



Exploitation et amélioration du modèle numérique 1D pour la compréhension de la physique des écoulements sur PKW



Olivier Machiels

Université de Liège

Unité d'Hydrologie, Hydrodynamique Appliquée et Constructions Hydrauliques – HACH
Laboratoire d'Hydraulique des Constructions

02 Décembre 2011



Cadre de la recherche

Compréhension de la physique des écoulements

Influence des principaux paramètres géométriques

Modèle réduit à grande échelle

Modélisation numérique simplifiée

Modèles réduits à géométries variables

- Pour définir :
- Intérêts et limitations
 - Principaux paramètres

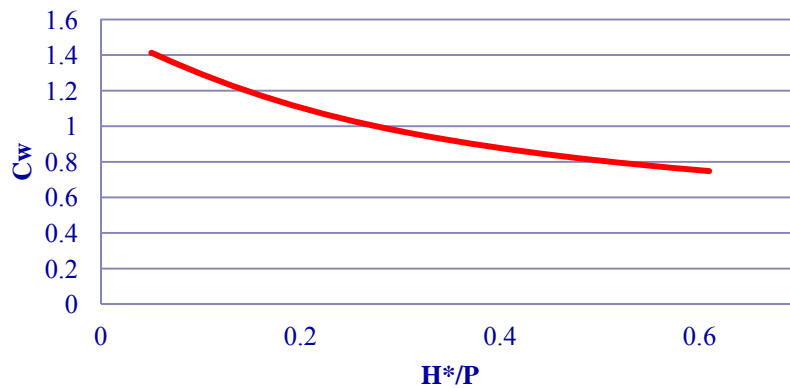
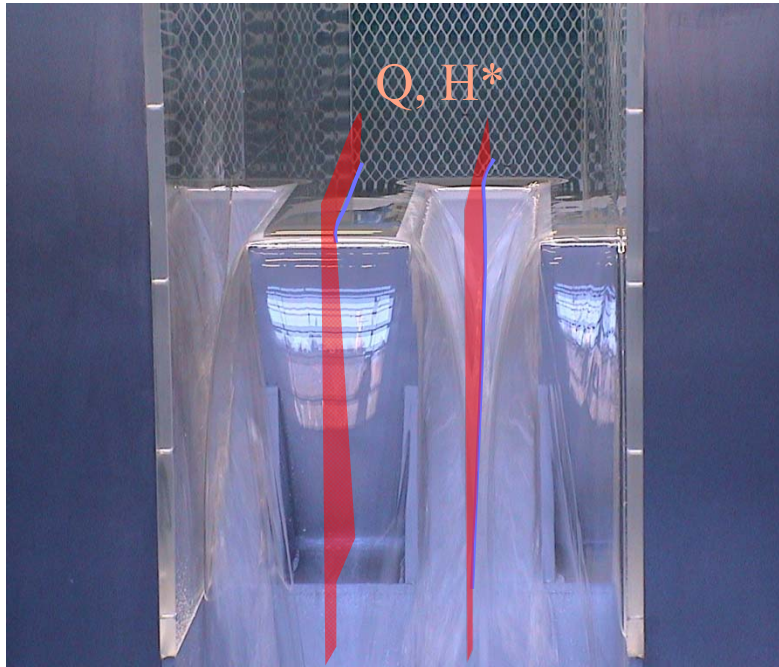
- Pour définir :
- Paramètres les plus importants
 - Influence sur les capacité d'évacuation

Formulations analytiques physiquement basées

Dimensionnement de structures

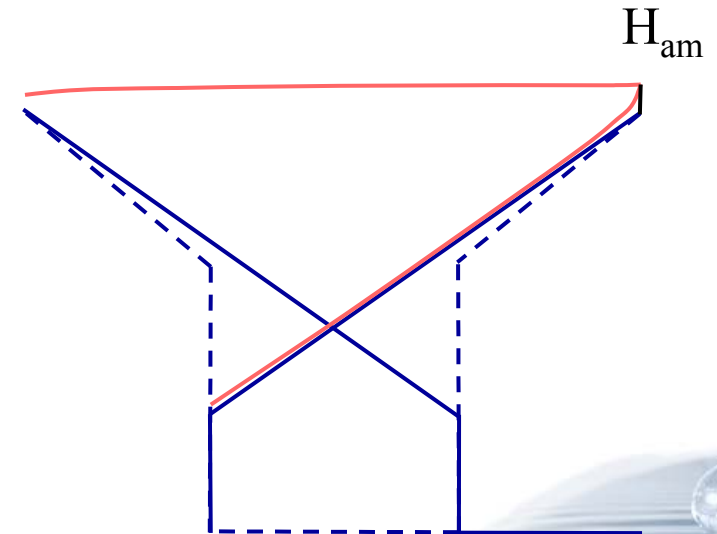


Modèle numérique 1D type « ligne d'eau »

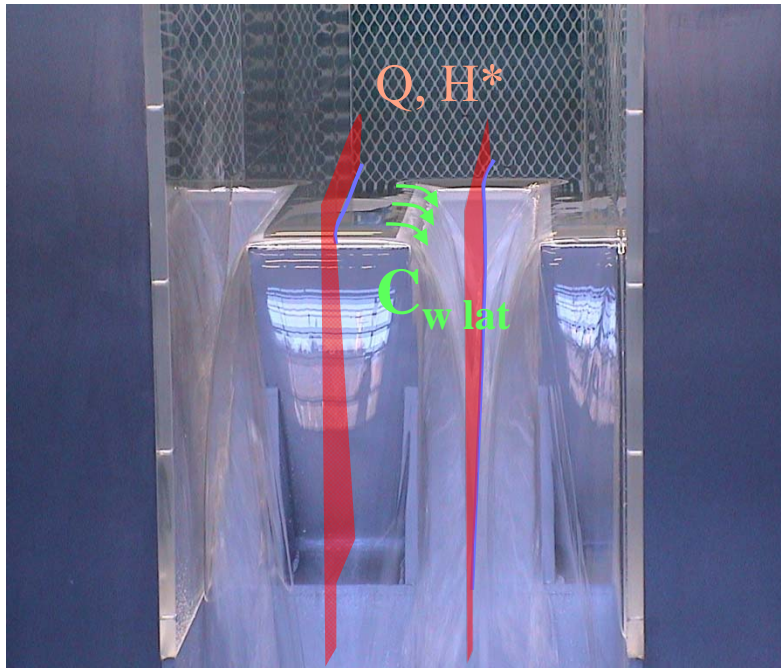


Approche numérique

- Tracé des lignes d'eau dans l'inlet et l'outlet
- Utilisation de coefficients de débit en condition partiellement noyée
- Mesure des courbes de débitance

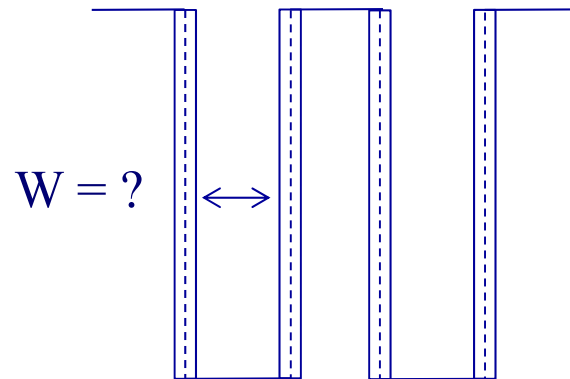


Paramètres du modèle PKW-1D



Variables physiques libres

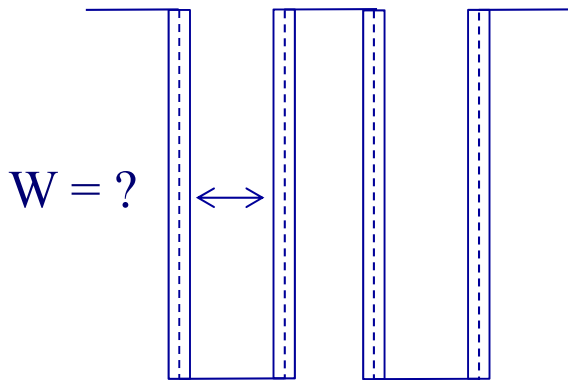
- Déversement latéral
- Largeur d'intégration
- Quantité de mouvement échangée



$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = q_l$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial \left(\frac{q^2}{h} \right)}{\partial x} + ghi - ghJ = \alpha u q_l$$

Paramètres du modèle PKW-1D

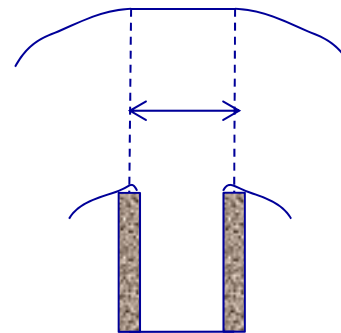
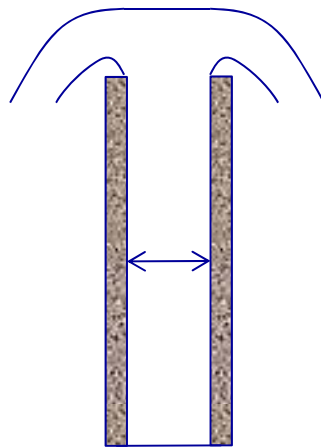


Largeur d'intégration

- approche « In » - faibles charges
- approche « Out » - charges importantes

$$\text{Inlet} = \left[0; \frac{W_i}{2} \right]; \quad \text{Outlet} = \left[0; \frac{W_o}{2} \right]$$

$$\text{Inlet} = \left[0; \frac{W_i + T_s}{2} \right]; \quad \text{Outlet} = \left[0; \frac{W_o + T_s}{2} \right]$$



Paramètres du modèle PKW-1D

$$q_l = \mu \sqrt{2g |\Delta H|^3} \operatorname{sgn}(\Delta H)$$

$$\Delta H = \max(0, Z_i - z_s) - \max(0, Z_o - z_s)$$

• Seuil mince théorique : $\mu = 0.667$

• Seuil mince réel : $\mu = 0.43$

• Formule déversoir latéral Hager (1987) : $\mu = 0.424c \left[\frac{1-W}{3-2y-W} \right]^{1/2}$

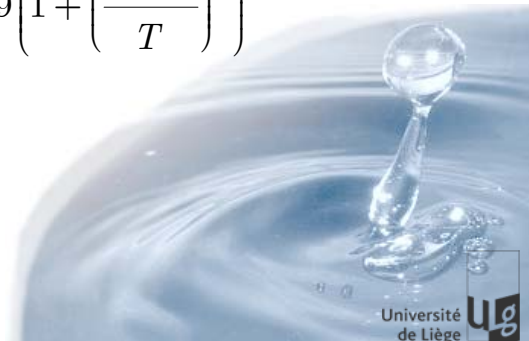
$$y = \frac{h}{H}; W = \frac{w}{H} \quad c = 1 - \frac{2}{9 \left(1 + \left(\frac{h-w}{T} \right)^4 \right)}$$

• Formule déversoir latéral Oertel (2011) : $\mu = \frac{2}{3} \left[0.05 \log(0.7\gamma\sqrt{Fr}) + 0.35 \right]$

$$\gamma = (1.44 - 2.4\sqrt{Fr} + Fr) \frac{W_i^2}{B^2}; Fr = \frac{U}{\sqrt{gh}}$$

Echange de masse

- approche « théorique »
- approche « sharp crest »
- approche « Hager »
- approche « Oertel »



Paramètres du modèle PKW-1D

- Transfert avec quantité de mouvement :

$$\alpha_i = \alpha_o = 1$$

- Transfert sans quantité de mouvement :

$$\alpha_i = \alpha_o = 0$$

- Dissipation de la quantité de mouvement pendant le transfert :

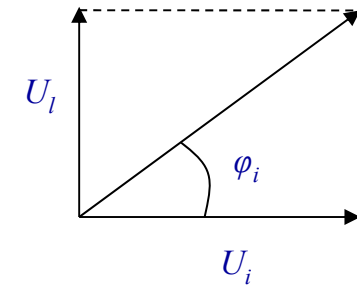
$$\alpha_i = 1 ; \alpha_o = 0$$

- Transfert de quantité de mouvement en fonction de l'inclinaison des flux :

$$\alpha_i = \cos(\varphi_i) \quad \tan(\varphi_i) = \frac{U_l}{U_i}$$

Echange de quantité de mouvement

- échange complet
- échange nul
- dissipation
- échange proportionnel



Paramètres du modèle PKW-1D

- Transfert avec quantité de mouvement :

$$\alpha_i = \alpha_o = 1$$

- Transfert sans quantité de mouvement :

$$\alpha_i = \alpha_o = 0$$

- Dissipation de la quantité de mouvement pendant le transfert :

$$\alpha_i = 1 ; \alpha_o = 0$$

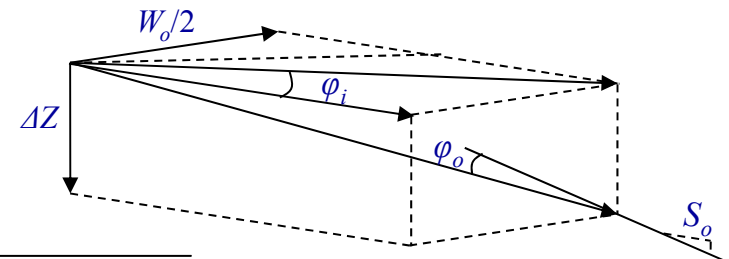
- Transfert de quantité de mouvement en fonction de l'inclinaison des flux :

$$\alpha_i = \cos(\varphi_i) \quad \tan(\varphi_i) = \frac{U_l}{U_i}$$

$$\alpha_o = \cos(\varphi_o) \quad \tan(\varphi_o) = \tan(\varphi_i) \frac{\sqrt{1 + S_o^2 + \left(\frac{2\Delta Z}{W_o} - \frac{S_o}{\tan(\varphi_i)} \right)^2}}{1 + \frac{2\Delta Z}{W_o} S_o \tan(\varphi_i)}$$

Echange de quantité de mouvement

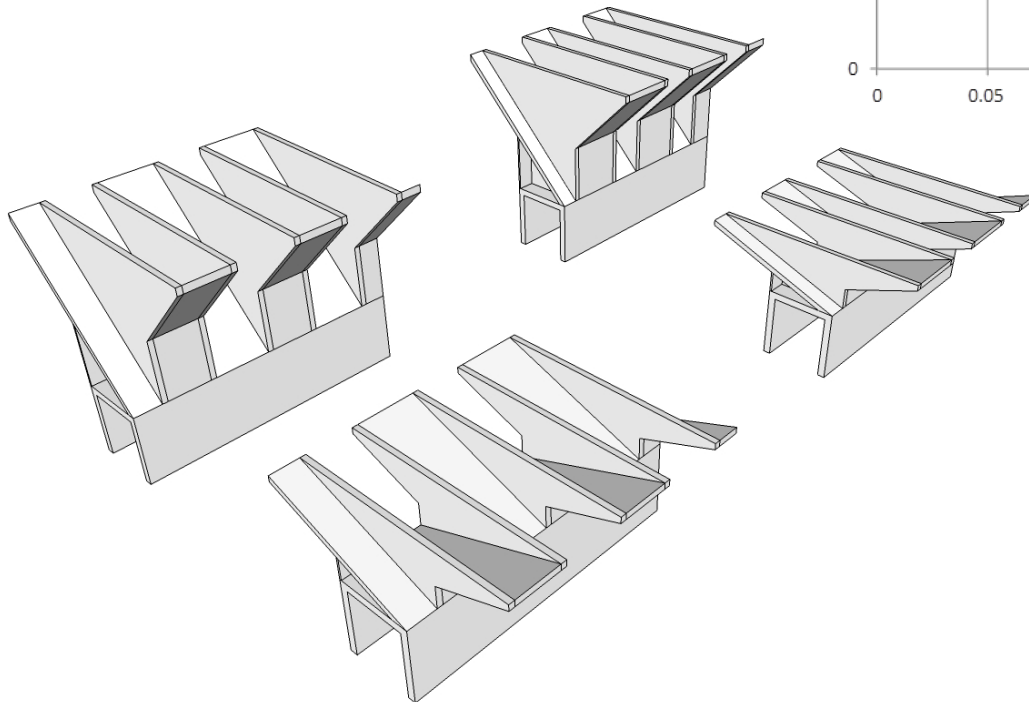
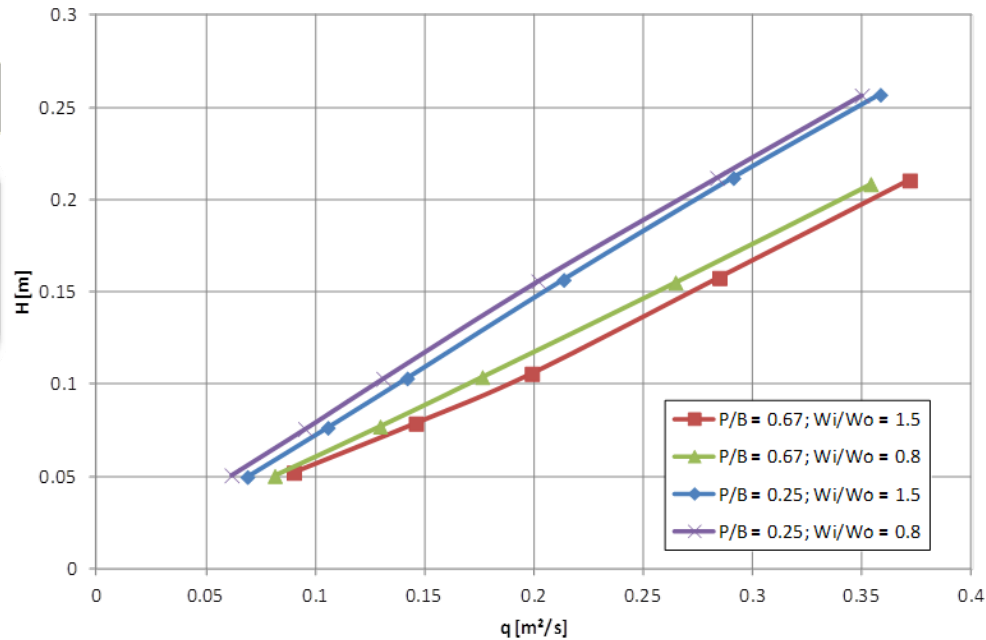
- échange complet
- échange nul
- dissipation
- échange proportionnel



Validation expérimentale

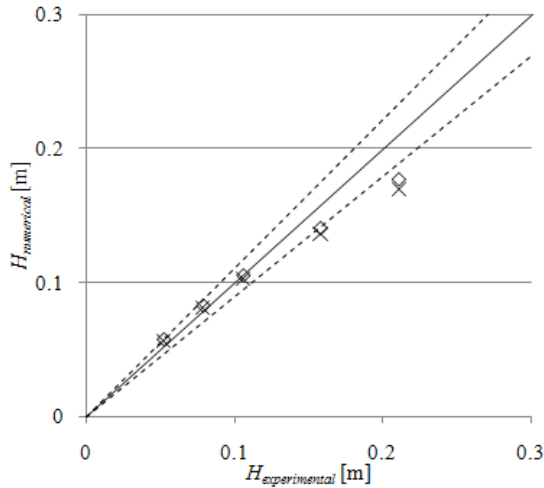
4 modèles tests

- $P/B = 0.67; 0.25$
- $W_i/W_o = 0.8; 1.5$
- $L/W = 5$
- $B_i = B_o = B/3$

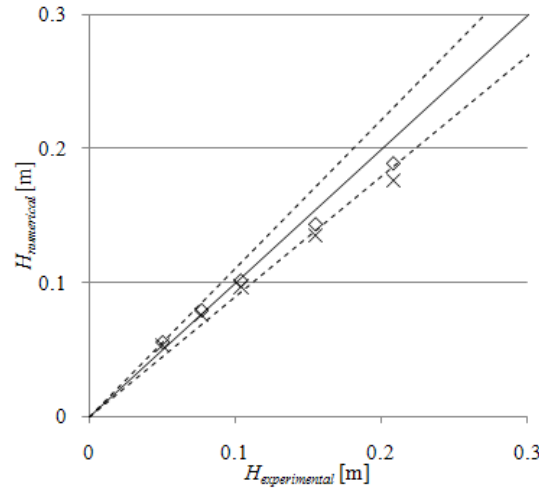


Résultats Wolf-PKW1D

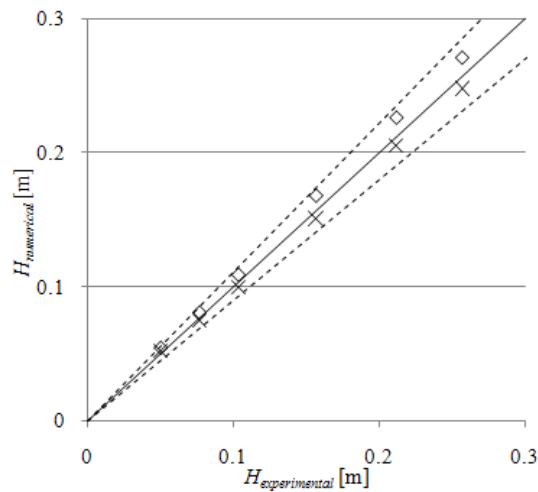
Model 1: $P/B = 0.667$; $W_i/W_o = 1.5$



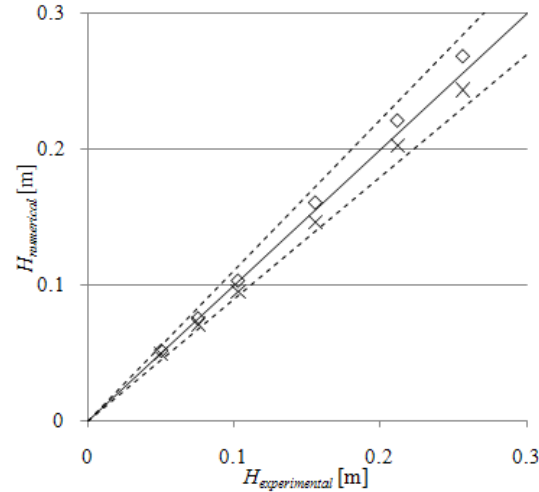
Model 2: $P/B = 0.667$; $W_i/W_o = 0.796$



Model 3: $P/B = 0.25$; $W_i/W_o = 1.5$



Model 4: $P/B = 0.25$; $W_i/W_o = 0.796$



◇ In × Out — 45° - - - - 10%

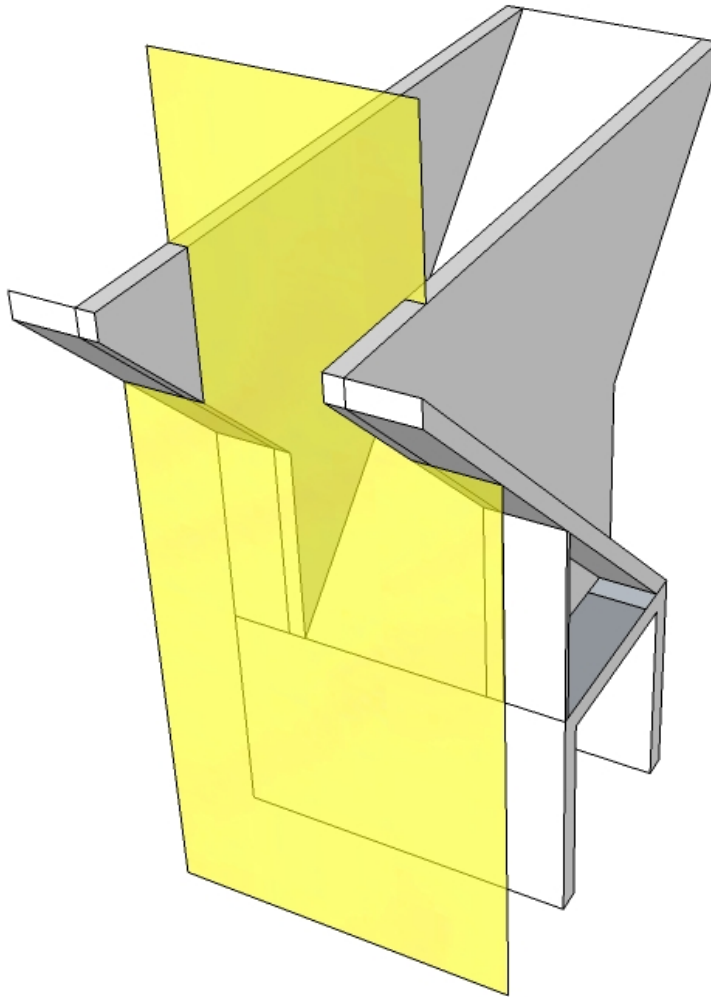
Largeur d'intégration

- $\mu = 0.43$; $\alpha_i = \alpha_o = 1$
- approche « in » : 6% (max : 15.6%)
- approche « out » : 6.7% (max : 19.3%)



« IN »

Résultats Wolf-PKW1D



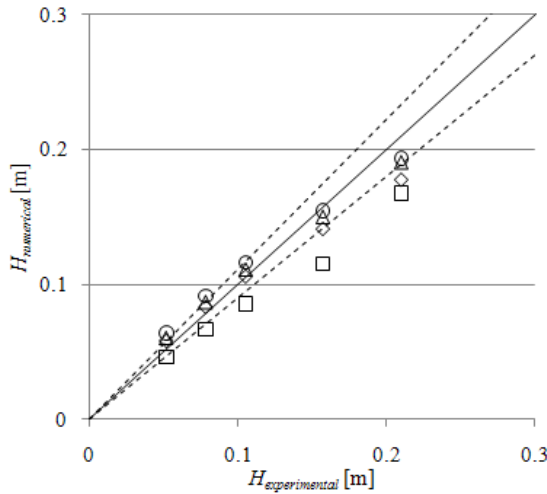
Largeur d'intégration

- $\mu = 0.43$; $\alpha_i = \alpha_o = 1$
- approche « in » : 6% (max : 15.6%)
- approche « out » : 6.7% (max : 19.3%)
- Section composée?

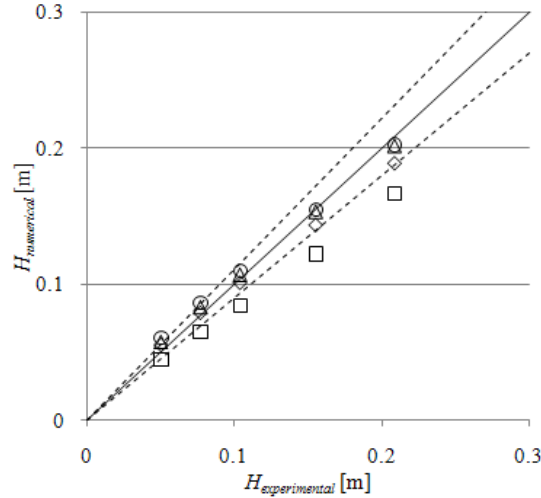
?

Résultats Wolf-PKW1D

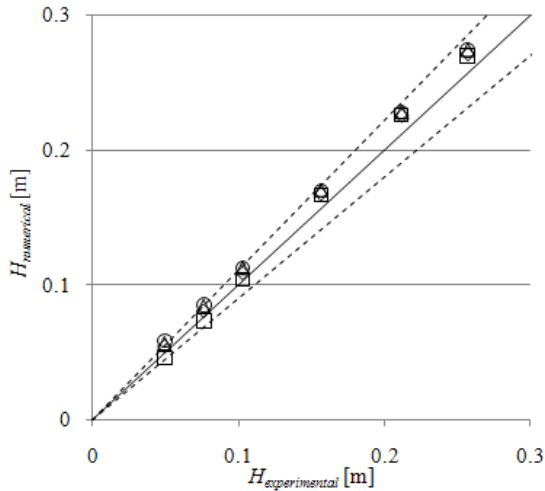
Model 1: $P/B = 0.667$; $W_i/W_o = 1.5$



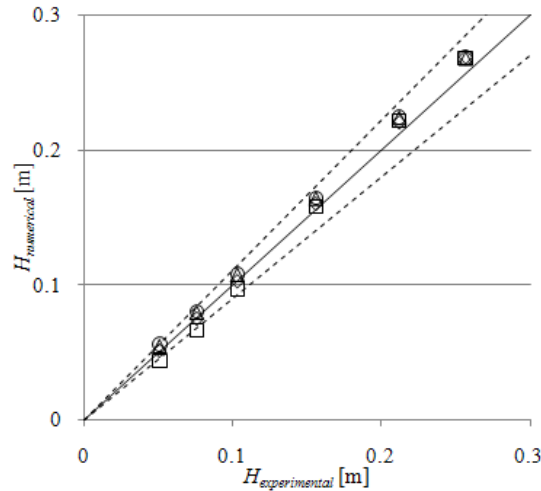
Model 2: $P/B = 0.667$; $W_i/W_o = 0.796$



Model 3: $P/B = 0.25$; $W_i/W_o = 1.5$



Model 4: $P/B = 0.25$; $W_i/W_o = 0.796$



◇ $\mu = 0.43$ □ $\mu = 0.667$ △ Hager 1987 ○ Oertel 2011 — 45° - - - - 10%

Echanges de masse

- « in »; $\alpha_1 = \alpha_0 = 1$
- approche « théorique » : 12.1% (max : 26.8%)
- approche « sharp-crest » : 6% (max : 15.6%)
- approche « Hager » : 7.5% (max : 15.5%)
- approche « Oertel » : 9.2% (max : 23.2%)



« Hager »

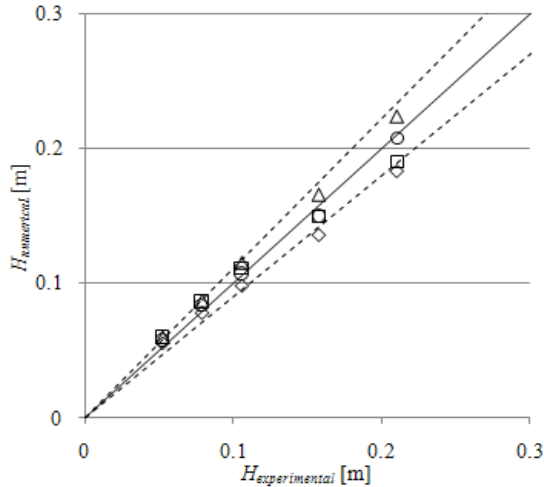


« Sharp-crest »

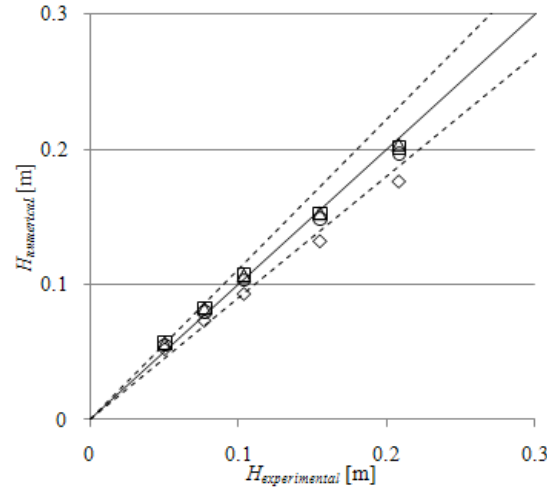


Résultats Wolf-PKW1D

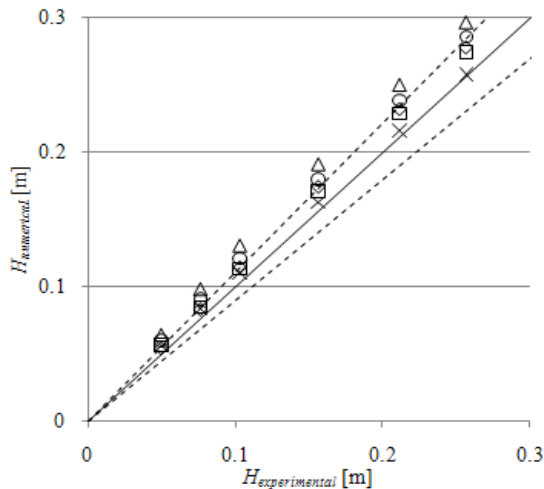
Model 1: $P/B = 0.667$; $W_i/W_o = 1.5$



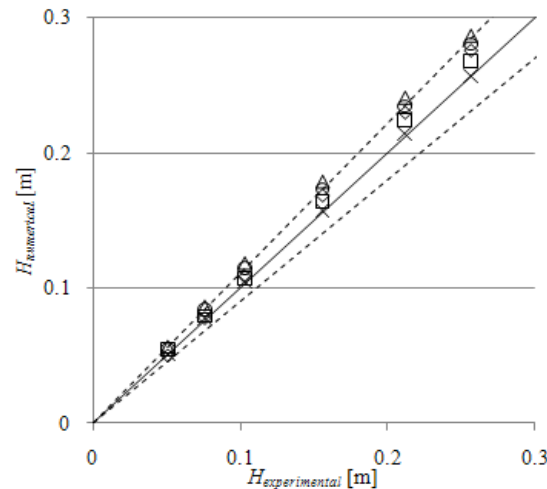
Model 2: $P/B = 0.667$; $W_i/W_o = 0.796$



Model 3: $P/B = 0.25$; $W_i/W_o = 1.5$



Model 4: $P/B = 0.25$; $W_i/W_o = 0.796$



□ $\alpha_i = \alpha_o = 1$

△ $\alpha_i = 1; \alpha_o = 0$

× $\alpha_i = f(\phi_i); \alpha_o = f(\phi_o)$ - "Out"

◇ $\alpha_i = \alpha_o = 0$

○ $\alpha_i = f(\phi_i); \alpha_o = f(\phi_o)$

— 45°

- - - - 10%

Echanges de quantité de mouvement

- « in »; « Hager »
- $\alpha_i = \alpha_o = 1$: 7.5% (max : 15.5%)
- $\alpha_i = \alpha_o = 0$: 8.4% (max : 15.3%)
- $\alpha_i = 1; \alpha_o = 0$: 12.9% (max : 28.6%)
- $\alpha_i, \alpha_o = f(\phi)$: 9.1% -4.3% (max : 20.5%-12.5%)

➔ « $\alpha_i, \alpha_o = f(\phi)$ »

➔ !!! Limites d'intégrations !!!

Conclusion**Modèle 1D**

- Formulation de Hager pour les échanges de masse
- Calcul de la quantité de mouvement échangée sur base de l'inclinaison des filets fluides
- Attention portée au choix des bornes d'intégration

➔ < 10% d'erreur

➔ **Modèle physique uniquement fonction de la géométrie**

Perspectives

- Intégration sur sections composées
- Etudes paramétriques efficaces
- Aide au prédimensionnement de structures de projet réels