



POLYTECH[®]
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

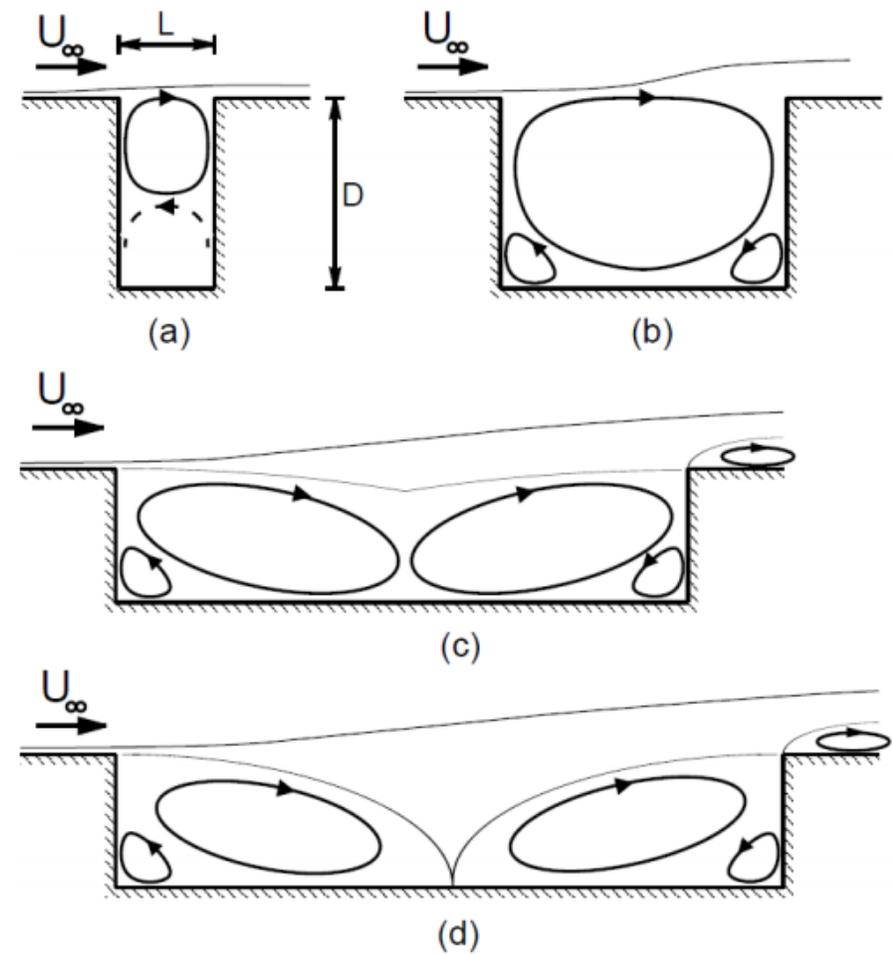
- ▶ Stage en collaboration avec l'INSA Lyon dans le cadre du GIS HED2

Le sujet du stage :

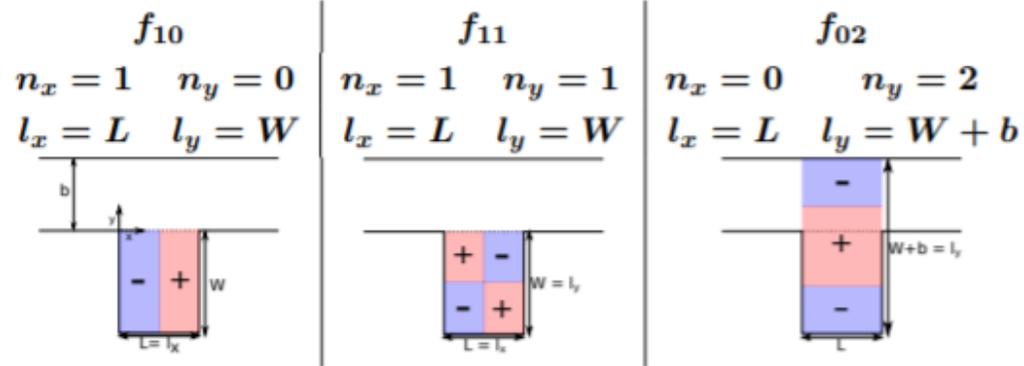
- ▶ Perrot Minot (2019) a mis en évidence l'apparition de mode propres de résonance stationnaires dans certains cas d'écoulement dans un canal avec une cavité latérale:
- ▶ Démonstration que la forme des modes propres dépendent de l'écoulement (Nombre de Froude) et des dimensions de la cavité.
- ▶ Objectif : 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



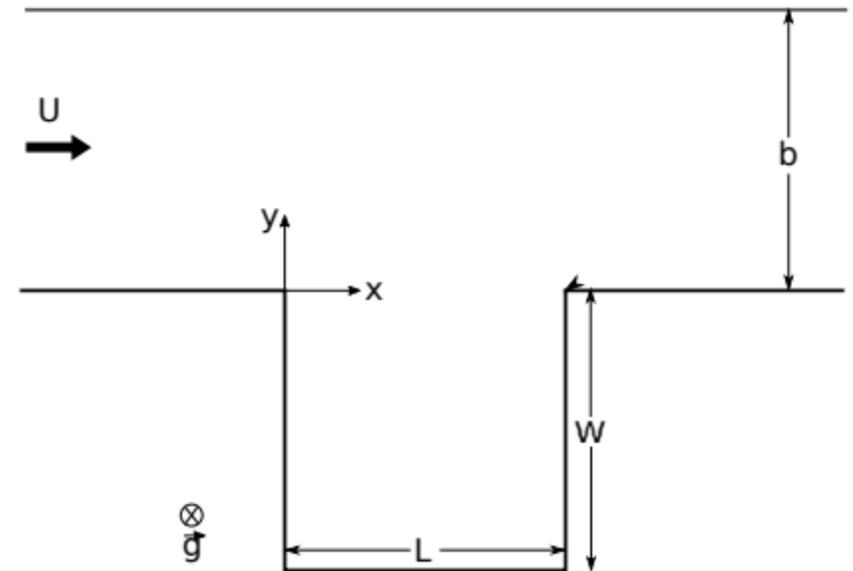
- Catégories de cavité :
- a) et b) cavité ouverte
 - c) cavité transitionnelle
 - d) cavité fermée
- (Perrot-Minot, 2019)



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

Présentation du cas d'étude :

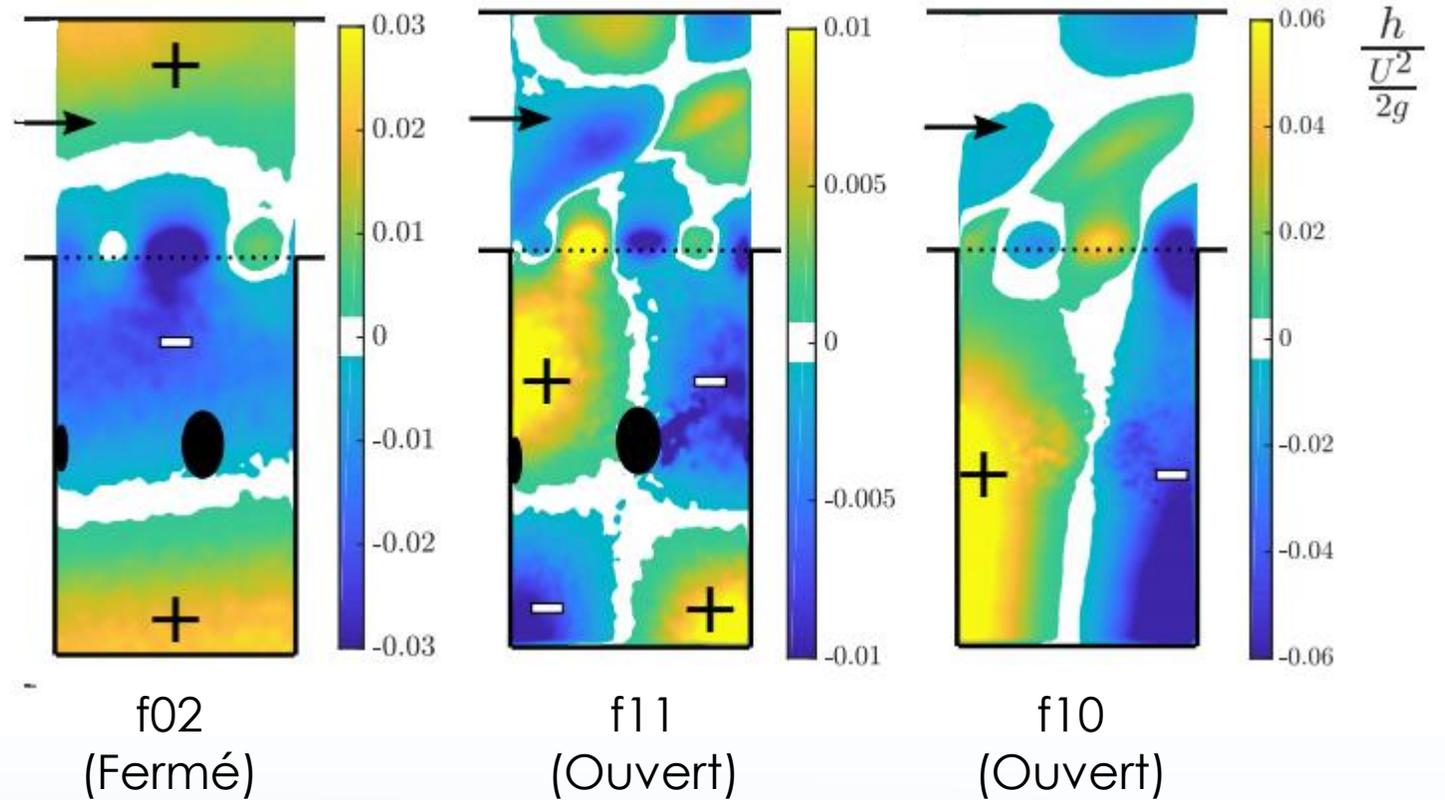
- Écoulement de gauche à droite
- Ecoulements variables pour observer les modes propres
- Paramètres adimensionnels :
Nombre de Froude $(\frac{U}{\sqrt{g.h}})$, $\frac{b}{L}$, et $\frac{W}{L}$



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 :

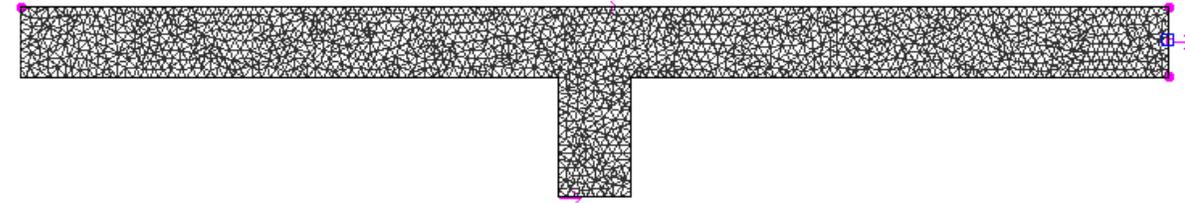
$$h(x, y) = A. \cos\left(2\pi. f_{n_x n_y} . x\right) \times \sin\left(2\pi. f_{n_x n_y} . y\right)$$

Refonde : Présentation

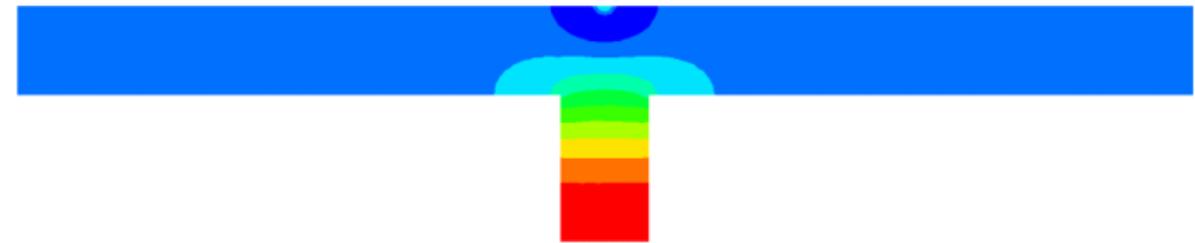
- ▶ Logiciel de calcul aux éléments finis résolvant l'équation d'Helmholtz développé par Cerema
- ▶ Permet de déterminer l'agitation de la houle en fonction de sa période

- ▶ Equation de Helmholtz :

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



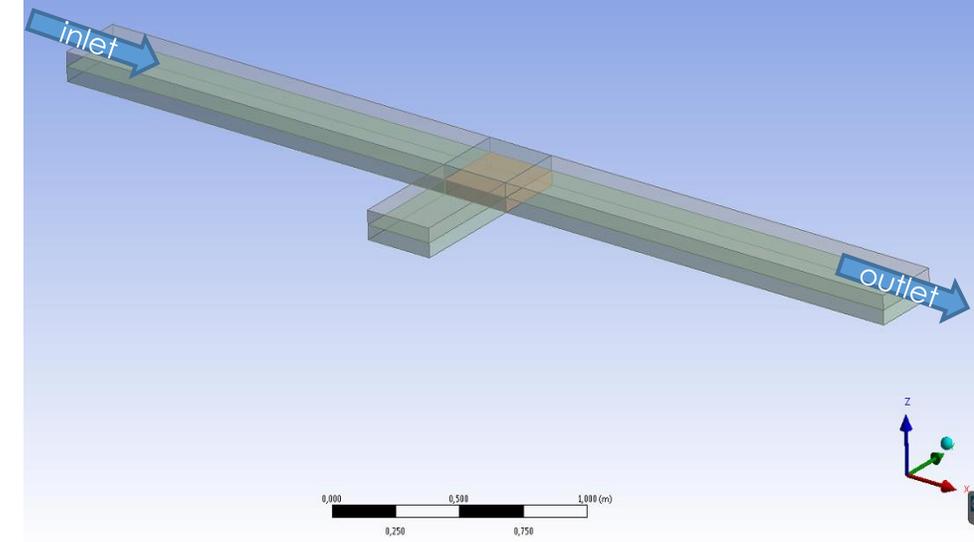
Géométrie et maillage utilisés pour l'étude



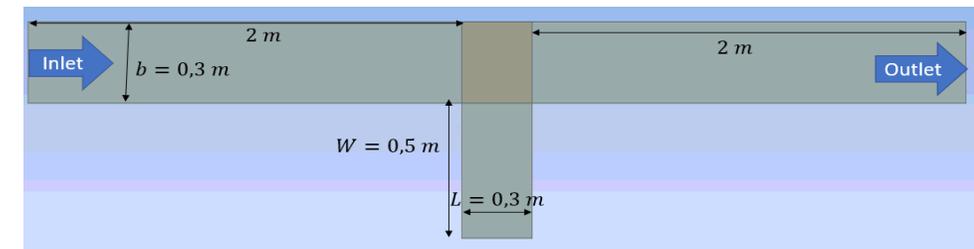
Exemple de résultat (ici, f_{00})

Fluent

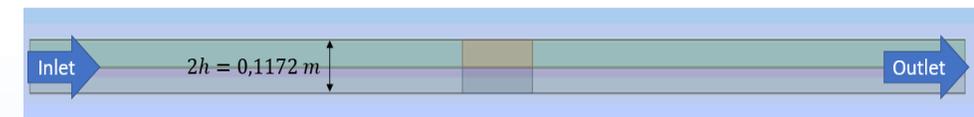
- Création d'un modèle Fluent reprenant les conditions de la thèse
- Paramètre de l'écoulement : nombre de Froude
- Différents cas de conditions aux limites
- Modèle multiphasique : Volum of Fluid
- Modèle de turbulence : k- ω SST



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 :

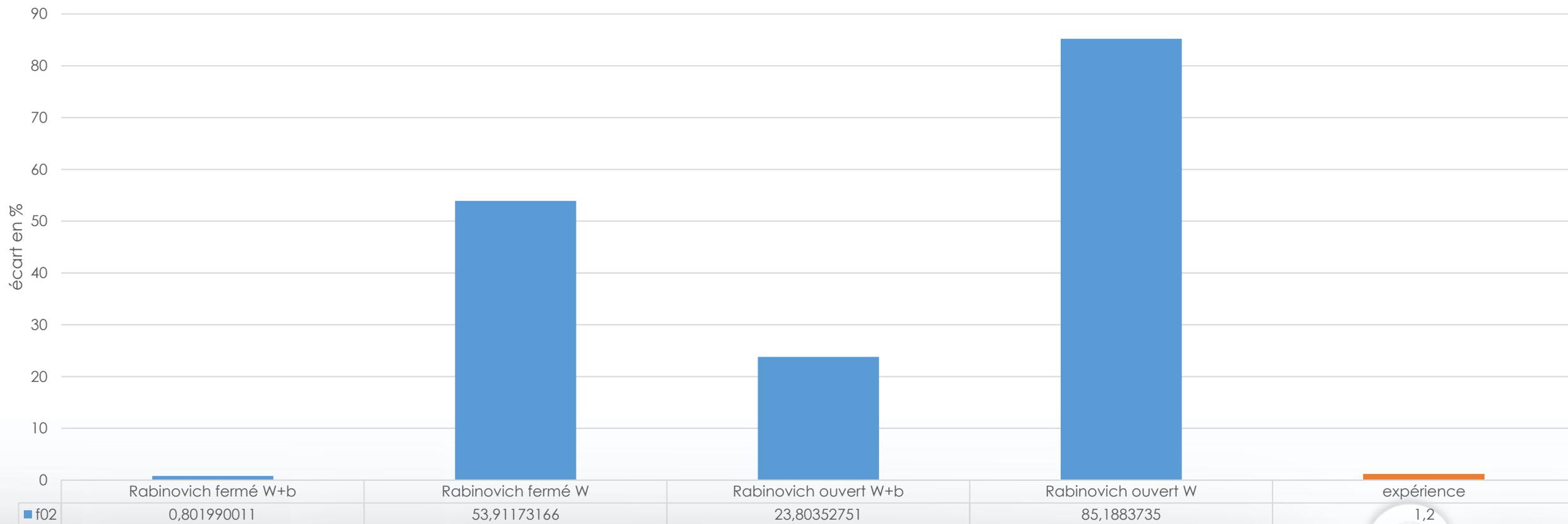
$$\text{► } \frac{b}{L} = 1$$

$$\text{► } \frac{W}{L} = 1,666$$

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

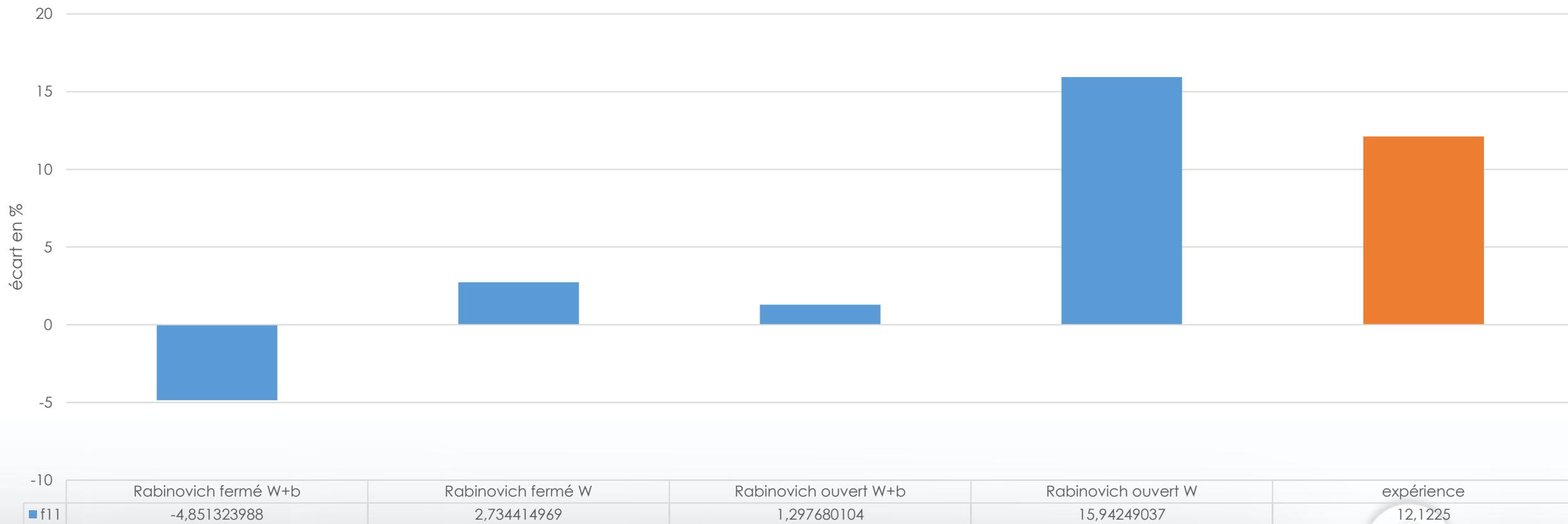
Résultats : Comparaison f02

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

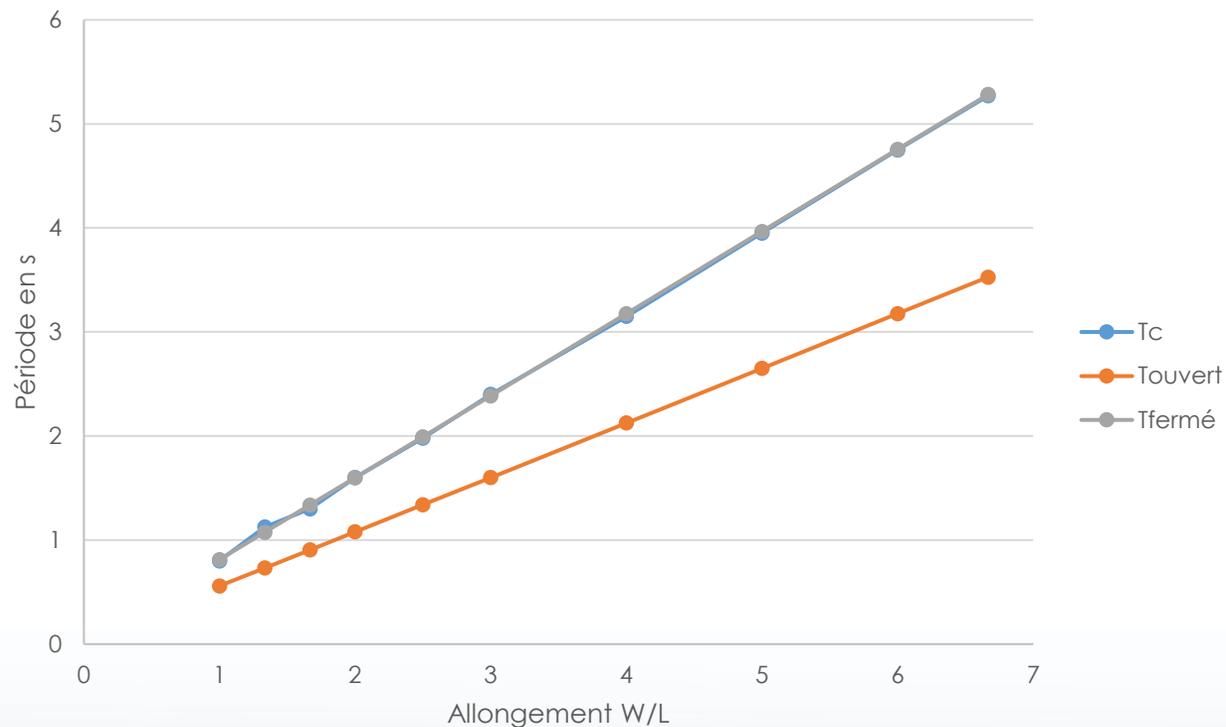
► Courbes frontières L/b en fonction de W/L entre cas fermé et cas ouvert

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

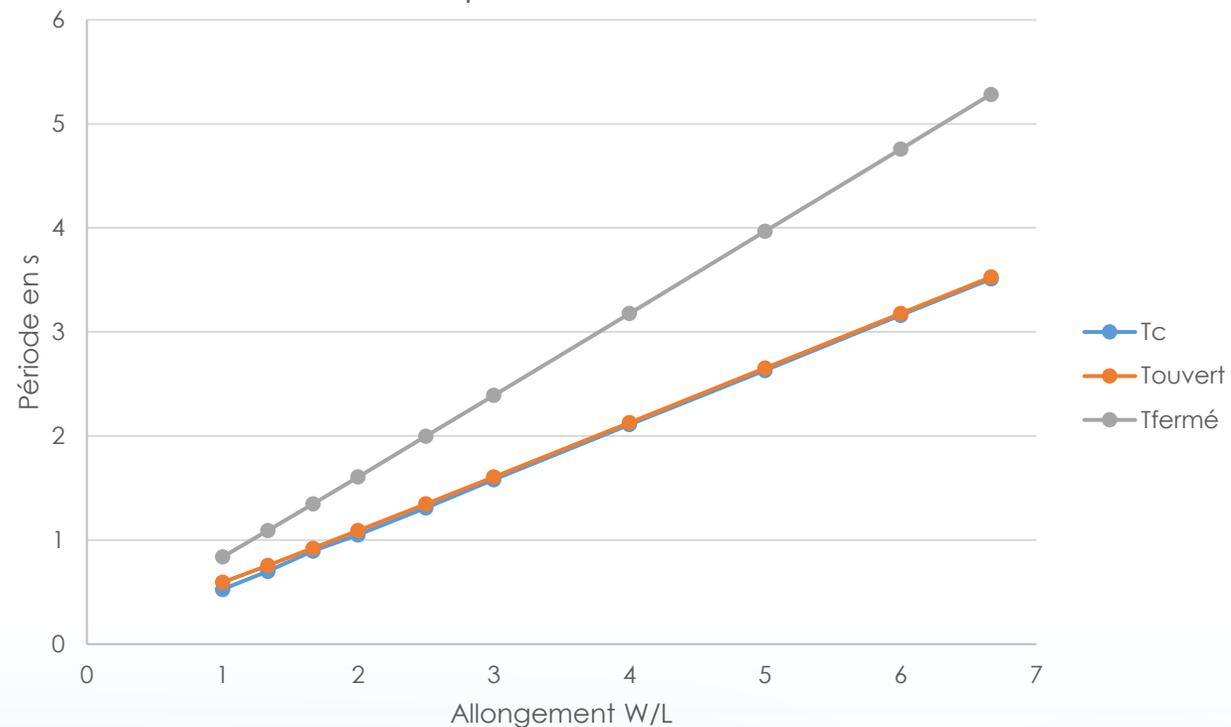
$$\text{Ouvert : } f_{0i} = \frac{c}{2} \left(\frac{2.i+1}{2.l_y} \right)$$

Etude sur les cavités fermées et ouvertes : Refonde et Rabinovich

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

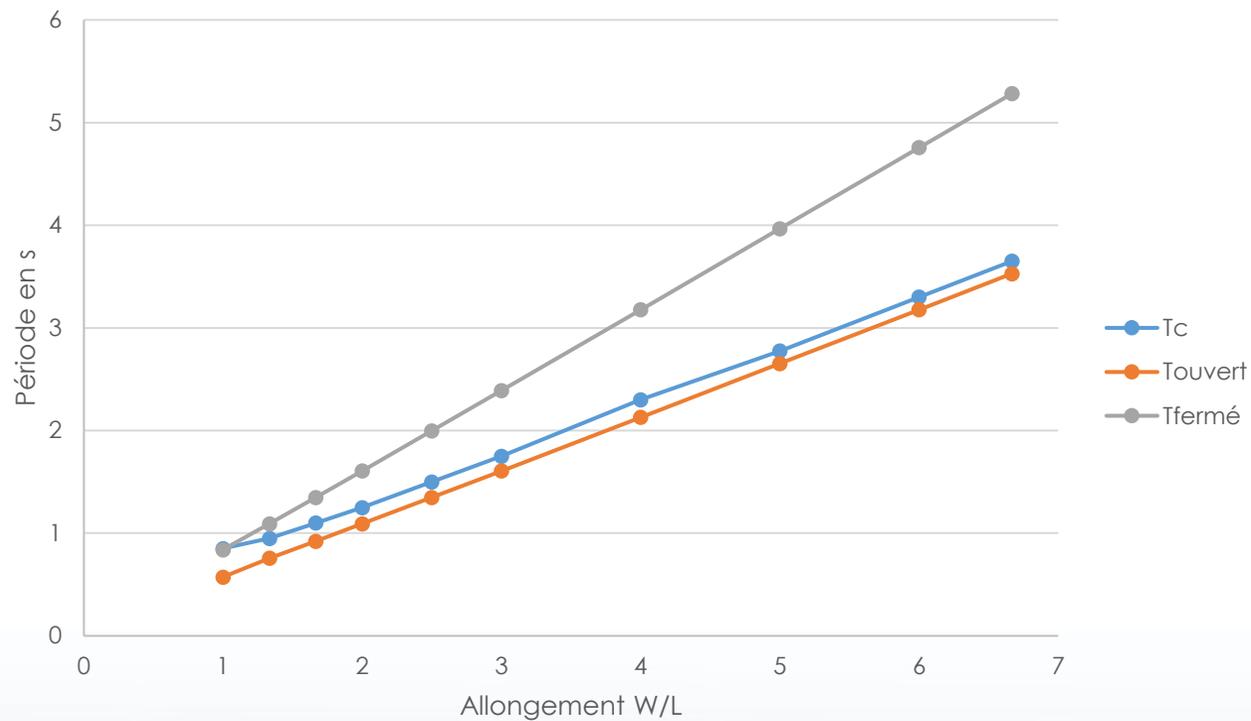


Comparaison des périodes calculées, ouvertes et fermées pour $i=1$ et $b/L=2$

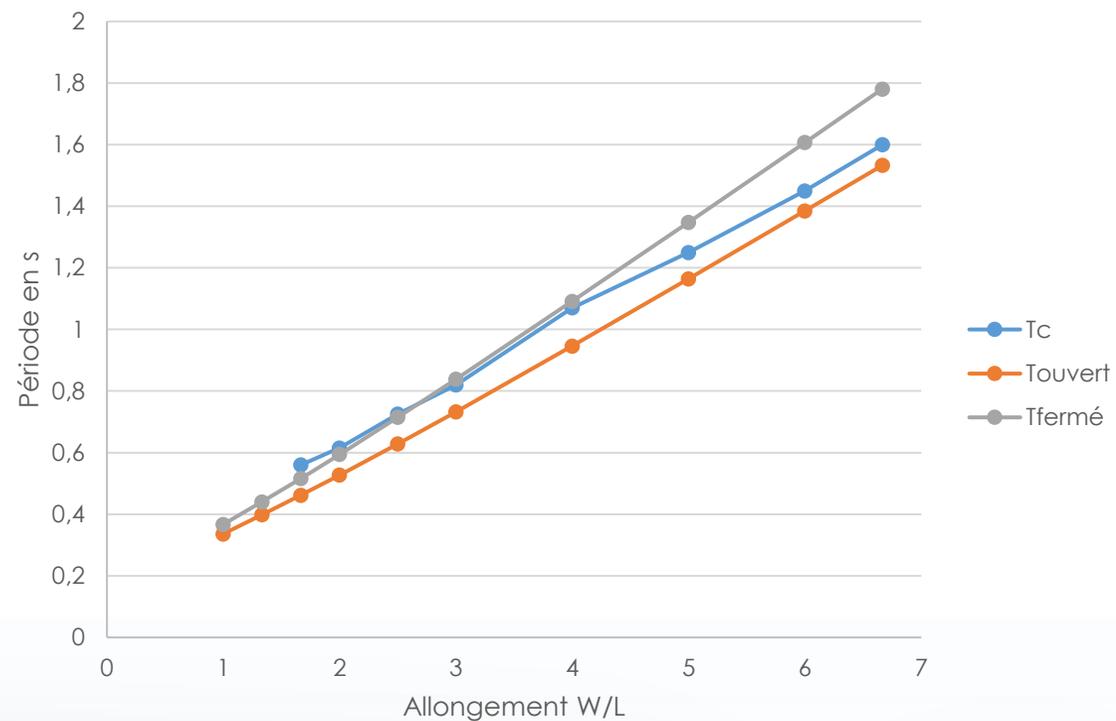


Etude sur les cavités fermées et ouvertes : Refonde et Rabinovich

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

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

▶ $L_i = \frac{W \cdot \alpha}{2i+1}$

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

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

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

▶ $(2i+1) \frac{Li-b}{b+W} = 5\%$

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

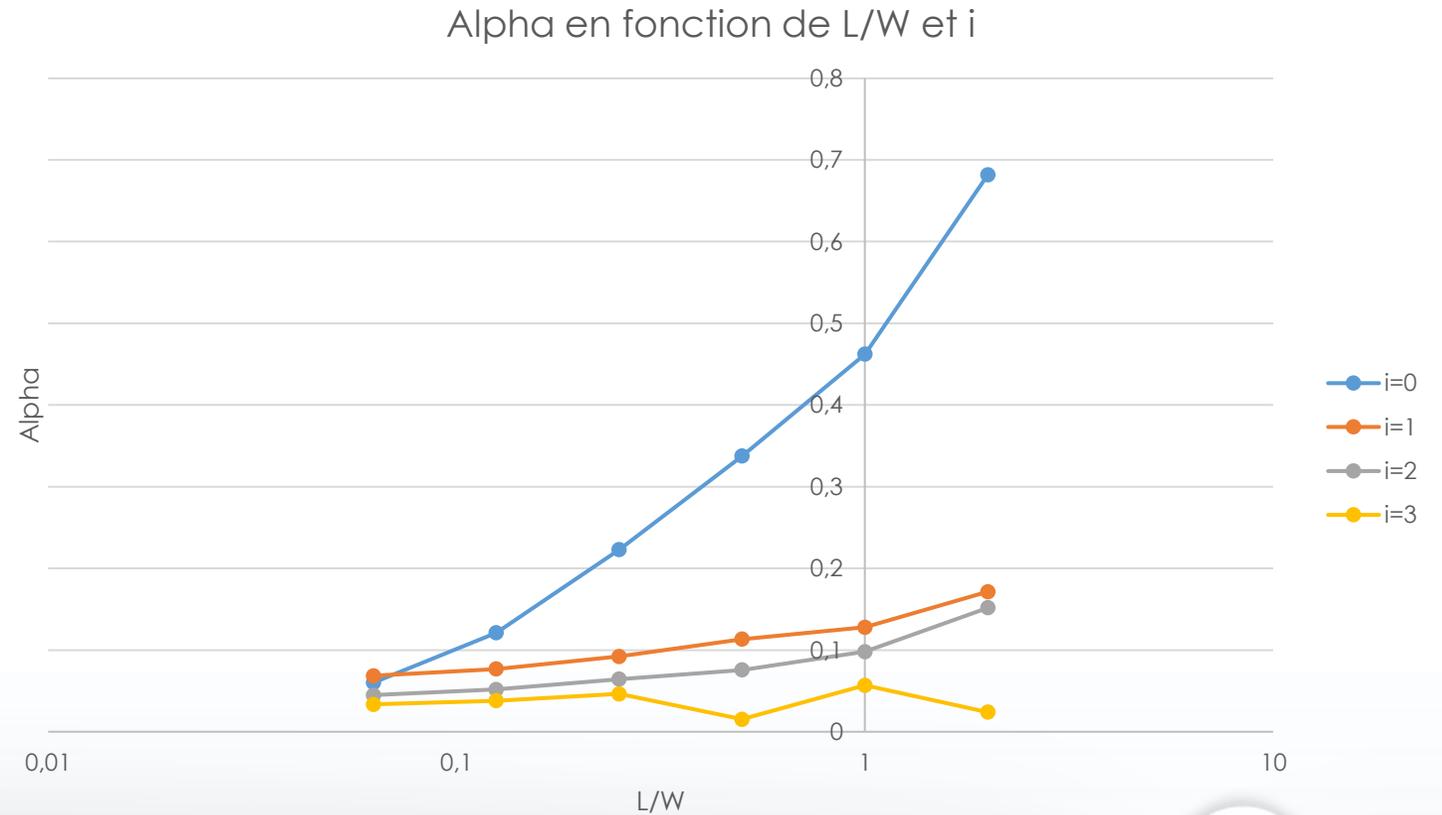
▶ α une fonction croissante en fonction de $\frac{L}{W}$

▶ 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

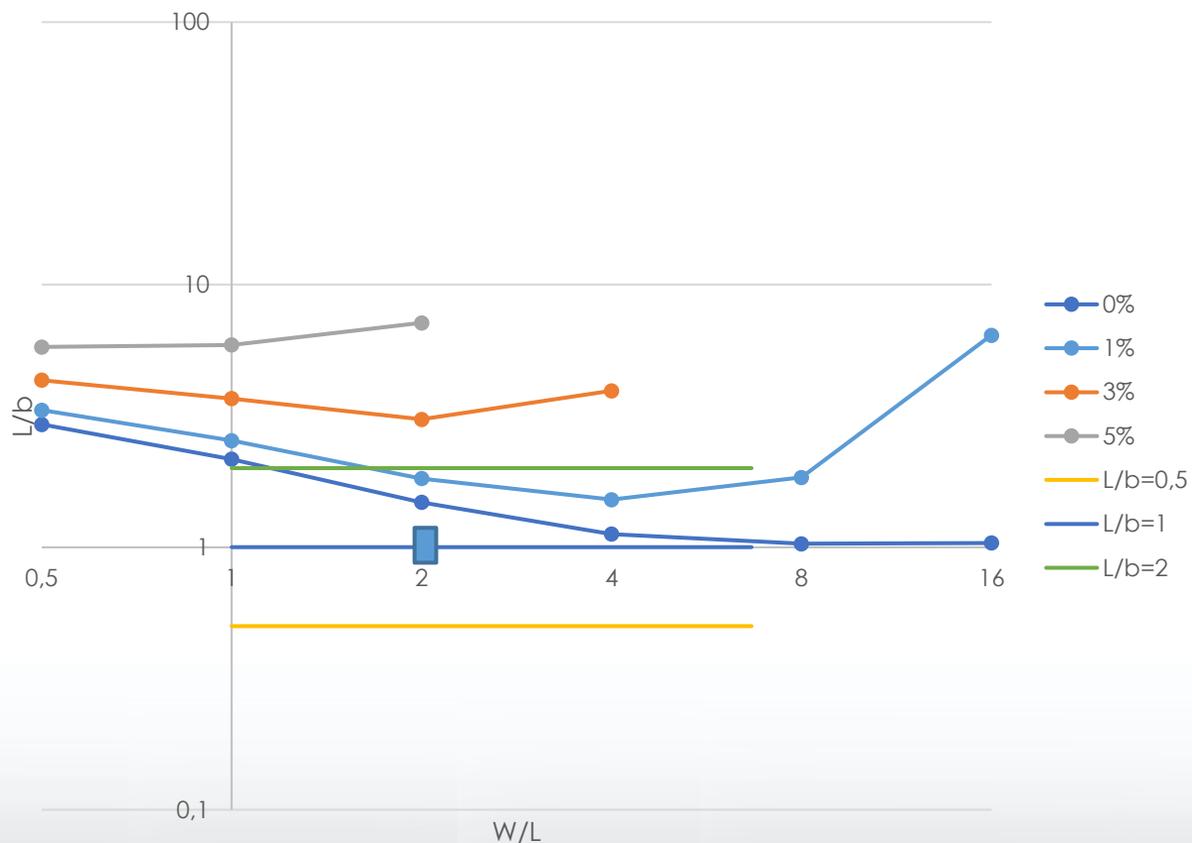
Alphas

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

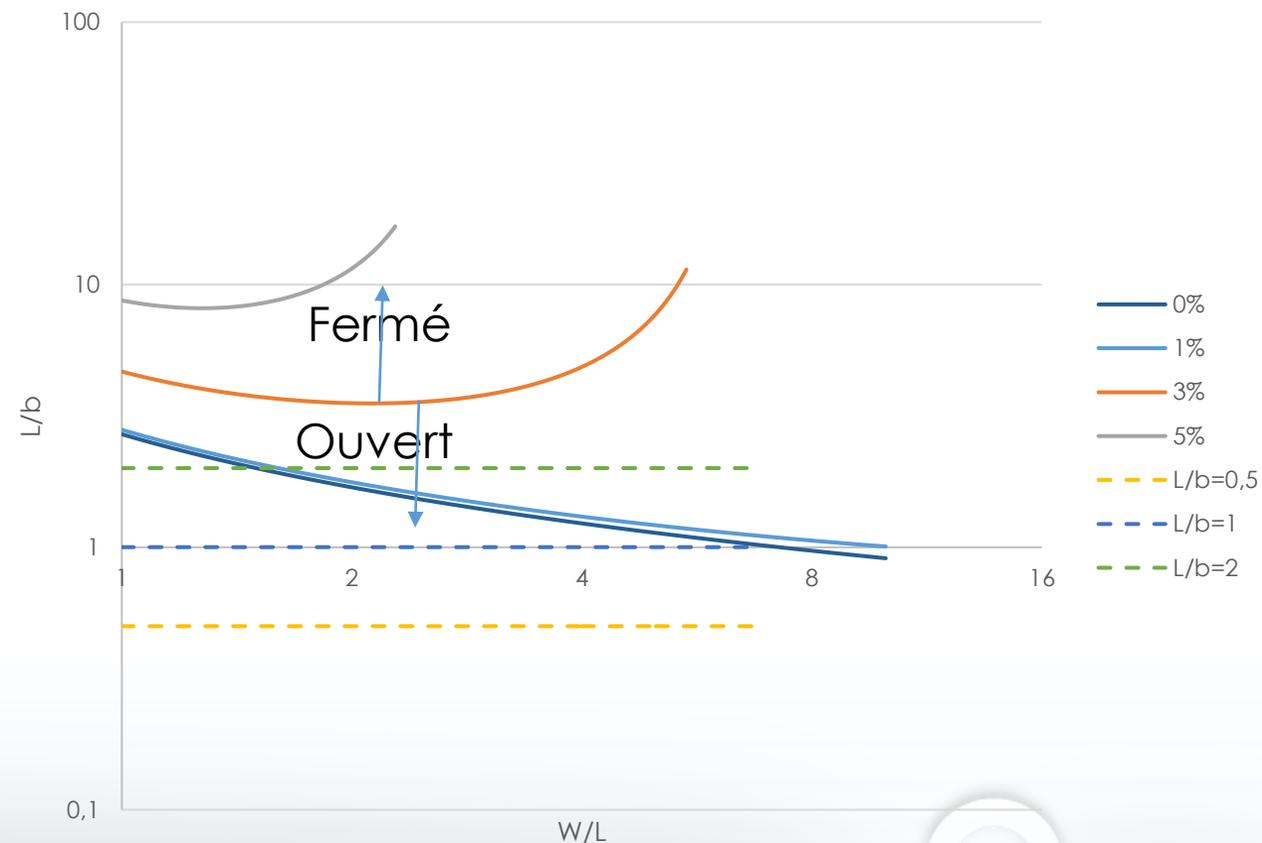


Etude sur les cavités fermées et ouvertes : Iso-Amplitude

Courbes d'iso amplitude pour $i=0$

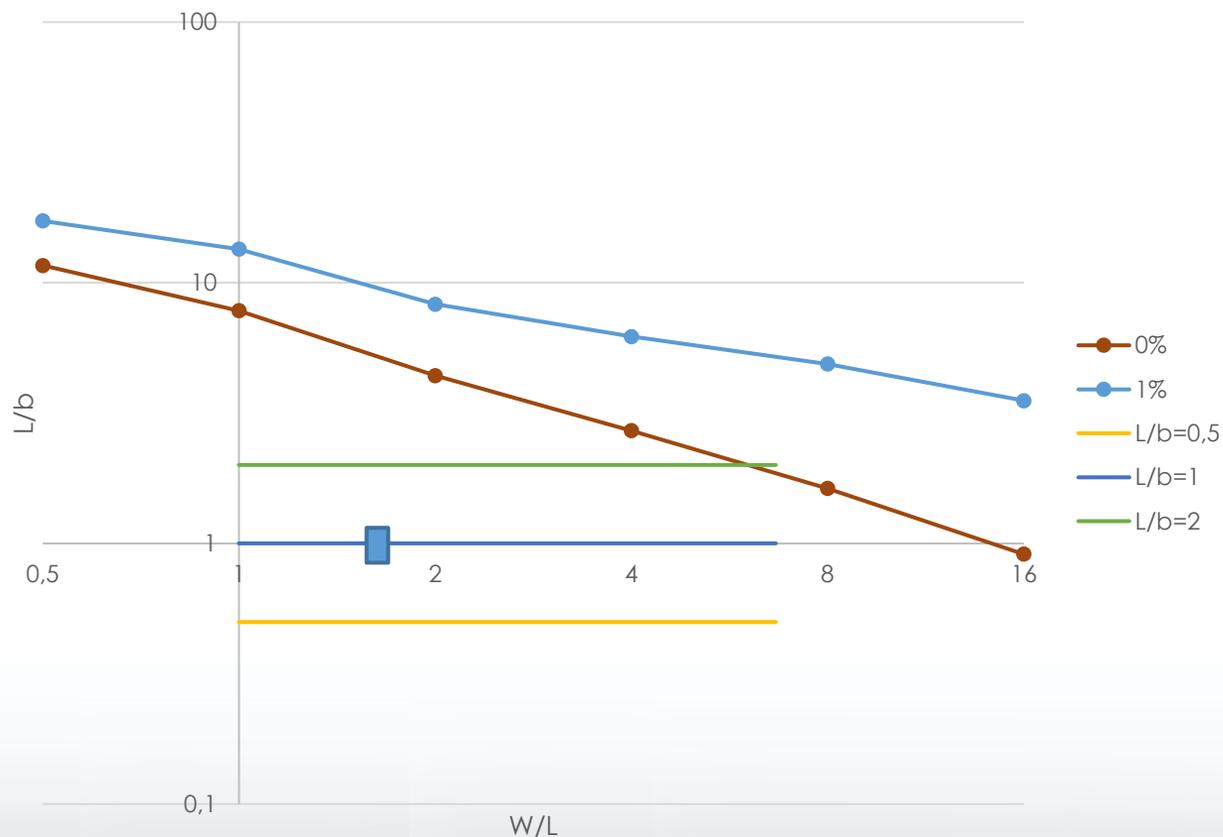


Courbes d'iso amplitudes pour $i=0$ théoriques

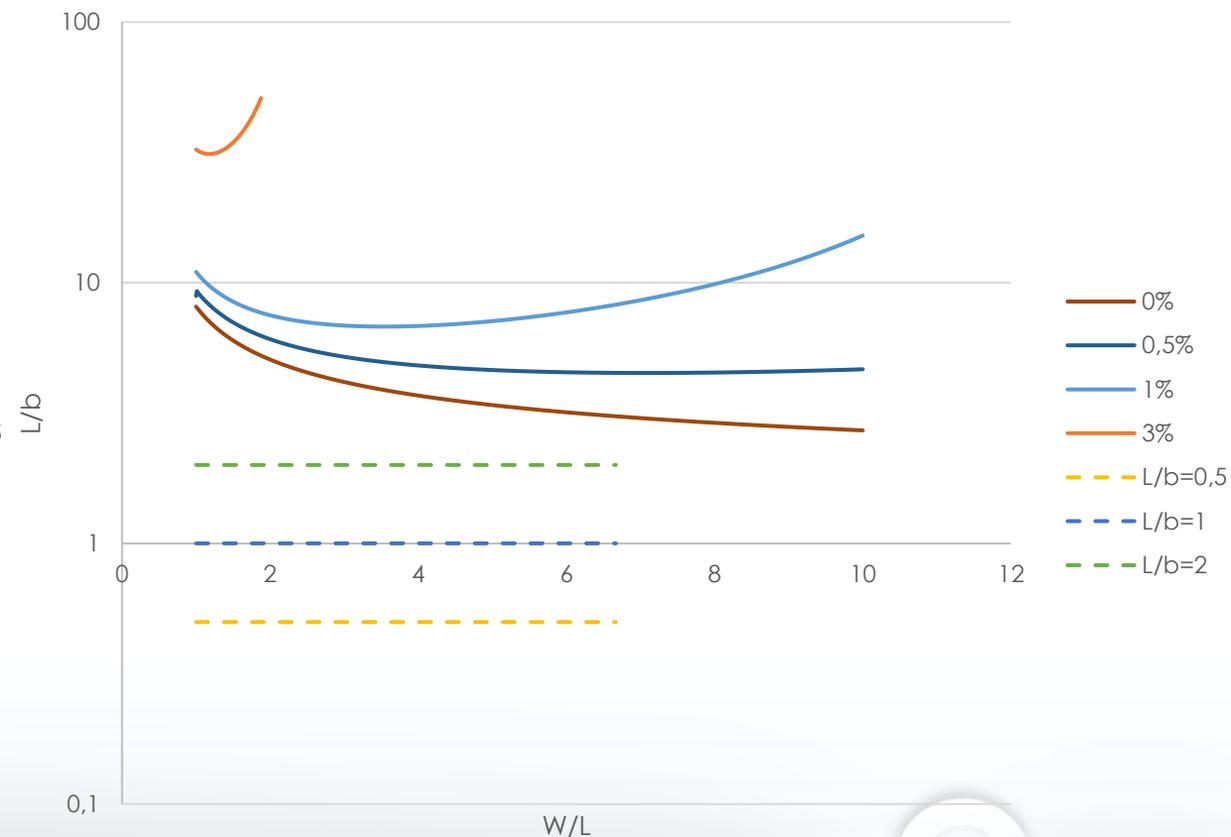


Etude sur les cavités fermées et ouvertes : Iso-Amplitude

Courbes d'iso amplitudes pour $i=1$

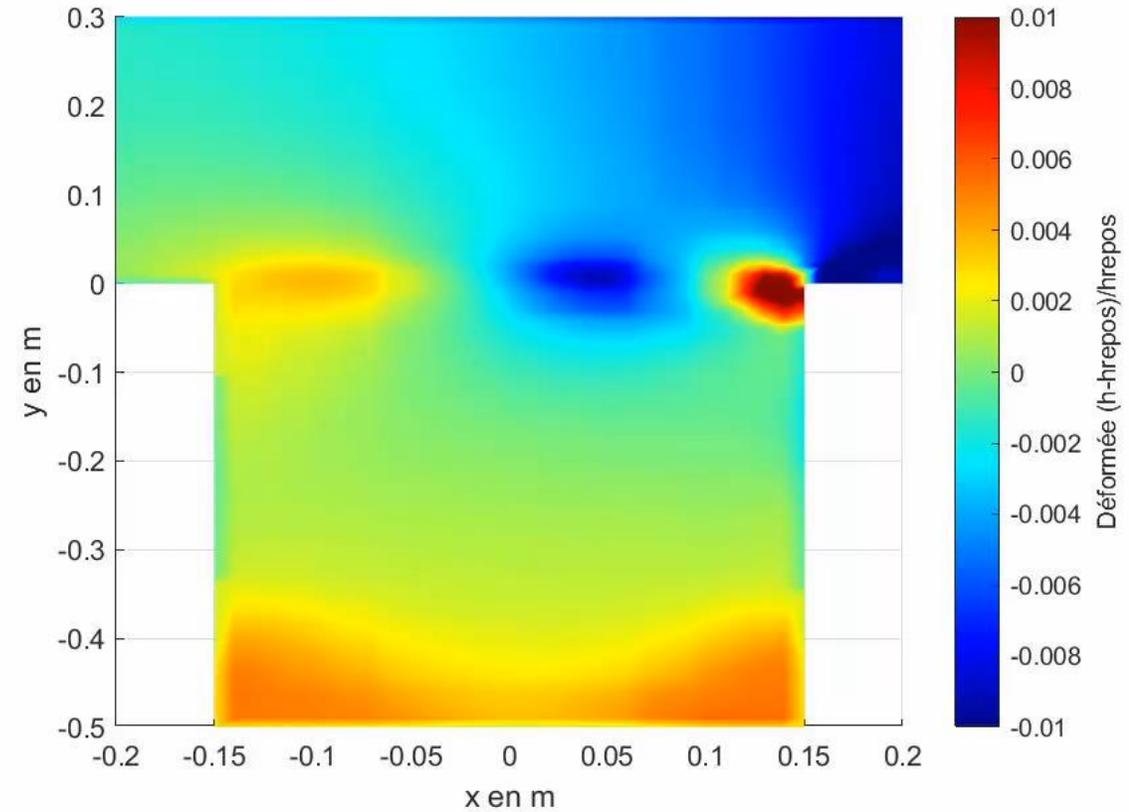


Courbes d'iso amplitudes pour $i=1$ théoriques



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