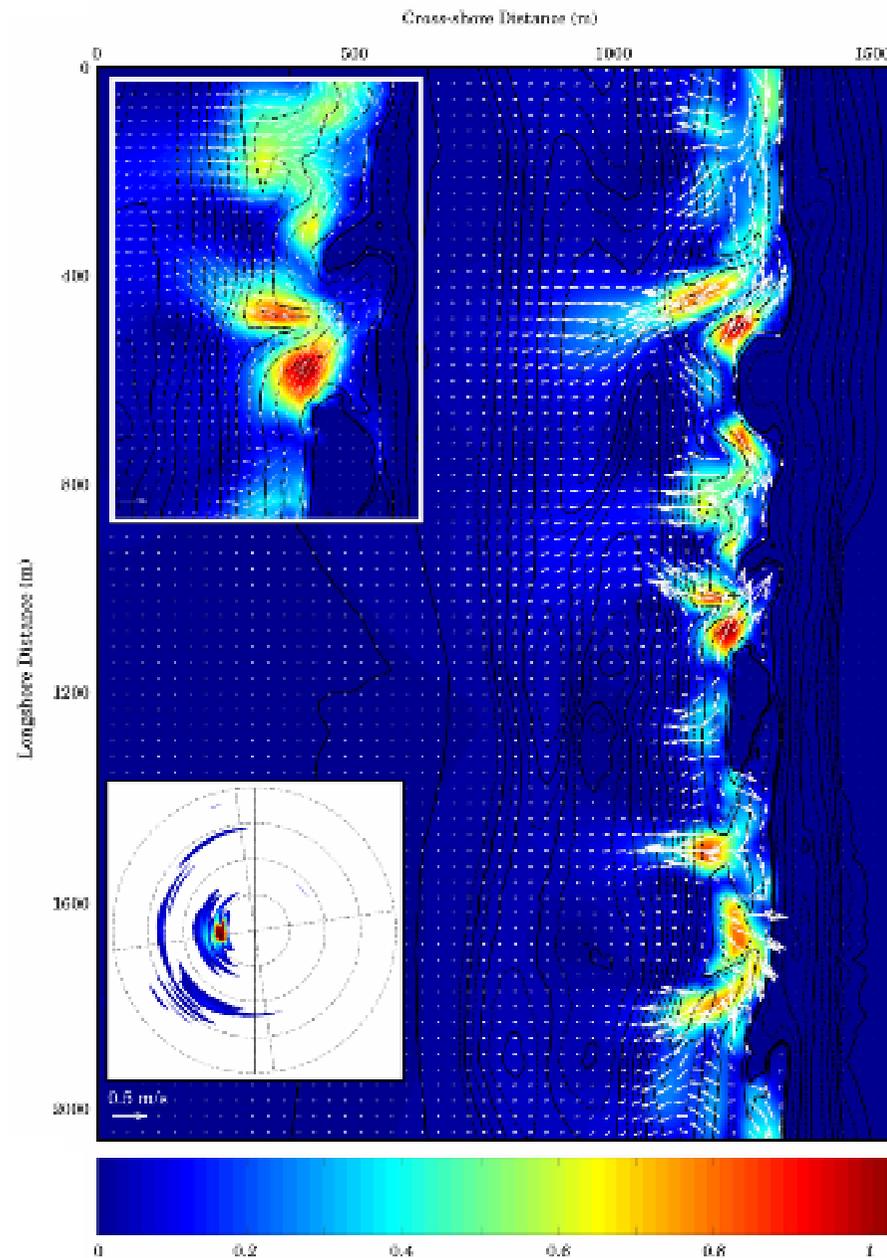
SWAN / MARS2D

EPOC, BRGM et IFREMER

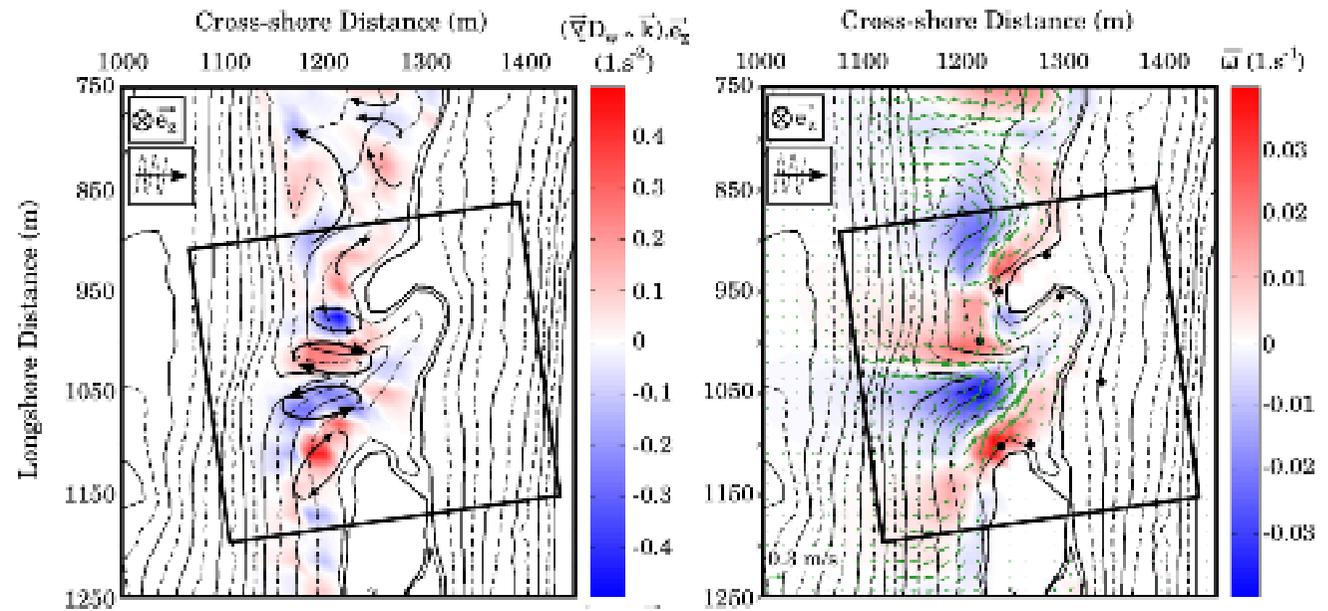
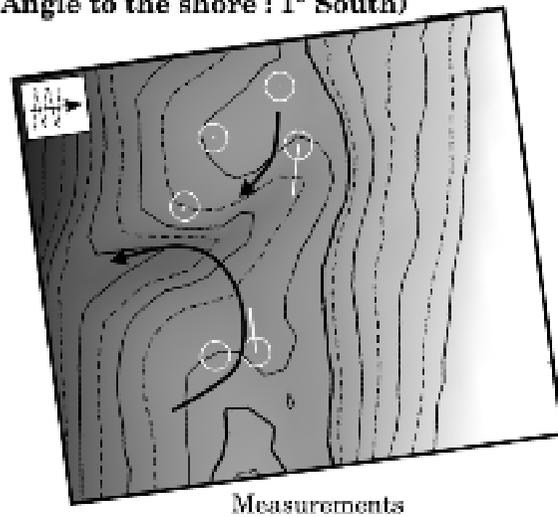
Applications aux campagnes

de mesures ECORS

Bruneau et coll. (2008)

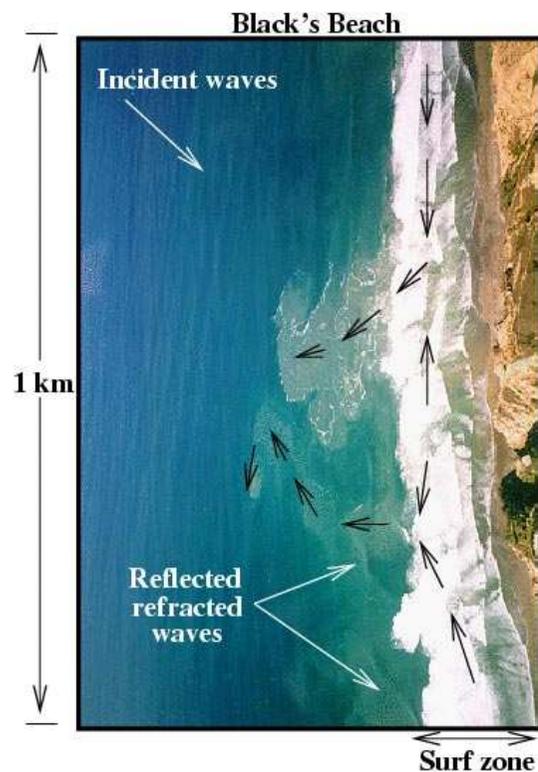


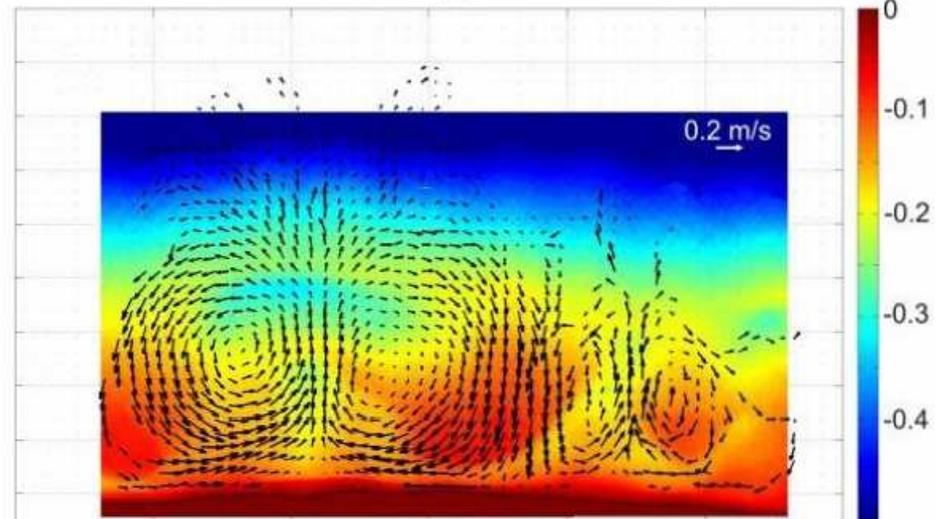
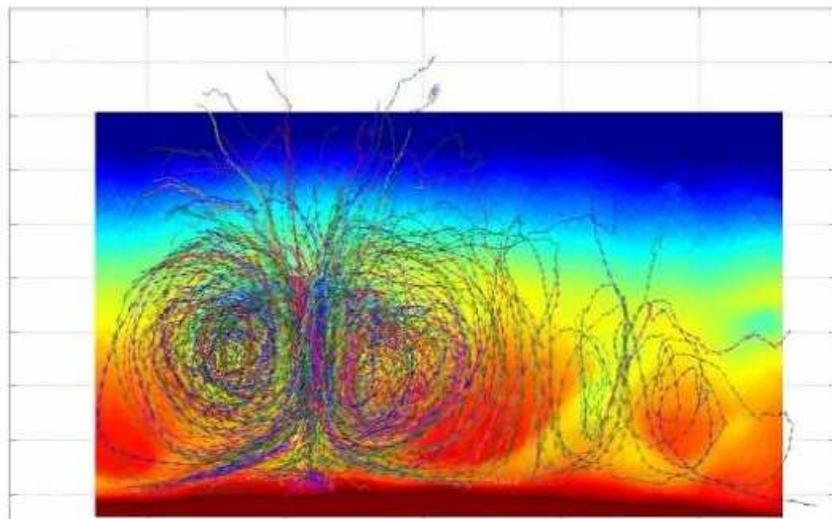
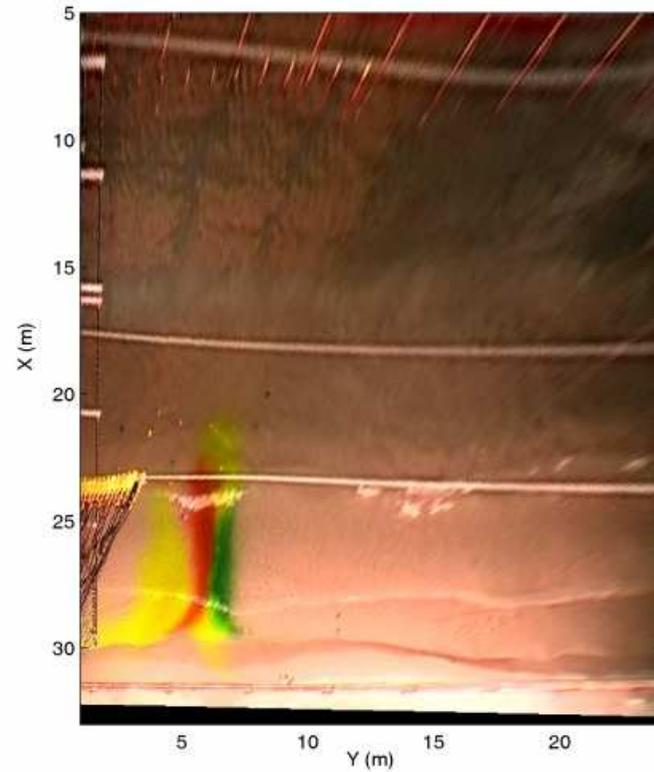
Low-energy conditions
 (Hs=0.9m, Tp=8s,
 Angle to the shore : 1° South)

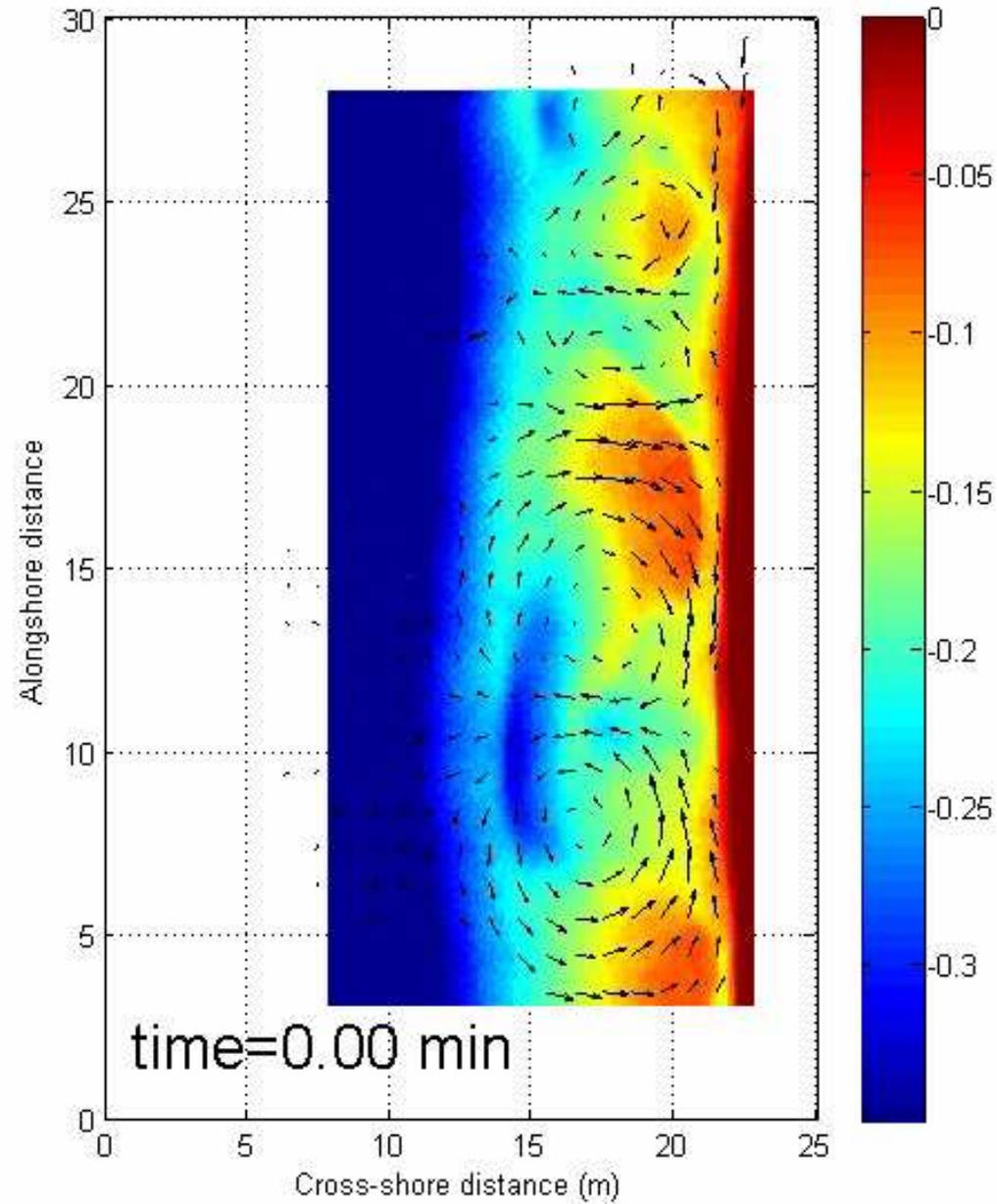


Projet MODLIT (PEA ECORS - RELIEF/INSU) *resp. : P. Bonneton*

Expériences dans le bassin INPG-Sogr eah, 30mx30m, sept.-nov. 2008







Castelle et coll. (2009)

Modèle houle-courant 3D : Symphonie-Swell

GM et LA \Rightarrow thèse Cléa Denamiel

Symphonie (LA) : un modèle de circulation océanique côtière aux équations primitives

Symphonie-Swell :

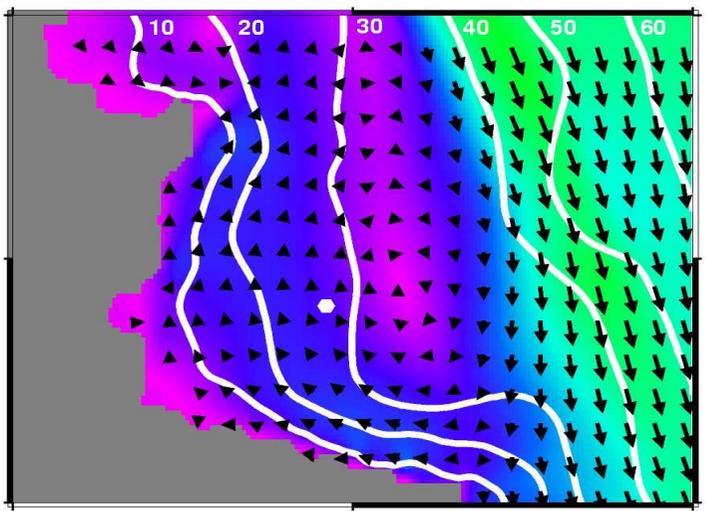
$$\frac{\partial \vec{U}}{\partial t} = \text{Advection} + \text{Diffusion} + \nabla \text{pression} + \text{Coriolis} \\ + \nabla \text{Tensions de Radiations 3D}$$

calculés à partir des caractéristiques de houle
donnés par exemple par un modèle de propagation (REFDIF)

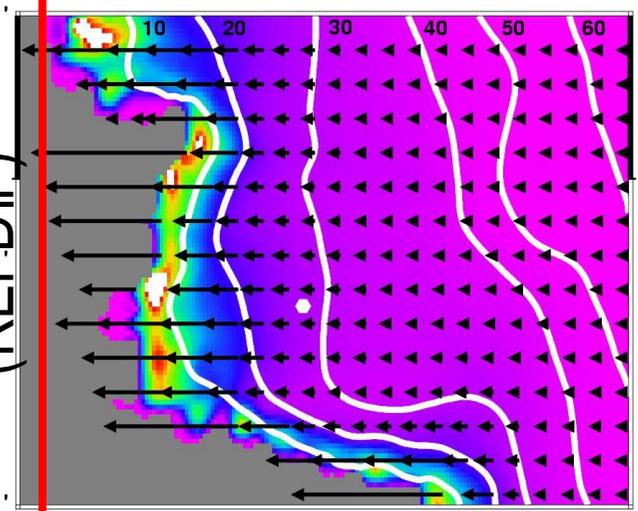
2D: Longuet-Higgins, 1962

3D: Mellor, 2003

SYMPHONIE model

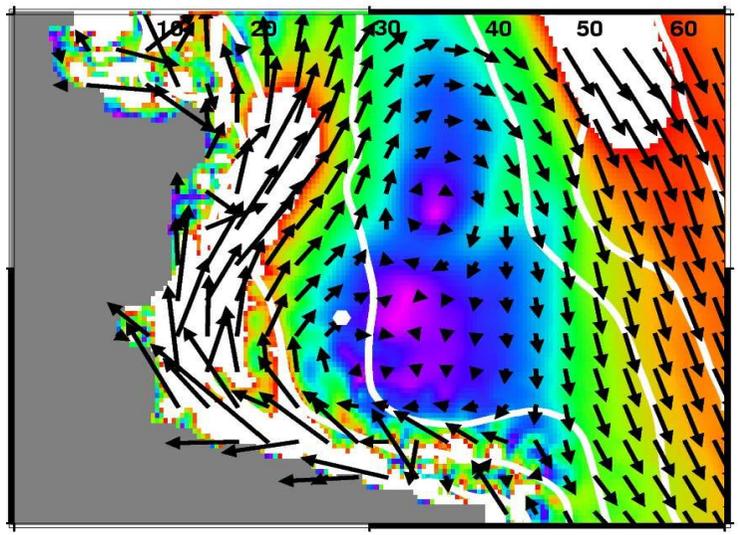


Stokes velocities (REFDIF)



~10 km

S-SWELL model

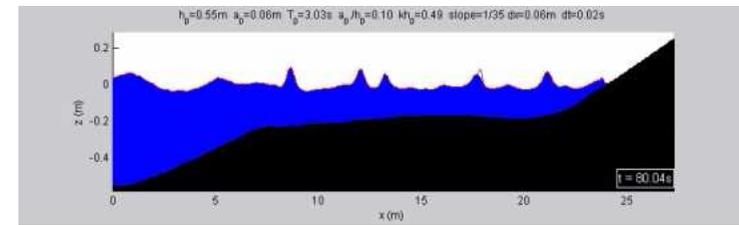


**3 m above bottom currents
in the Banyuls Bay the 12
november 1999 at 18 h
(climax of the storm)**

Thèse Cléa DENAMIEL

Conclusions et perspectives

- Publications 2007-2009 : 35 articles de rang A
- Bases de données uniques au monde issues de l'expérience de laboratoire **MODLIT 2008** et de la campagne de mesures in situ **ECORS 2008** dont l'exploitation doit être poursuivie
- Développements de modèles numériques performants
 - DNS et LES diphasiques
 - modèles instationnaires de type Boussinesq
 - modèles de circulation houle/courant : SWAN / MARS et SYMPHONIE-SWELL



Conclusions et perspectives

- impact des vagues extrêmes sur le littoral, zone de swash, submersion
ANR MISEEVA, ANR HEXECO, ...
- influence des vagues dans les échanges entre le littoral et le plateau continental
⇒ projet **EPIGRAM** (LEFE et ANR)
 - campagne de mesures en zone infra-littorale
 - modèles couplés 3D houle-Courant basés sur des développements théoriques récents (Ardhuin et coll. (2007))
MARS3D / (SWAN et WW3) et SYMPHONIE-SWELL