



# Une approche de modélisation des ondes de surface ⇒ déferlement de la houle, mascarets et tsunamis

*Bonneton Philippe*

METHYS – EPOC

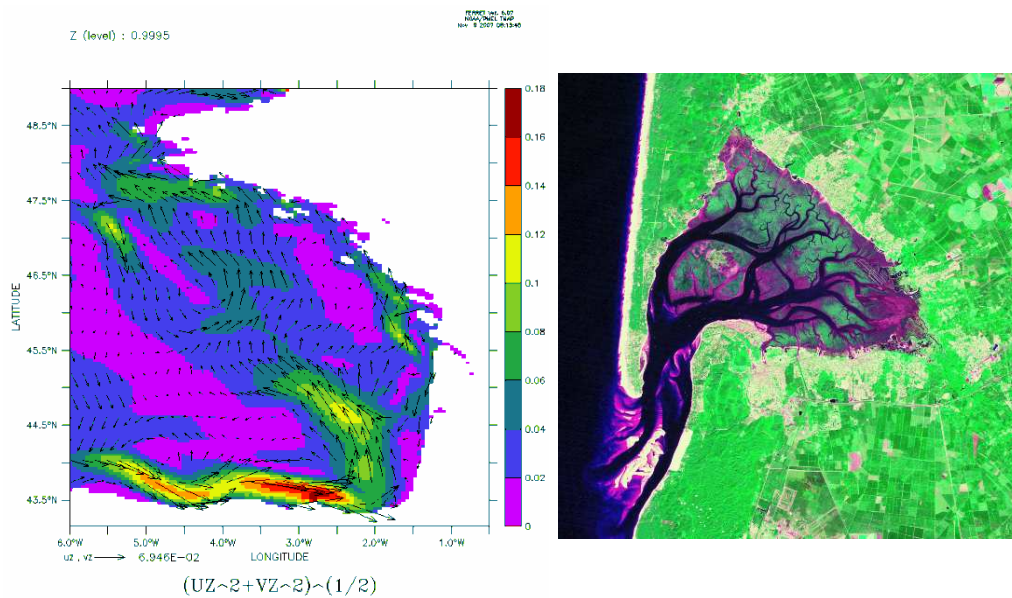
Université Bordeaux 1



# Equipe METHYS

« *Modélisation Expérimentation Télédétection en Hydrodynamique Sédimentaire* »

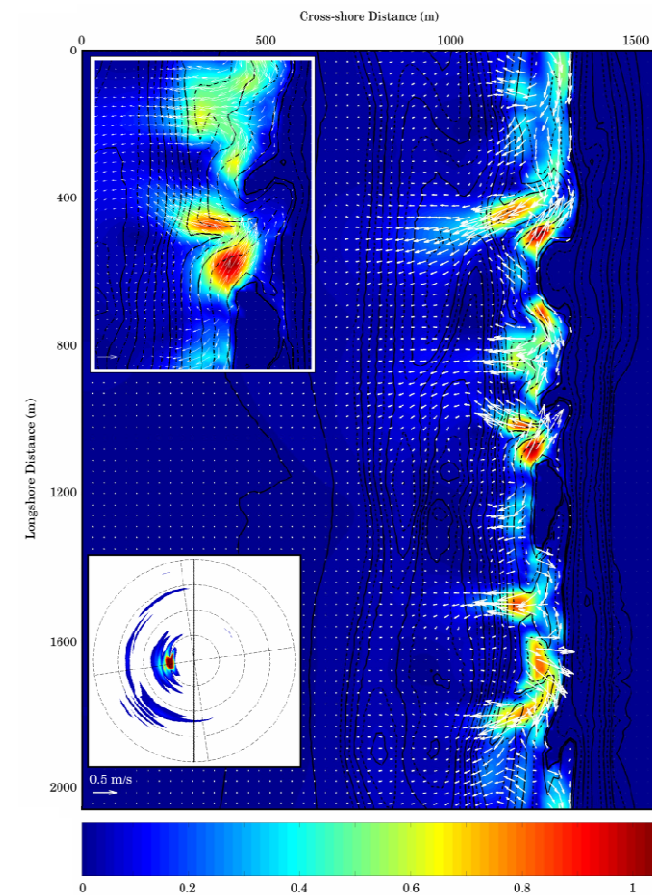
## ■ Zones estuariennes et lagunaires



*Batifoulier et coll. (2008)*

## ■ Morphodynamique des côtes sableuses

## ■ Vagues et circulations induites

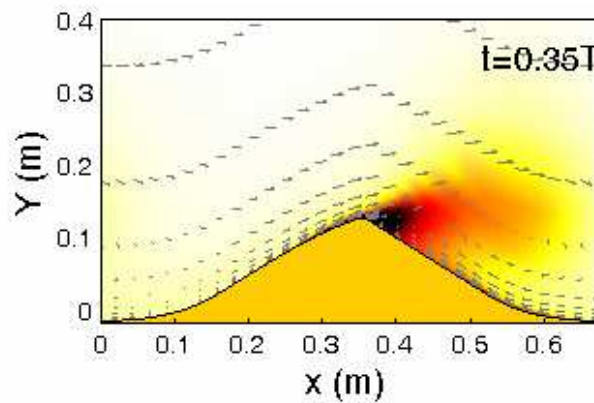
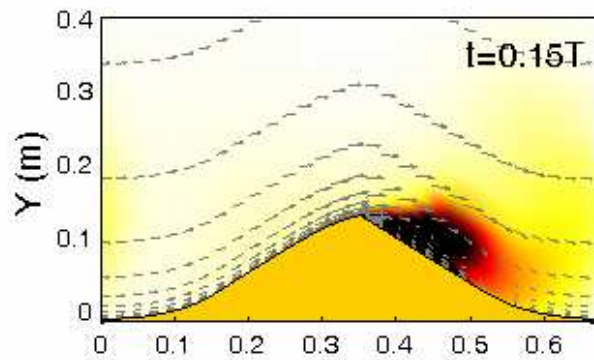


*Bruneau et coll. (2008)*

# Equipe METHYS

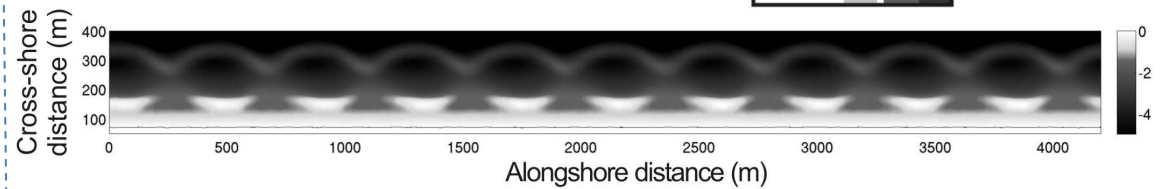
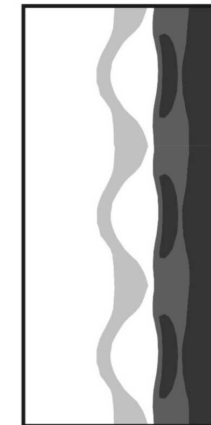
## ■ Morphodynamique des côtes sableuses sous l'action des vagues

### Petites échelles



*Marieu et coll. (2008)*

### Moyennes échelles



*Castelle et coll. (2008)*



Séminaire MAMNO  
**Bruno Castelle**  
15 décembre 2008

## Autres domaines d'application des vagues en milieu littoral

■ **Submersion** ⇒ vagues de tempête

⇒ tsunamis



Déferlement des eaux du tsunami au milieu d'un hôtel, à Khao Lak, Thaïlande, situé 50 km au Nord de l'île de Phuket (Photo par John M. Thompson).

■ **Mascaret**

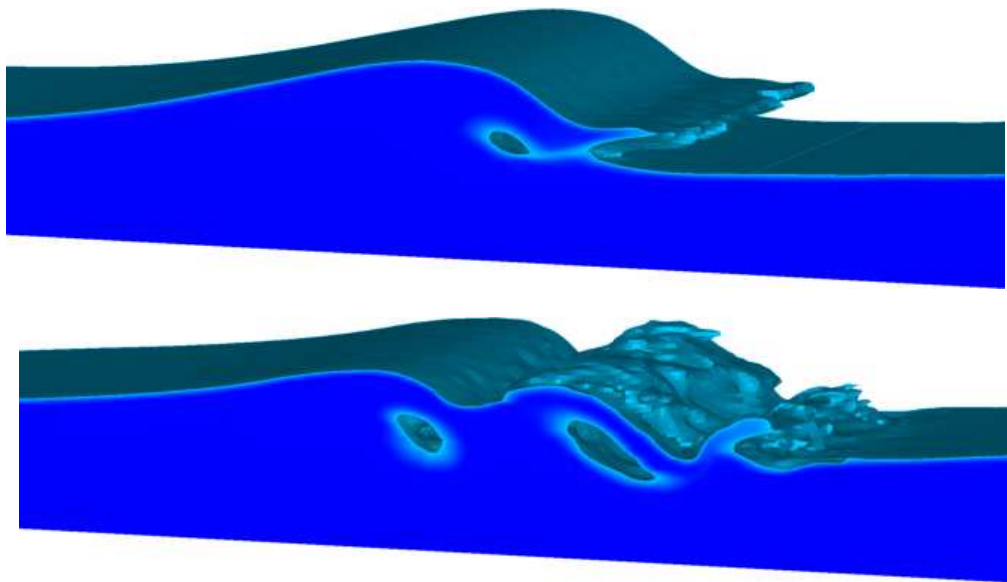


# Stratégie de modélisation des vagues

## Résolution des équations de Navier Stokes diphasiques 3D (DNS et LES) ?

### Déferlement à faible nombre de Reynolds

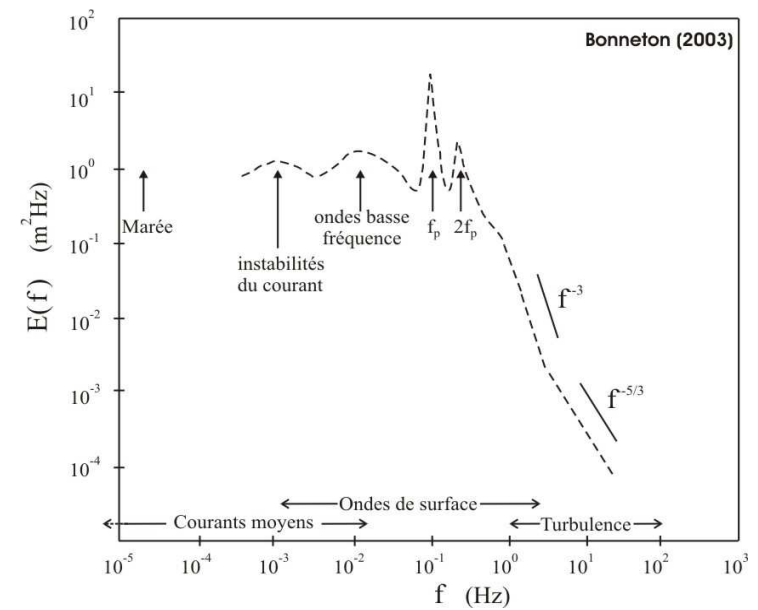
$Re \sim 5 \cdot 10^4$



*Lubin et coll. (2006)*

### Déferlement en milieu naturel

$Re \sim 10^6$



**DNS :**

$N=D/\Delta x \sim 10^3 \Rightarrow N^3 \sim 10^9$  mailles !



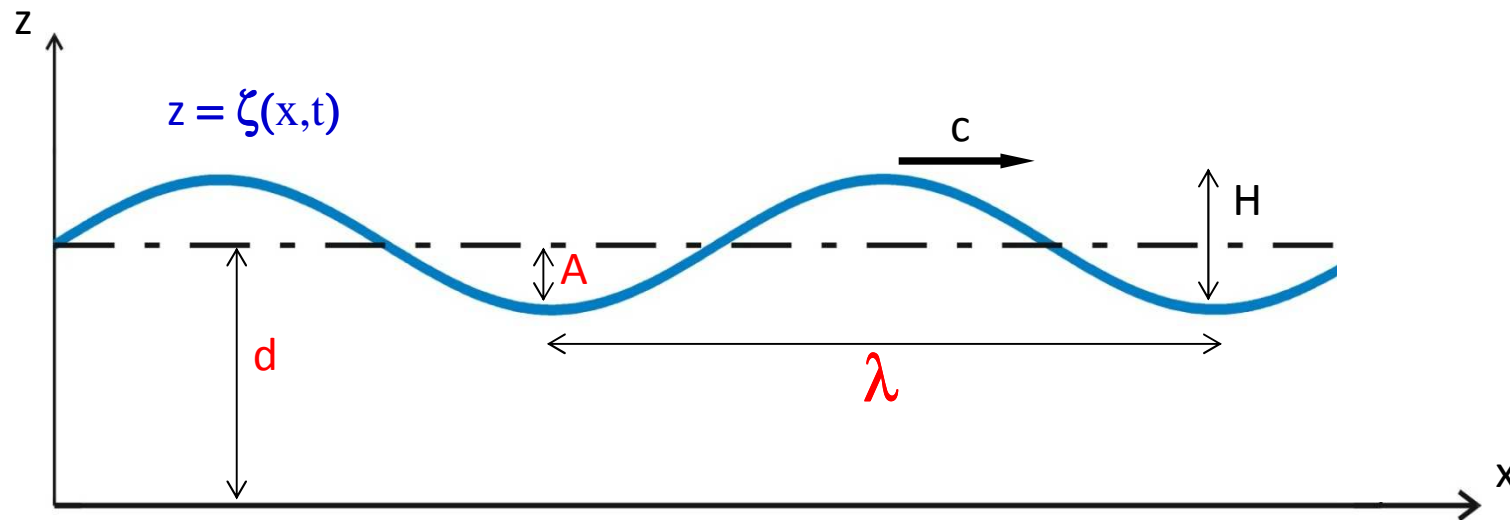
**Méthodes réservées à « l'expérimentation numérique »**

## Stratégie de modélisation

Une autre approche est nécessaire pour les applications océanographiques

⇒ réduire la complexité du problème

Analyse dimensionnelle et comportement asymptotique des équations



La dynamique des vagues est contrôlée par 2 nombres sans dimension :

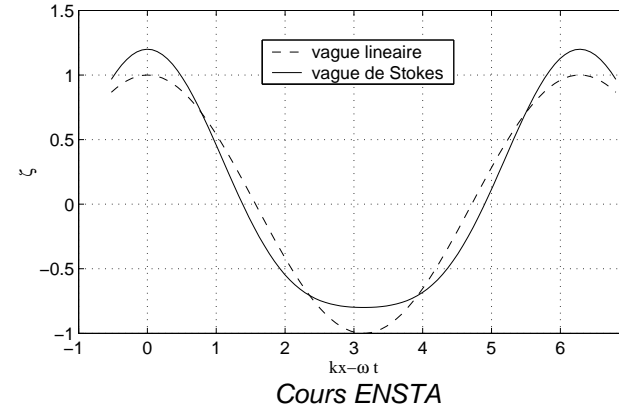
$\varepsilon = A/d$  : non-linéarité      et       $\mu = d/\lambda$  : peu profond

ou       $Ca = A/\lambda = \varepsilon \mu$  : cambrure

# Stratégie de modélisation

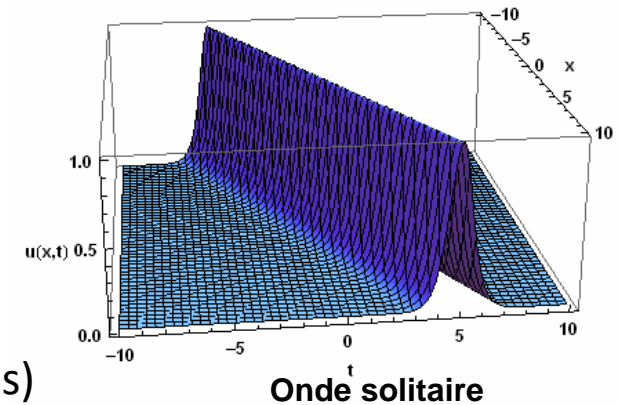
**1850 - 1980** : travaux théoriques de mathématiciens et physiciens

☐  ~~$\mu \ll 1$~~      $Ca \ll 1$     Stokes (1880)



☐  ~~$\mu \ll 1$~~     •  $\varepsilon = O(\mu)$     - Korteweg et De Vries (1895),  
 Boussinesq (1872) (fonds plats)

Solution of KdV Equation, 1 Soliton,  $b_1 = 1$



- Peregrine (1967) (fonds variables)

•  $\varepsilon = O(1)$     - Saint Venant (1871) (non-dispersif)  
 - Serre (1953) et Green Naghdi (1976) (dispersif)

## Stratégie de modélisation

### 1980 - aujourd'hui : applications océanographiques et extension des modèles

- ❑ **Dispersion** :
  - Witting (1984), Schaffer et Madsen (1995), Lannes et Saut (2006), ...
  - Matsuno (1993) « modèle universel » en fonction de  $Ca$
  
- ❑ **Dissipation** : Zelt (1991), Kennedy et coll. (2000), Cienfuegos et coll. (2005), Bonneton (2007), ...

- Lannes et Bonneton (2008)** :
- le modèle de Matsuno n'est pas universel
  - en milieu littoral (peu profond) le modèle fondamental est celui de **Green Naghdi**



## Equations de Green Naghdi

$$\begin{aligned}\partial_t \zeta + \nabla \cdot (h \mathbf{v}) &= 0 \\ \partial_t \mathbf{v} + \varepsilon (\mathbf{v} \cdot \nabla) \mathbf{v} + \nabla \zeta &= \mu^2 \frac{\mathbf{S}}{h} + O(\mu^4)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mathbf{S} &= \frac{\epsilon}{3} \nabla [h^3 ((\mathbf{v} \cdot \nabla)(\nabla \cdot \mathbf{v}) - (\nabla \cdot \mathbf{v})^2)] \\ &+ \frac{1}{3} \nabla (h^3 \nabla \cdot \partial_t \mathbf{v}) + \frac{1}{2} [\nabla (h^2 \nabla d \cdot \partial_t \mathbf{v}) + h^2 \nabla d \nabla \cdot \partial_t \mathbf{v}] - h \nabla d \nabla d \cdot \partial_t \mathbf{v} \\ &+ \frac{\epsilon}{2} [\nabla (h^2 (\mathbf{v} \cdot \nabla)^2 d) + h^2 ((\mathbf{v} \cdot \nabla)(\nabla \cdot \mathbf{v}) - (\nabla \cdot \mathbf{v})^2) \nabla d] - h ((\mathbf{v} \cdot \nabla)^2 d) \nabla d\end{aligned}$$

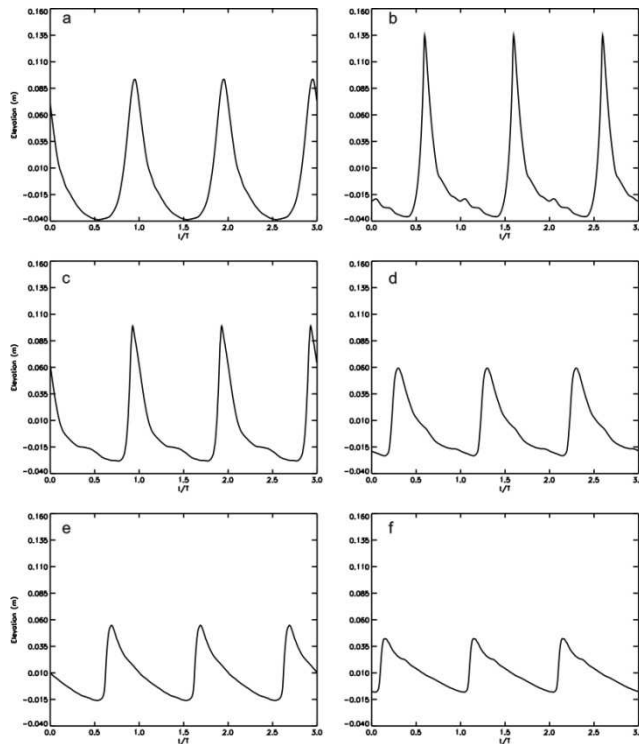


**Modélisent la propagation non-linéaire des vagues en zone littorale jusqu'au déferlement**

# Modélisation du déferlement

La dissipation d'énergie par turbulence dans les fronts d'onde contrôle :

## ➔ Forme des vagues



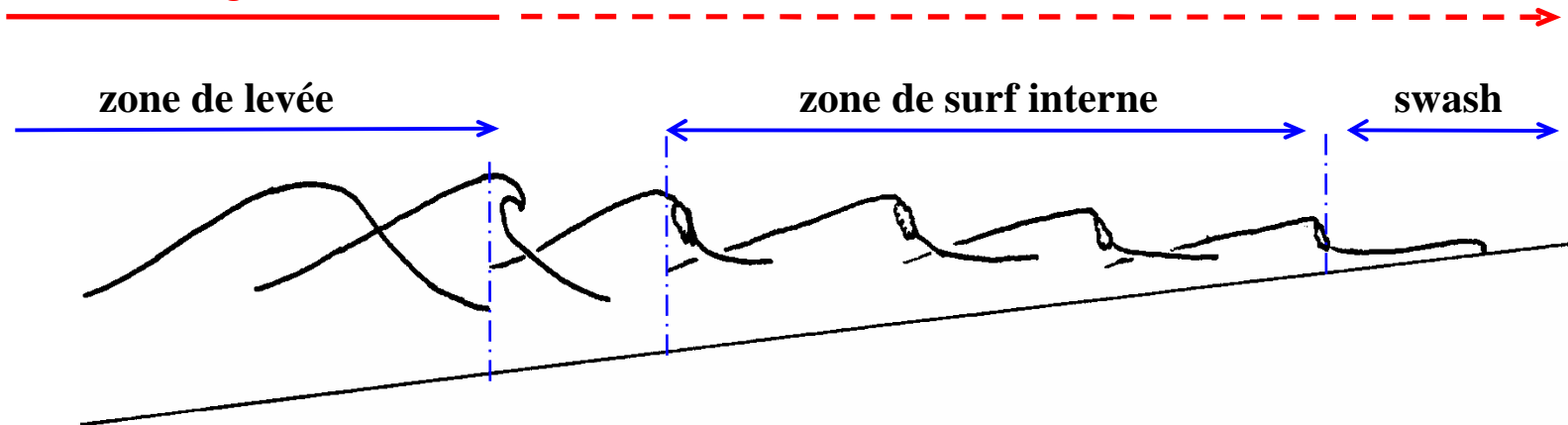
## ➔ Circulation : courants moyens et setup

Nombreux programmes nationaux et internationaux :

IDA0-INSU, ANR, ECORS, ECOS, ...

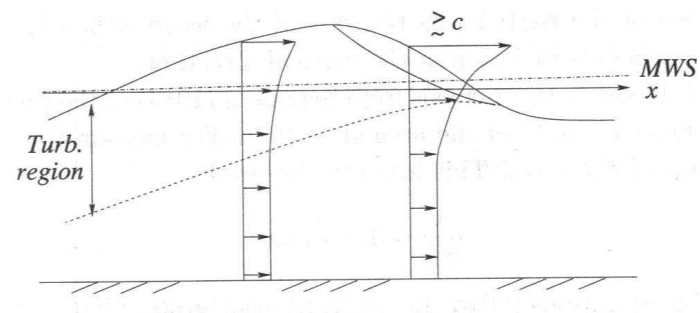
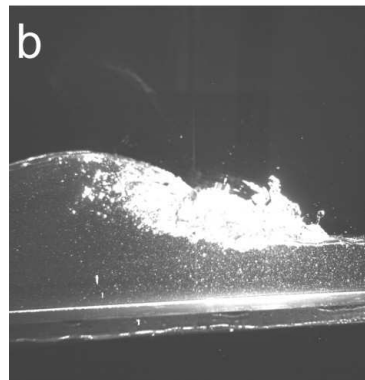
# Paramétrisation du déferlement dans les équations de GN

Green Naghdi

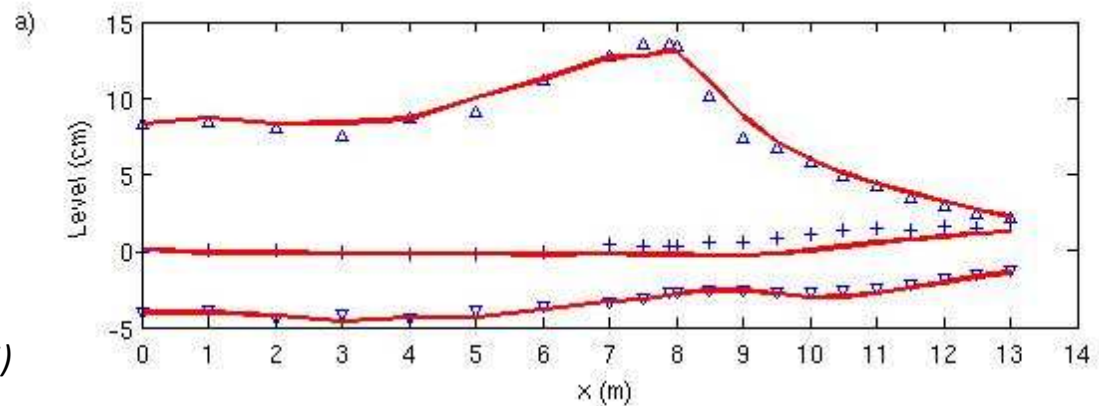
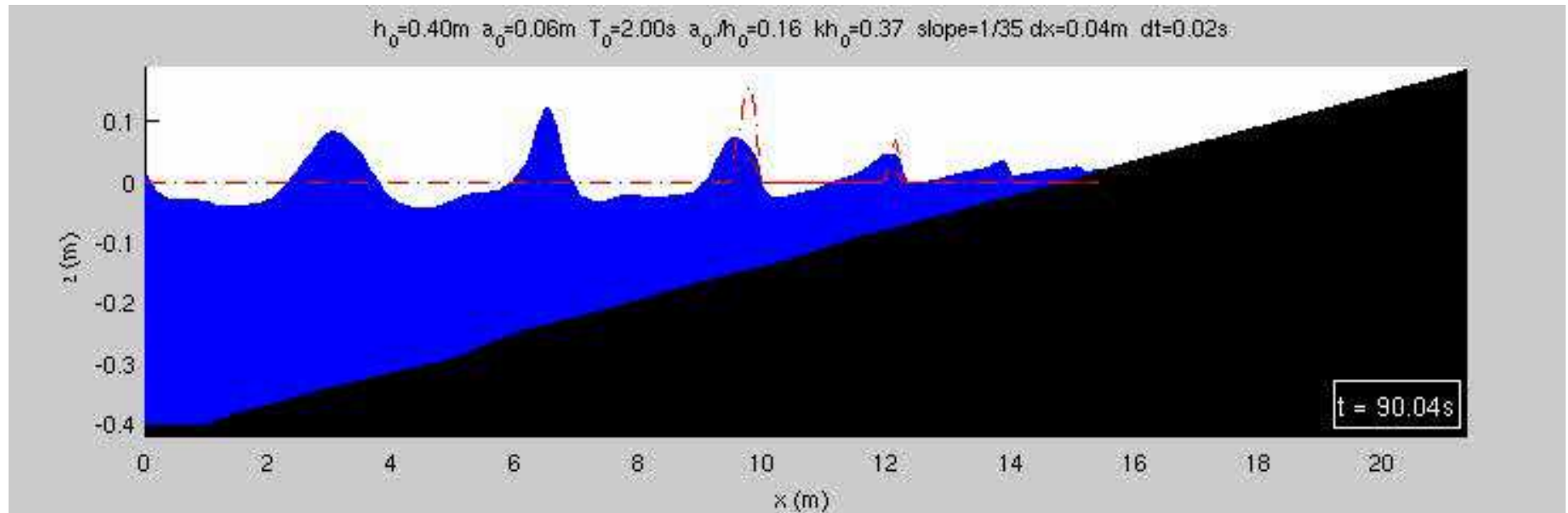


Collaboration avec R. Cienfuegos (PUC) et E. Barthélémy (LEGI)

⇒ extension de la paramétrisation de Kennedy et coll. (2000)

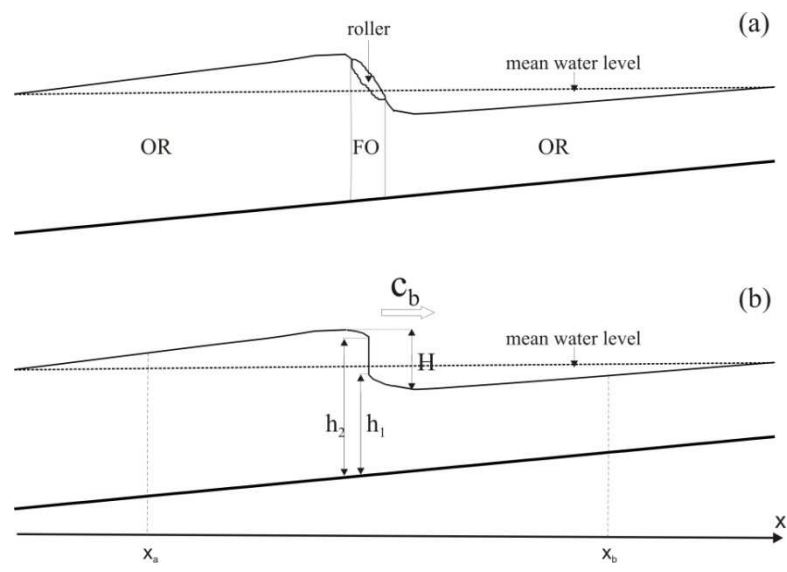
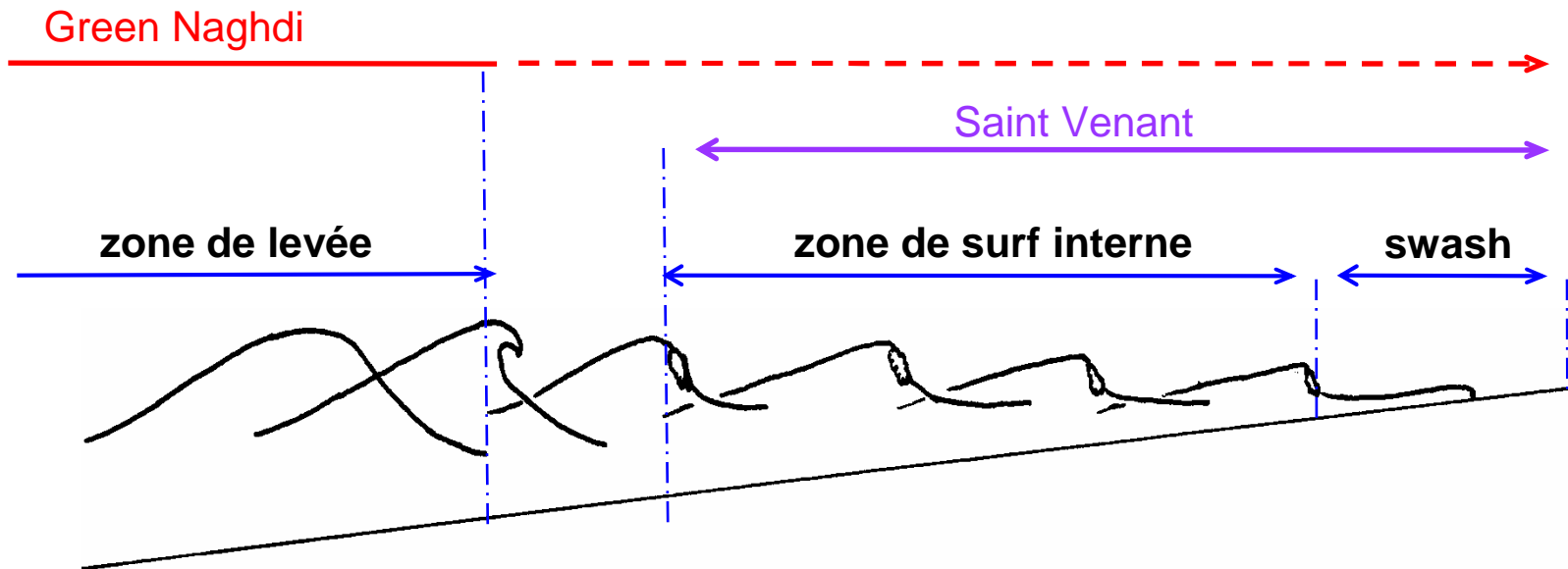


# Paramétrisation du déferlement dans les équations de GN



*Cienfuegos, Barthélémy et Bonneton. (2005)*

# Modélisation de la zone de surf – Equation de Saint Venant avec choc



**Conditions de saut :**

$$-c_b[h] + [hu] = 0$$

$$-c_b[hu] + [hu^2 + \frac{1}{2}gh^2] = 0$$

modèle numérique à capture de choc

# Modélisation de la zone de surf – Equation de Saint Venant avec choc

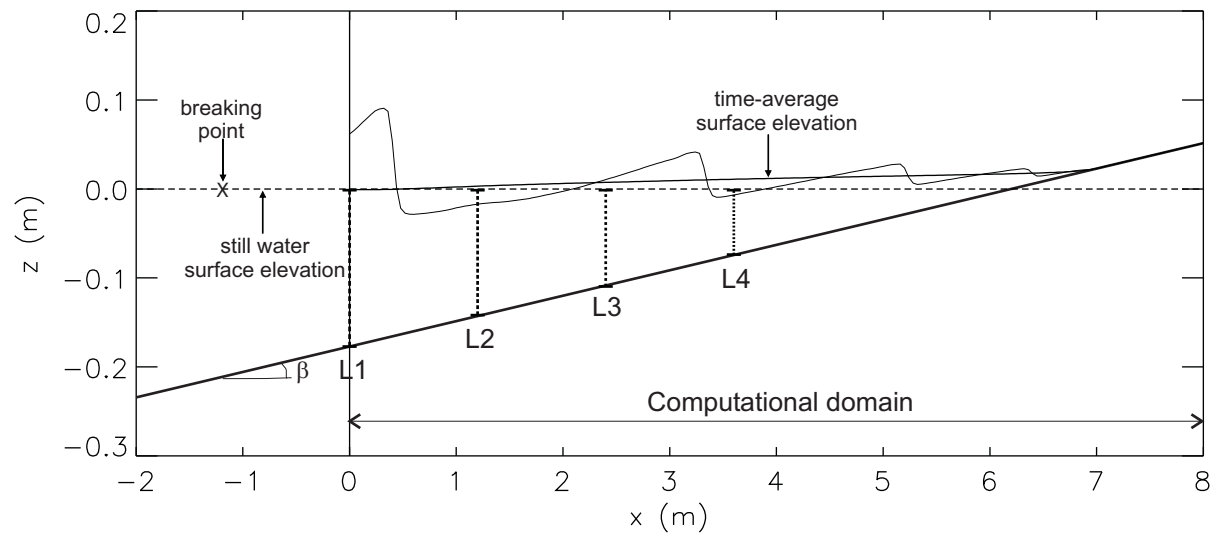
Validation par rapport à des expériences de laboratoire

## Expérience de Cox (1995)

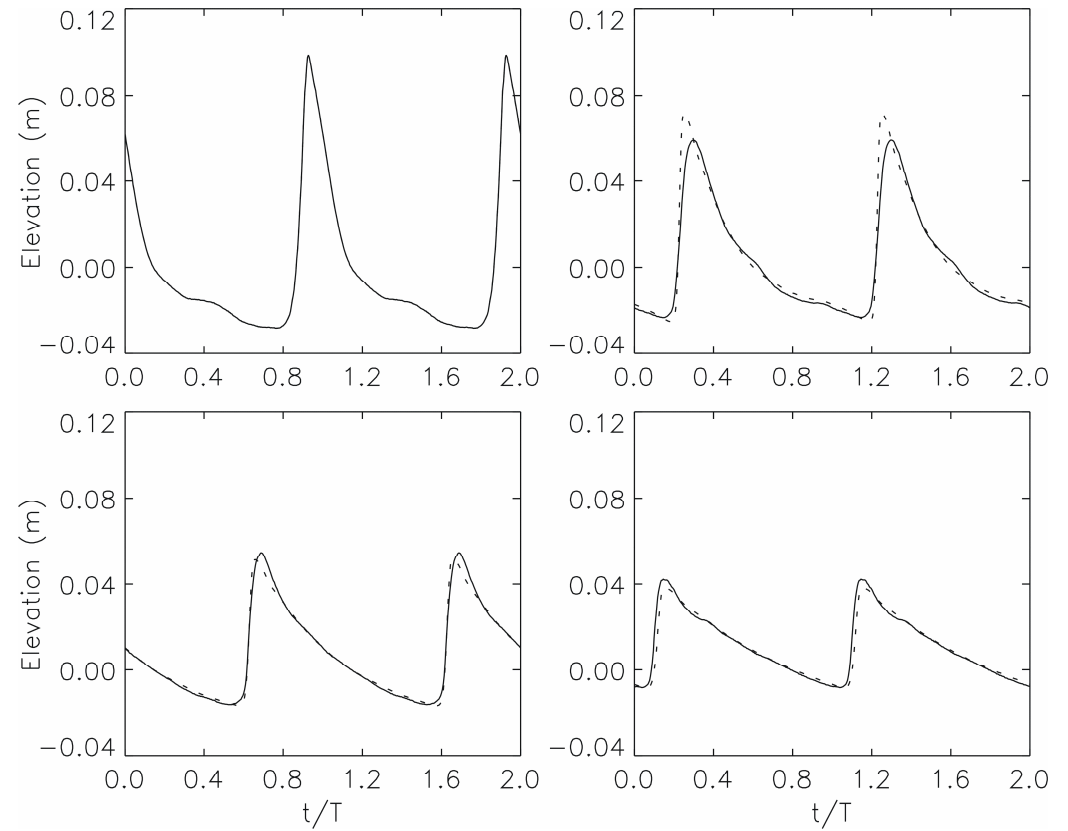
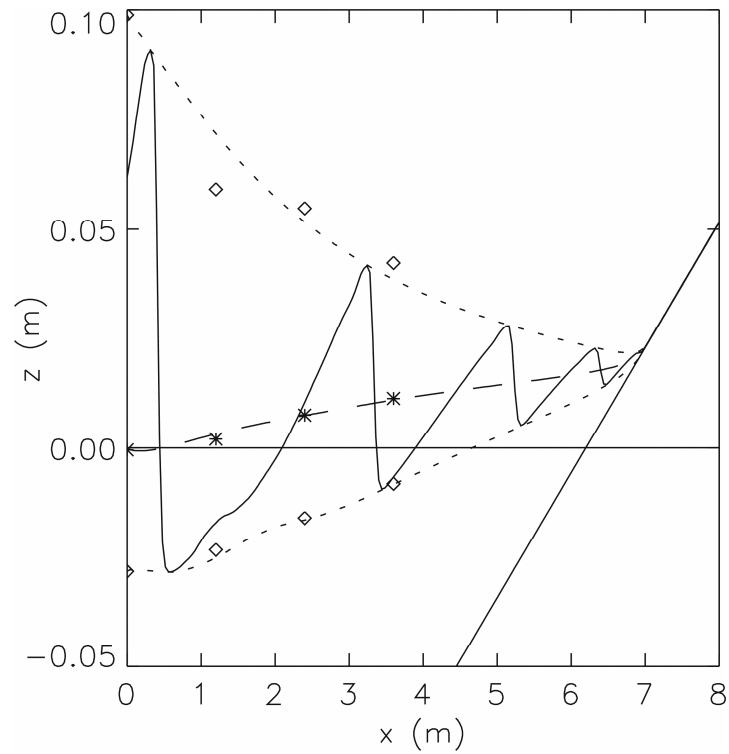
$H_0=0.115$  m,  $T=2.2$  s,  $\beta=1/35$

## Résolution numérique

$\Delta x=0.04$  m,  $\Delta t=0.01$  s,  $f_r=0.015$



# Modélisation de la zone de surf – Equation de Saint Venant avec choc



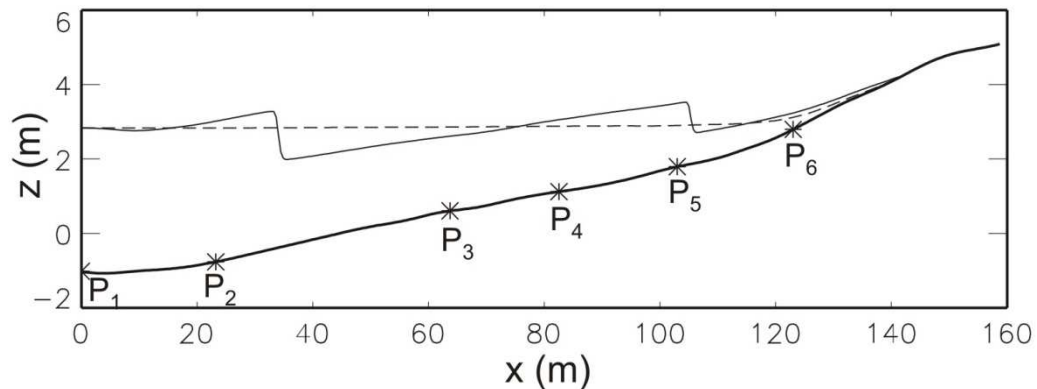
Bonneton (2003)

# Modélisation de la zone de surf – Equation de Saint Venant avec choc

## Validation par rapport à des mesures in situ

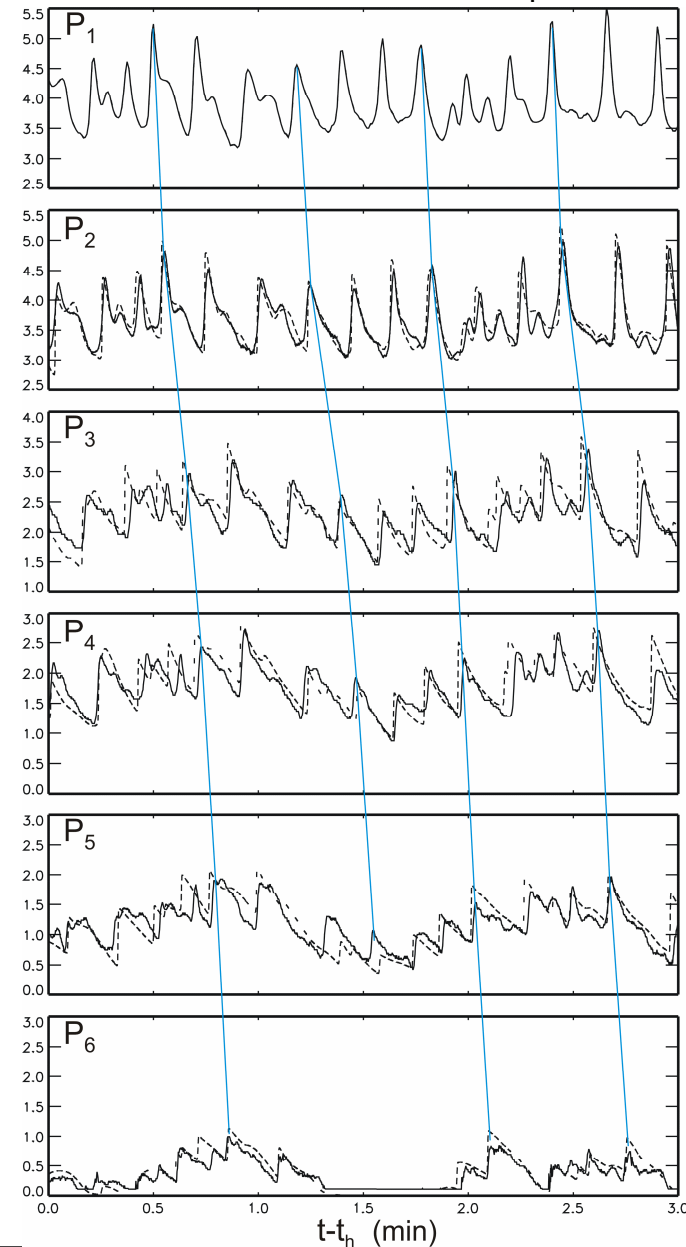
*Bonneton et coll. (2004)*

- ◆ Offshore wave conditions:  $\theta \approx 0^\circ$ ,  $H_s=3$  m,  $T_s=12$  s
- ◆ Maximum surf zone width: 500 m



Bottom topography and pressure sensor locations

◆  $\Delta x=0.4$  m,  $\Delta t=0.025$  s,  $f_r=0.015$

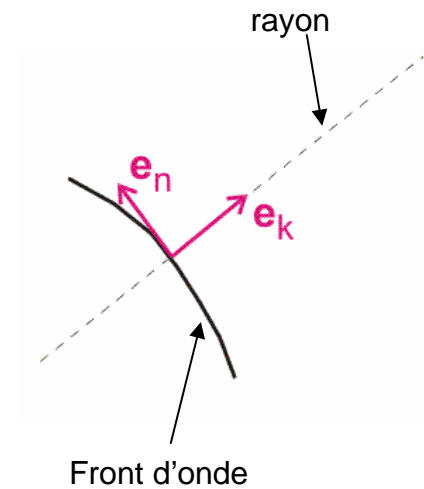




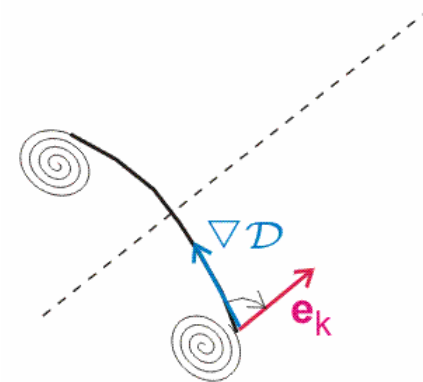
# Circulation moyenne induite par les vagues en zone de surf

## Théorie des chocs 2D

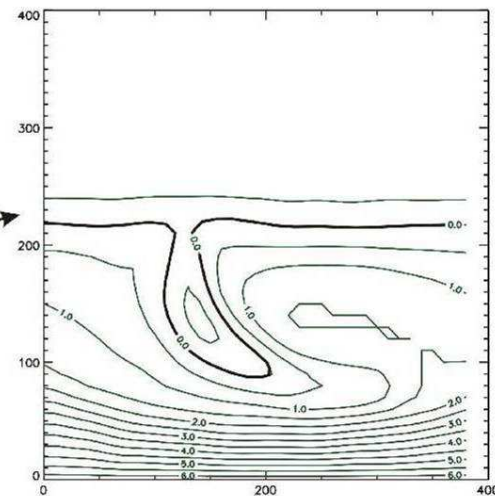
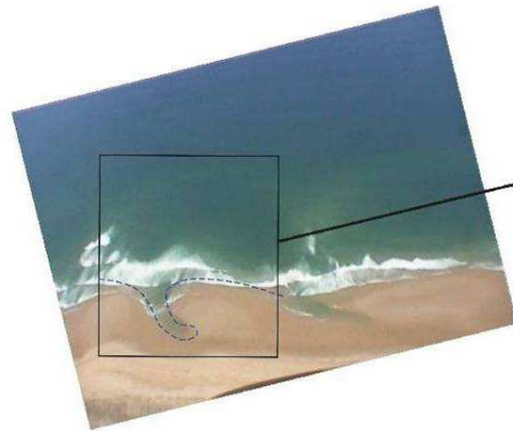
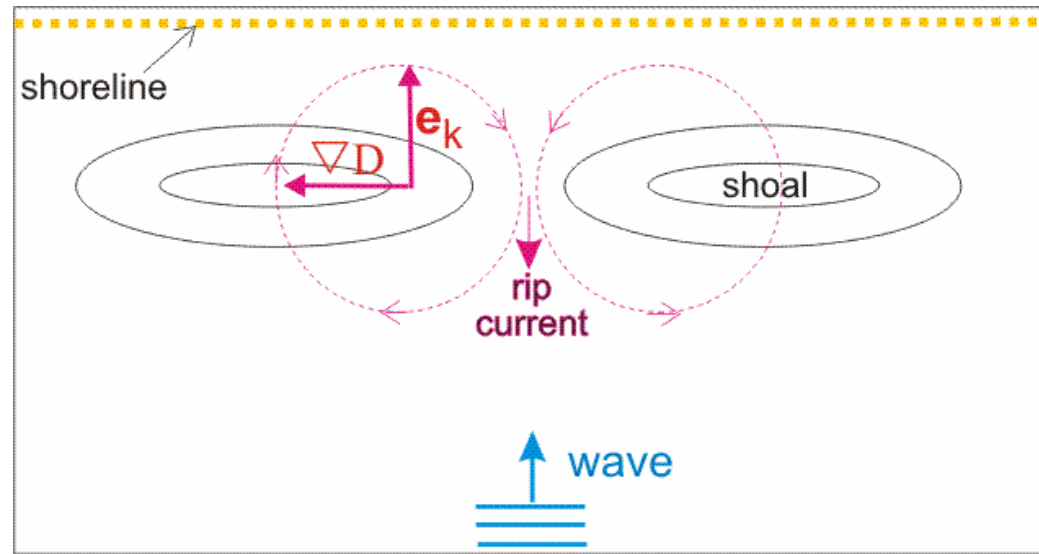
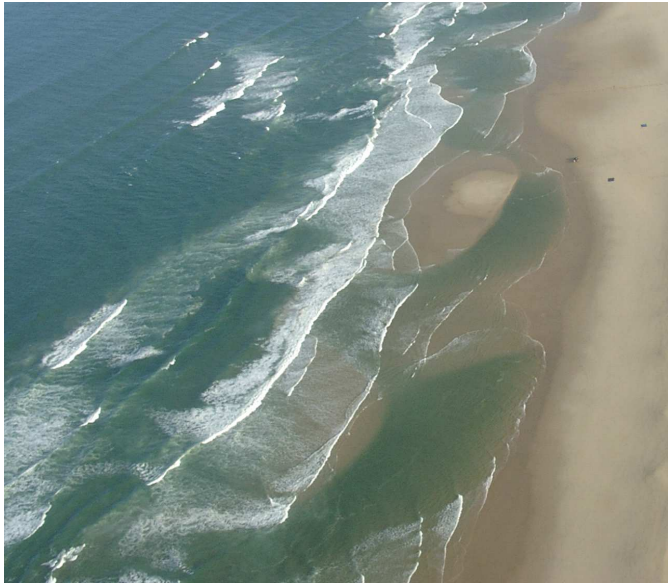
$$\frac{\partial \bar{h}}{\partial t} + \nabla \cdot (\bar{h} \bar{\mathbf{u}}) = -\nabla \cdot \tilde{M}$$
$$\frac{\partial \bar{\mathbf{u}}}{\partial t} + (\bar{\mathbf{u}} \cdot \nabla) \bar{\mathbf{u}} + g \nabla \bar{\zeta} = \mathcal{D} \mathbf{e}_k - \nabla \tilde{J} - \overline{\tilde{\omega} (\tilde{\mathbf{u}} \wedge \mathbf{e}_z)}$$



$$\frac{\partial \bar{\omega}}{\partial t} + \nabla \cdot (\bar{\omega} \bar{\mathbf{u}} + \tilde{\omega} \tilde{\mathbf{u}}) = \nabla \mathcal{D} \wedge \mathbf{e}_k$$



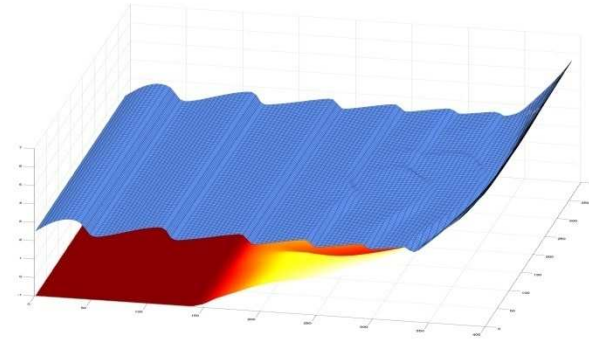
# Circulation moyenne induite par les vagues en zone de surf



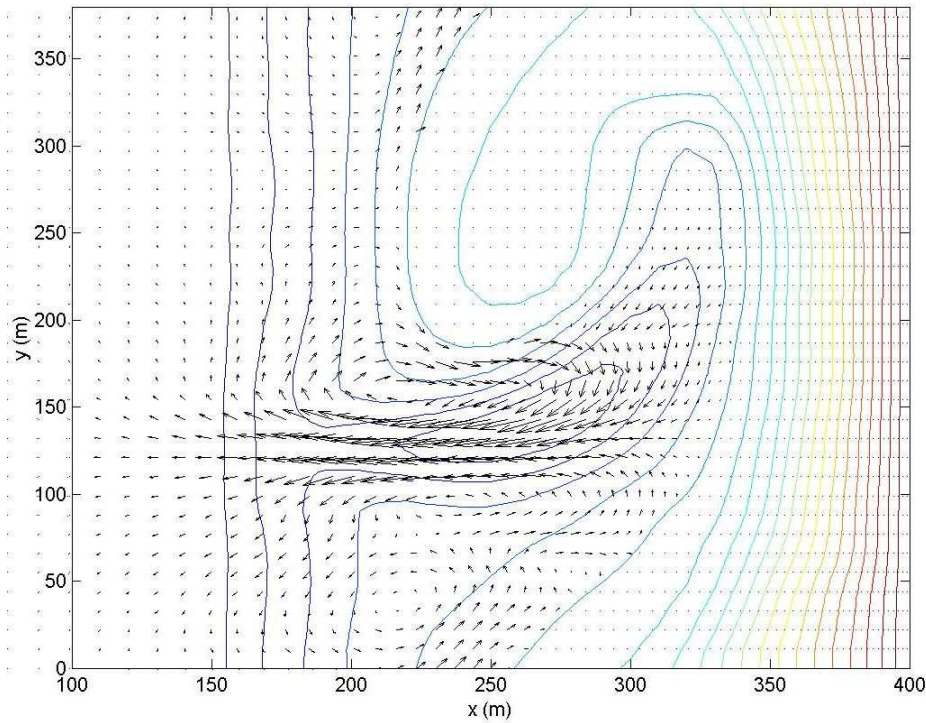
# Circulation moyenne induite par les vagues en zone de surf

Code **SURF\_WB**

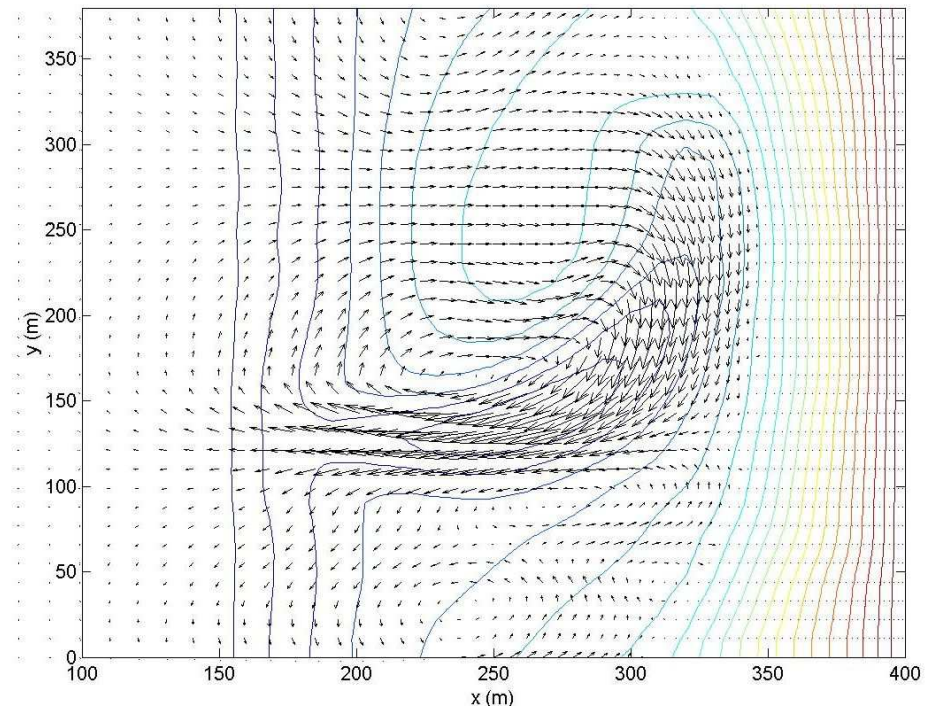
*Marche et Bonneton (2006)*



$h_0 = 1\text{m}$



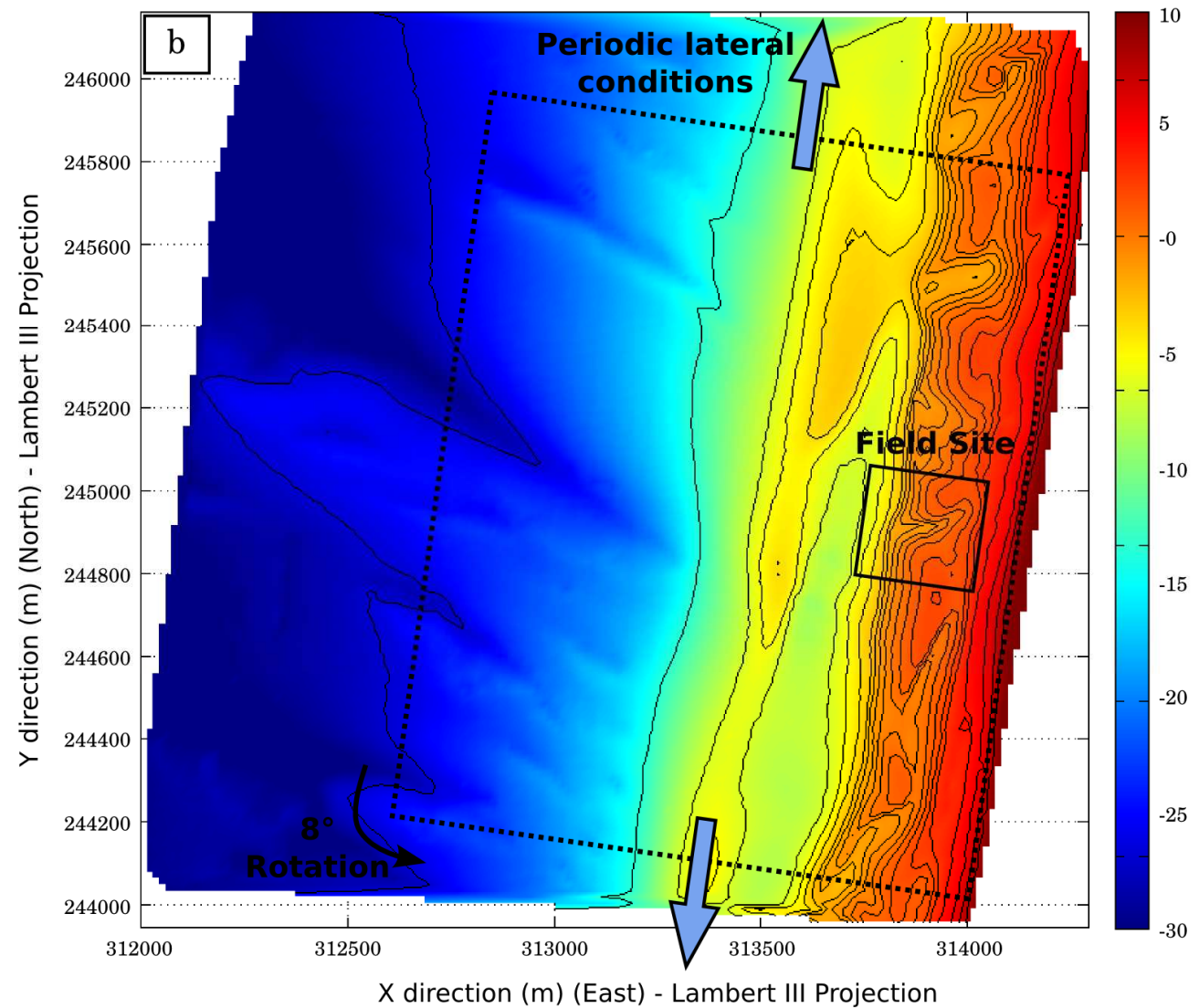
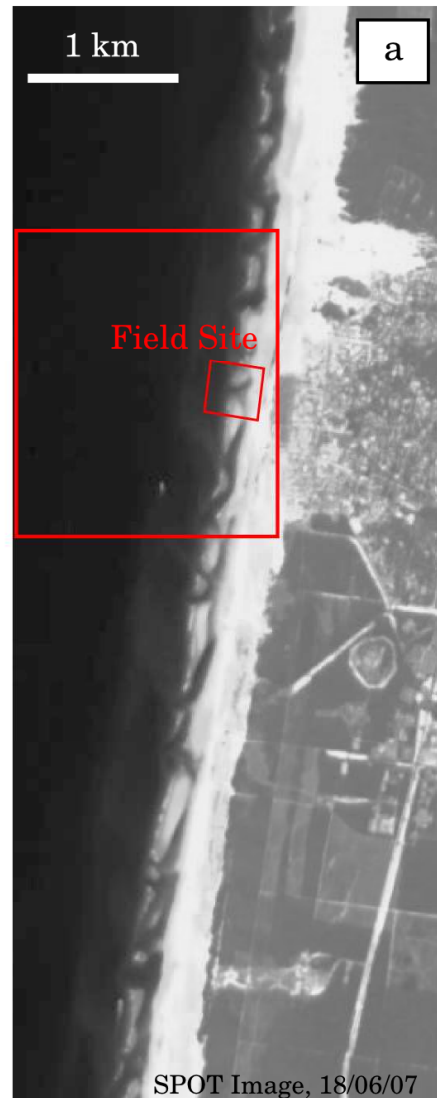
$h_0 = 1.5\text{m}$



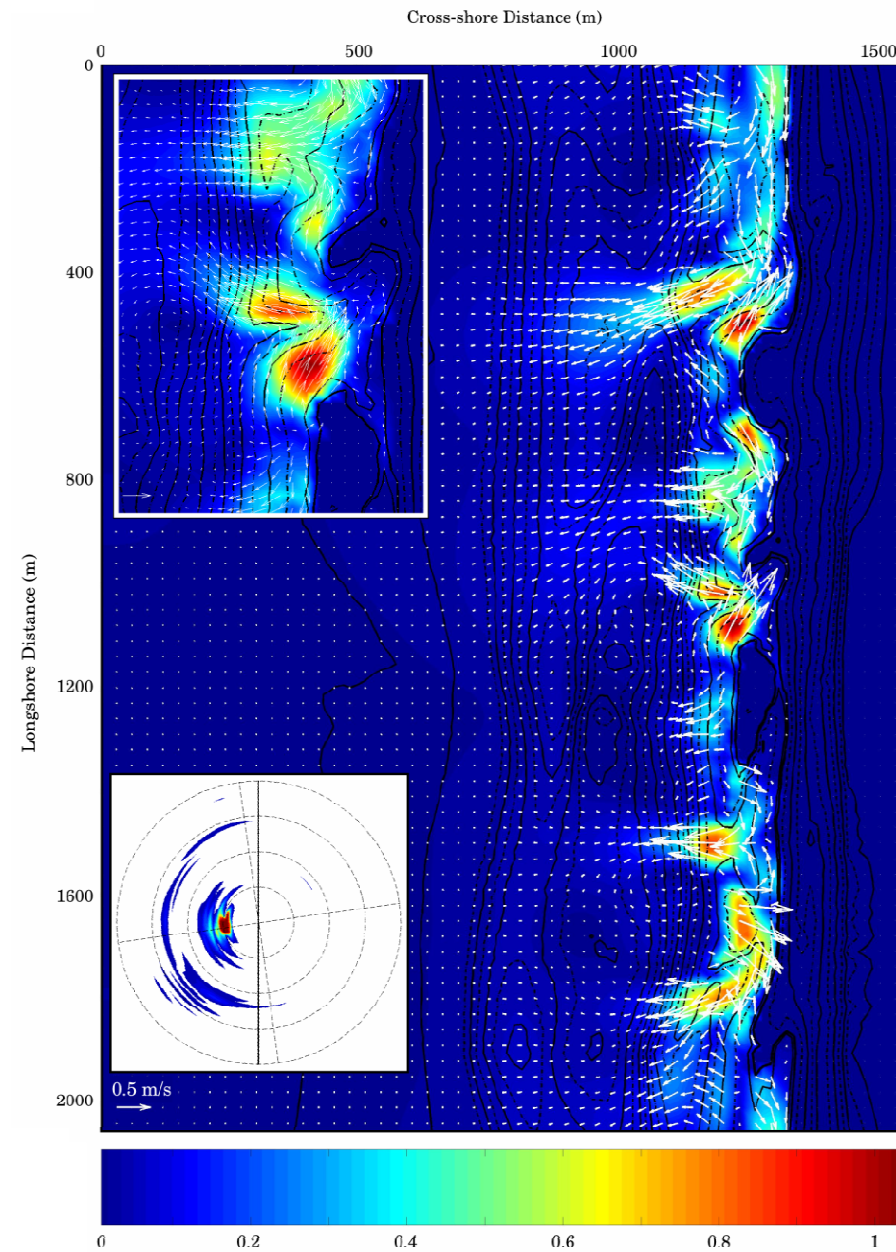
# Circulation moyenne induite par les vagues en zone de surf

## Validation par rapport à la campagne de mesures Biscarosse 2007

*Bruneau et coll. (2008)*



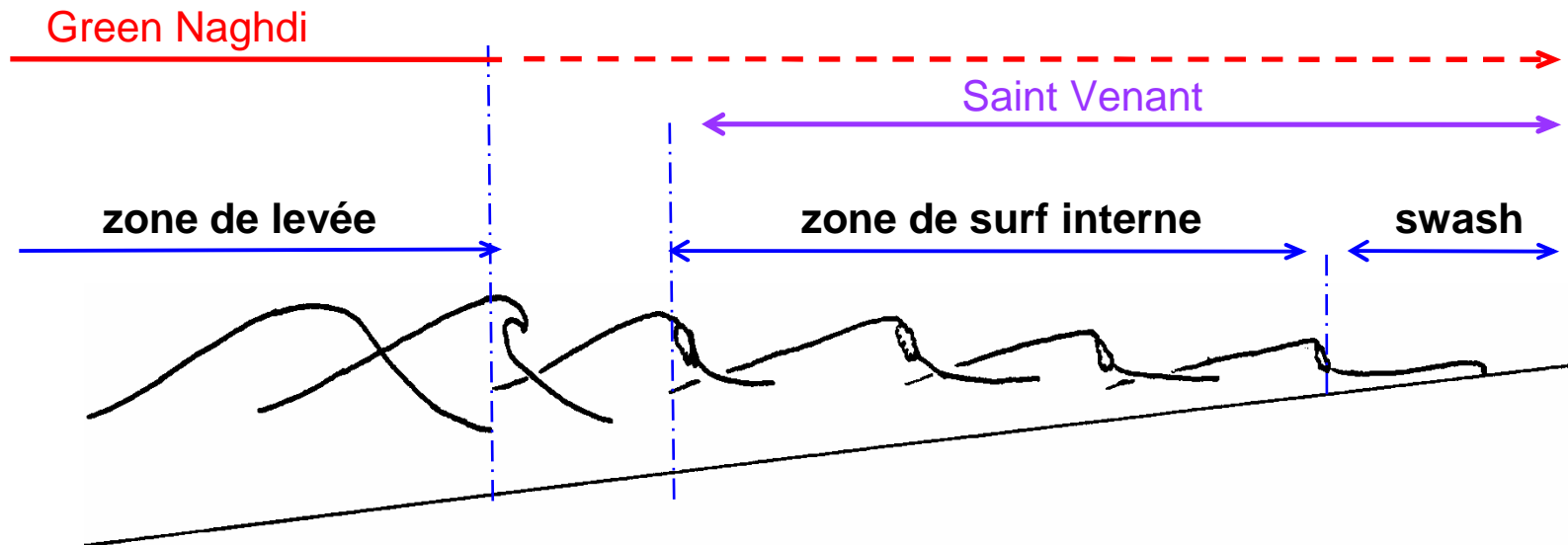
# Circulation moyenne induite par les vagues en zone de surf



**Code SWAN-MARS**

*Bruneau et coll. (2008)*

## Conclusion et perspectives



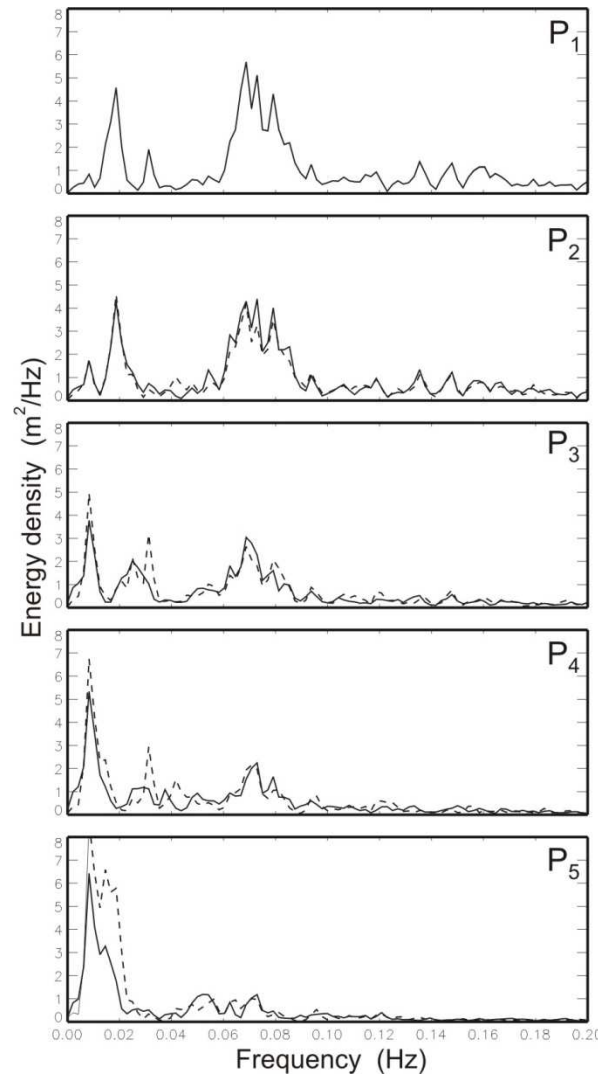
- Couplage entre les équations de SV et GN
- Extension des méthodes à capture de choc pour résoudre GN

- MODLIT/INSU, ANR MISEEVA :  
vagues extrêmes sur le littoral  $\Rightarrow$  *Thèse M. Tissier*
- Programme ECOS, IDAO/INSU, Région Aquitaine :  
propagation du mascaret  $\Rightarrow$  *Thèse B. Carrion*



# Modélisation de la zone de surf – Equation de Saint Venant avec choc

## Validation par rapport à des mesures in situ



Sea-swell frequencies:  
 $f \in [0.05, 0.2 \text{ Hz}]$

Infragravity frequencies:  
 $f \in [0.004, 0.05 \text{ Hz}]$

Comparison between observed (solid line) and predicted (dashed line)  
sea surface elevation density spectra at sensors P1-5; t=th

# Circulation moyenne induite par les vagues en zone de surf

