

# Calcul d'une éolienne offshore avec **STREAM** et *Code\_Aster*

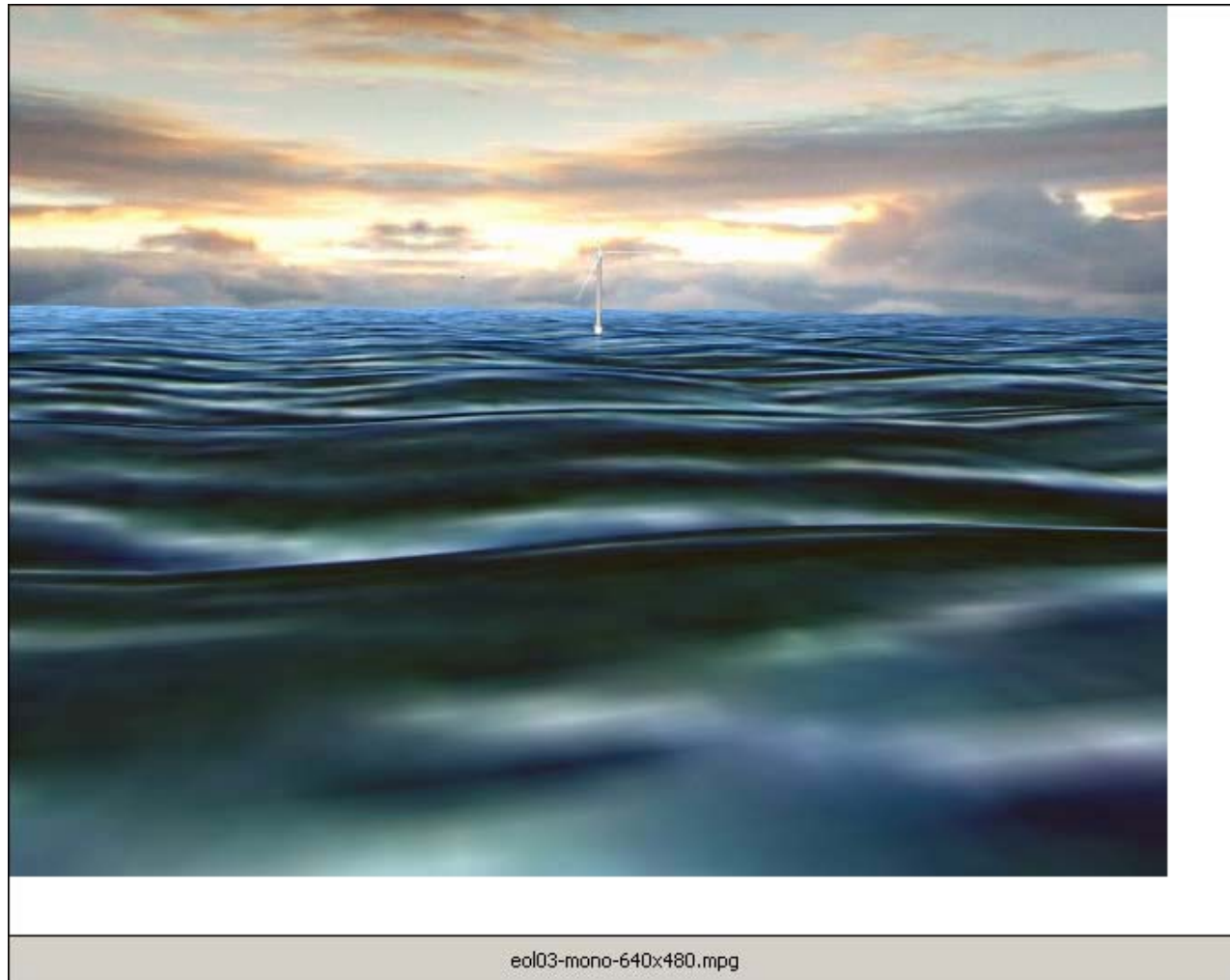
Marilyne LUCK (LNHE)  
Michel BENOIT (LNHE)  
Clément BUVAT (TESE/LNHE)  
Bernard RIOU (TESE)  
Jean ANGLES (AMA)



# Plan

- Introduction
- Présentation de STREAM
- Chaînage STREAM – *Code\_Aster*
- Résultats
- Perspectives

## Introduction (1)



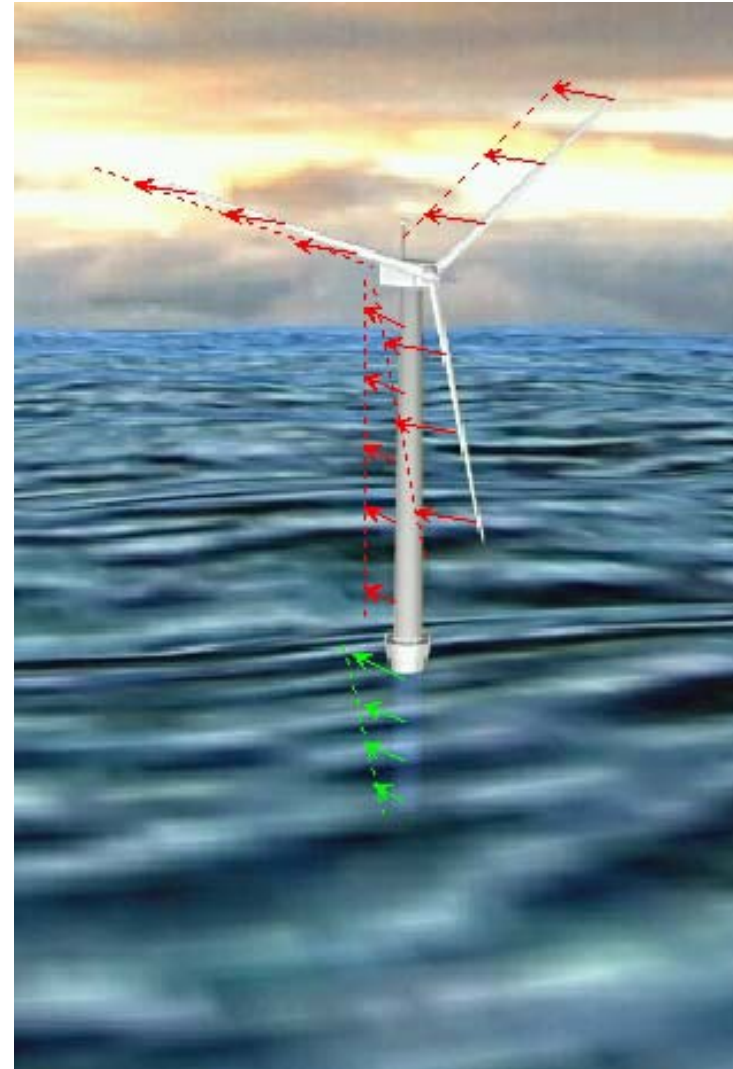
## Introduction (2)

En plus du poids de l'aérogénérateur il y a deux types de chargement :

Chargement dû au vent

Chargement dû à la houle

Le chargement dû à la houle peut être calculé avec STREAM

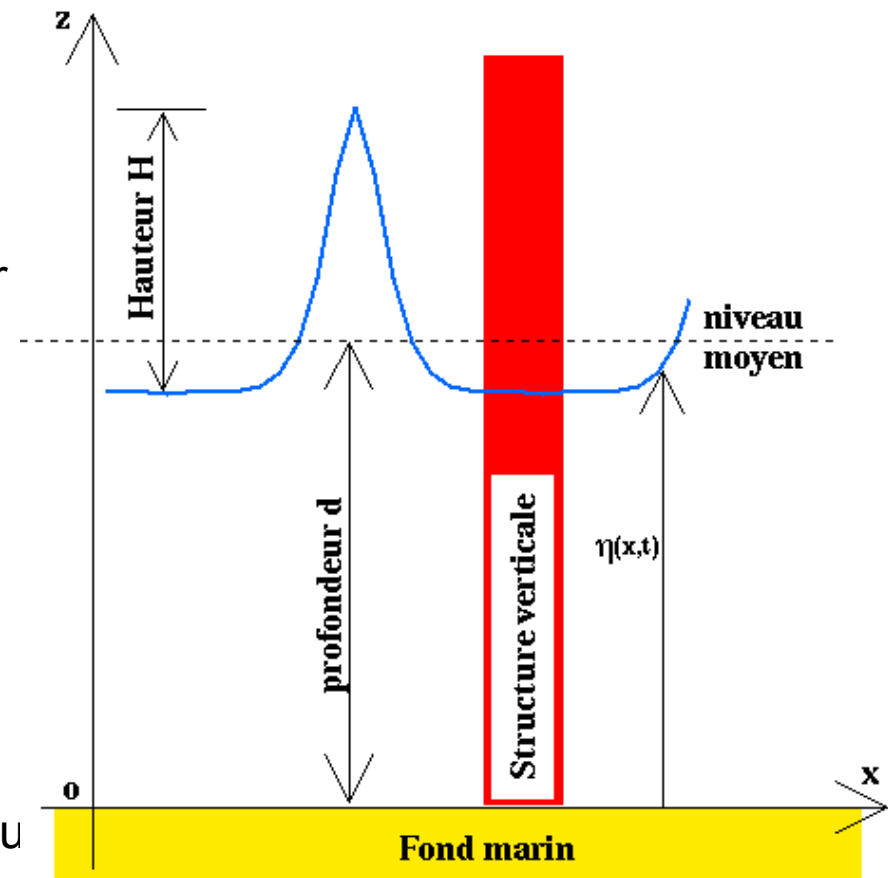


## Présentation de STREAM (1) : module STREAM\_HT

### STREAM\_HT

⇒ Calcul de l'hydrodynamique en absence de la structure

- Méthode de calcul employée
  - Approximation par série de Fourier de la fonction de courant
- Données d'entrée
  - Caractéristiques de la houle et profondeur d'eau
  - Ordre de la fonction de courant
- Résultats
  - Profils de surface libre  $\eta$ , vitesses  $u$  et  $v$ , accélérations  $a_x$  et  $a_y$



## Présentation de STREAM (2) : module STREAM\_FM

### STREAM\_FM

⇒ Estimation des efforts hydrodynamiques linéiques sur une structure de type « monopile »

- Méthode de calcul employée : Formule de Morison

$$\begin{aligned} dF_x(x, z, t) &= dF_{\text{traînée}}(x, z, t) + dF_{\text{inertie}}(x, z, t) \\ &= \frac{1}{2} \rho C_D D |u(x, z, t)| u(x, z, t) + \rho C_M \frac{\pi D^2}{4} a(x, z, t) \end{aligned}$$

***D*** diamètre de la structure  
***u*** vitesse horizontale (m/s)

***C<sub>D</sub>, C<sub>M</sub>*** coefficients hydrodynamiques  
***a*** accélération horizontale (m/s<sup>2</sup>)

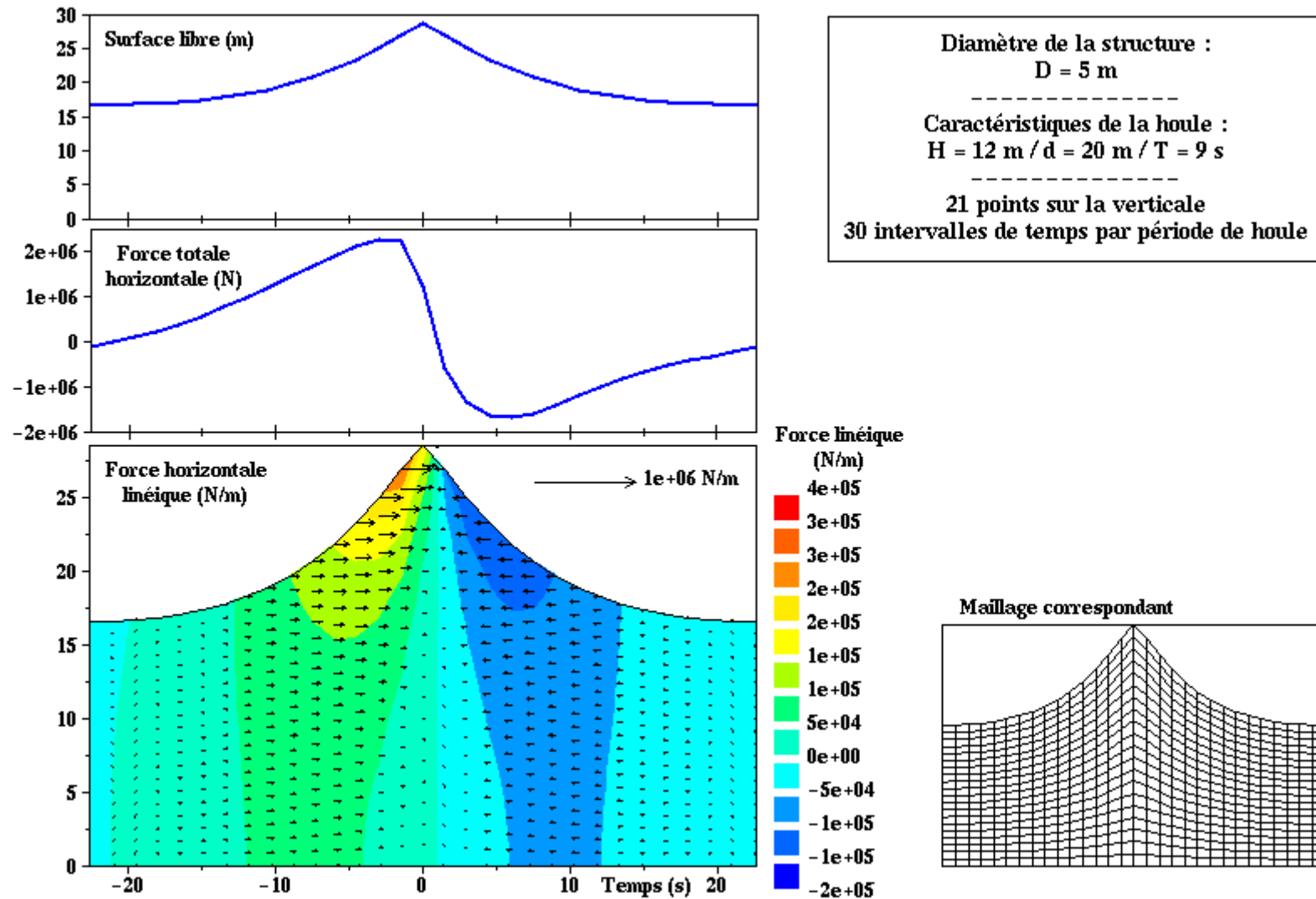
Calcul effectué pour un nombre fixe de points, régulièrement répartis entre le fond ( $z = 0$ ) et la surface libre ( $z = \eta$ )

## Présentation de STREAM (3) : module STREAM\_FM

### STREAM\_FM

- Données d'entrée
  - Résultats de STREAM\_HT ( $\eta$ ,  $u$ ,  $a_x$ )
  - Diamètre de la structure  $D$
  - Coefficients hydrodynamiques  $C_D$ ,  $C_M$  (**par défaut 0.7 et 1.8**)
  - Nombre de points de discrétisation sur la verticale (**entre le fond et la surface libre**)
  - Nombre de pas de temps sur une période de houle  $T$  (**nombre pair**)
- Résultats (fichier ASCII)
  - Évolution sur une période des efforts linéiques dus à la houle en plusieurs points sur la verticale ( $dF_x$ )

## Présentation de STREAM (4) : exemple de résultats





## Chaînage STREAM – Code\_Aster (1)

→ Quelques dimensions

### Dimensions typiques :

Hauteur totale : 108 m

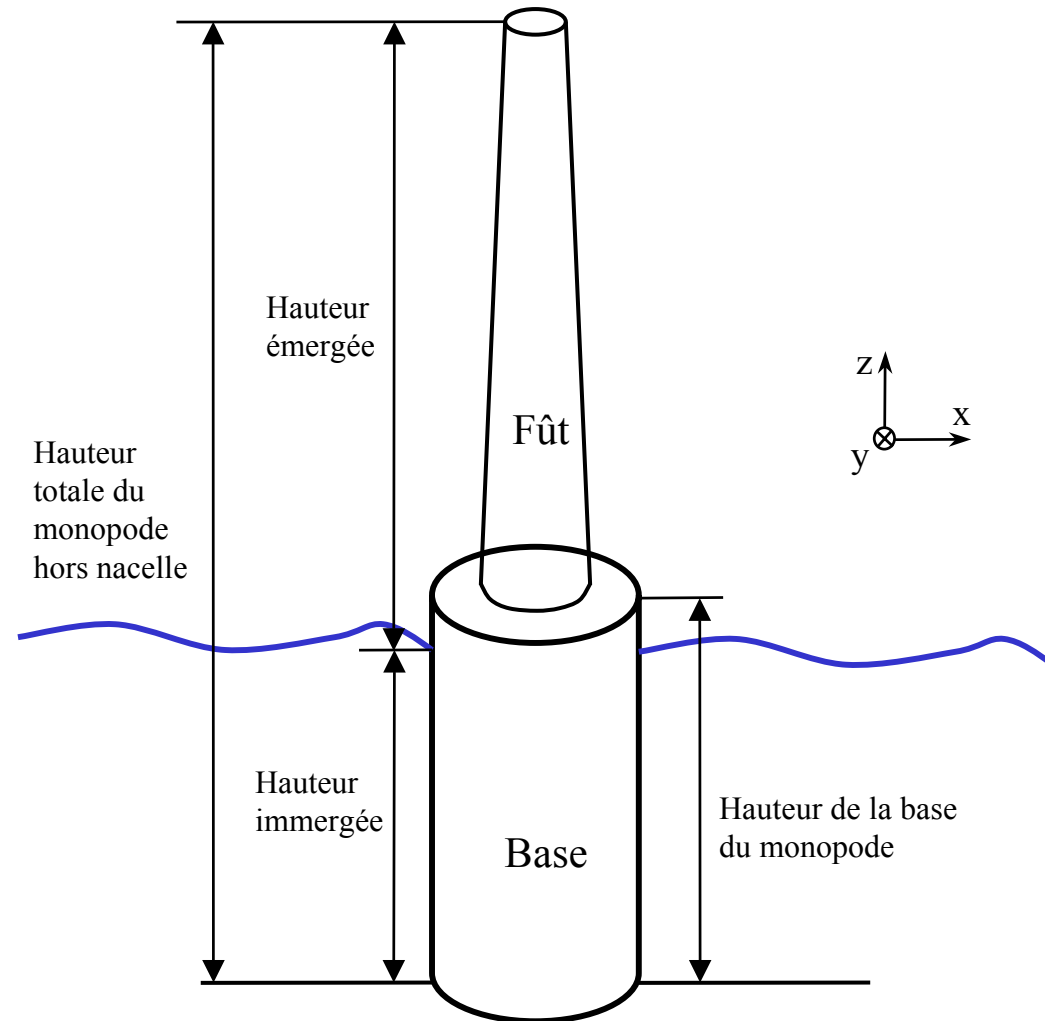
Hauteur du fût : 78 m

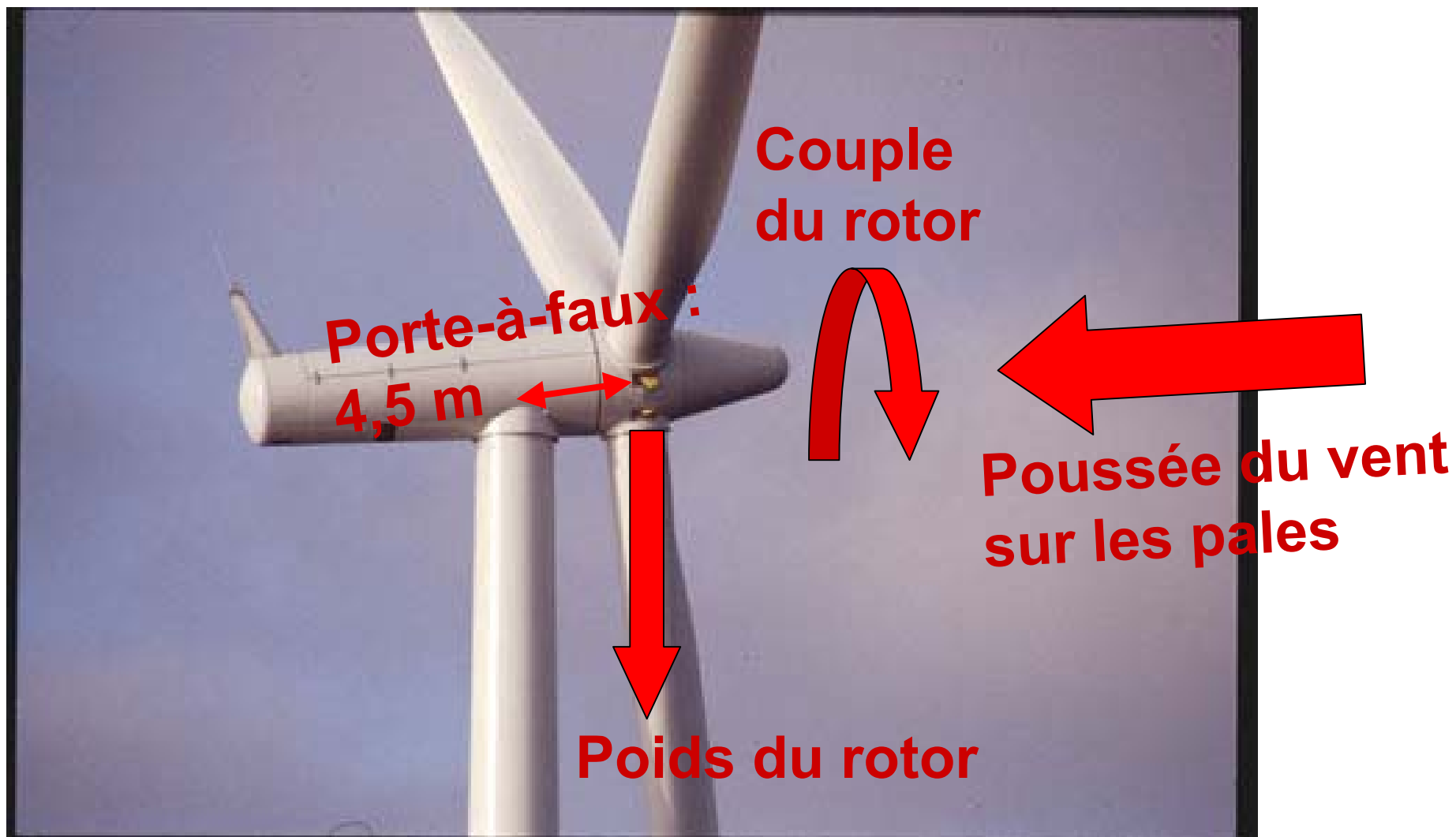
Hauteur de la base : 30 m

Diamètre base : 5 m

Diamètre fût : 2,3 m - 4 m

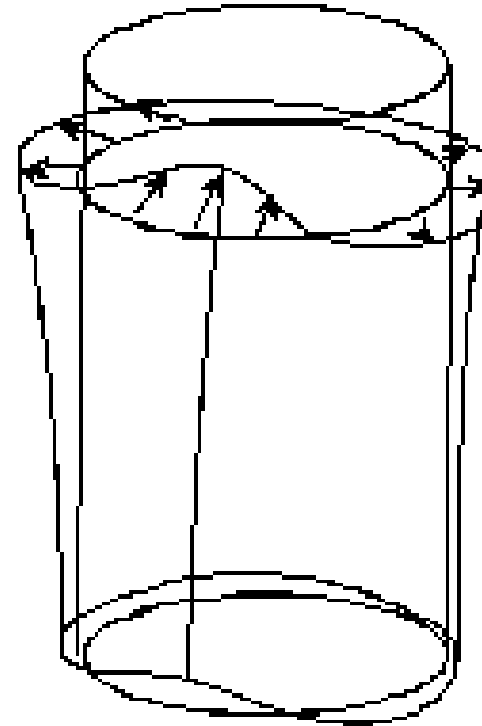
Epaisseur : 70 mm





En fonction du nombre de **Reynolds** on connaît la répartition de pression autour du cylindre.

Ici  $R_e > 10^6$  → l'écoulement est pleinement turbulent.



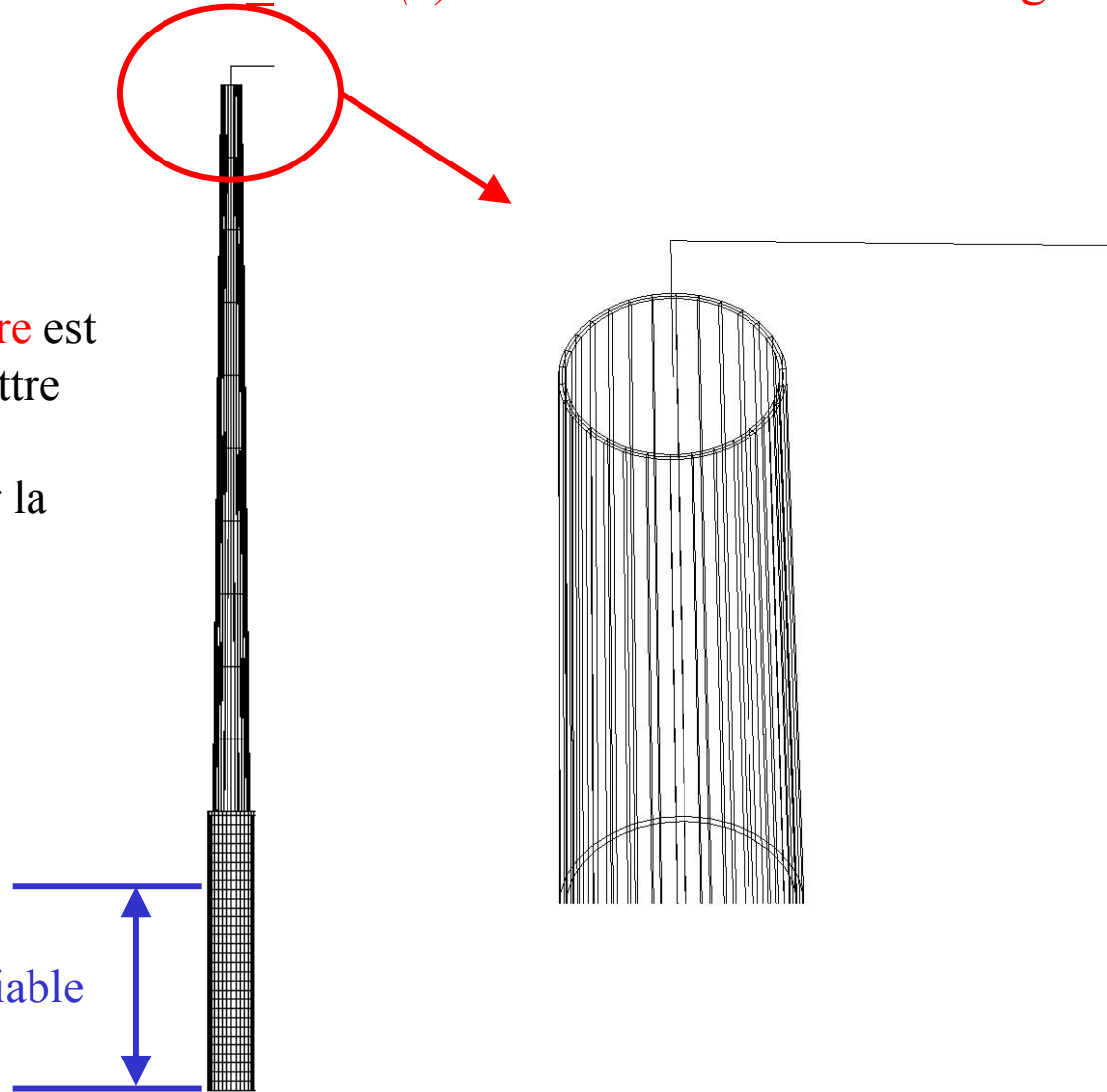
$$P(\theta, z, t)$$

## Chaînage STREAM – Code\_Aster (4)

→ Maillage 3D

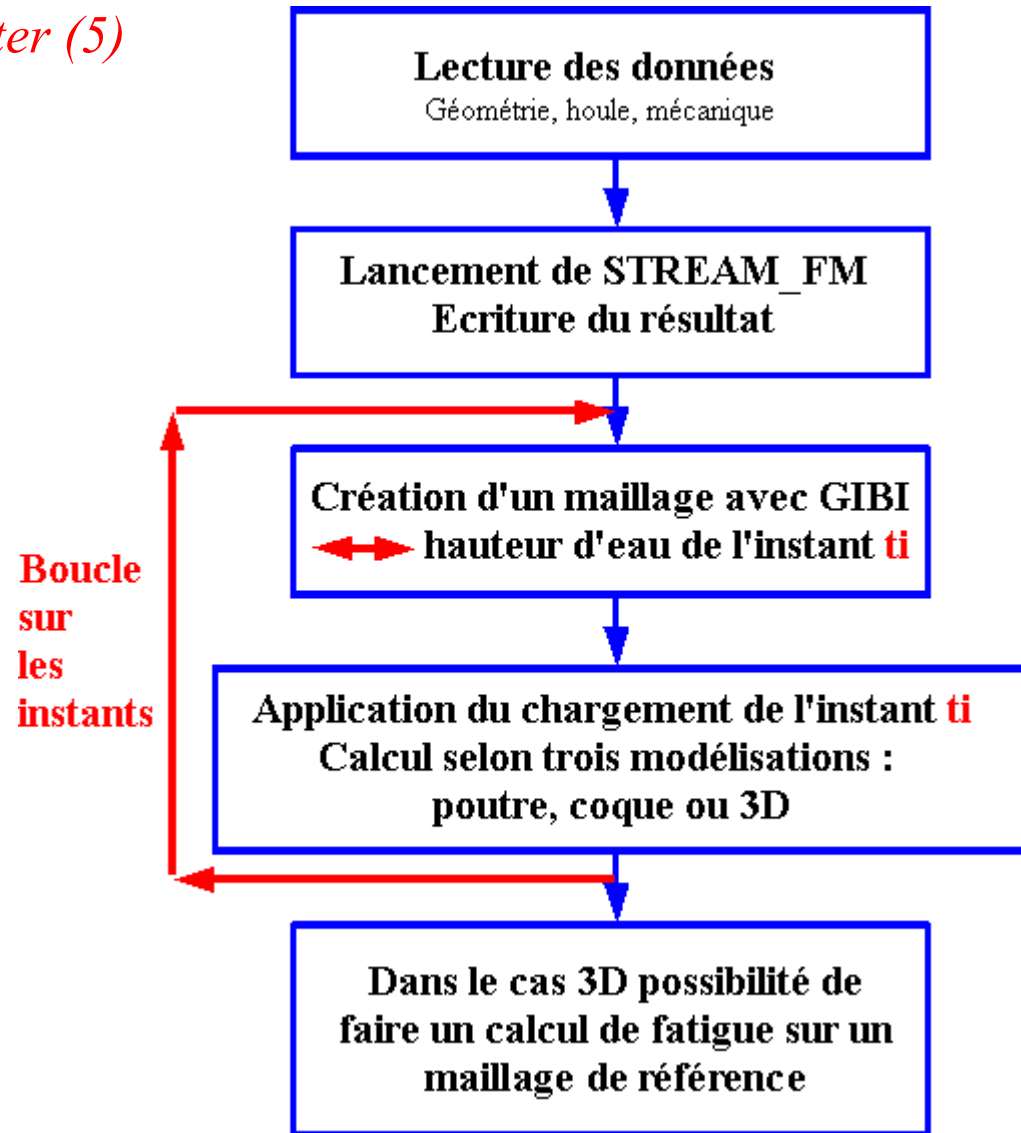
Le raccord **3D-poutre** est utilisé pour transmettre les efforts de l'aérogénérateur sur la structure.

Hauteur d'eau variable



## Chaînage STREAM – Code\_Aster (5)

```
CALC_EOLIEN (  
  INFO = 2,  
  EXEC_MALLAGE = _F( ..... ),  
  CALC_CHAR_HOULE = _F( ... ),  
  MODELISATION = '3D',  
  AFFE_MATERIAU = (_F( ... )),  
  MONOPODE = _F( ..... ),  
  CHARGEMENT = _F( ..... ),  
  FATIGUE = _F( ..... ),  
  IMPRESSION = _F( ..... ),  
)
```



## Chaînage STREAM – Code\_Aster (6)

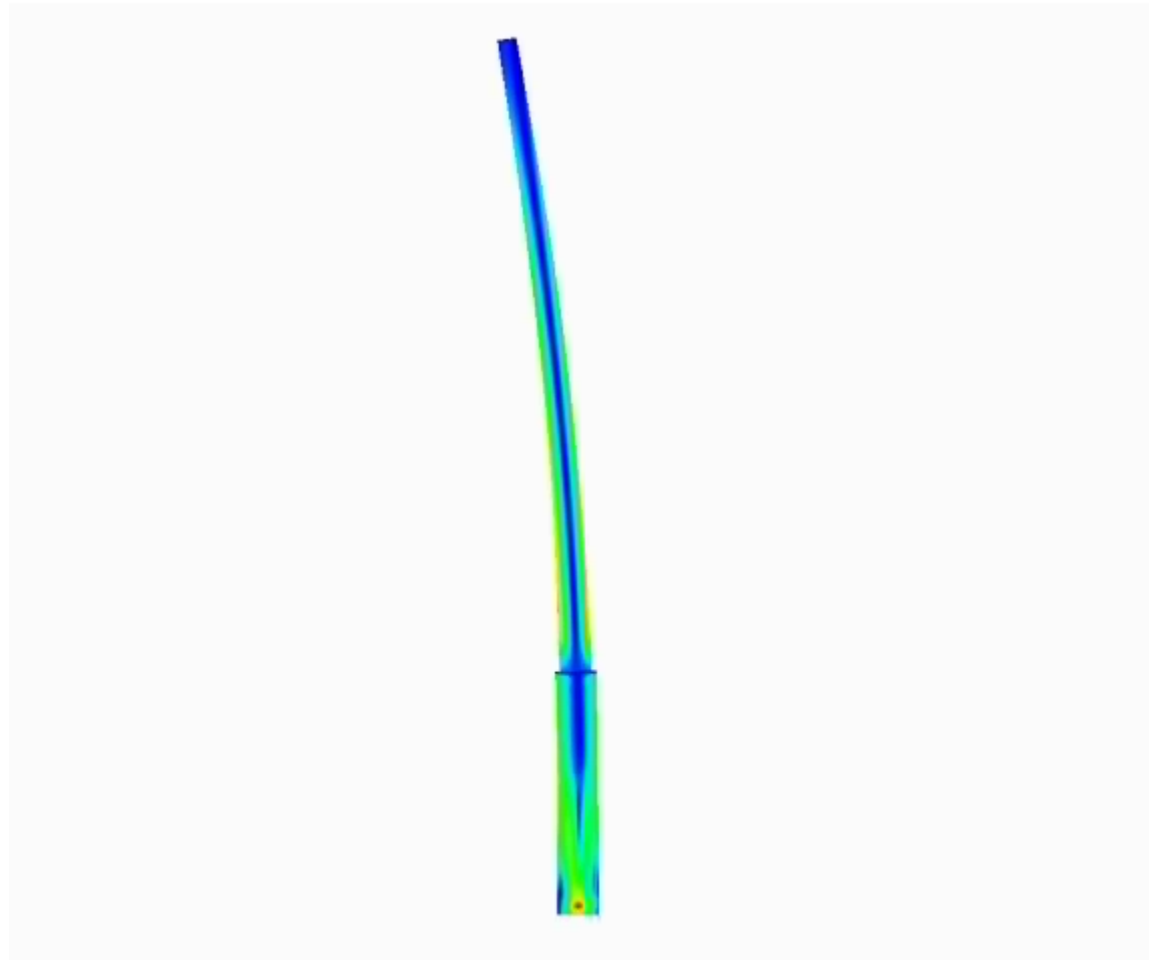
Créer le maillage de référence MA\_REF → Créer un modèle de référence : MO\_REF →

Créer un résultat de référence : RES\_REF avec la commande CREA\_RESU.

```
DO      k=1,      NBINST
        CALL GIBI (via EXEC_LOGICIEL) avec les données correspondant à l'instant k.
        MA[k] = LIRE_MALLAGE
        U = MECA_STATIQUE (un seul pas de temps pour U qui correspond à l'instant k)
        U_REF[k] = PROJ_CHAMP(SIGM_NOEU, MO_REF)
        CH_U = CREA_CHAMP ( OPERATION = 'EXTR',
                            RESULTAT = U_REF[k],
                            NOM_CHAM = 'SIGM_NOEU',
                            NUME_ORDRE = 1 )
        RES_REF = CREA_RESU ( reuse=RES_REF,
                             NUME_ORDRE=k,
                             NOM_CHAM= 'SIGM_NOEU',
                             CHAM_NO= CH_U )
CONTINUE
```

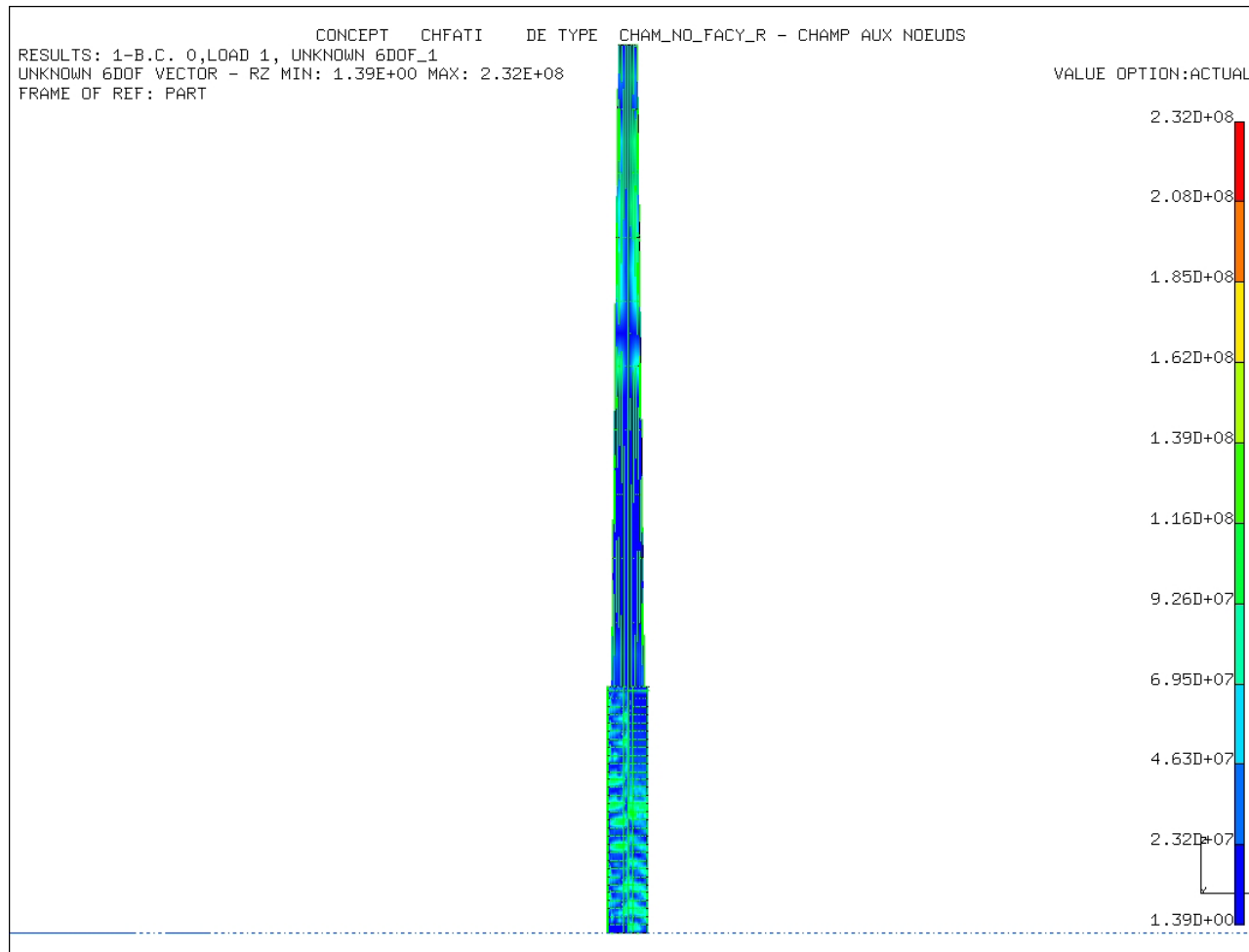
Chânage STREAM – *Code\_Aster* (7)

→  $(u, \sigma_{Von Mises})$



## Chânage STREAM – Code\_Aster (8)

→ ( $\sigma_{eq}$  au sens du critère de DANG VAN)





## Conclusion et perspectives

- On a réalisé un chaînage entre *STREAM* et *Code\_Aster* où le maillage de la structure dépend de la hauteur d'eau.
- Les développements futurs devraient concerner :
  - l'amélioration de la prédiction des efforts en faible profondeur d'eau (prise en compte du déferlement) ;
  - l'extension à la houle irrégulière et les interactions houle/courant ;
  - la modélisation de l'encastrement de la structure dans le sol ;
  - la modélisation du vent sur la structure et les pales de l'aérogénérateur.