



**POLYTECH<sup>®</sup>**  
**ORLÉANS**

École d'Ingénieurs de l'Université d'Orléans

## Etude de la résonance dans les cavités latérales

VICTOR DOUET À CEREMA REM

HASSAN SMAOUI (DR, CEREMA)

PHILIPPE SERGENT (ICPEF, CEREMA)

EMMANUEL MIGNOT (MC, INSA LYON)

PROFESSEUR RÉGINE WEBER



# Plan de la présentation

- Présentation de l'hôte et du sujet de stage
- Notions de physique
- Bibliographie
- Méthodes et Résultats
- Conclusion

# L'hôte : Cerema



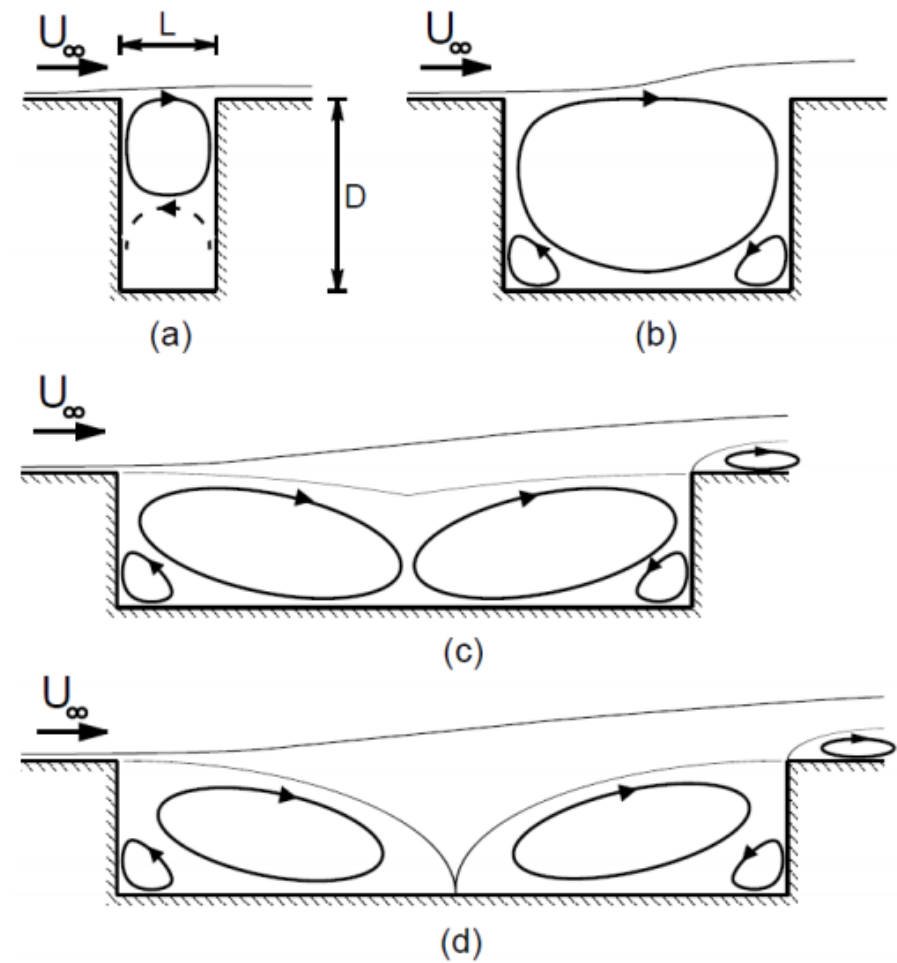
- ▶ Cerema REM (Risques, Eaux et Mer), à Compiègne
- ▶ Une des trois directions techniques du Cerema
- ▶ Coordonne l'élaboration et la mise en œuvre de programmes pour le compte de l'État et des collectivités
- ▶ Centre de ressources qui produit de nombreuses publications d'ordre méthodologique
  
- ▶ Stage en collaboration avec l'INSA Lyon dans le cadre du GIS HED2

## Le sujet du stage :

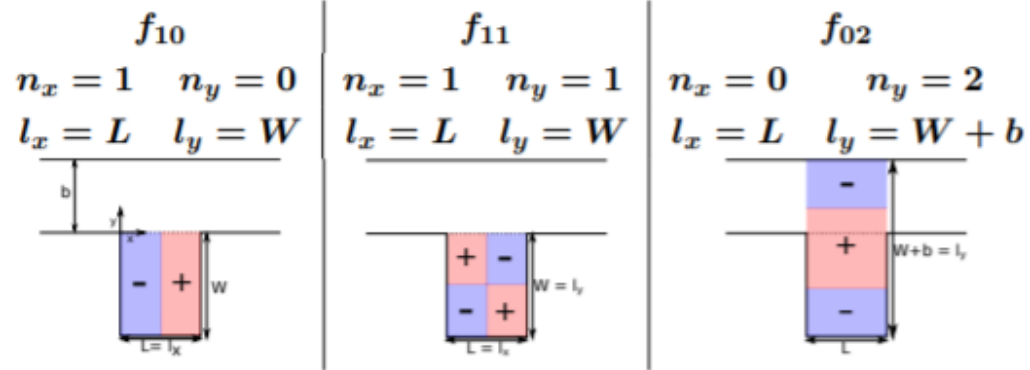
- ▶ Perrot Minot (2019) a mis en évidence l'apparition de mode propres de résonance stationnaires dans certains cas d'écoulement dans un canal avec une cavité latérale:
- ▶ Démonstration que la forme des modes propres dépendent de l'écoulement (Nombre de Froude) et des dimensions de la cavité.
- ▶ Objectif : confirmer numériquement les résultats de Perrot-Minot et approfondir l'étude sur les cavités par :
  - ▶ Les équations de Rabinovich
  - ▶ Le logiciel Refonde
  - ▶ Le logiciel Fluent

# Notions de physique importantes

- Phénomène de seiche
- Mode propre de résonance d'oscillation de la surface libre
- Cavités ouvertes et fermées



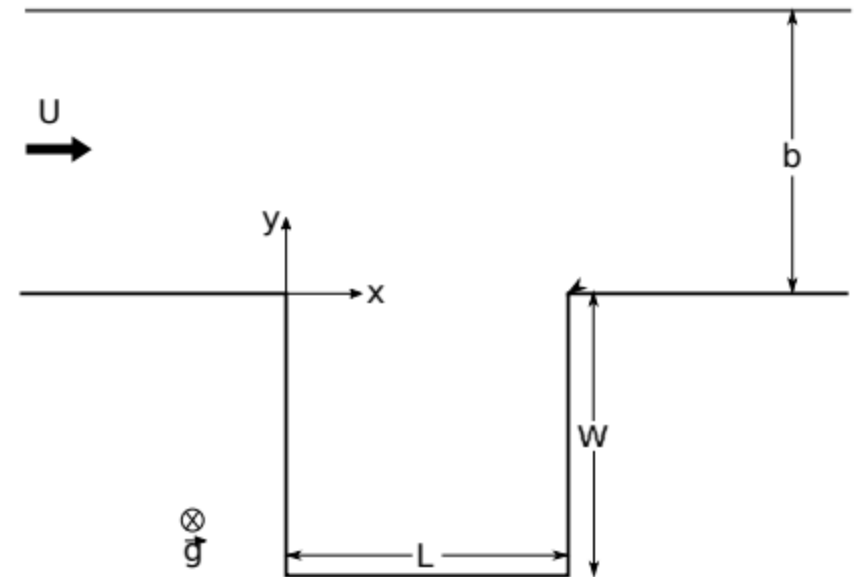
- Catégories de cavité :
- a) et b) cavité ouverte
  - c) cavité transitionnelle
  - d) cavité fermée
- (Perrot-Minot, 2019)



Exemples de modes propres de cavité rectangulaire (Perrot-Minot, 2019)

## Présentation du cas d'étude :

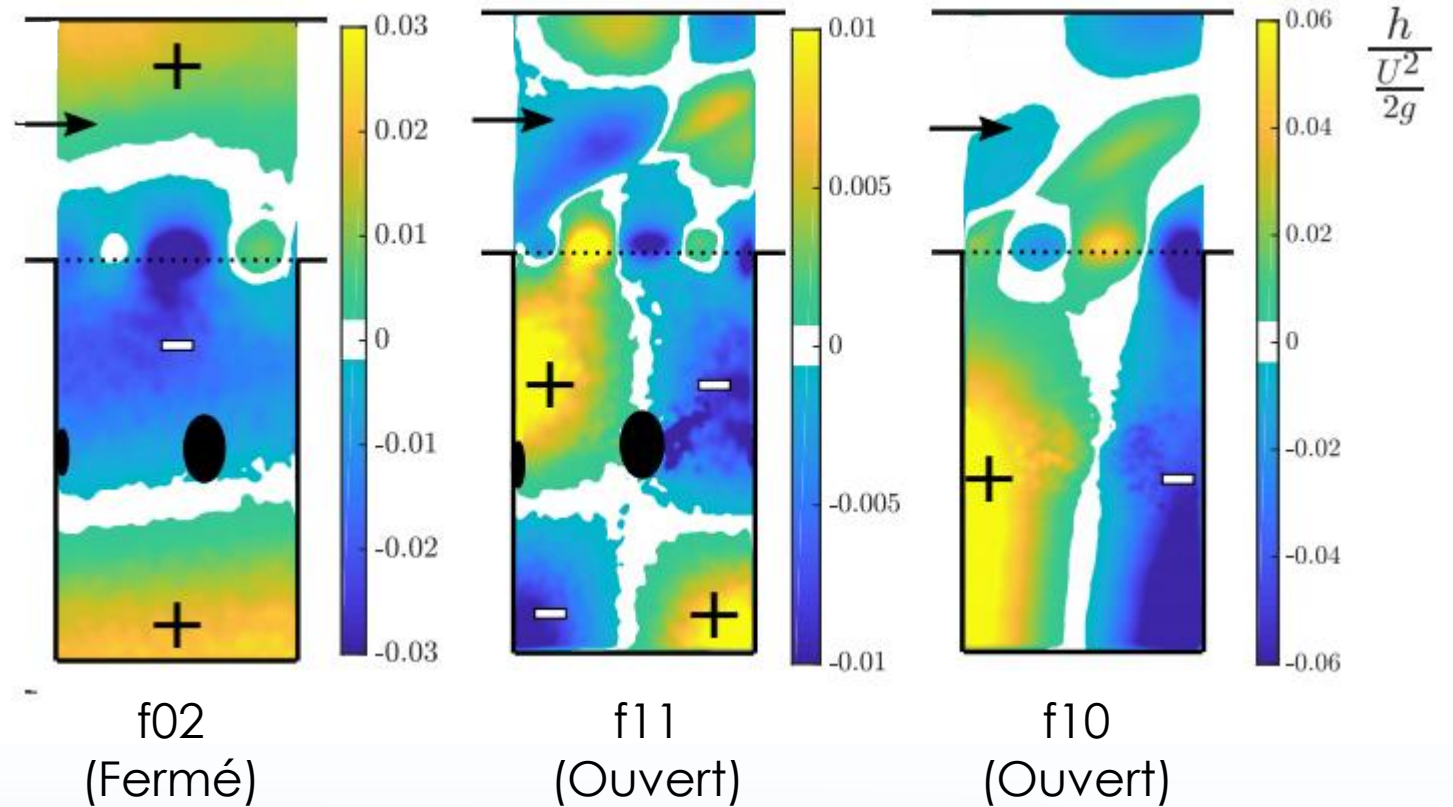
- Écoulement de gauche à droite
- Ecoulements variables pour observer les modes propres
- Paramètres adimensionnels :  
Nombre de Froude  $(\frac{U}{\sqrt{g.h}})$ ,  $\frac{b}{L}$ , et  $\frac{W}{L}$



Géométrie de l'expérience (Perrot-Minot, 2019)

# Résultats de Perrot-Minot

- Exemples de résultats obtenus par Perrot-Minot
- $0,25 < Fr < 0,4$  : f02
- $0,4 < Fr < 0,475$  : f11
- $0,475 < Fr < 0,6$  : f10



Résultats de déformée de surface libre  
(Perrot-Minot, 2019)

## Calcul analytique

► Equations de Rabinovich (2009):

$$c = \frac{g}{2\pi f_{n_x n_y}} \tanh\left(\frac{2\pi h f_{n_x n_y}}{c}\right)$$

$$\text{Fermé : } f_{n_x n_y} = \frac{c}{2} \left[ \left(\frac{n_x}{l_x}\right)^2 + \left(\frac{n_y}{l_y}\right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\text{Ouvert : } f_{n_x n_y} = \frac{c}{2} \left[ \left(\frac{n_x}{l_x}\right)^2 + \left(\frac{2.n_y+1}{2.l_y}\right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

Fonction du mode de résonance stationnaire :

$$h(x, y) = A. \cos\left(2\pi. f_{n_x n_y} . x\right) \times \sin\left(2\pi. f_{n_x n_y} . y\right)$$

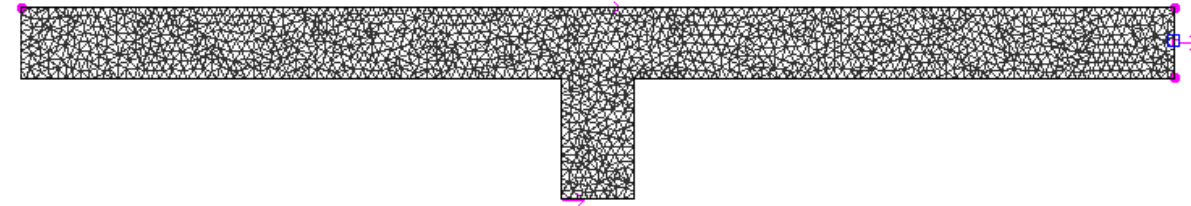


## Refonde : Présentation

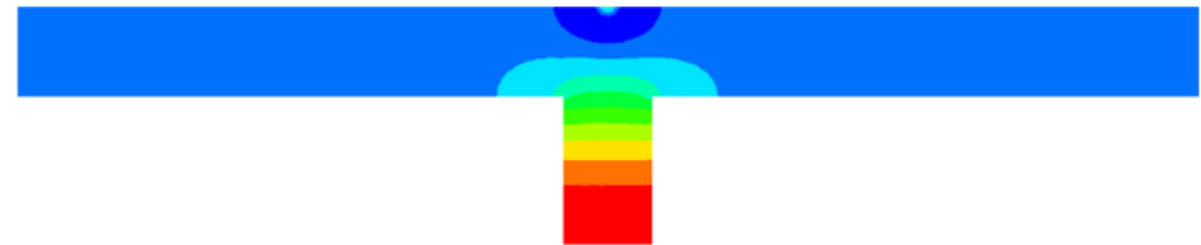
- ▶ Logiciel de calcul aux éléments finis résolvant l'équation d'Helmholtz développé par Cerema
- ▶ Permet de déterminer l'agitation de la houle en fonction de sa période

- ▶ Equation de Helmholtz :

$$\nabla^2 f = -k^2 f$$



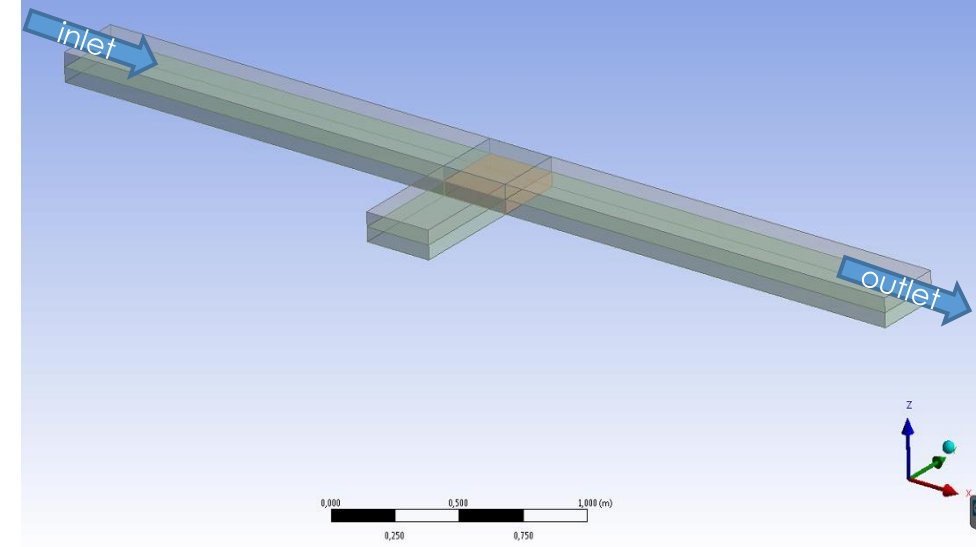
Géométrie et maillage utilisés pour l'étude



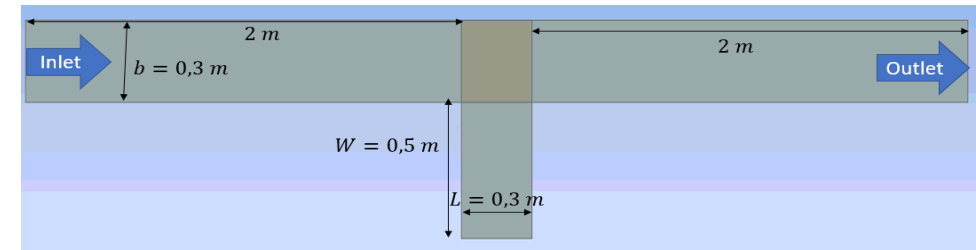
Exemple de résultat (ici,  $f_{00}$ )

# Fluent

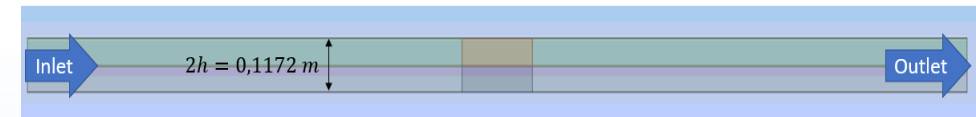
- Création d'un modèle Fluent reprenant les conditions de la thèse
- Paramètre de l'écoulement : nombre de Froude
- Différents cas de conditions aux limites
- Modèle multiphasique : Volum of Fluid
- Modèle de turbulence : k- $\omega$  SST



Géométrie de Fluent



Géométrie de Fluent, vue XY



Géométrie de Fluent, vue XZ

## Résultats : Comparaison, méthodes de calcul

### ► Rabinovich :

► Ouvert et fermé

►  $ly = W$  ou  $ly = W + b$

### ► Résultats obtenus avec Refonde

► Fluent (foo uniquement)

► L'expérience (thèse)

### ► Caractéristique de notre cas :

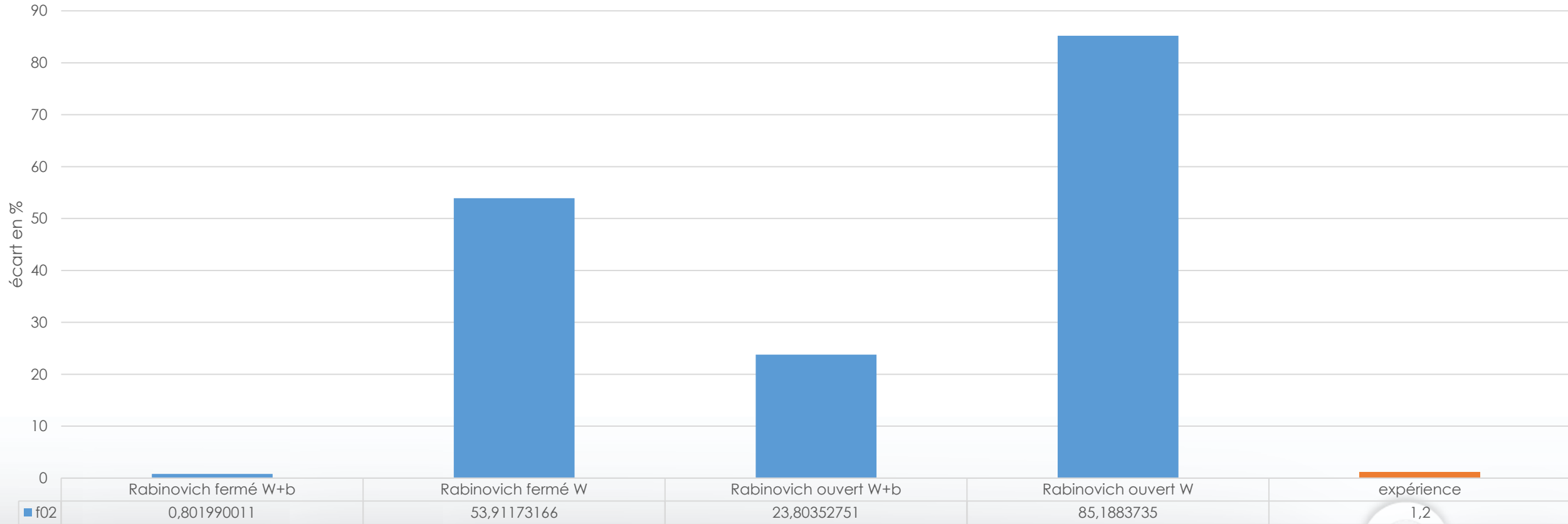
$$\text{► } \frac{b}{L} = 1$$

$$\text{► } \frac{W}{L} = 1,666$$

$$\text{Fermé : } f_{n_x n_y} = \frac{c}{2} \left[ \left( \frac{n_x}{l_x} \right)^2 + \left( \frac{n_y}{l_y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

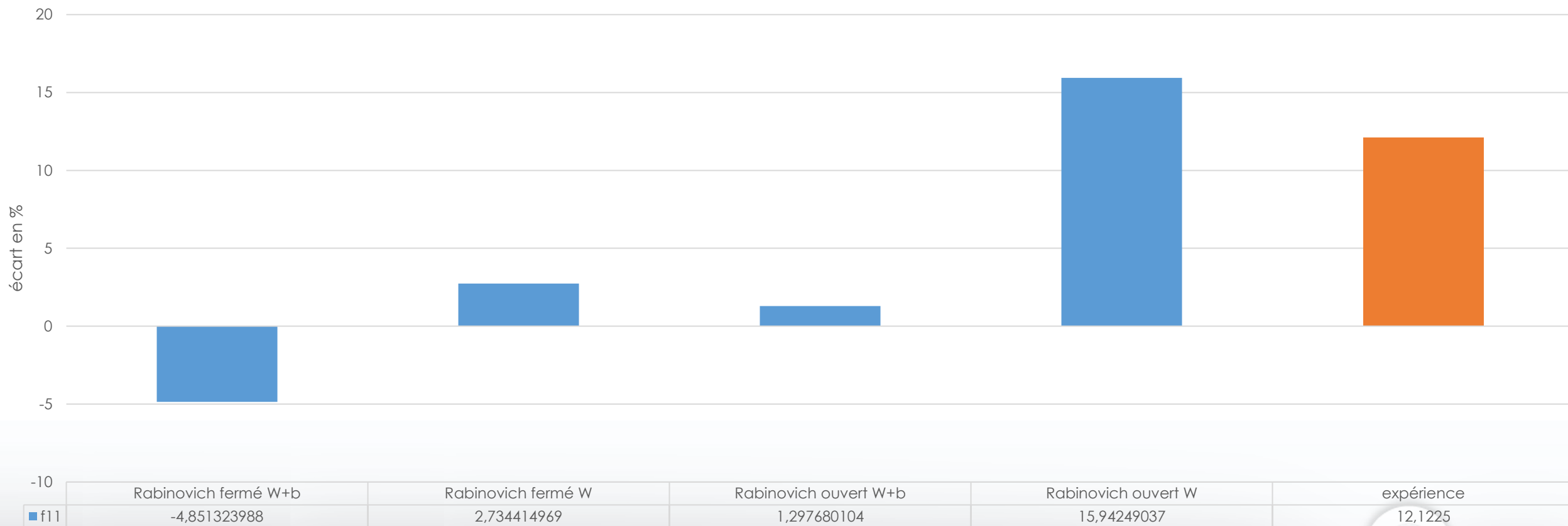
# Résultats : Comparaison f02

Résultats pour f02



# Résultats : Comparaison f11

Résultats pour f11



# Etude sur les cavités fermées et ouvertes

► Etude de l'influence de  $\frac{W}{L}$ ,  $\frac{b}{L}$  et  $i$  sur les cavités ouvertes/fermées

►  $i$  : indice du mode propre  $n_x=0$  et  $n_y=i$

► Comparaison :

► Résultats Refonde et Formules de Rabinovich

► Etude de l'amplitude du mode de résonance

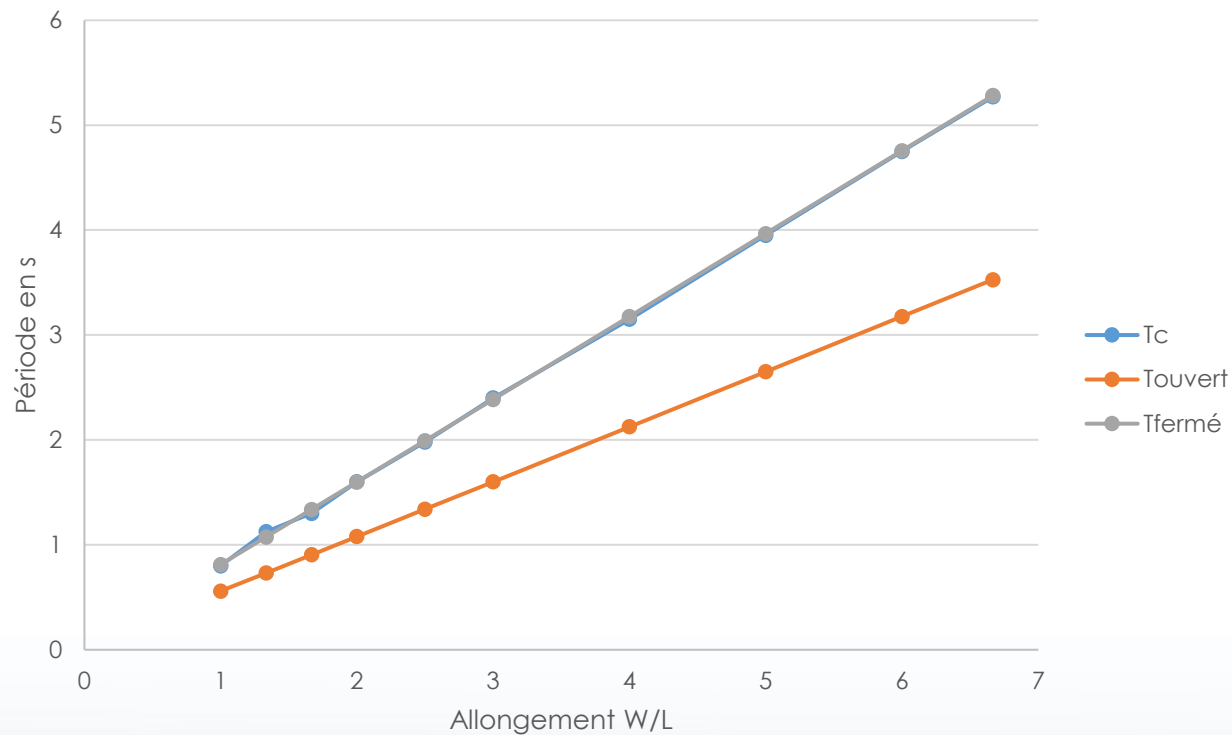
► Courbes frontières  $L/b$  en fonction de  $W/L$  entre cas fermé et cas ouvert

$$\text{Fermé : } f_{0i} = \frac{c}{2} \left( \frac{i}{l_y} \right)$$

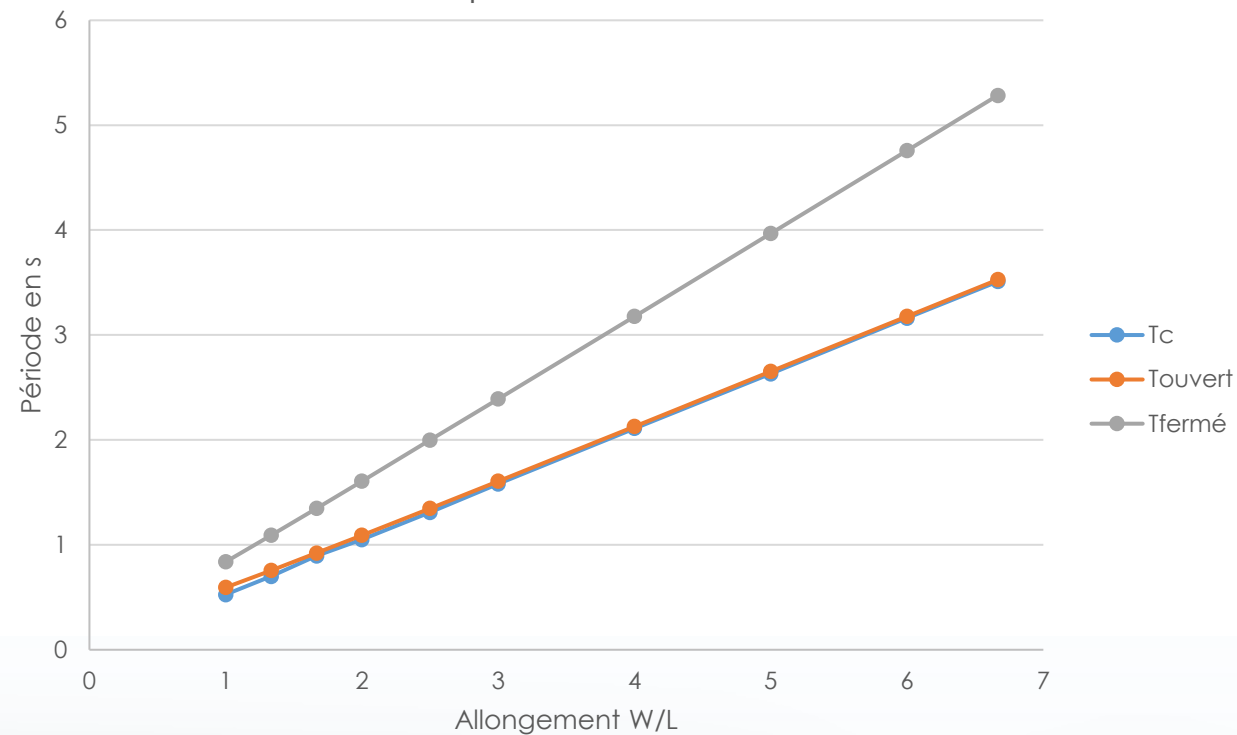
$$\text{Ouvert : } f_{0i} = \frac{c}{2} \left( \frac{2.i+1}{2.l_y} \right)$$

# Etude sur les cavités fermées et ouvertes : Refonde et Rabinovich

Comparaison des périodes calculées, ouvertes et fermées pour  $i=1$  et  $b/L=0,5$

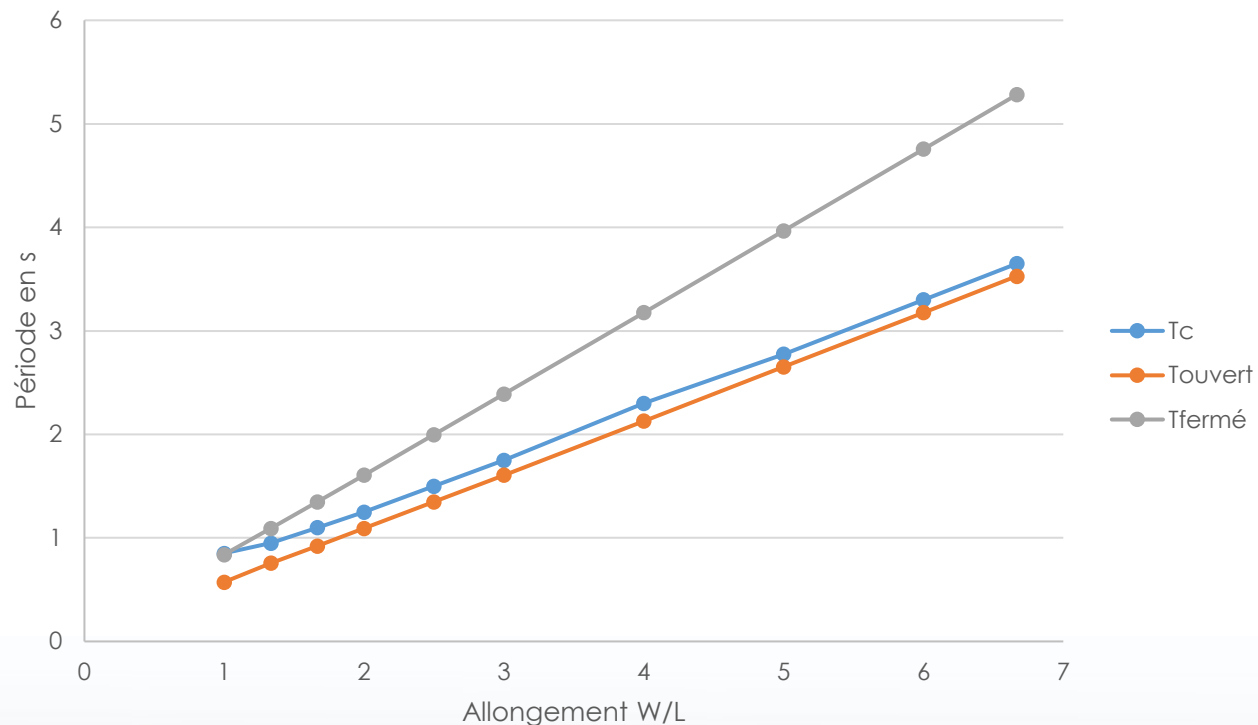


Comparaison des périodes calculées, ouvertes et fermées pour  $i=1$  et  $b/L=2$

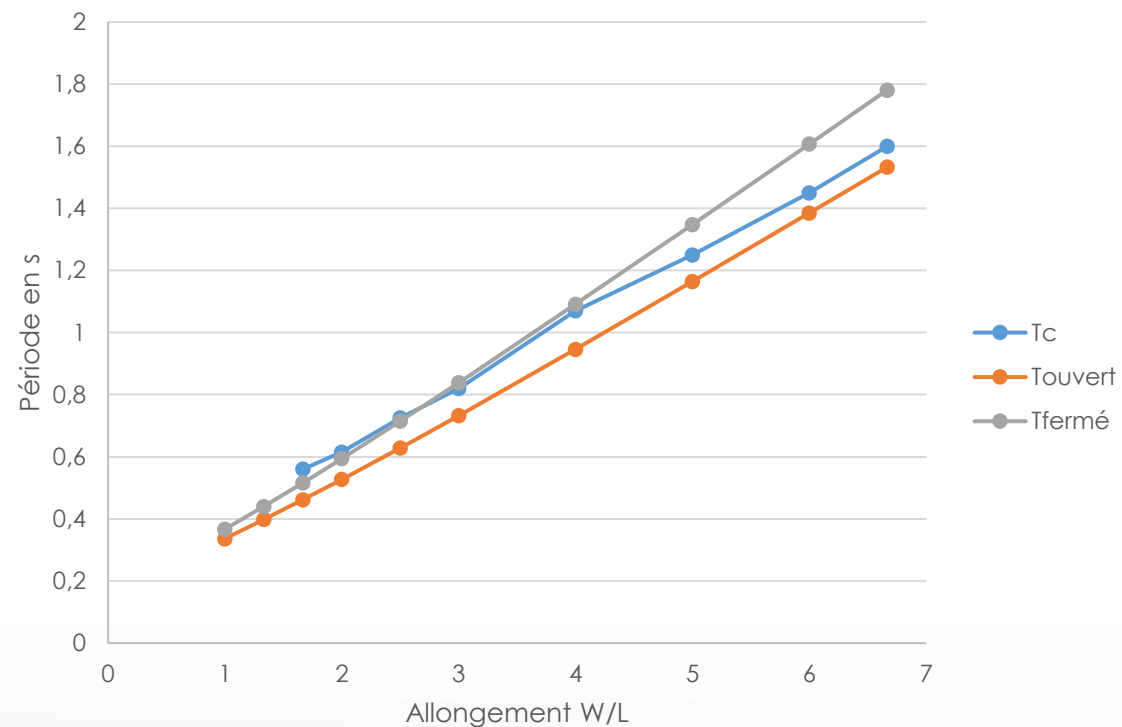


# Etude sur les cavités fermées et ouvertes : Refonde et Rabinovich

Comparaison des périodes calculées, ouvertes et fermées pour  $i=1$  et  $b/l=1$



Comparaison des périodes calculées, ouvertes et fermées pour  $i=3$  et  $b/l=1$





## Longueur d'influence $L_i$

$$\blacktriangleright Ti \approx \frac{4W}{c} \left( 1 + \frac{\alpha}{2i+1} \right)$$

$$\blacktriangleright Li = \frac{W \cdot \alpha}{2i+1}$$

$$\blacktriangleright h = \sin \left( \frac{(2i+1)\pi \cdot y}{2(Li+W)} \right)$$

$$\blacktriangleright h = \frac{(2i+1)\pi \cdot y}{2(Li+W)}$$

$$\blacktriangleright h_{paroi} = \frac{(2i+1)\pi}{2} \cdot \frac{Li-b}{b+W}$$

$$\blacktriangleright (2i+1) \frac{Li-b}{b+W} = 5\%$$

► indique qu'il y a une longueur virtuelle du mode qui « dépasse » dans le canal

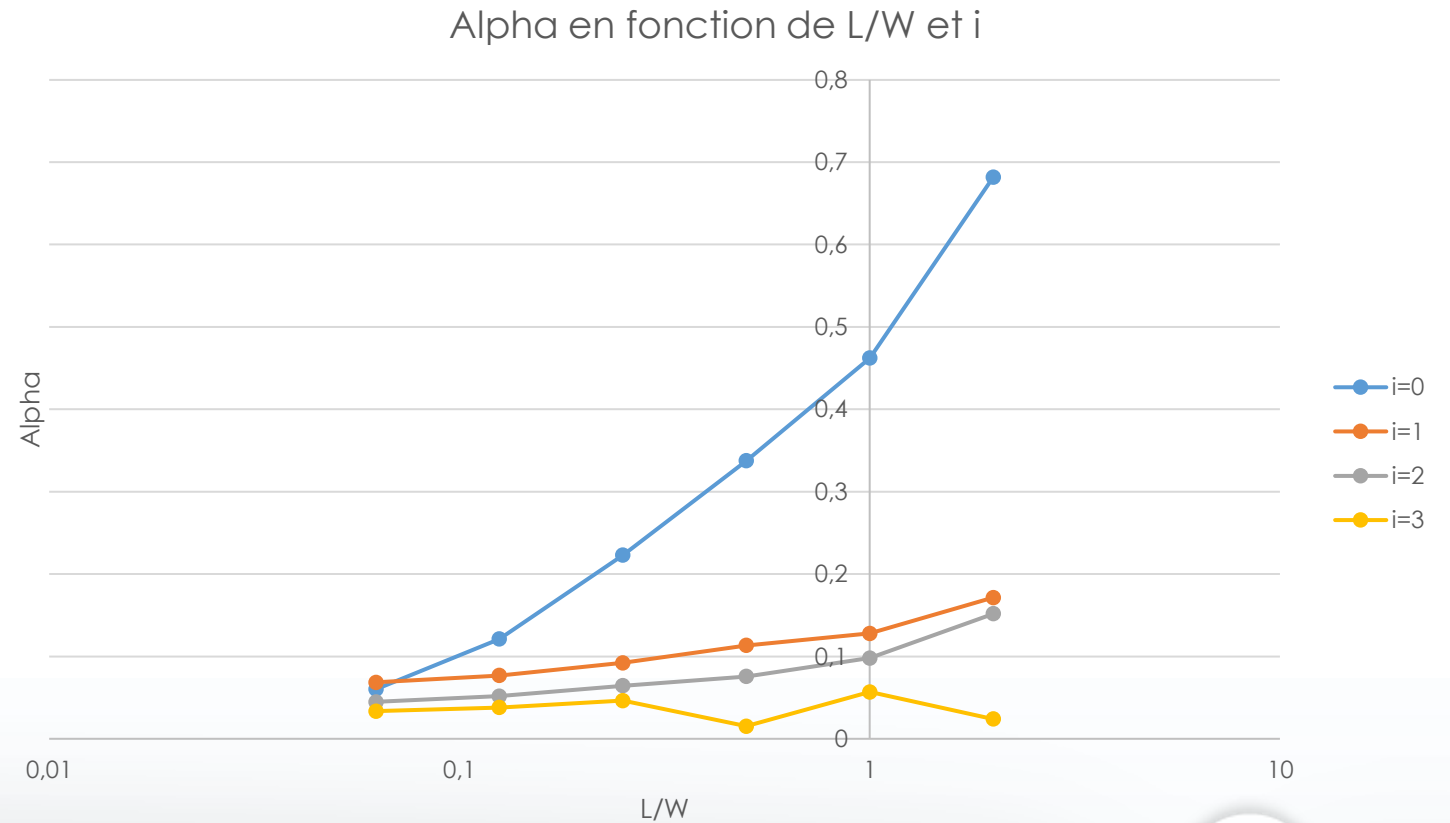
►  $\alpha$  une fonction croissante en fonction de  $\frac{L}{W}$

► Approximé de cette façon car  $y$  petit

► On cherche donc la courbe frontière entre cas fermé et cas ouvert pour une amplitude à un pourcentage donné

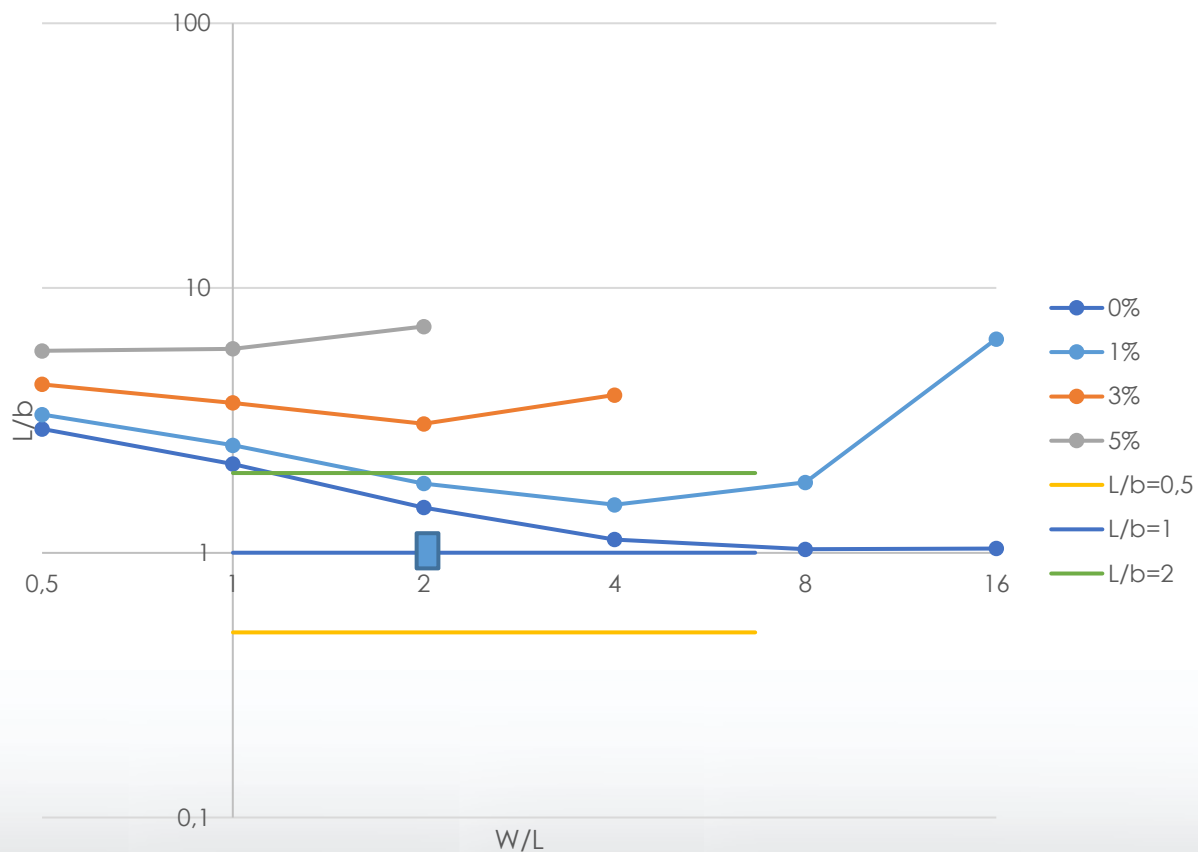
# Alphas

- Courbe de alpha en fonction de  $i$  et  $\frac{L}{W}$
- En théorie :  $\frac{\alpha_0}{\alpha_i} = 2i + 1$

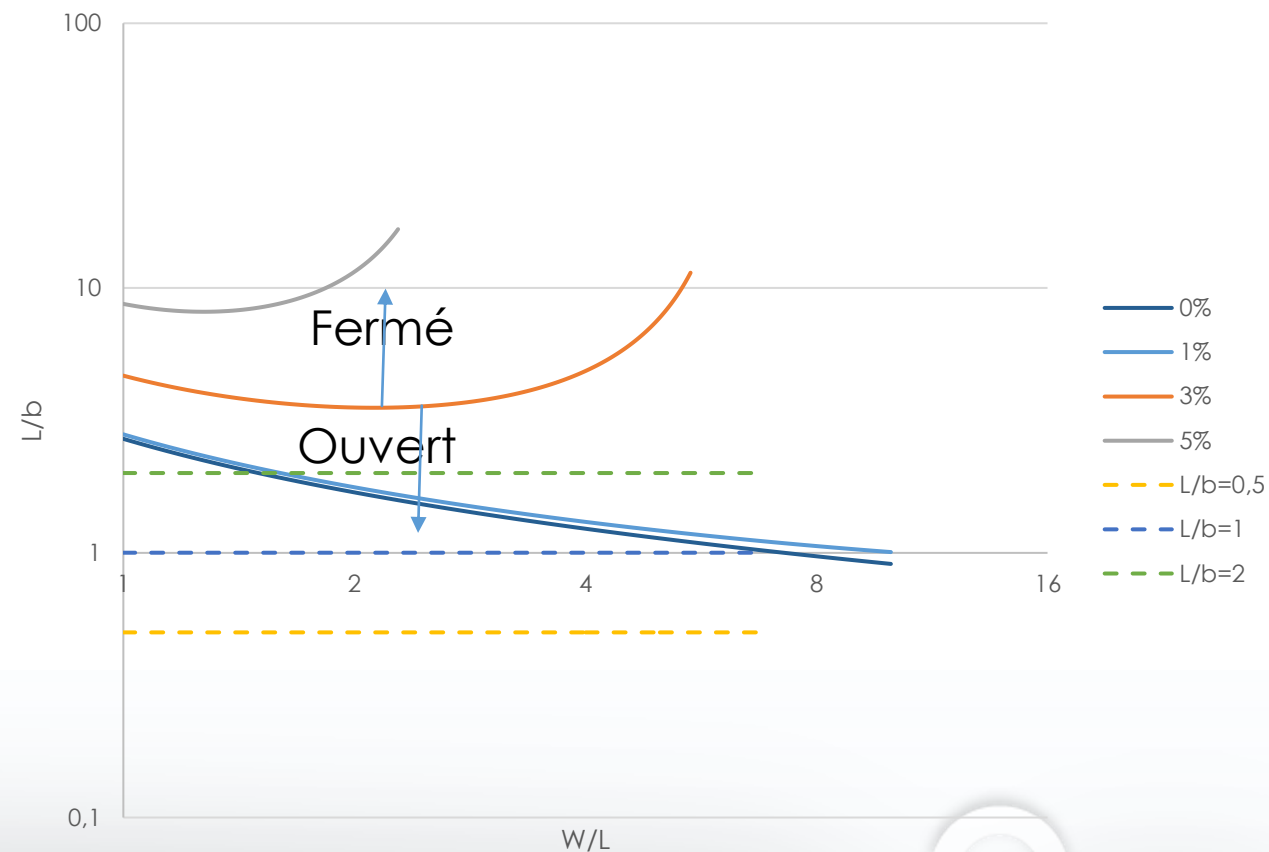


# Etude sur les cavités fermées et ouvertes : Iso-Amplitude

Courbes d'iso amplitude pour  $i=0$

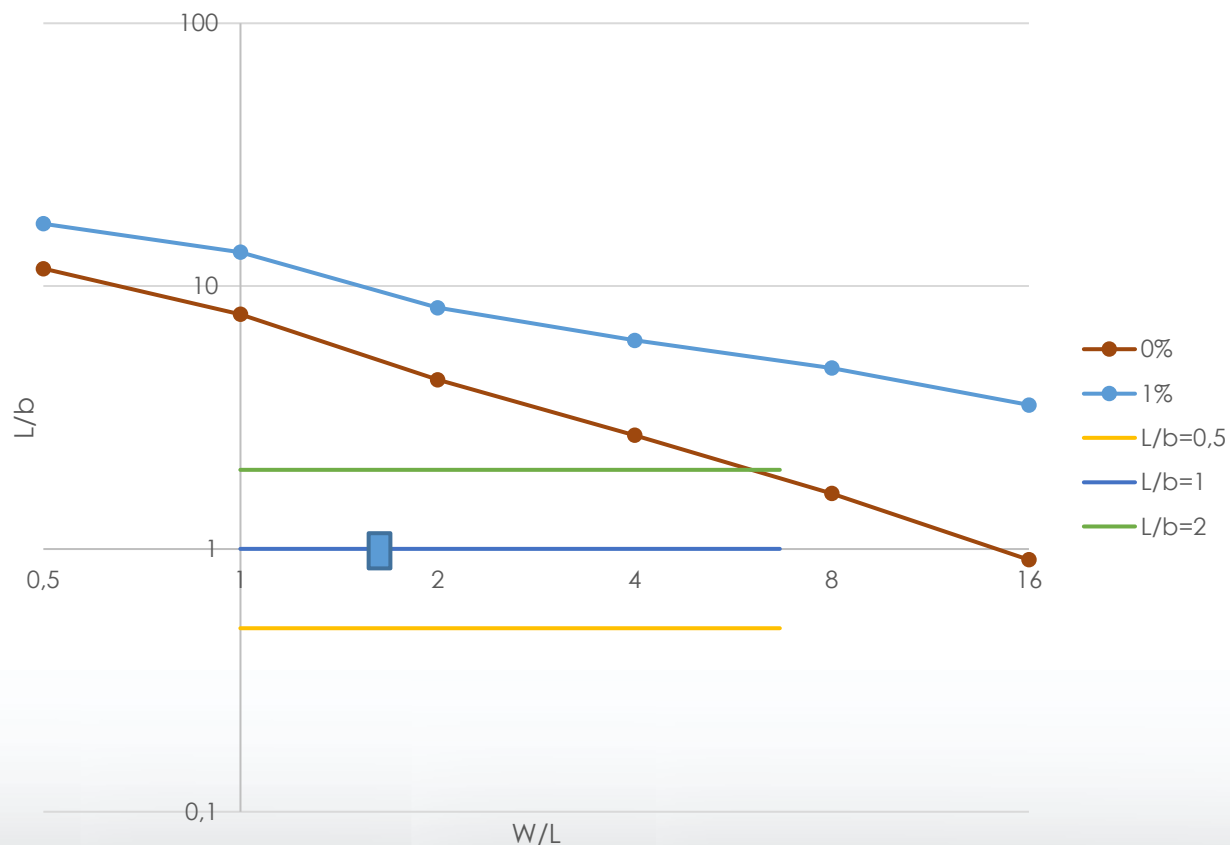


Courbes d'iso amplitudes pour  $i=0$  théoriques

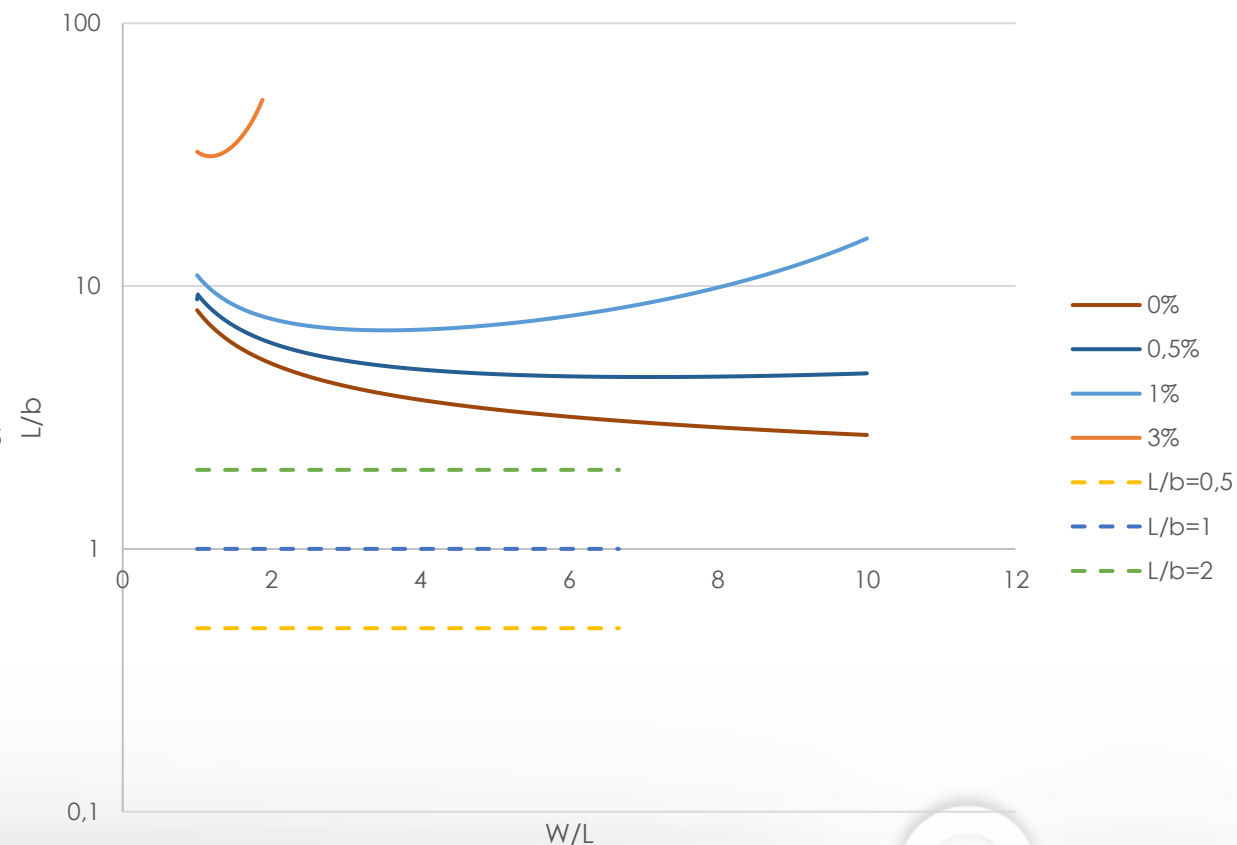


# Etude sur les cavités fermées et ouvertes : Iso-Amplitude

Courbes d'iso amplitudes pour  $i=1$

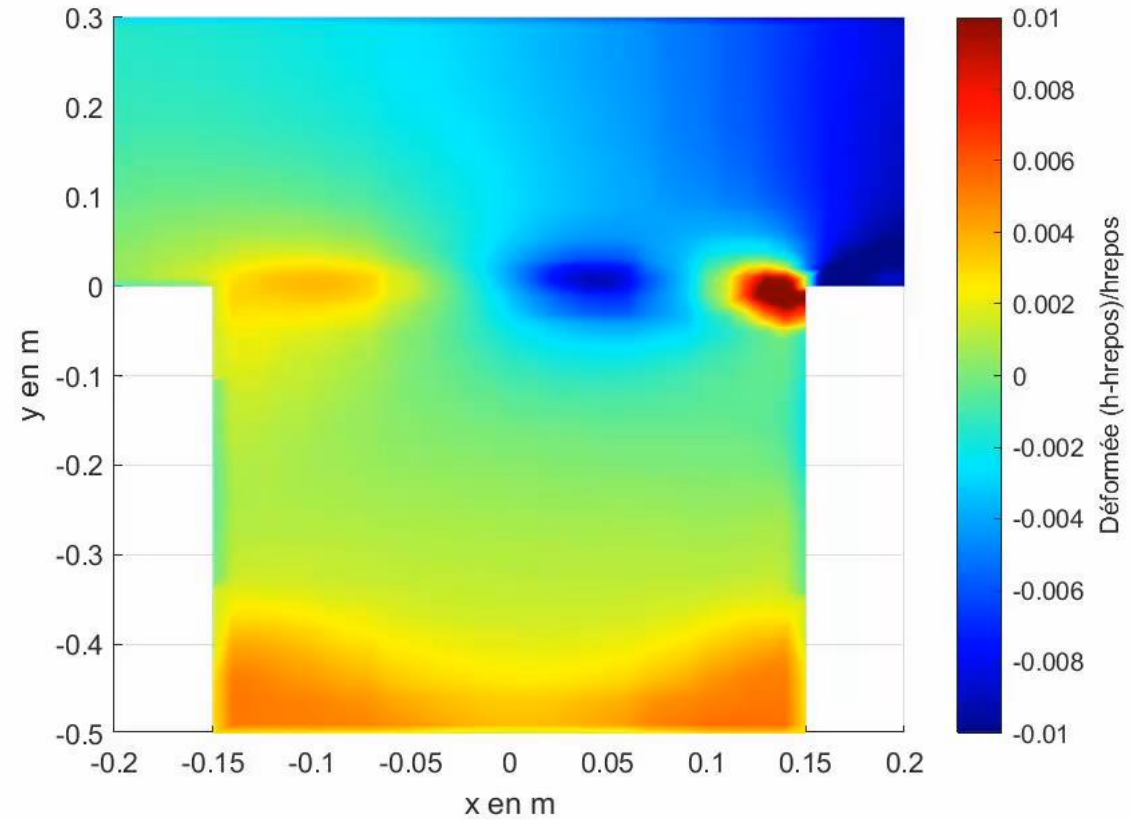


Courbes d'iso amplitudes pour  $i=1$  théoriques



## Fluent : Résultats

- $\frac{b}{L} = 1$
- $\frac{W}{L} = 1,666$
- $Fr = 0,35$
- Perrot-Minot trouve  $f_{02}$
- On obtient  $f_{00}$  avec  $f = 0,303 \text{ Hz}$



# Conclusion

- ▶ Objectifs accomplis
- ▶ L'étude comparative a été menée à bien (Résultats préliminaires avec Fluent)
  - ▶ L'étude Fluent pourra être reprise (réussite de génération de seiche)
  - ▶ Analyser les effets 3D, comparaison avec Etude Saint-Venant 2D (Navas-Montilla & al, 2021)
- ▶ L'étude sur les cavités ouvertes/fermées est complète
  - ▶ Formule reste à valider sur plus de cas
  
- ▶ Démarche pour la recherche

Merci pour votre attention