

# Modélisation numérique et physique de la chaîne de récupération de l'énergie de la houle par un dispositif bord à quai

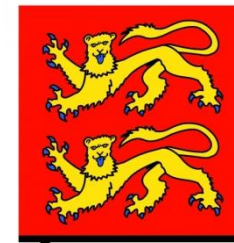
Sixtine NEUVEGLISE, Doctorante

François MARIN, Directeur de thèse (LOMC)

Hassan SMAOUI, Co-directeur (Lab. Roberval/LHN)

Gaële PERRET, Co-encadrante (LOMC)

Philippe SERGENT, Resp. Scientifique (CEREMA)



RÉGION NORMANDIE



LABORATOIRE ONDES  
et MILIEUX COMPLEXES



# Plan

- I. Objectifs du Projet
- II. Modèle Analytique Linéaire
- III. Modèle Numérique
- IV. Modèle Expérimental
- V. Résultats

# I. Objectifs du projet

## ❖ Objectif

- Modéliser la chaîne de récupération de l'énergie de la houle par un dispositif bord à quai

## ❖ Méthodologie

- Modélisation physique et numérique
- Comparer les modèles physiques et numériques du système
- Étudier l'impact sur les franchissements de digue



Site d'étude : port d'Esquibien (Bretagne)

$$\frac{\partial}{\partial a} \ln f_{a, \sigma^2}(\xi_1) = \frac{(\xi_1 - a)}{\sigma^2} f_{a, \sigma^2}(\xi_1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left\{-\frac{(\xi_1 - a)^2}{2\sigma^2}\right\} \frac{(\xi_1 - a)}{\sigma^2}$$

$$\int_{\mathbb{R}_n} T(x) \cdot \frac{\partial}{\partial \theta} f(x, \theta) dx = M\left(T(\xi) \cdot \frac{\partial}{\partial \theta} \ln L(\xi, \theta)\right) \int_{\mathbb{R}_n} \frac{\partial}{\partial \theta} \pi(\theta) d\theta$$

$$\left(\frac{\partial}{\partial \theta} \ln L(\xi, \theta)\right) f(x, \theta) dx = \left[T(x) \cdot \frac{\partial}{\partial \theta} \ln L(\xi, \theta)\right] f(x, \theta)$$

## II. Modèle Analytique Linéaire

$$\frac{\partial}{\partial \theta} M T(\xi) = \frac{\partial}{\partial \theta} \int_{\mathbb{R}_n} T(x) f(x, \theta) dx = \int_{\mathbb{R}_n} \frac{\partial}{\partial \theta} T(x) f(x, \theta) dx$$

$$\left(\frac{\partial}{\partial \theta} \ln L(\xi, \theta)\right) f(x, \theta) = \frac{(\xi - a)}{\sigma^2} f(x, \theta)$$

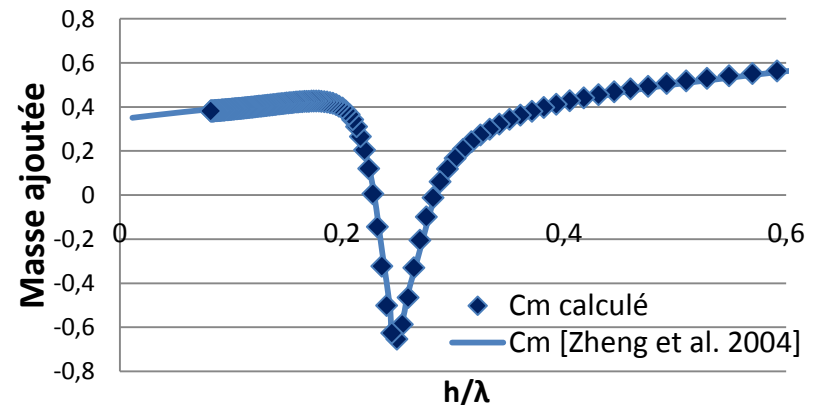
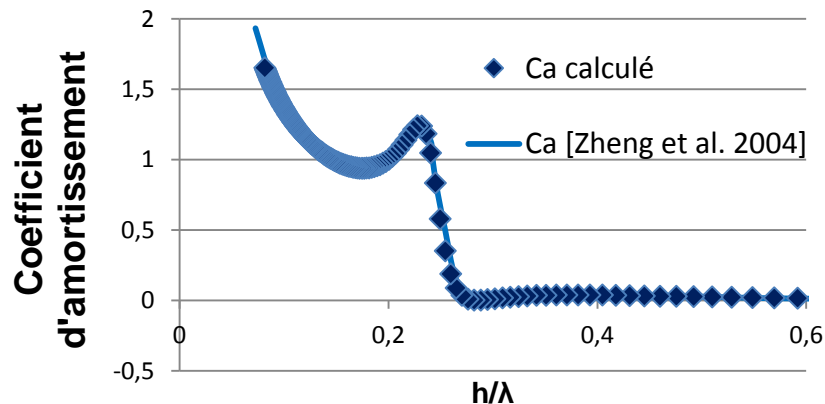
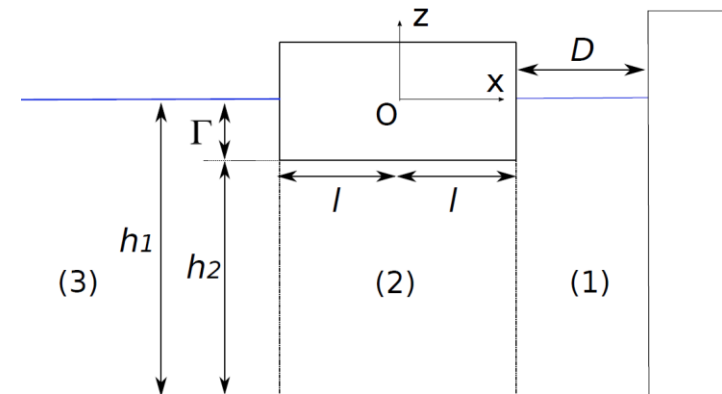
## II. Résolution analytique puis numérique

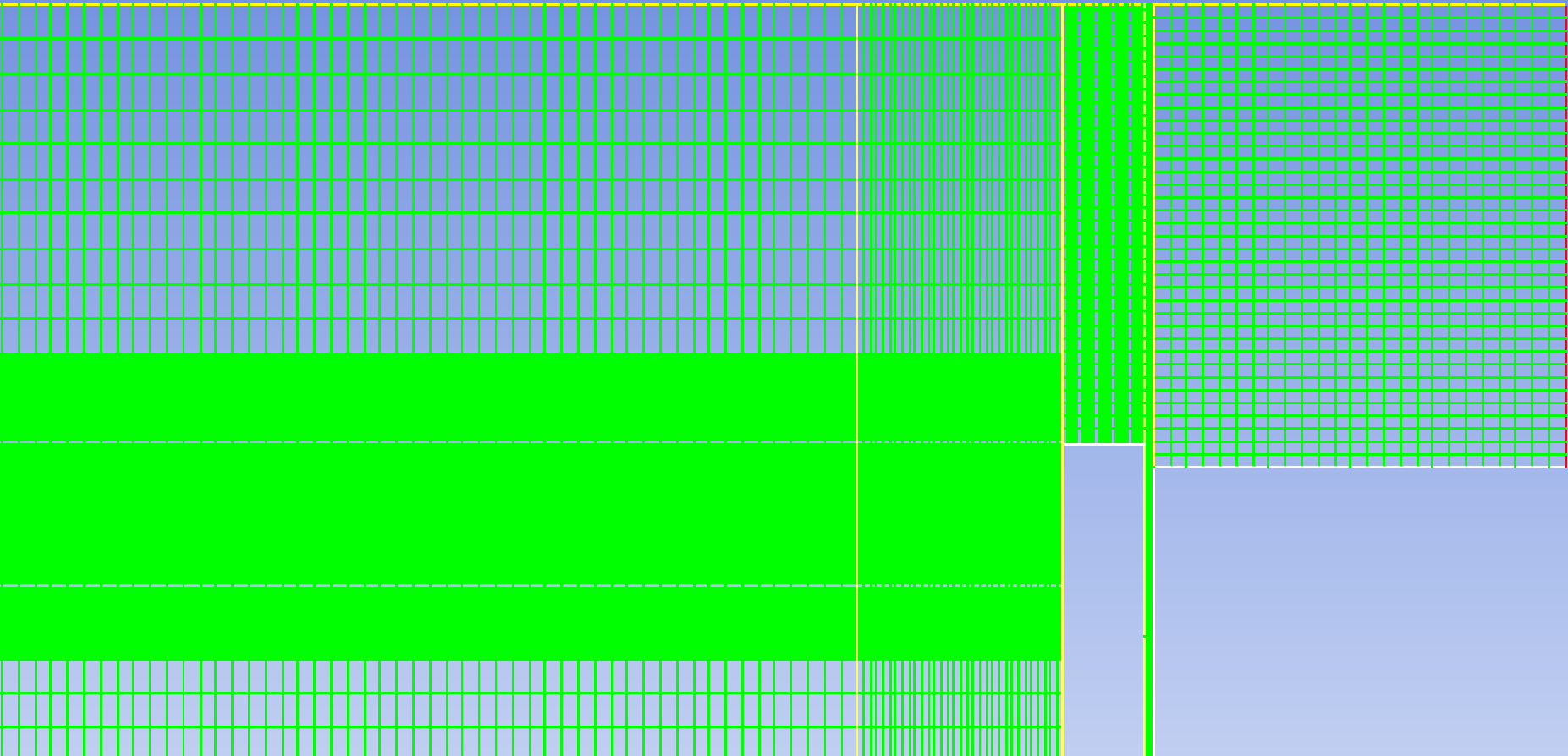
### ❖ Expression de l'équation différentielle

$$(m + C_M(\omega))\ddot{z} + C_A(\omega)\dot{z} + K_{Ar}z = F_{ex}(\omega)\sin(\omega t)$$

### ❖ Résolution analytique

- Conditions aux limites
- Relation de continuité en pression et en vitesse
- Ecriture des potentiels sous forme de sommes infinies
- Résolution d'un système matriciel





## III. Modèle Numérique

# III. Modèle Numérique sous ANSYS Fluent

## ❖ Modèle utilisé

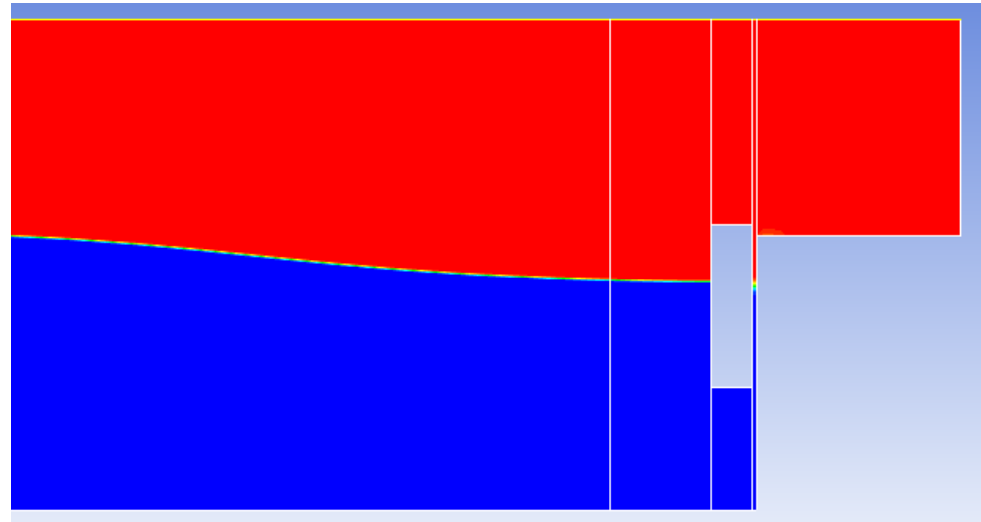
- Résolution du modèle de Navier-Stokes
- Utilisation des fonctions Open Channel
- Utilisation d'une houle d'Airy
- Turbulence résolue par k- $\epsilon$

## ❖ Données traitées

- Mouvements du flotteur
- Amplitude de houle à proximité du flotteur
- Calcul des coefficients Hydrodynamiques

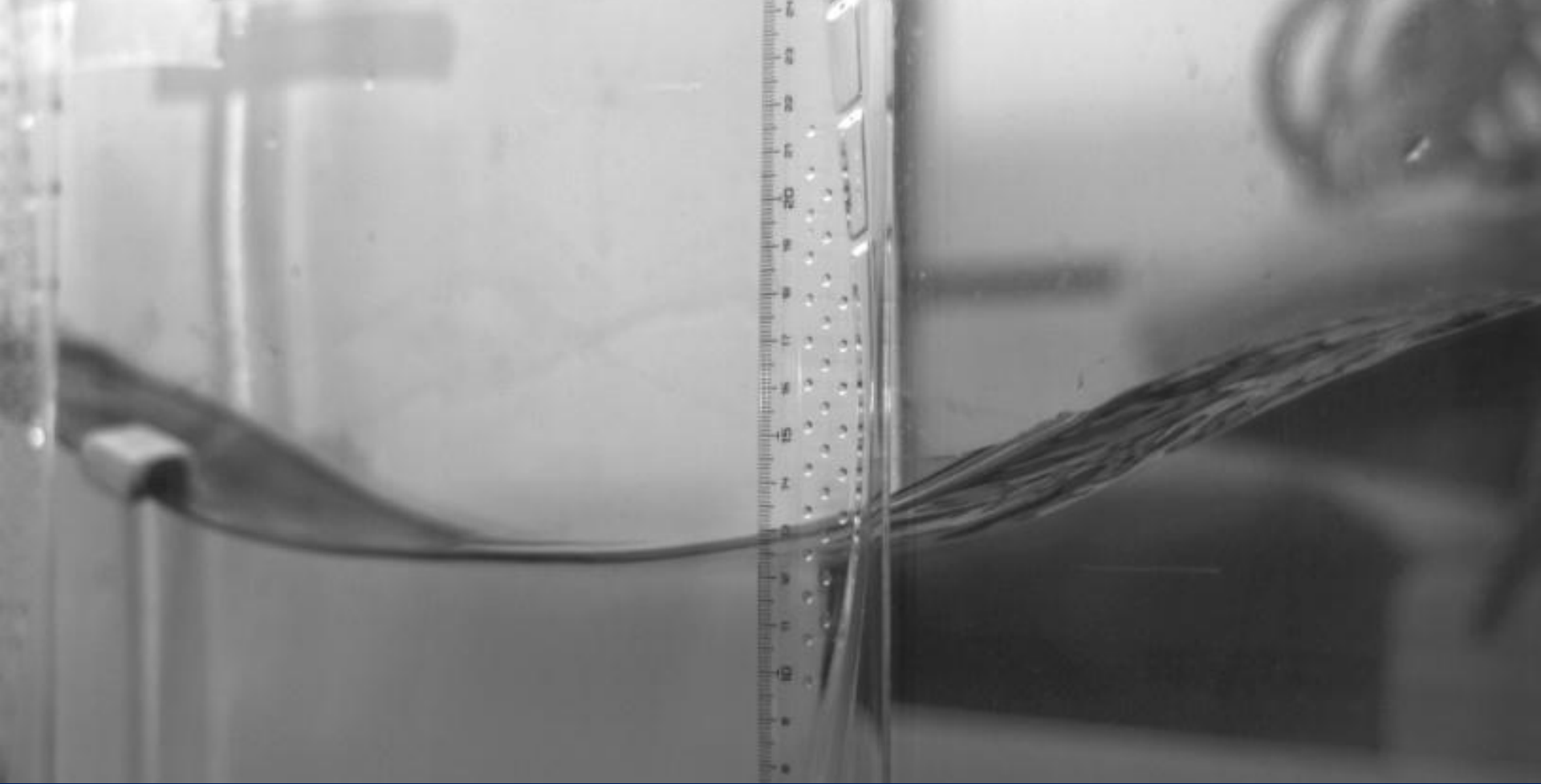
## ❖ Flotteurs calculés

1:15	F1	F2	F3	F4	F5
Tirant d'eau (m)	0.75	1.50	2.25	3.00	3.75
Hauteur totale (m)	3.00	3.75	3.75	6.00	6.00



Exemple de simulation Fluent





## IV. Modèle Expérimental



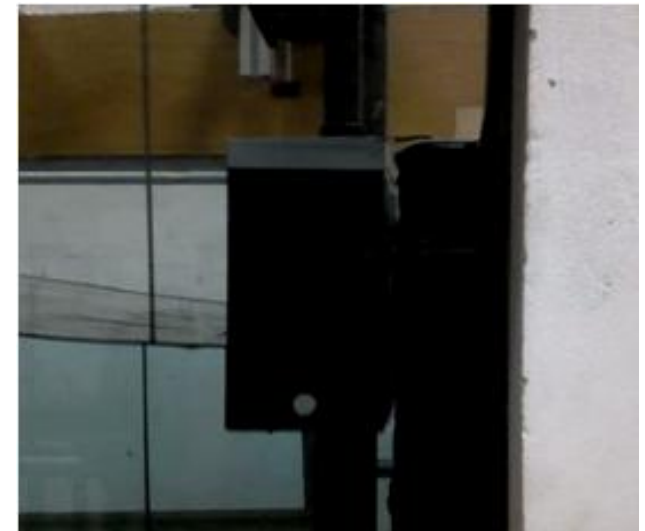
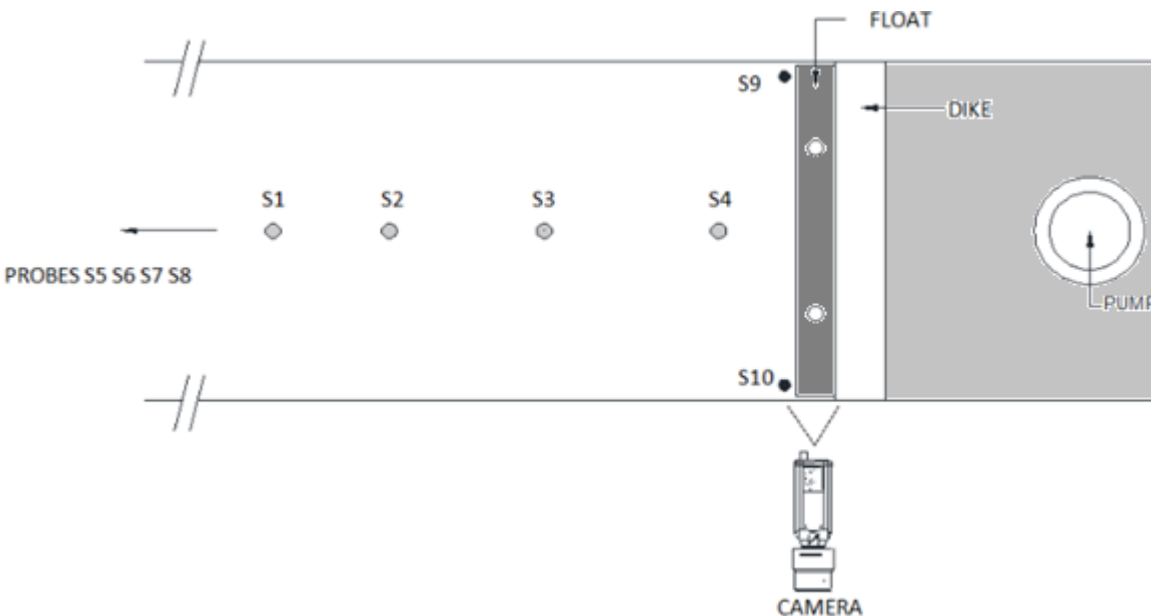


# IV. Conditions des essais

## ❖ Conditions des essais (à échelle réelle)

- Canal de l'UTC (échelle 1:20)
- Canal du LOMC (échelle 1:15) :
  - 34m x 0.90m x 1.20m (L x l x H)
- Largeur du flotteur : 1.5m
- Dégagement : 0.15m
- Deux tirants d'eau testés : 0.75m et 3.75m

1:15	Profondeur (m)	Hauteur de houle (m)	Période (s)
MIN	3	0.5	2.5
MAX	9	1.75	6.5



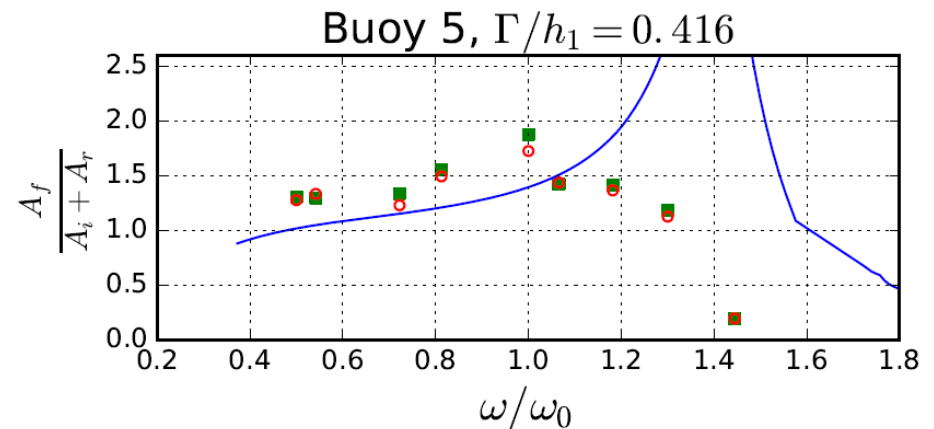
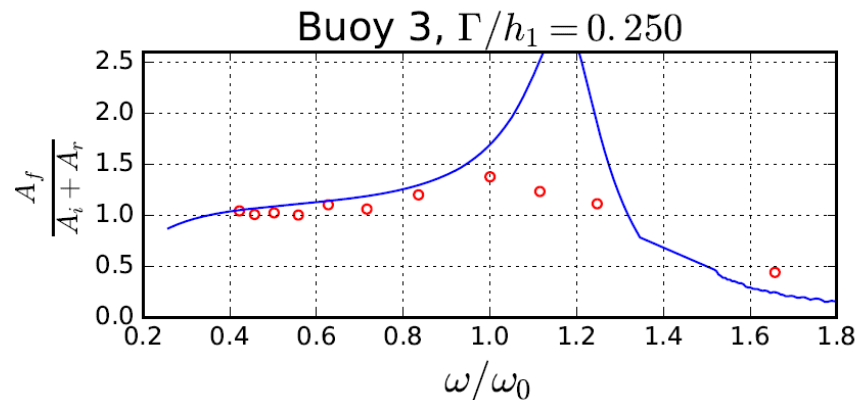
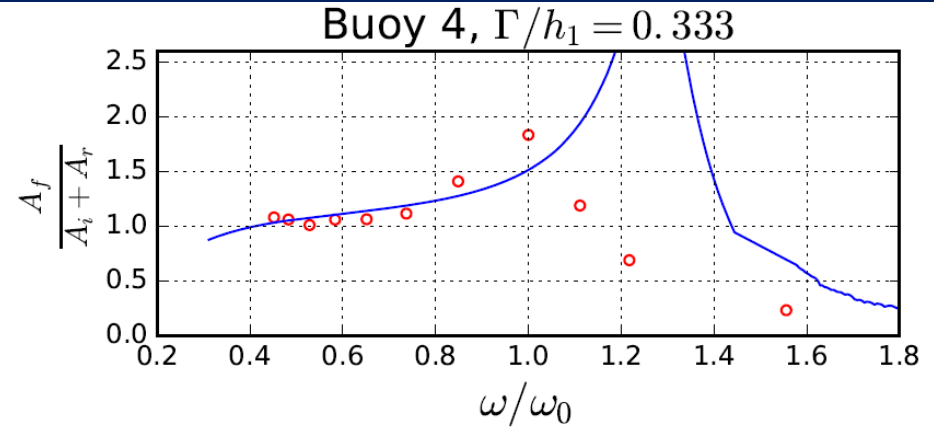
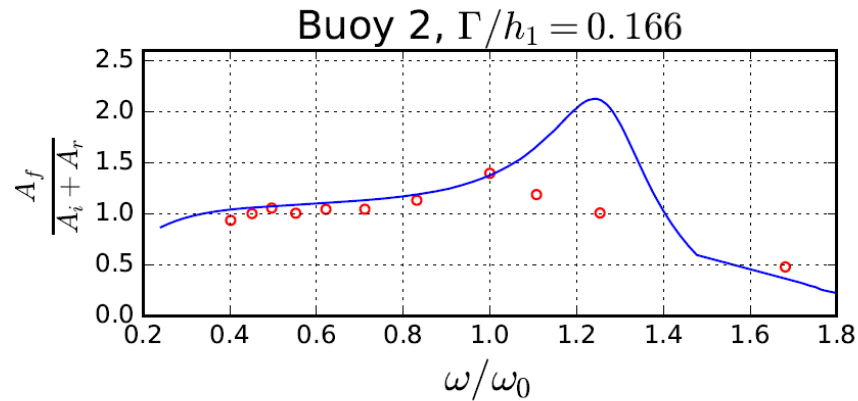
Maquette du LOMC



## V. Résultats



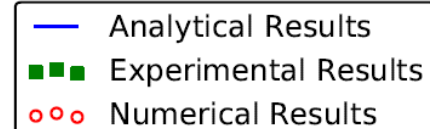
# V. Impact du tirant d'eau



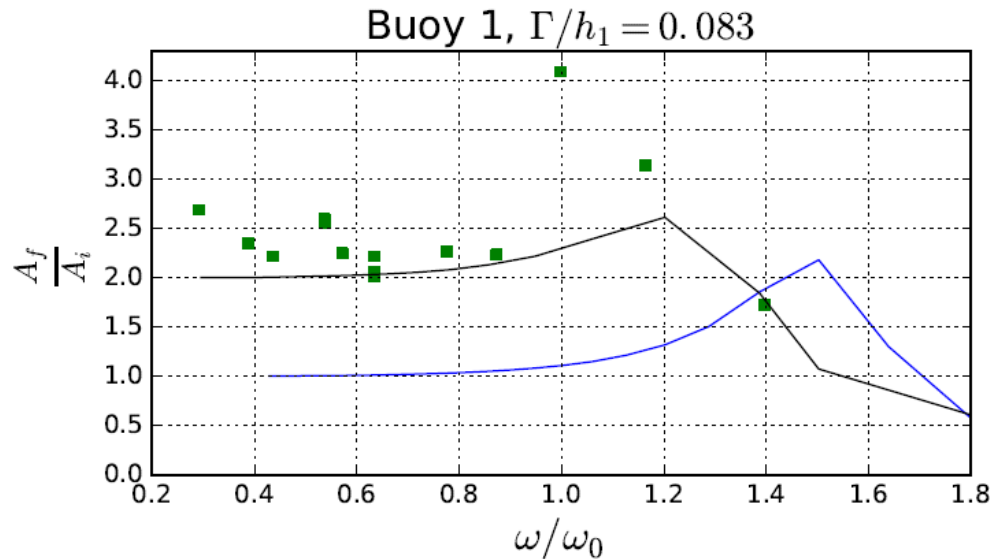
## ❖ Résultats

- Confirmation de la présence d'un terme visqueux

Le terme visqueux dépend du tirant d'eau du flotteur.

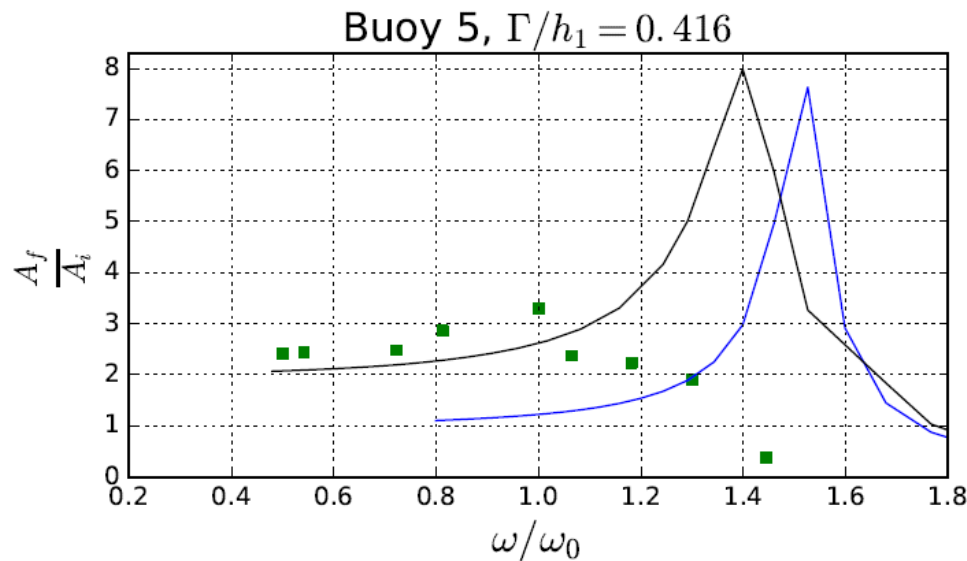


# V. Interaction Digue/Flotteur

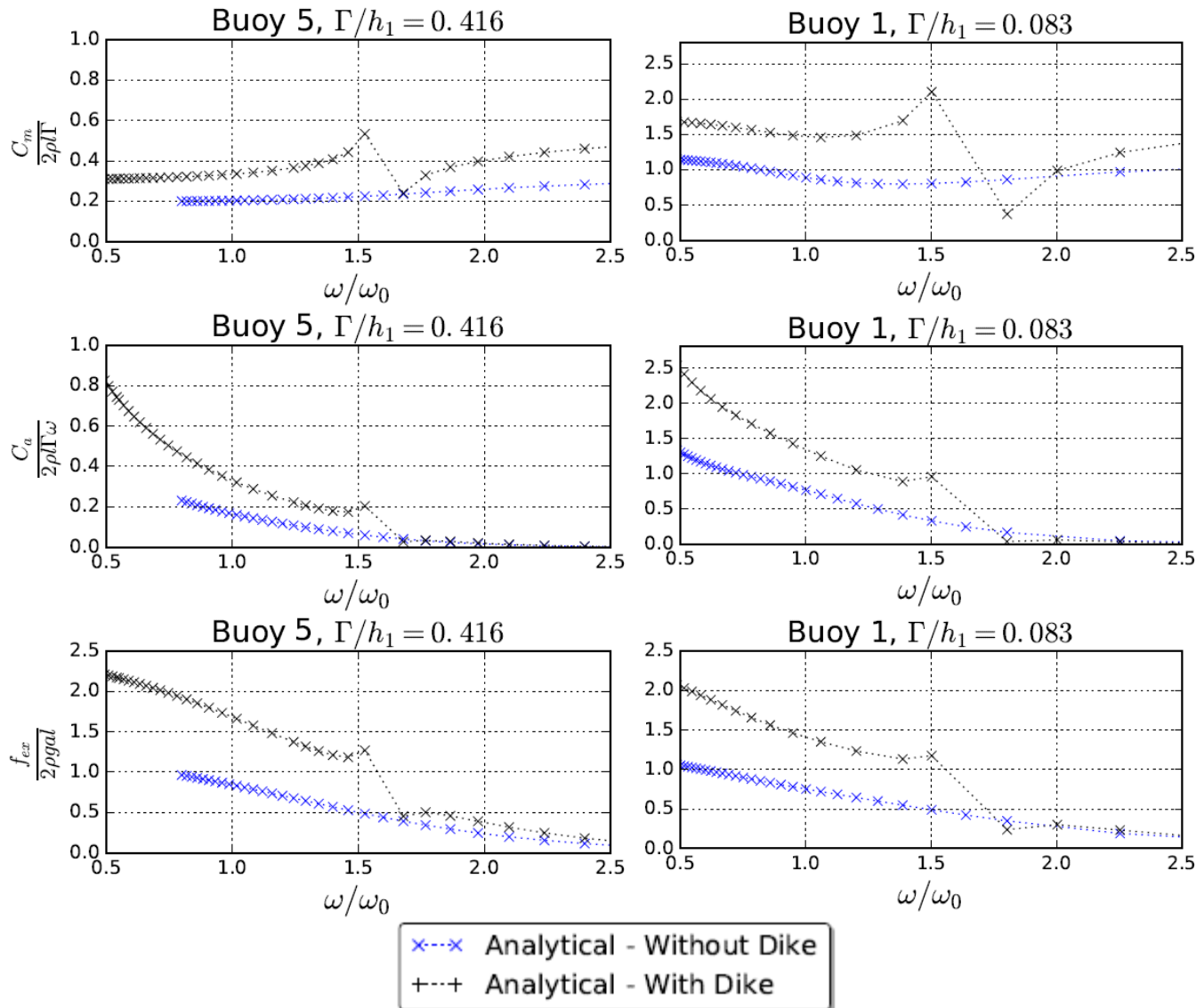


## ❖ Observations

- La présence de la digue modifie la période de résonance du flotteur
- Les mouvements du flotteur sont plus importants avec la présence de la digue.



# V. Interaction Digue/Flotteur



## ❖ Observations

- Les coefficients hydrodynamiques sont modifiés par la présence de la digue.
- Apparition d'un pic des valeurs pour une pulsation donnée.

# V. Correction du modèle analytique

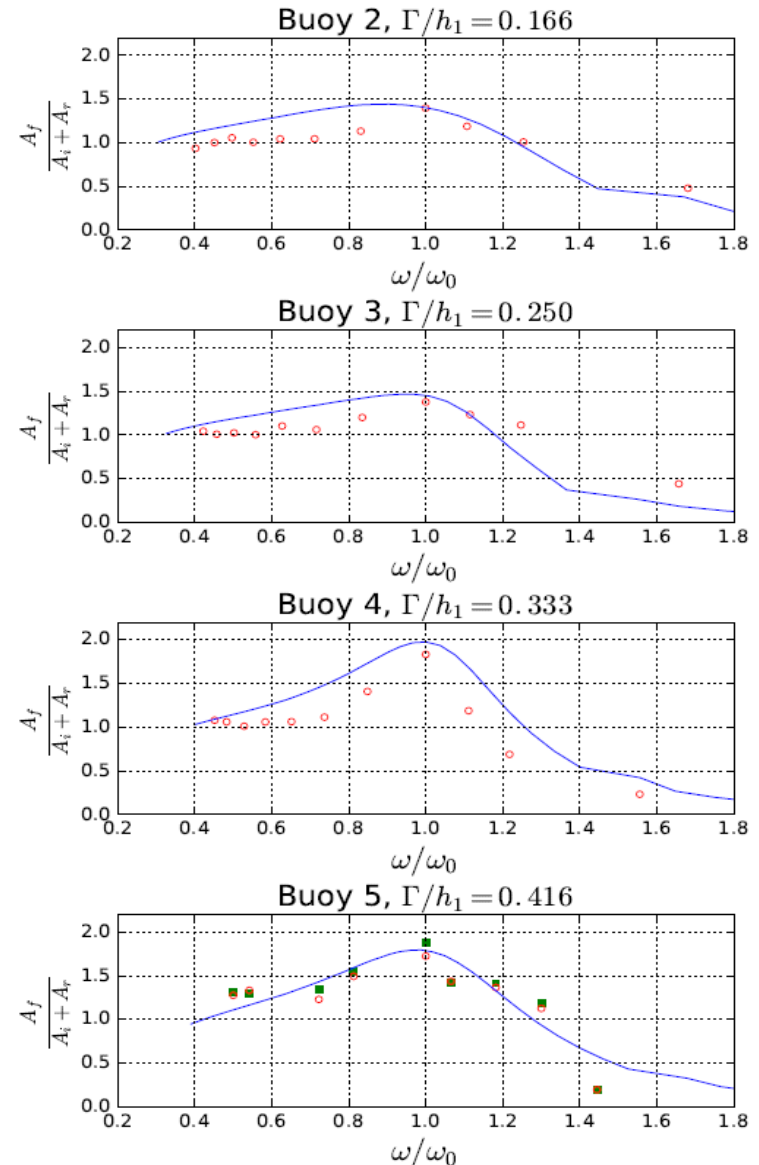
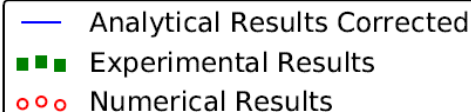
## ❖ Définition de la correction

- Calcul de l'erreur entre les coefficients numériques et analytiques.
- Définition de la fonction de correction grâce à l'erreur :

$$f_c(\omega) = a\omega^2 + b\omega + c$$

$$C_{R-corr}(\omega) = \frac{C_{R-init}(\omega)}{f_c(\omega)}$$

Seuls les coefficients de radiation sont corrigés. Il n'y a pas de terme visqueux sur les forces de diffraction.



# Conclusion

- Sur les effets visqueux :
  - Le flotteur est impacté par des effets visqueux.
  - Ces effets ne dépendent pas de la profondeur, mais dépendent du tirant d'eau.
  - Il est possible de corriger le modèle analytique. La correction se fait sur les coefficients de radiation uniquement.
- Sur l'impact de la digue :
  - La digue modifie les paramètres de résonance du flotteur (période et amplitude).
  - La digue a également un impact sur les coefficients hydrodynamiques.



# Perspectives

- Partie électromécanique :
  - Réaliser une maquette physique du convertisseur
  - Réaliser des tests expérimentaux
- Sur l'ensemble du système de production d'énergie :
  - Tester le système en canal
  - Etudier les rendements
  - Etudier les franchissements de digue
- Sur les franchissements :
  - Vérifier l'impact du dégagement sur l'atténuation

Merci de votre attention