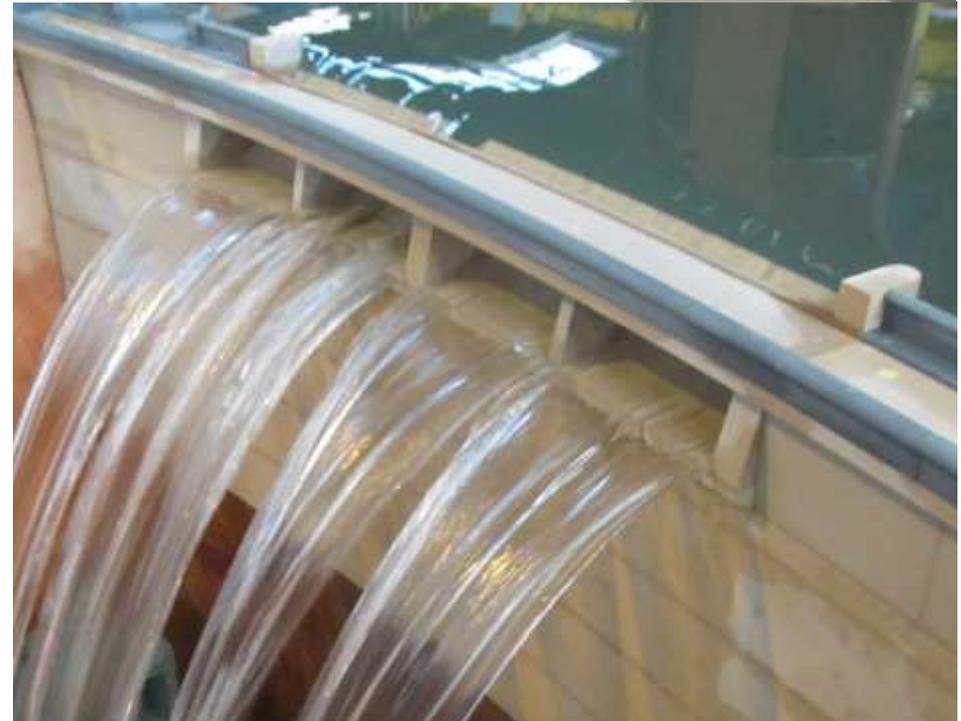
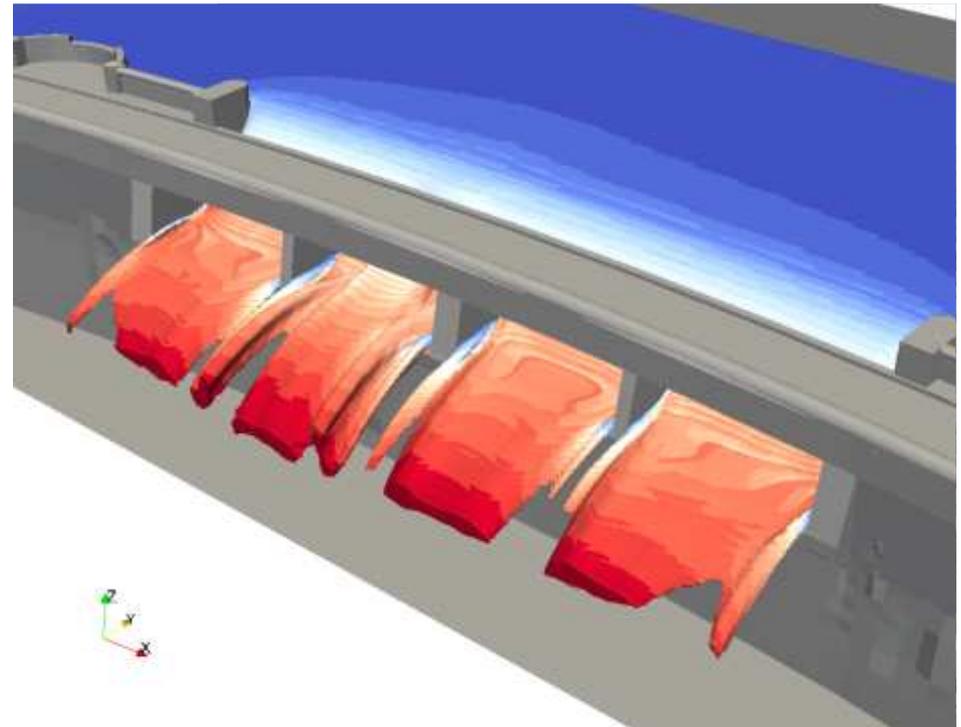




# ETUDE COMPARATIVE DES MODELISATIONS NUMERIQUE ET PHYSIQUE DE DIFFERENTS OUVRAGES D'EVACUATION DES CRUES

P.E. LOISEL, J. SCHAGUENE, O. BERTRAND, C. GUILBAUD  
ARTELIA EAU ET ENVIRONNEMENT

Symposium du CFBR du 29 janvier 2015 à Grenoble (ENSE3)



# SOMMAIRE

## 1. Objectifs de l'étude

## 2. Etude interne R&D de comparaison physique/numérique

Présentation de l'outil OpenFOAM

Cas testés

Evacuateur de crue a géométrie complexe

Coursier à marches d'un évacuateur de crue

## 3. Conclusions et perspectives

# Etude interne R&D

## ▪ Objectifs de l'étude

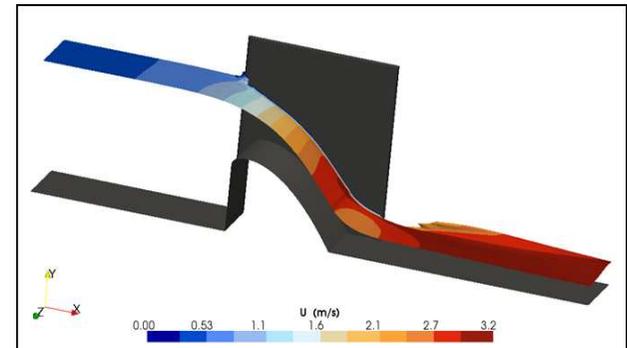
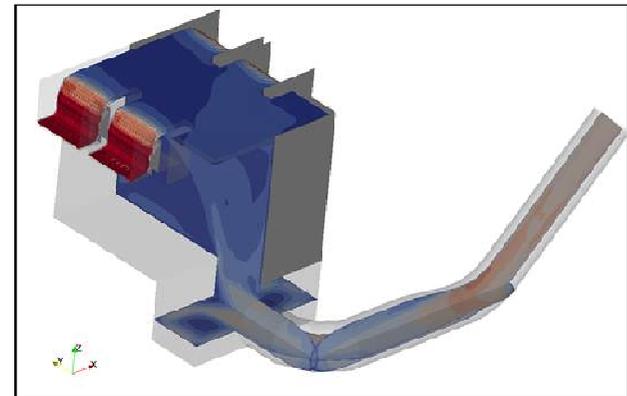
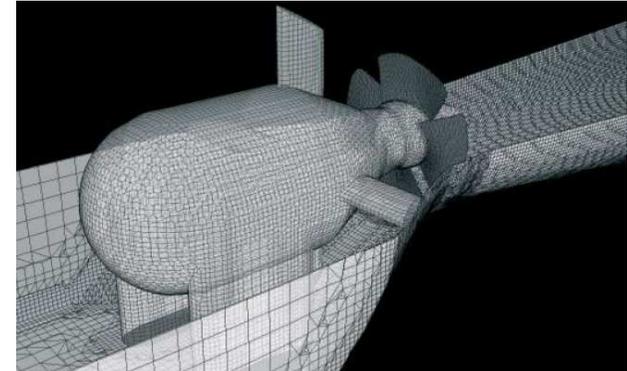
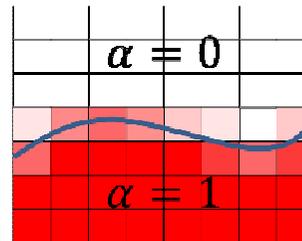
- Optimiser l'utilisation de l'outil CFD (temps de calcul, définition du maillage, interprétation des résultats)
- Etudier la convergence des deux outils CFD et modélisation physique (maquette)
- Apprécier les limites de chaque outil

## ▪ Ouvrages modélisés

- Modélisation 3D:
  - ❖ Evacuateur de crues du barrage des Cammazes (France)
- Modélisation 2D:
  - ❖ Seuil profilé et coursier à marches (Oman)

# Présentation d'OpenFOAM

- Logiciel **libre** de CFD (accès à toutes les sources : de la discrétisation des équations jusqu'aux résolutions matricielles)
- Développé par ESI (France) depuis 2012 (rachat de OpenCFD)
- Calculs **tridimensionnels** uniquement (le « 2D » est un calcul 3D sur une épaisseur unitaire)
- **Nombreux outils** à disposition (monophasique, multiphasique, transfert thermique, objets mobiles – navigation, turbine -, interaction fluide-structure...)
- Méthode des **Volumes Finis**
- Solveur diphasique basé sur la méthode de **Volume Of Fluid (VOF)**
- Equations dites **RANS** – Reynolds Average Navier-Stokes
- Nombreux autres utilisateurs dans le monde (automobile, assureurs, pétroliers, universitaires)
- Compatible HPC (High Performance Computing) (Cluster de 500 nœuds de calcul à ARTELIA)



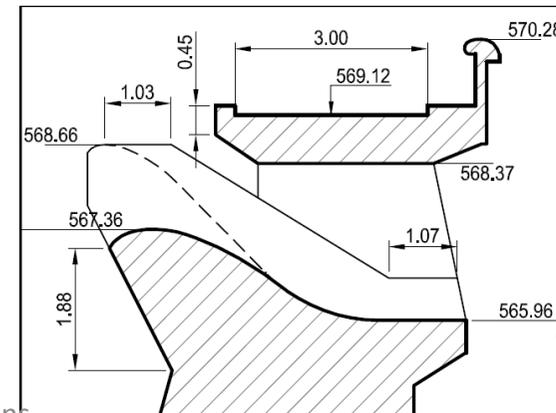
# Evacuateur de crue à géométrie complexe

## ■ L'ouvrage

- Barrage de Cammazes (Tarn), 1950
- Voûte de 70 m de haut
- Eau potable, canal du Midi
- Exploitant : I.E.M.N.
- EVC à géométrie complexe :
  - ❖ Seuil libre divisé en 4 passes,
  - ❖ Seuil bas en échancrure,
  - ❖ Risque de passage en charge sous le pont-route
- 2 vannes de fond

## ■ La mission initiale

- Déterminer la capacité d'évacuation
- Optimiser l'ouvrage en termes de :
  - ❖ Capacité de débit
  - ❖ Sensibilité aux embâcles
- Modélisation physique ARTELIA en 2013-2014



# Evacuateur de crue à géométrie complexe

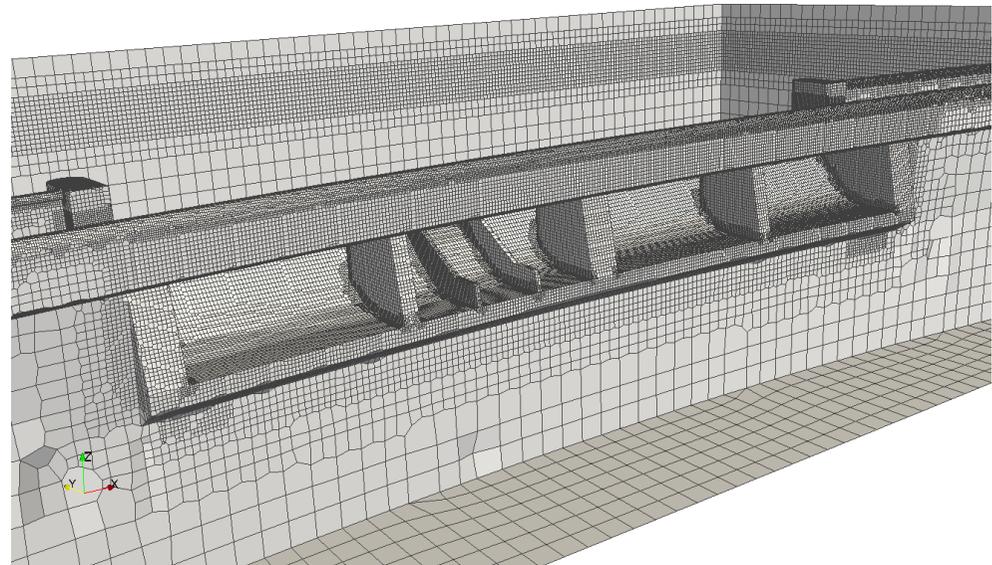
## ■ Modèle physique :

- Echelle 1/35
- Barrage partiel + linéaire « type »
- Sans bathymétrie amont
- Hauteur de chute aval limitée

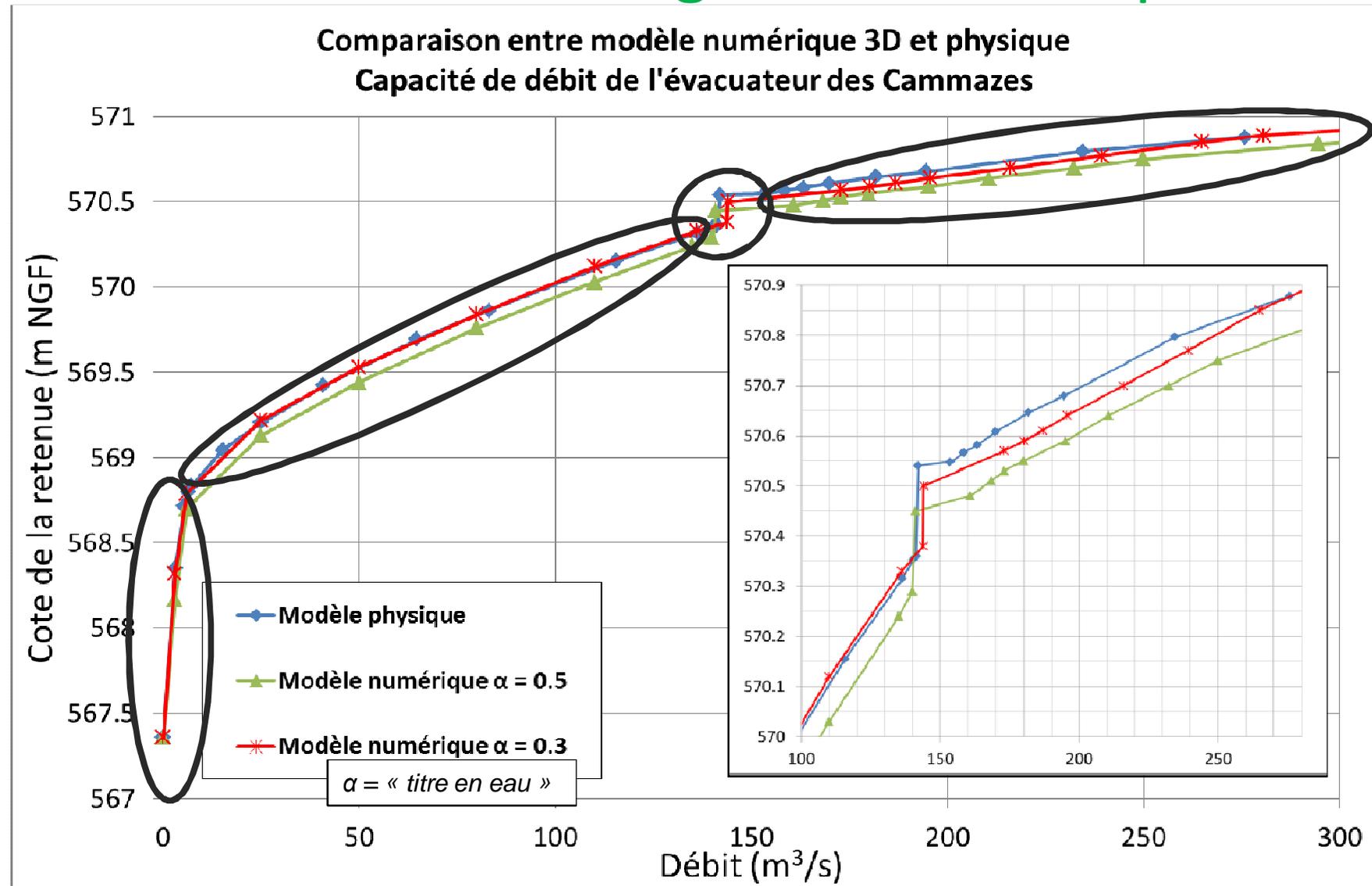


## ■ Modèle numérique :

- Emprise réduite à l'évacuateur + modèle « 2D » de linéaire « type » du barrage
- Sans bathymétrie amont
- Emprise jet aval limitée
- Mailles cubiques de 80 cm et plus fin dans l'EVC (2-10 cm)
- 2 400 000 cellules



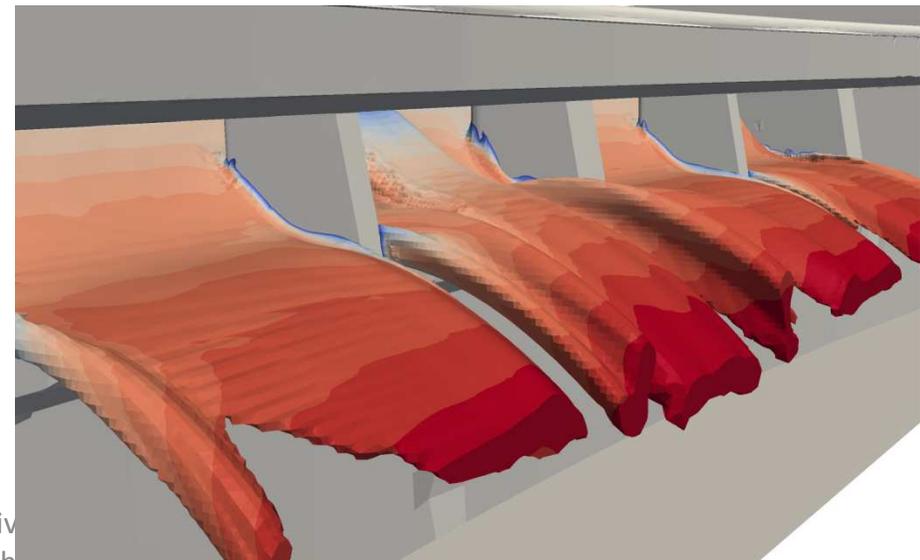
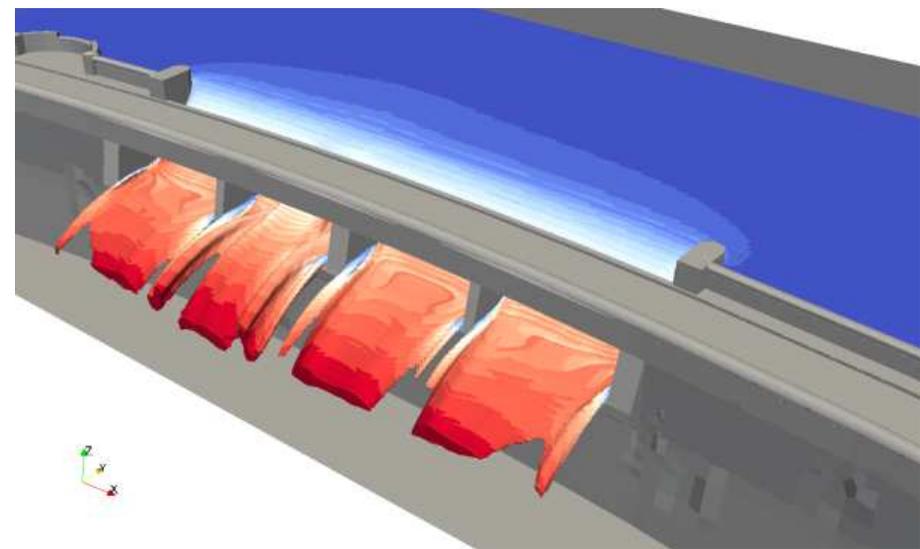
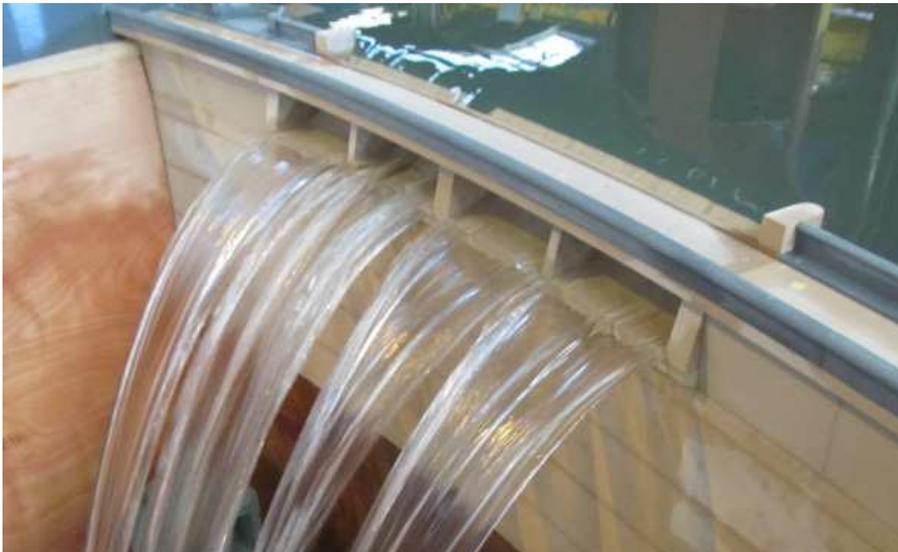
# Evacuateur de crue à géométrie complexe



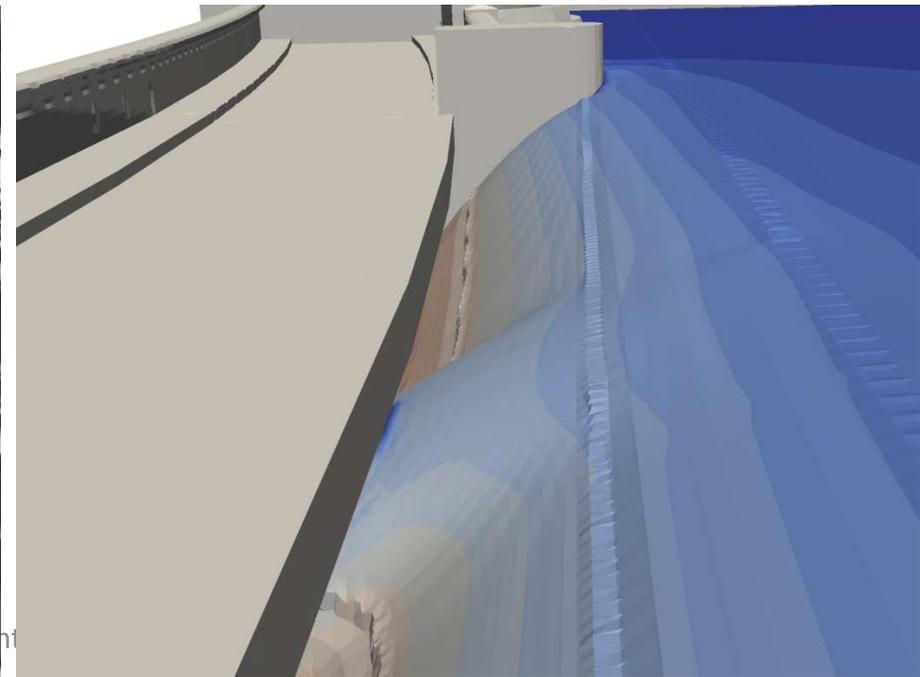
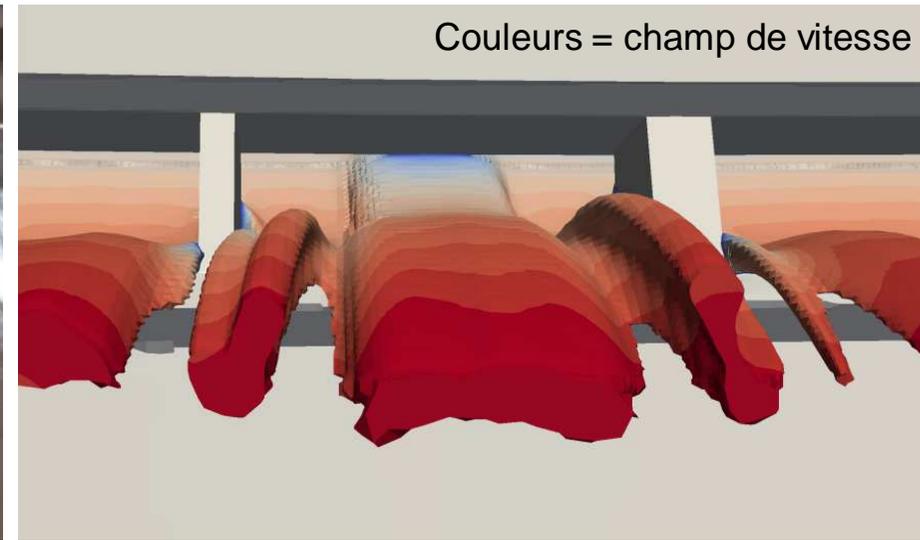
# Evacuateur de crue à géométrie complexe

$Q = 80 \text{ m}^3/\text{s}$

Couleurs = champ de vitesse



# Evacuateur de crue à géométrie complexe

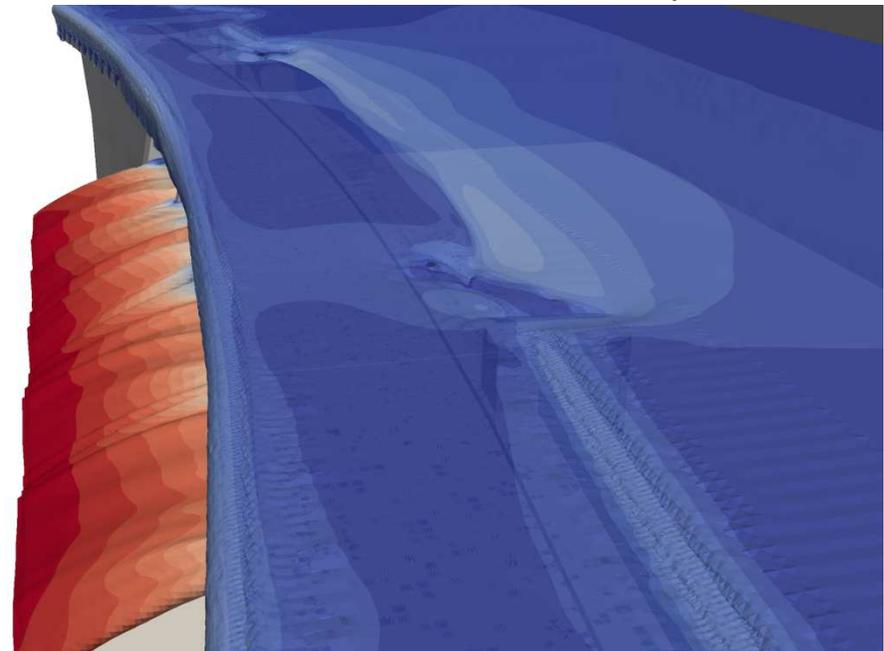


# Evacuateur de crue à géométrie complexe

$Q = 169 \text{ m}^3/\text{s}$



Couleurs = champ de vitesse



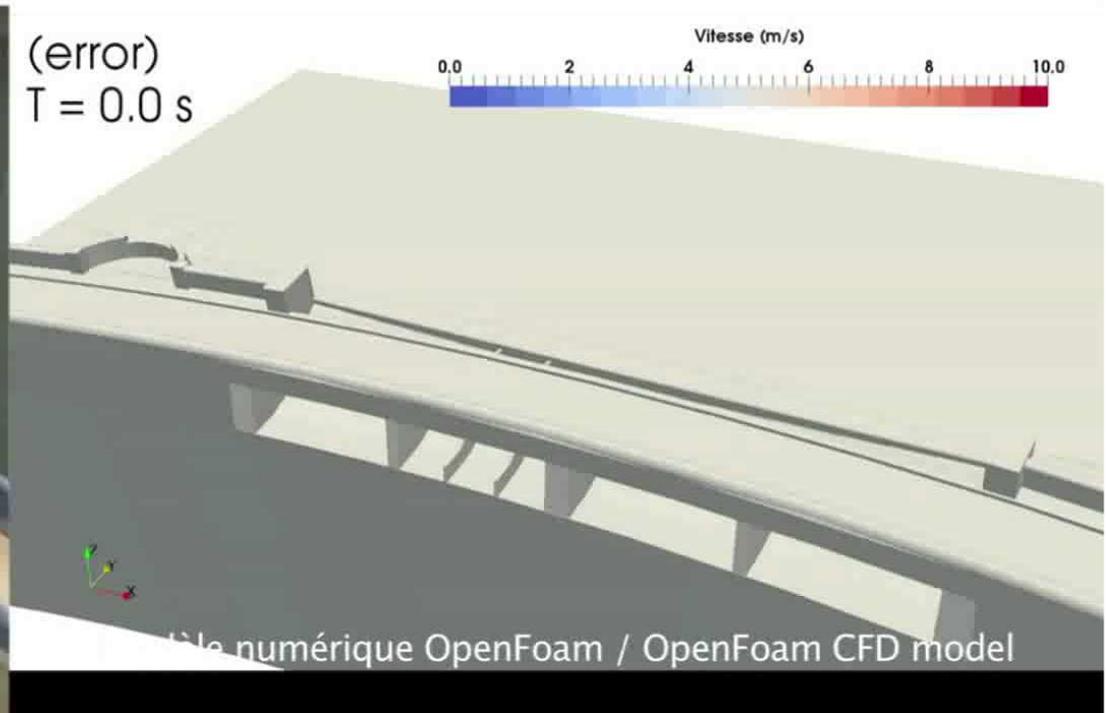
# Evacuateur de crue à géométrie complexe



Comparaison qualitative des écoulements  
sur l'évacuateur de crues du barrage des Cammazes, France  
Qualitative comparison of the flow  
over the flood spillway of Cammazes dam, France



Modèle physique / Scale model



Modèle numérique OpenFoam / OpenFoam CFD model

# Evacuateur de crue à géométrie complexe

## Conclusions

- Comportement qualitatif global similaire par les deux modélisations → on ne passe pas à côté d'un comportement ou d'un résultat primordial
- Le marqueur  $\alpha$  (VOF) est une variable importante. Elle représente l'incertitude due à la taille des mailles au niveau de la surface libre.
- Quelle que soit le  $\alpha$  retenu, le débit limite de passage en charge est retrouvé (erreur < 2%)
- Indispensable : Etude de sensibilité des paramètres numériques OU calage sur un point de calibration.

# Seuil profilé et coursier à marches

## ▪ L'ouvrage

- Barrage New Al Khawd ou AK01 (Oman)
- H=50 m
- QPMF = 11000 m<sup>3</sup>/s
- BCR + remblai
- EVC sur BCR :
  - ❖ Seuil droit profilé L=300m
  - ❖ Coursier à marches h=1.20m

## ▪ La mission initiale

- Maitrise d'œuvre complète, conception, suivi de construction depuis 2009
- Modélisation physique pour caractériser / optimiser :
  - ❖ Capacité d'évacuation
  - ❖ Lignes d'eau sur coursier
  - ❖ Dissipation d'énergie / affouillements aval
- Etude paramétrique de la dissipation d'énergie sur les marches du coursier

# Seuil profilé et coursier à marches

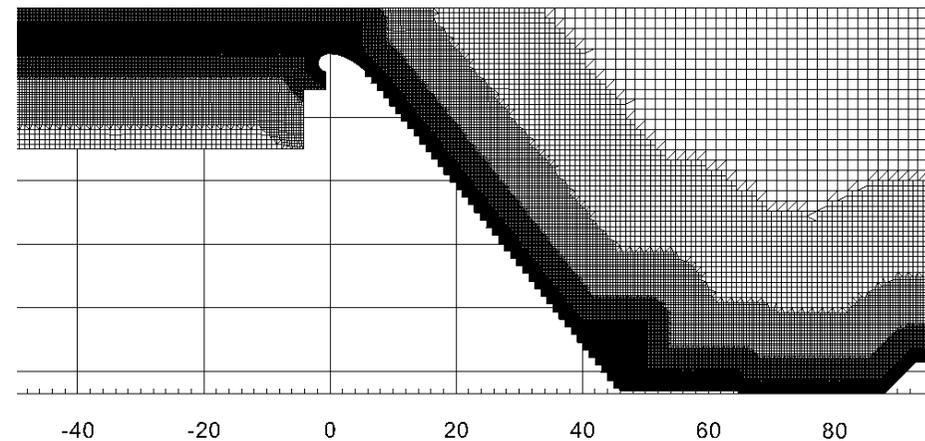
## ■ Le modèle physique :

- Echelle 1/70
- Sans bathymétrie amont
- Fonds affouillables dans la fosse aval
- Linéaire aval de 500 m
- Volet permettant le réglage du niveau aval



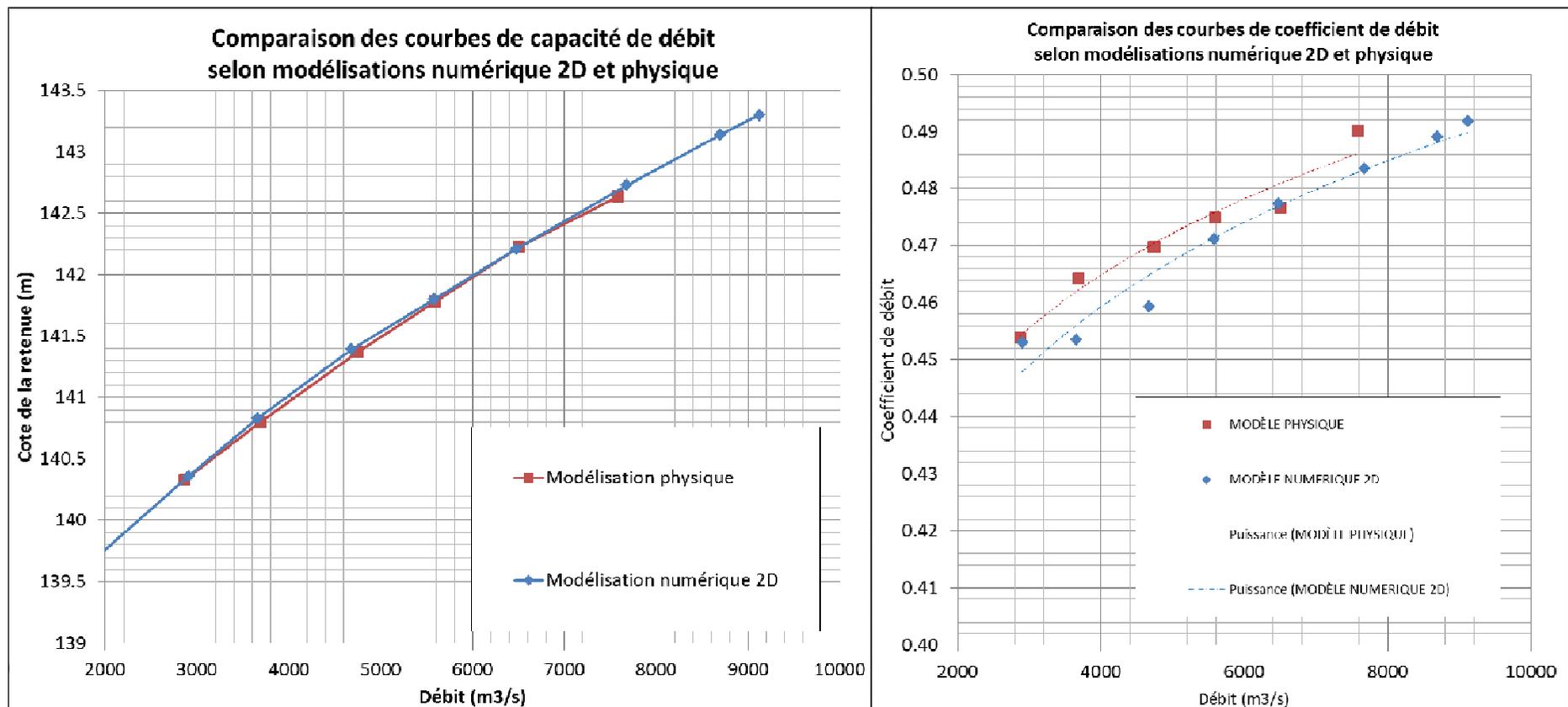
## ■ Le modèle numérique :

- Modèle « 2D »
- Volume de retenue limité (pas de bathymétrie amont)
- Mailles cubiques de 10 à 160 cm
- 100 000 cellules (taille de modèle raisonnable)



# Seuil profilé et coursier à marches

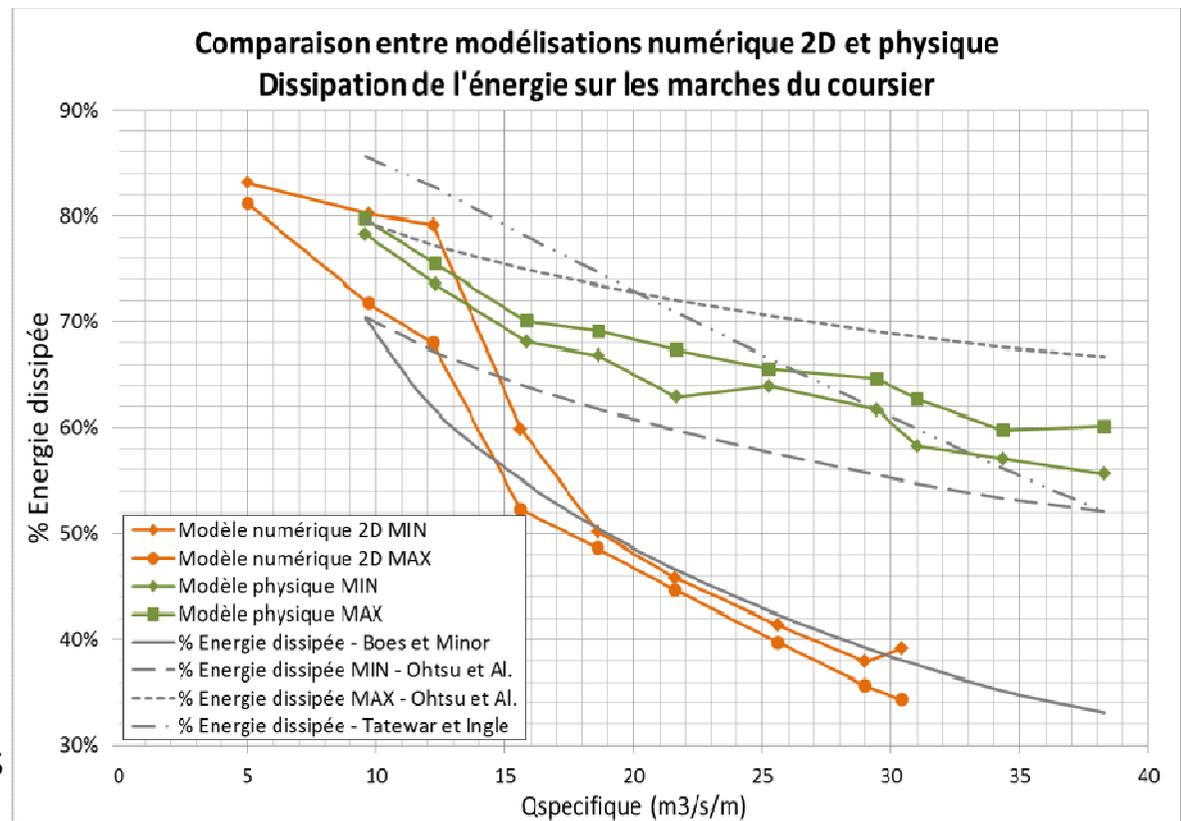
- **Comparaison en termes de capacité d'évacuation :**
  - Comparaison des capacités de débit
  - Très bonne concordance (erreur débit < 2.3%)



# Seuil profilé et coursier à marches

## ■ Comparaison en termes de dissipation d'énergie

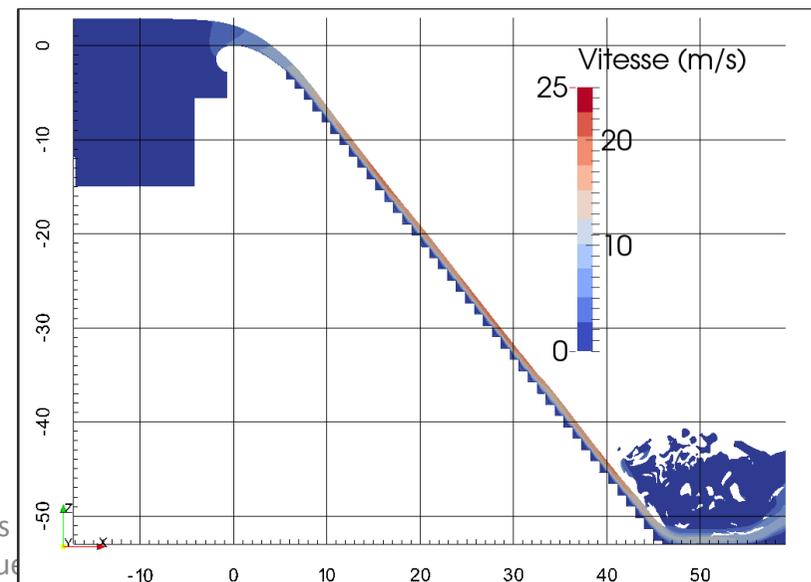
- Dissipation d'énergie au pied aval des marches = sujet complexe de recherche
- Comparaison à différentes théories:
  - ❖ Boes et Minor 2002
  - ❖ Ohtsu et al. 2004
  - ❖ Tatewar et Ingle 2000
- Concordance des tendances : OK
- Quantitativement :
  - ❖ OK pour débits faibles
  - ❖ Divergence pour débits plus élevés



# Seuil profilé et coursier à marches

## ■ Conclusions

- Ecoulements diphasiques forte dissipation = sujet complexe
- Phénomènes transversaux? → Nécessité d'un modèle CFD 3D?
- A garder en tête: échelle modèle physique 1/70 non optimale → sous-estimation de la dissipation



Etude comparative des  
numérique et physique

# Conclusions

## ▪ Utilité des 2 outils

### Modélisation physique

Outil « traditionnel » de référence

En 2<sup>ème</sup> phase  
d'étude

Ajustements de précision sur la configuration la plus aboutie si nécessaire :

- ❖ Plus coûteux à mettre en place,
- ❖ MAIS reste encore l'outil de référence, notamment en l'absence de point de calage.

Aspect concret

Modifications / Recherche d'optimisation faciles et peu coûteuses

### CFD

Peut compléter voire remplacer la modélisation physique pour **certains sujets hydrauliques complexes**

En 1<sup>ère</sup> phase  
d'étude

- ❖ Approche idéale pour affiner la forme et l'emprise d'ouvrages en projet.
- ❖ Evaluation qualitative du comportement de plusieurs configurations différentes.

Visualisation aisée

Analyse de l'ensemble de la masse d'eau

Possibilité d'archivage du modèle

## Complémentarité des deux outils.

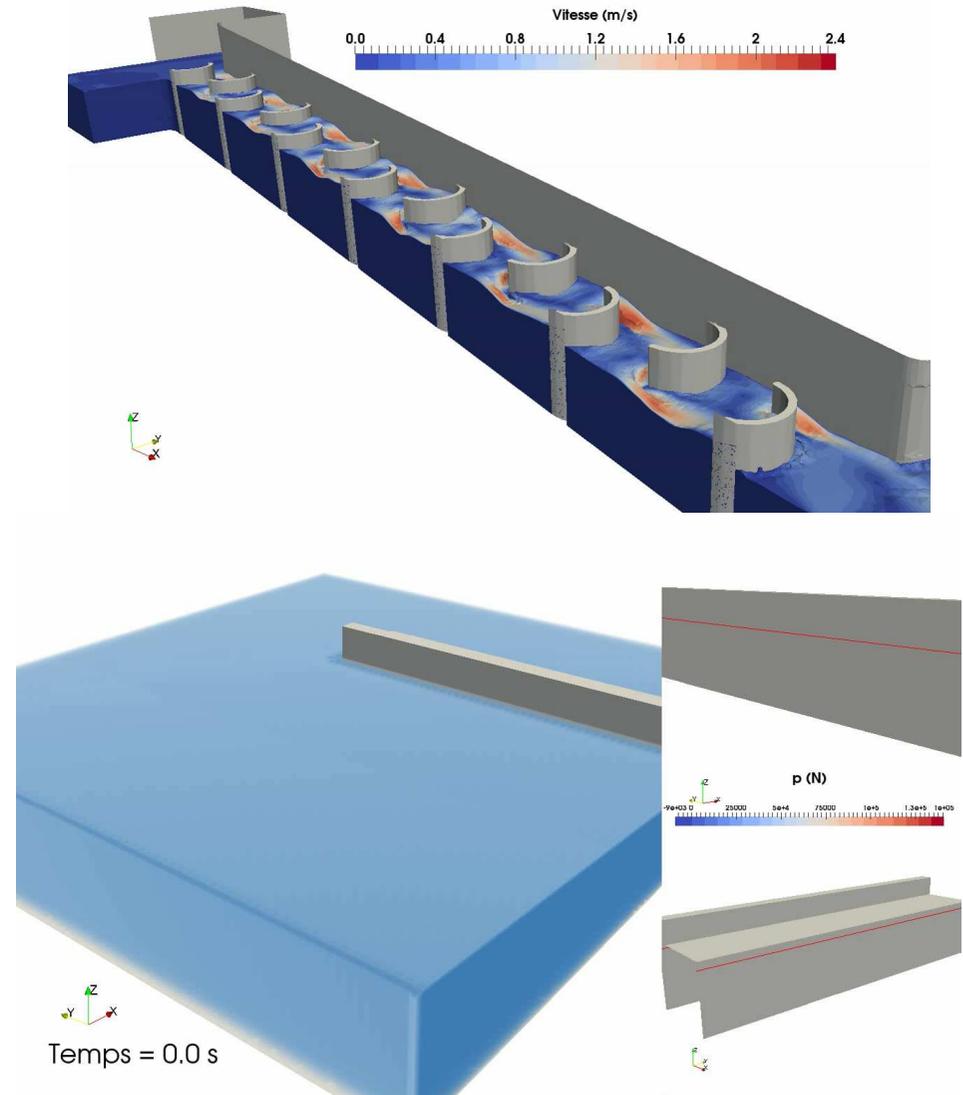
# Perspectives

- **Domaines d'application**

- Evacuateurs de crue à SL ou en charge
  - ❖ Seuils droits/complexes, profilés/épais/minces,
  - ❖ Labyrinthes, PK Weirs,
  - ❖ Avec/Sans vannage,
  - ❖ [...]
- Coursiers droits/convergenents
- Bassins de dissipation
  
- Vidanges
- Prises d'eau
- Passes à poisson
  
- Stations de pompage
- Chambres de répartition
- [...]

- **Recherche et évolutions**

- Couplage CFD-CFG Telemac-OpenFOAM, thèse de M.P. Daou (ARTELIA)
  
- Modélisation des affouillements : Soutien au projet de recherche du LEGI – Julien CHAUCHAT



# MERCI

