



## Etudes paramétriques expérimentales réalisées à l'Université de Liège



Olivier Machiels

Université de Liège

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

Promoteur : M. Pirotton

02 Décembre 2011



## Objectifs et stratégie scientifique

### Compréhension de la physique des écoulements

Modèle réduit à grande échelle

Pour définir :

- Intérêts et limitations
- Principaux paramètres

### Influence des principaux paramètres géométriques

Modèles réduits à géométries variables

Modélisation numérique simplifiée

Pour définir :

- Paramètres les plus importants
- Influence sur les capacité d'évacuation

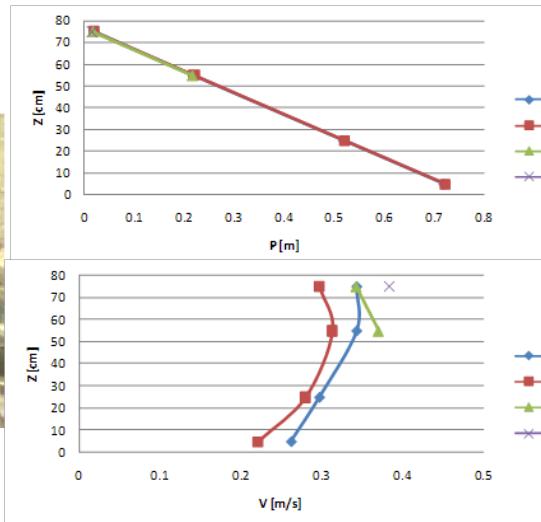
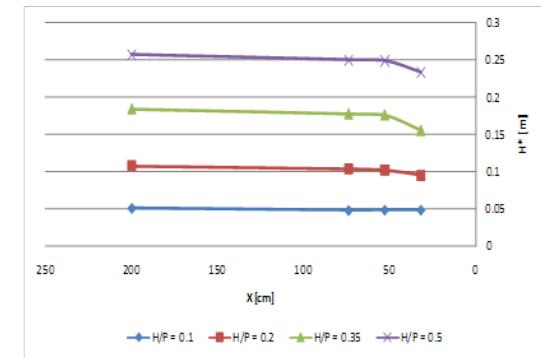
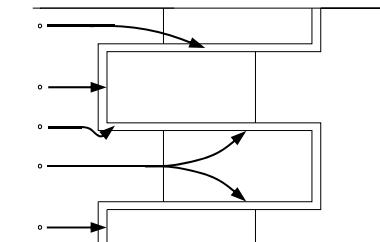
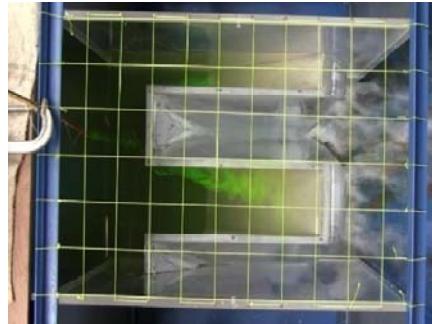
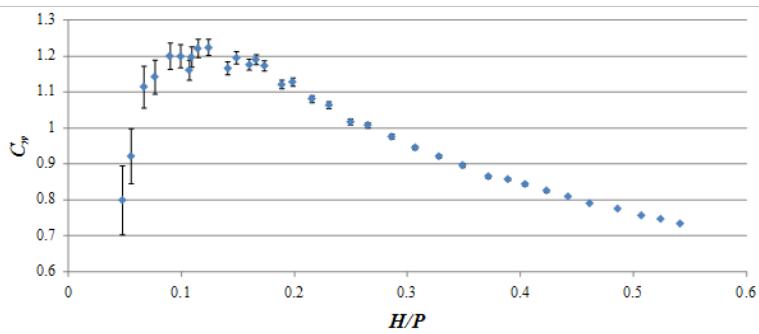
Formulations analytiques physiquement basées

Dimensionnement de structures

## Modèle à grande échelle

### Modèle à l'échelle 1:10

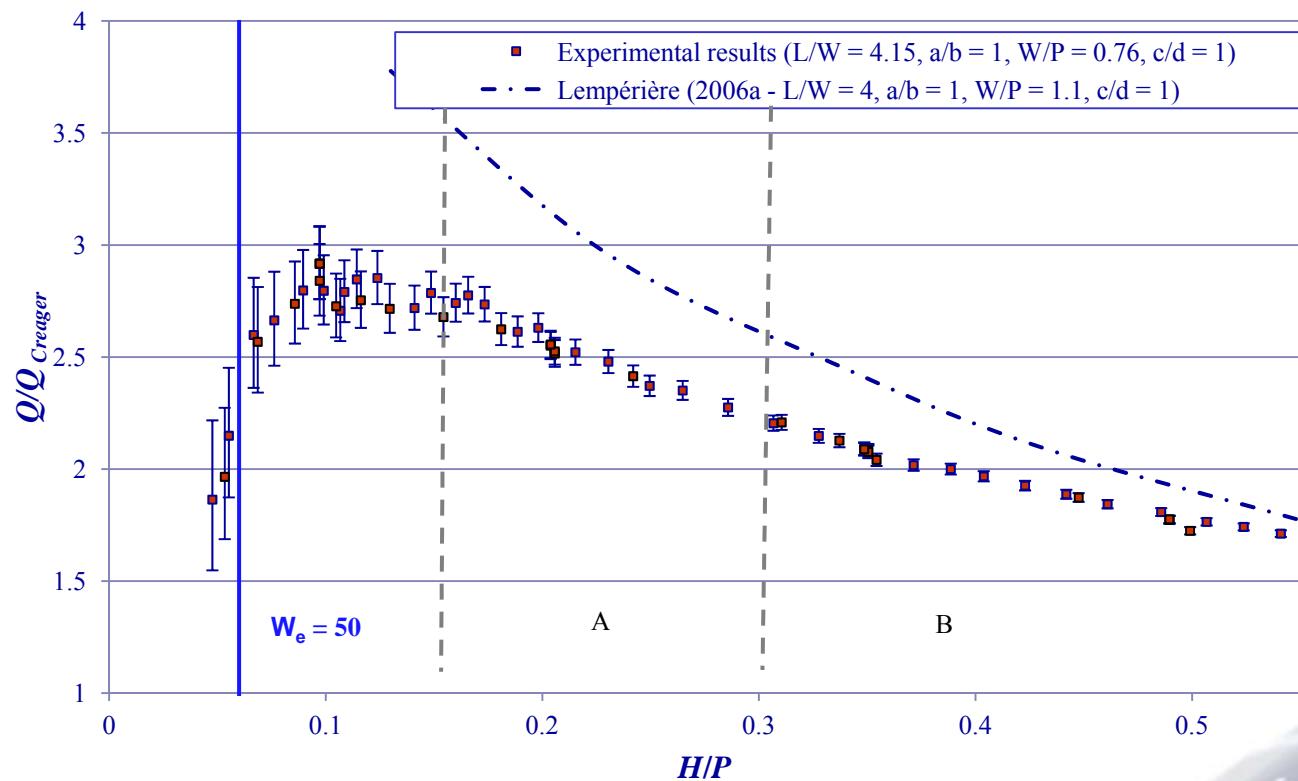
- Etude sur modèle physique à grande échelle
- Caractérisation globale des écoulements
- Tracé des lignes de courants
- Mesure des profils de vitesse, de pression et de surface libre



## Modèle à grande échelle

### Modèle à l'échelle 1:10

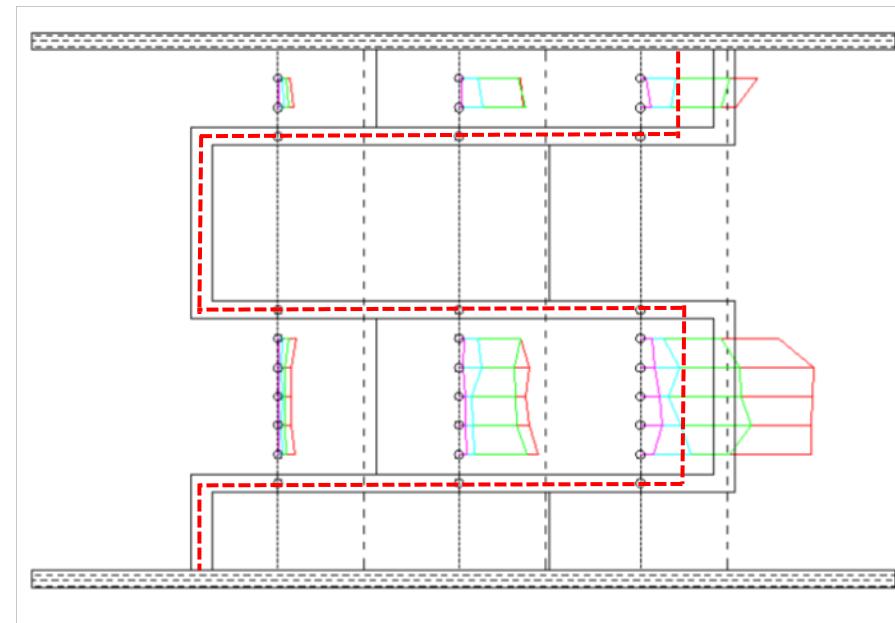
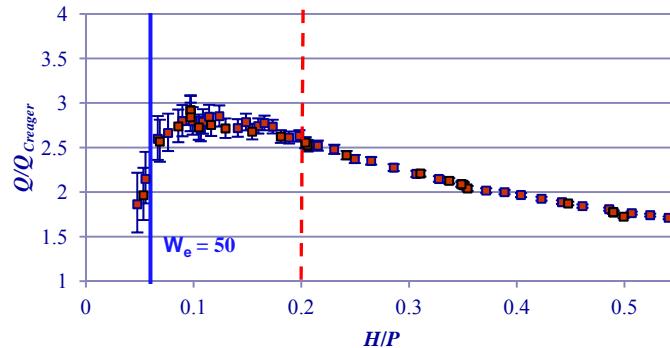
- Efficacité limitée pour très faibles charges (Effets de lame)
- Décroissance de plus en plus importante (zone A)
- Stabilisation vers l'unité pour très hautes charges (zone B)



## Modèle à grande échelle

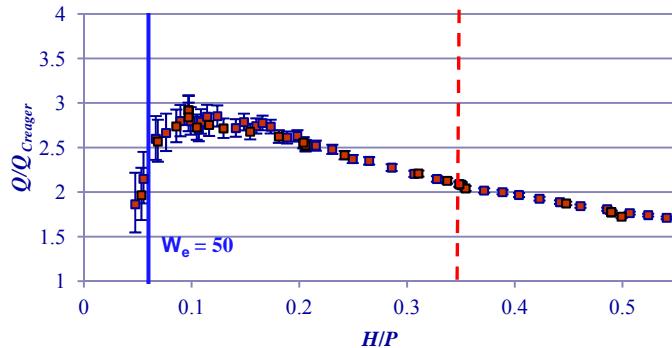
- Pour  $H/P = 0.2$  : Apparition d'une section critique

### Modèle à l'échelle 1:10

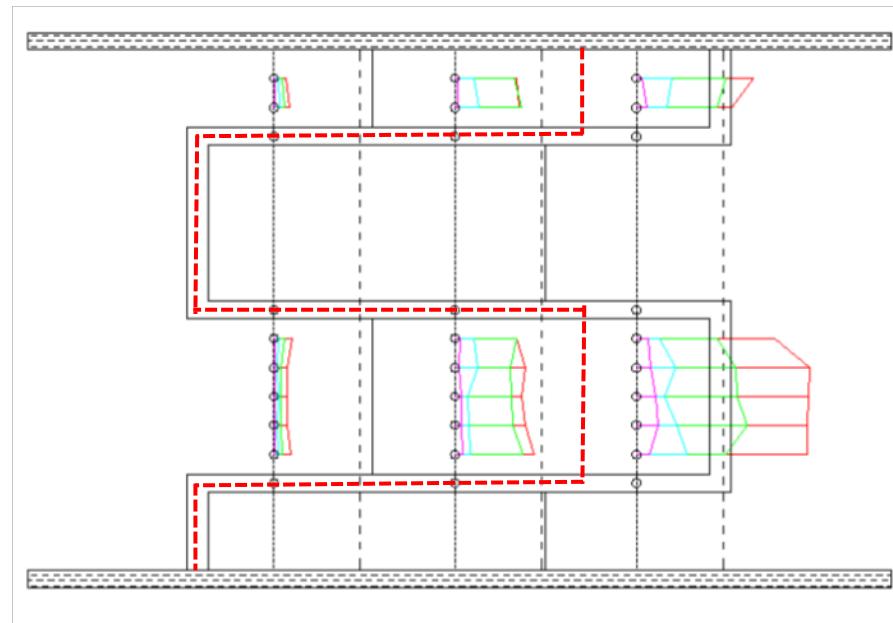


## Modèle à grande échelle

### Modèle à l'échelle 1:10



- Pour  $H/P = 0.2$  : Apparition d'une section critique
- Déplacement de la section critique vers l'amont de l'inlet
- Stabilisation à l'entrée de l'inlet



- Intérêt à augmenter la section de l'inlet ( $W_i/W_o, P, S_i$ )
- Intérêt de l'usage de porte-à-faux amont unique
- Intérêt à profilé l'entrée de l'inlet sous les porte-à-faux

## Modèles à hauteur variable

### Etude sur modèles à hauteur variable

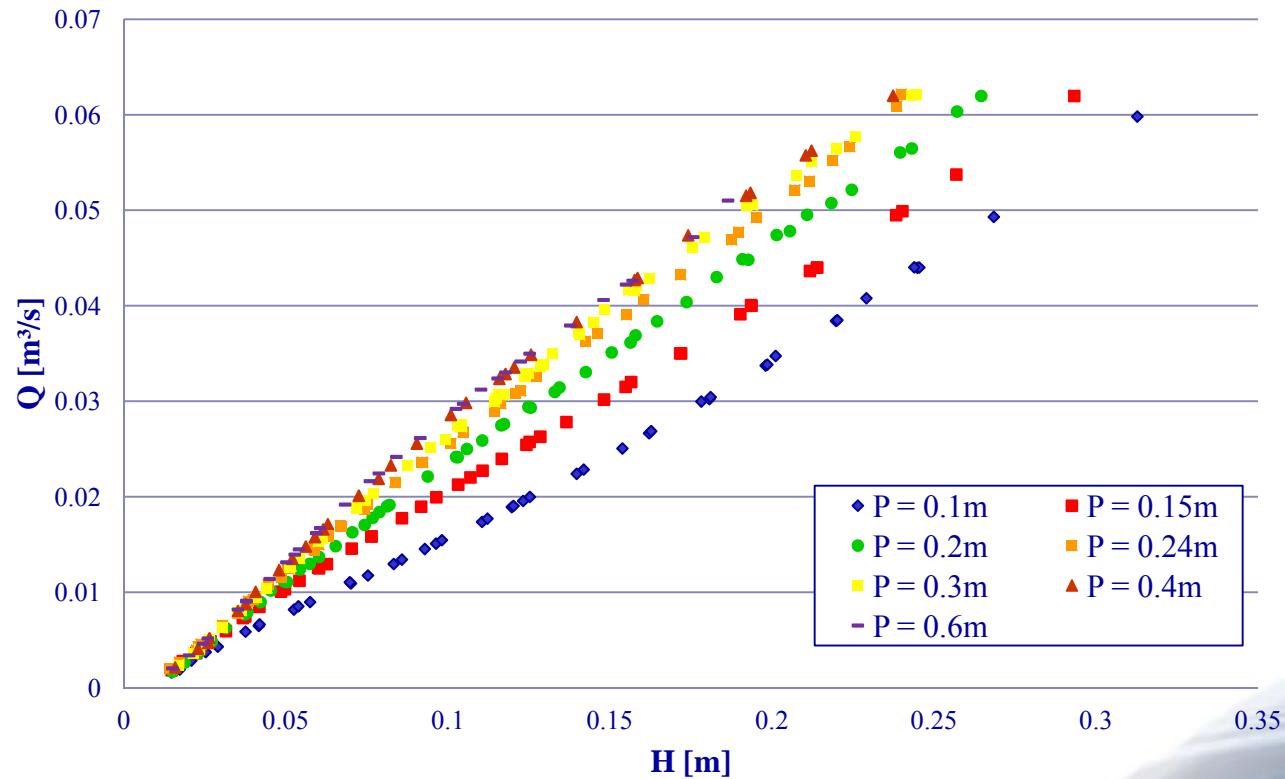
- 7 modèles étudiés ( $S_b = 0.25; 0.375; 0.5; 0.6; 0.75; 1; 1.5$ )
- Mesure des courbes Charge – Débit
- Mesure des hauteurs de surface libre



## Modèles à hauteur variable

### Critère d'efficacité

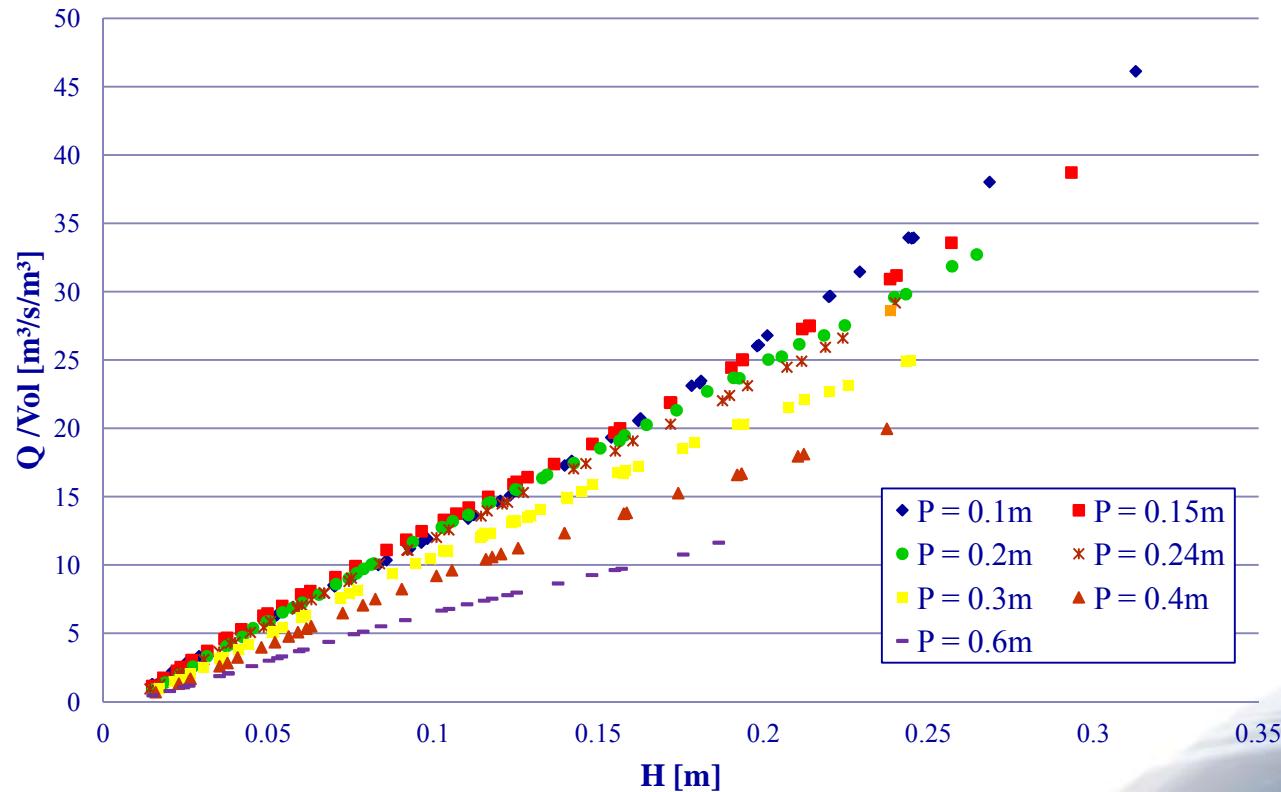
- 7 pentes étudiées ( $S_b = 0.25; 0.375; 0.5; 0.6; 0.75; 1; 1.5$ )
- Effet de la pente sur la débitance
- Intérêt à augmenter la pente



## Modèles à hauteur variable

### Critères de rentabilité

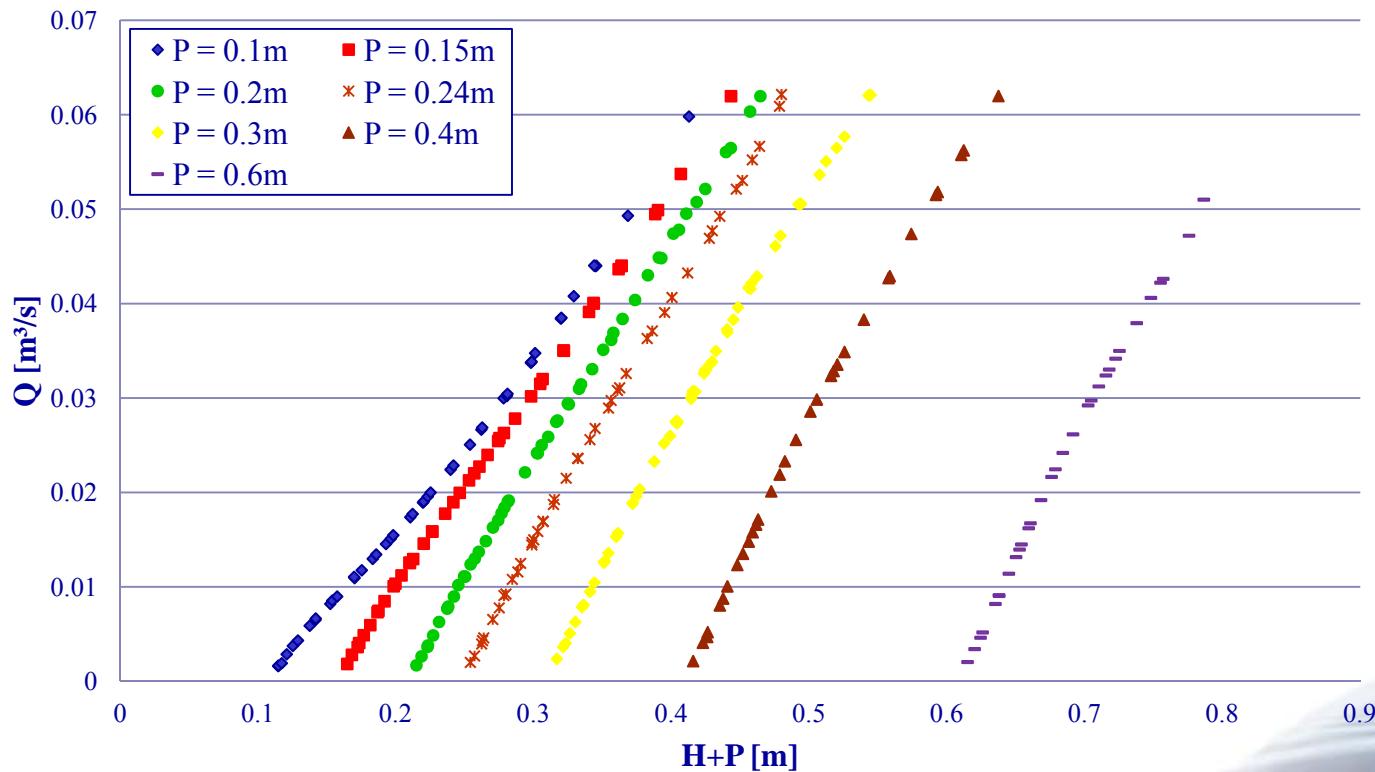
- 7 pentes étudiées ( $S_b = 0.25; 0.375; 0.5; 0.6; 0.75; 1; 1.5$ )
- Effet de la pente sur la débitance
- Intérêt à augmenter la pente
- Importance des critères de décision



## Modèles à hauteur variable

### Critères de rentabilité

- 7 pentes étudiées ( $S_b = 0.25; 0.375; 0.5; 0.6; 0.75; 1; 1.5$ )
- Effet de la pente sur la débitance
- Intérêt à augmenter la pente
- Importance des critères de décision



## Modèles à hauteur variable

### Formule de débitance

- 7 pentes étudiées ( $S_b = 0.25; 0.375; 0.5; 0.6; 0.75; 1; 1.5$ )
- Effet de la pente sur la débitance
- Intérêt à augmenter la pente
- Importance des critères de décision

$$q = q_{upstream} \frac{W_o}{W_u} + q_{downstream} \frac{W_i}{W_u} + q_{lateral} \frac{2B}{W_u}$$

$$q_{upstream} = 0.374 \left( 1 + \frac{1}{1000H + 1.6} \right) \left( 1 + 0.5 \left( \frac{H}{H + P_T} \right)^2 \right) \sqrt{2gH^3}$$

$$q_{downstream} = 0.445 \left( 1 + \frac{1}{1000H + 1.6} \right) \left( 1 + 0.5 \left( \frac{H}{H + P} \right)^2 \right) \sqrt{2gH^3}$$

$$q_{lateral} = 0.41 \left( 1 + \frac{1}{833H + 1.6} \right) \left( 1 + 0.5 \left( \frac{0.833H}{0.833H + P_e} \right)^2 \right) \left( \frac{P_e^\alpha + \beta}{(0.833H + P_e)^\alpha + \beta} \right) \sqrt{2gH^3}$$

$$P_e = P_T \frac{B_o}{B} + \frac{P}{2} \left( 1 - \frac{B_o}{B} \right)$$

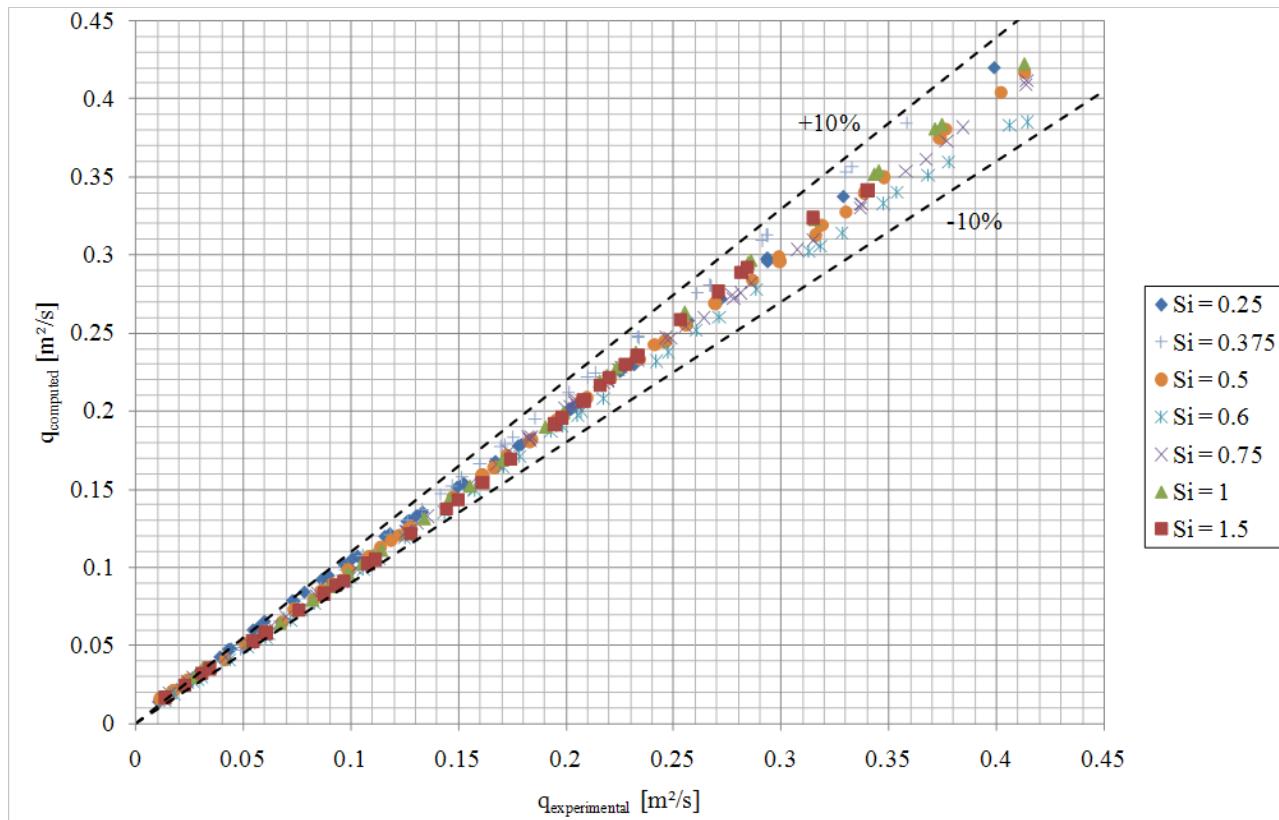
$$\alpha = \frac{0.7}{S_i^2} - \frac{3.58}{S_i} + 7.55$$

$$\beta = 0.029 e^{-\frac{1.446}{S_i}}$$

## Modèles à hauteur variable

### Formule de débitance

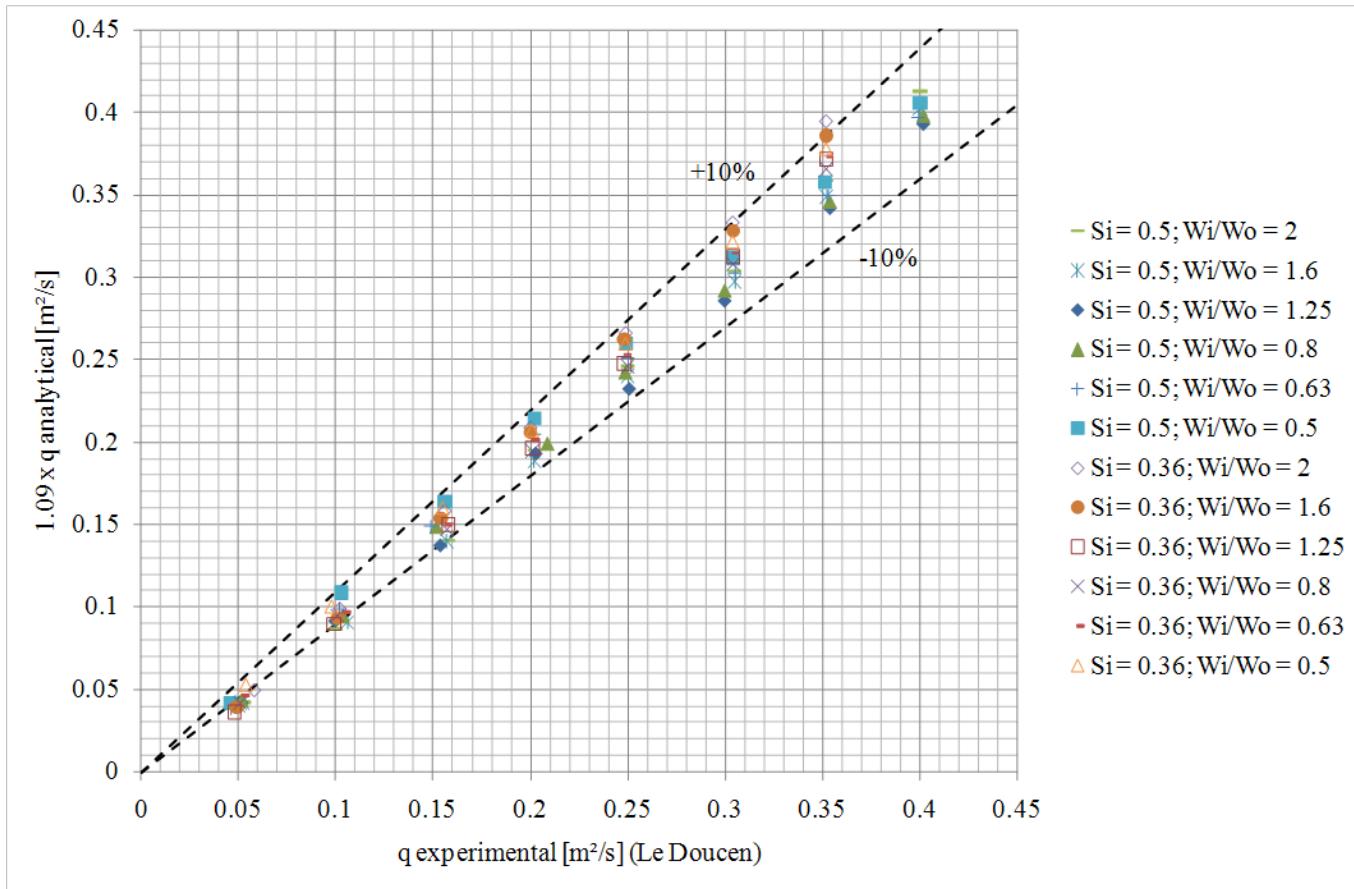
- 7 pentes étudiées ( $S_b = 0.25; 0.375; 0.5; 0.6; 0.75; 1; 1.5$ )
- Effet de la pente sur la débitance
- Intérêt à augmenter la pente
- Importance des critères de décision



## Modèles à hauteur variable

### Comparaison résultats Lausanne

- 7 pentes étudiées ( $S_b = 0.25; 0.375; 0.5; 0.6; 0.75; 1; 1.5$ )
- Effet de la pente sur la débitance
- Intérêt à augmenter la pente
- Importance des critères de décision



## Effet des rehausse

### Etude sur modèles avec rehausse

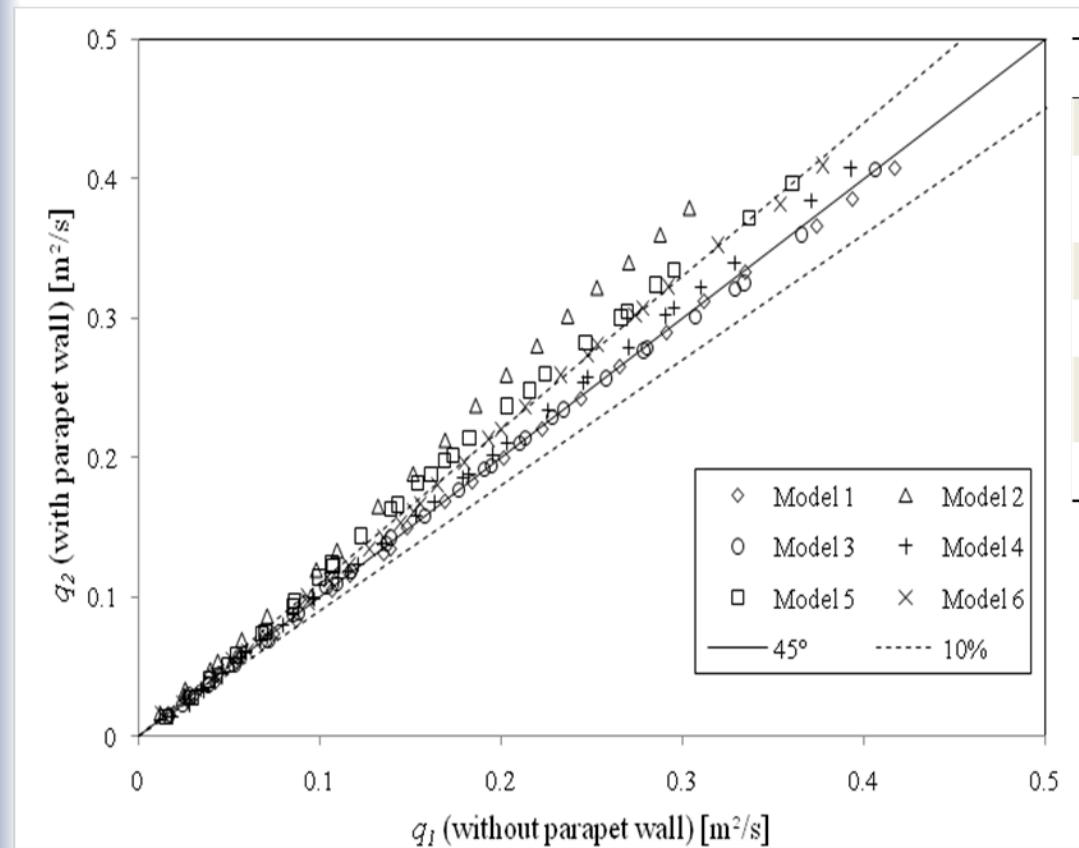
- 14 configurations étudiées
- Mesure des courbes Charge – Débit
- Mesure des hauteurs de surface libre

Model	Variant	$P$ [m]	$P_r$ [m]	$S_i = S_o$	$W_i/W_o$	$L/W$
<b>1</b>	1	0.525	0	1.18	1	4.15
	2	0.625	0.1	1.18	1	4.15
<b>2</b>	1	0.135	0	0.34	1	4.15
	2	0.235	0.1	0.34	1	4.15
	3	0.235	0	0.53	1	4.15
<b>3</b>	1	0.4	0	1	1.5	5
	2	0.45	0.05	1	1.5	5
<b>4</b>	1	0.4	0	1	0.67	5
	2	0.45	0.05	1	0.67	5
<b>5</b>	1	0.15	0	0.375	1.5	5
	2	0.2	0.05	0.375	1.5	5
	3	0.2	0	0.5	1.5	5
<b>6</b>	1	0.15	0	0.375	0.67	5
	2	0.2	0.05	0.375	0.67	5

## Effet des rehausse

### Effet à pentes constantes

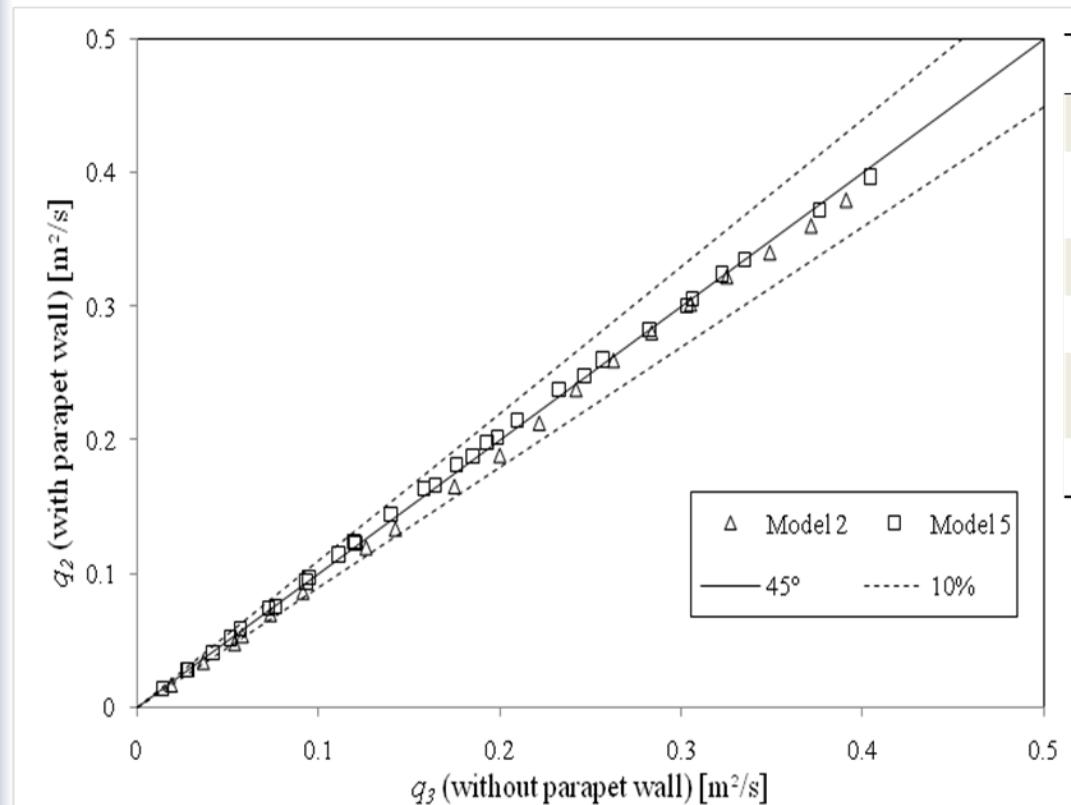
- 14 configurations étudiées
- Intérêt des rehausse pour augmenter la hauteur vers son optimum



## Effet des rehausse

### Effet à hauteur constante

- 14 configurations étudiées
- Intérêt des rehausse pour augmenter la hauteur vers son optimum
- Pas d'intérêt pour modifier la pente de fond

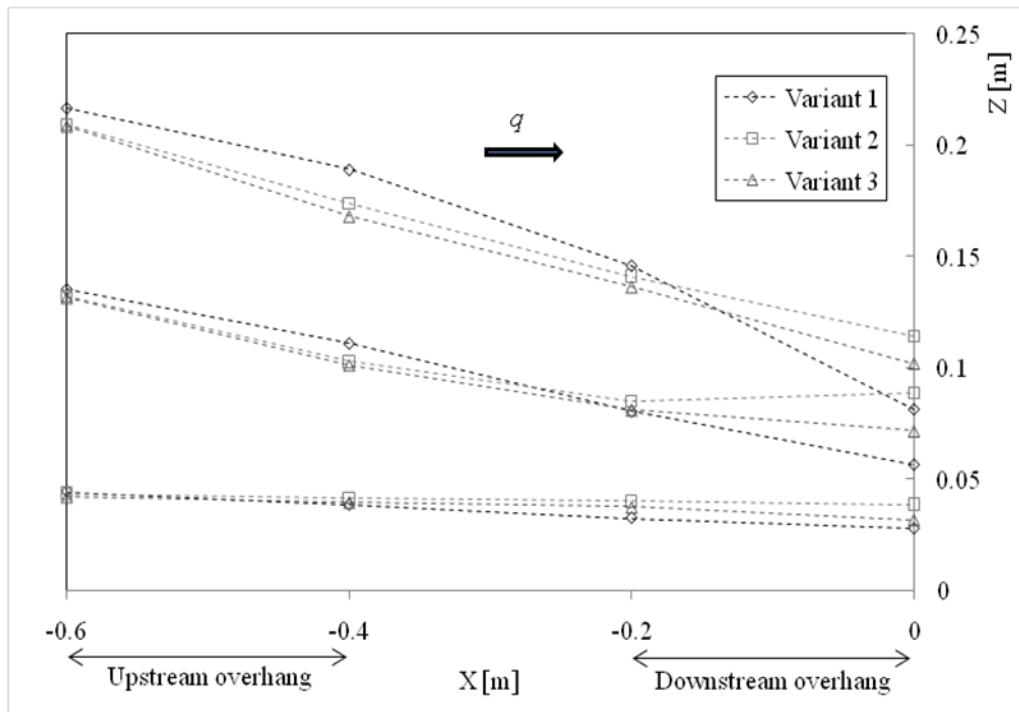


Model	Variant	P [m]	$P_r$ [m]	$S_i = S_o$	$W_i/W_o$	L/W	Gain with parapet wall
<b>1</b>	1	0.525	0	1.18	1	4.15	- 0%
	2	0.625	0.1	1.18	1	4.15	- 0%
	1	0.135	0	0.34	1	4.15	- 0%
<b>2</b>	2	0.235	0.1	0.34	1	4.15	- 0%
	3	0.235	0	0.53	1	4.15	- 0%
	1	0.4	0	1	1.5	5	- 0%
<b>3</b>	2	0.45	0.05	1	1.5	5	- 0%
	1	0.4	0	1	0.67	5	- 0%
<b>4</b>	2	0.45	0.05	1	0.67	5	- 4%
	1	0.15	0	0.375	1.5	5	- 15%
<b>5</b>	2	0.2	0.05	0.375	1.5	5	- 0%
	3	0.2	0	0.5	1.5	5	- 0%
	1	0.15	0	0.375	0.67	5	- 10%
<b>6</b>	2	0.2	0.05	0.375	0.67	5	- 10%

## Effet des rehausse

### Effet sur la surface libre

- 14 configurations étudiées
- Intérêt des rehausse pour augmenter la hauteur vers son optimum
- Pas d'intérêt pour modifier la pente de fond
- Effet d'inertie le long de la crête latérale

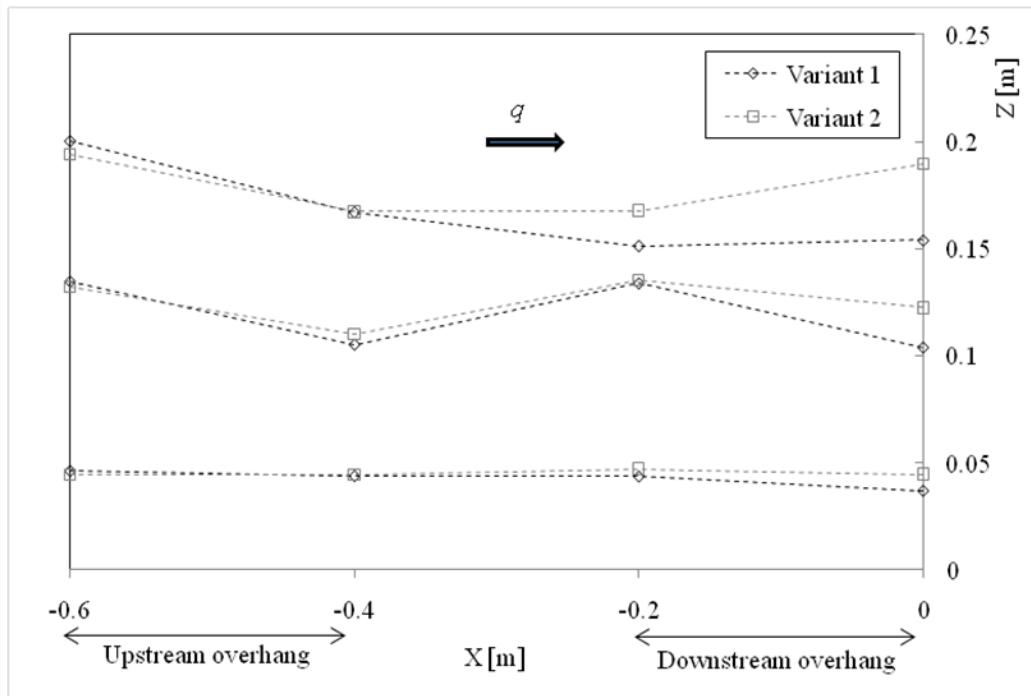


Model	Variant	$P$ [m]	$P_r$ [m]	$S_i = S_o$	$W_i/W_o$	$L/W$	$Gain with parapet wall$
<b>1</b>	1	0.525	0	1.18	1	4.15	0%
	2	0.625	0.1	1.18	1	4.15	
	1	0.135	0	0.34	1	4.15	
<b>2</b>	2	0.235	0.1	0.34	1	4.15	20%
	3	0.235	0	0.53	1	4.15	
	1	0.4	0	1	1.5	5	
<b>3</b>	2	0.45	0.05	1	1.5	5	0%
	1	0.4	0	1	0.67	5	
	2	0.45	0.05	1	0.67	5	
<b>4</b>	1	0.15	0	0.375	1.5	5	4%
	2	0.2	0.05	0.375	1.5	5	
	3	0.2	0	0.5	1.5	5	
<b>5</b>	1	0.15	0	0.375	0.67	5	15%
	2	0.2	0.05	0.375	0.67	5	
	3	0.2	0	0.5	0.67	5	
<b>6</b>	1	0.15	0	0.375	0.67	5	0%
	2	0.2	0.05	0.375	0.67	5	
	1	0.15	0	0.375	0.67	5	

## Effet des rehausse

### Effet sur la surface libre

- 14 configurations étudiées
- Intérêt des rehausse pour augmenter la hauteur vers son optimum
- Pas d'intérêt pour modifier la pente de fond
- Effet d'inertie le long de la crête latérale

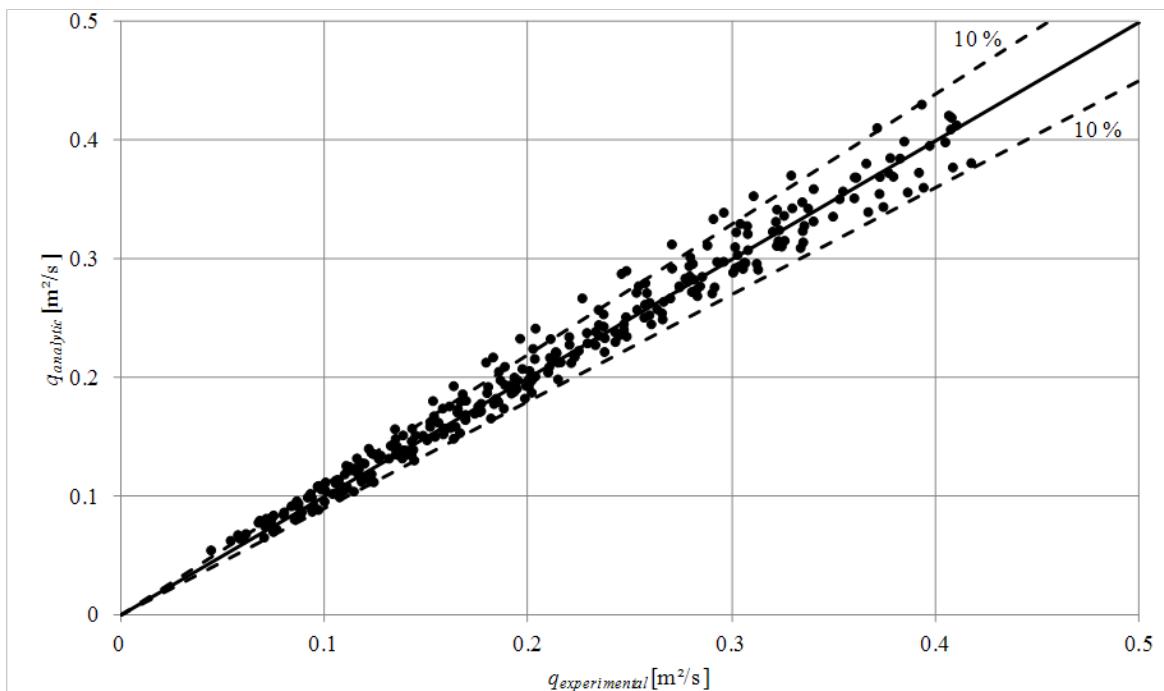


Model	Variant	$P$ [m]	$P_r$ [m]	$S_i = S_o$	$W_i/W_o$	$L/W$	<i>Gain with parapet wall</i>
<b>1</b>	1	0.525	0	1.18	1	4.15	- 0%
	2	0.625	0.1	1.18	1	4.15	-
	1	0.135	0	0.34	1	4.15	-
<b>2</b>	2	0.235	0.1	0.34	1	4.15	- 20%
	3	0.235	0	0.53	1	4.15	- 0%
	1	0.4	0	1	1.5	5	- 0%
<b>3</b>	2	0.45	0.05	1	1.5	5	-
	1	0.4	0	1	0.67	5	-
<b>4</b>	2	0.45	0.05	1	0.67	5	- 4%
	1	0.15	0	0.375	1.5	5	-
<b>5</b>	2	0.2	0.05	0.375	1.5	5	- 15%
	3	0.2	0	0.5	1.5	5	- 0%
	1	0.15	0	0.375	0.67	5	-
<b>6</b>	2	0.2	0.05	0.375	0.67	5	- 10%

## Effet des rehausse

### Comparaison analytique

- 14 configurations étudiées
- Intérêt des rehausse pour augmenter la hauteur vers son optimum
- Pas d'intérêt pour modifier la pente de fond
- Effet d'inertie le long de la crête latérale
- Formule analytique valide pour  $W_i/W_o > 1$



## Effet des largeurs d'alvéoles

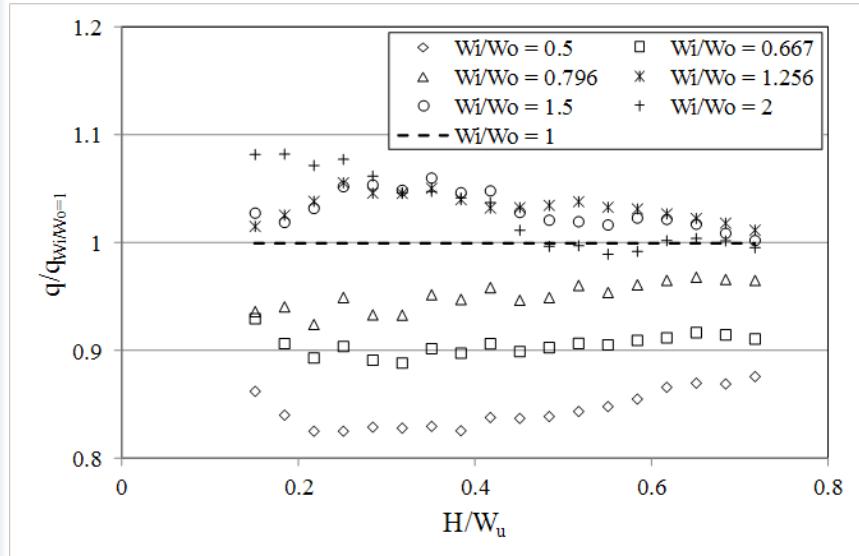
### Etude sur modèles à largeurs relatives variables

- 14 configurations étudiées ( $P/W_u = 1.33, 0.5; W_i/W_o = 0.5, 0.67, 0.8, 1, 1.26, 1.5, 2$ )
- Mesure des courbes Charge – Débit
- Mesure des hauteurs de surface libre

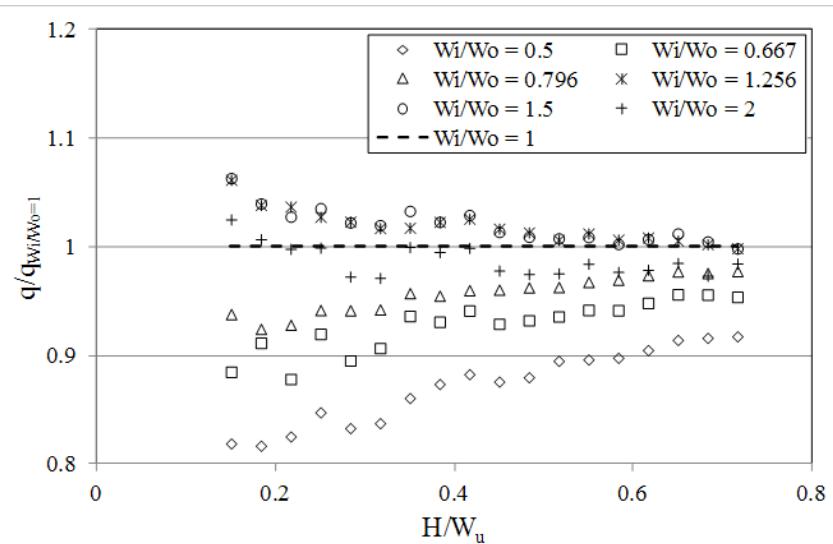
## Effet des largeurs d'alvéoles

- 14 configurations étudiées
- Optimum hydraulique : entre 1.25 et 1.5
- Optimum économique : 1

**P/W<sub>u</sub> = 1.33**

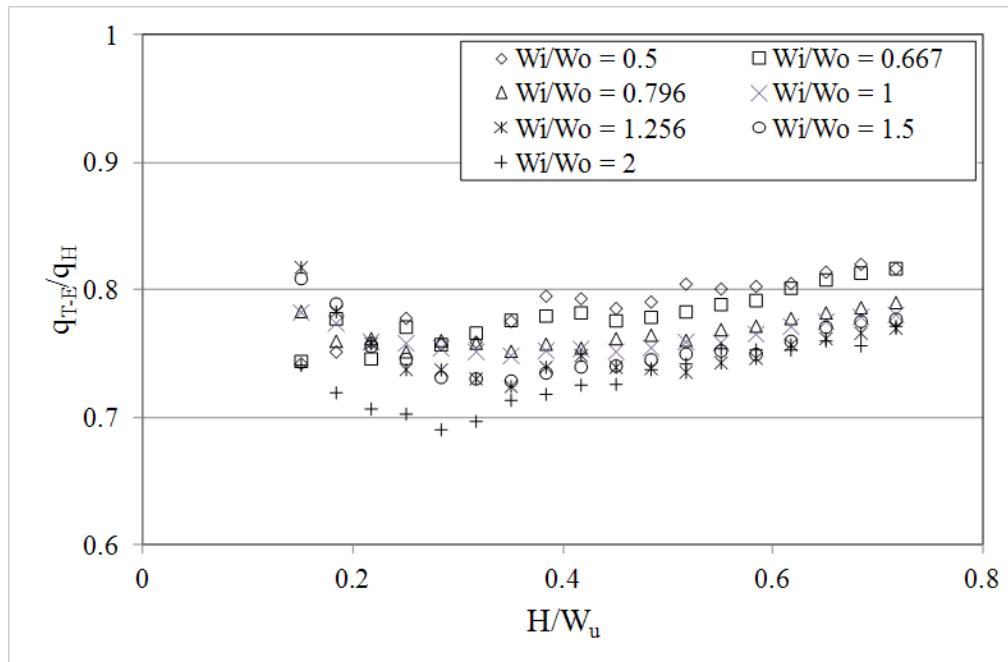


**P/W<sub>u</sub> = 0.5**



## Effet des largeurs d'alvéoles

- 14 configurations étudiées
- Optimum hydraulique : entre 1.25 et 1.5
- Optimum économique : 1
- Paramètre secondaire



## Effet des largeurs d'alvéoles

$$Fr = \frac{Q_i}{W_i \sqrt{gh^3}} \quad q_s = C_d \sqrt{g(h-w)^3}$$

**H/Wu = 0.167**

$W_i/W_o$	$(h/h_{Wi/Wo=1})^{1.5}$	$(h-w/h-w_{Wi/Wo=1})^{1.5}$	$q/q_{Wi/Wo=1}$
Hydraulic optimal PKW height			
0.5	0.93	0.82	0.85
0.667	0.99	1.03	0.92
0.796	1.03	1.08	0.94
1.256	1.03	1.08	1.02
1.5	1.03	1.17	1.02
2	1.05	1.16	1.08
Technico-economic optimal PKW height			
0.5	0.85	0.69	0.82
0.667	0.90	0.82	0.90
0.796	0.94	0.92	0.93
1.256	1.04	1.04	1.05
1.5	1.07	1.07	1.05
2	1.10	1.13	1.02

- 14 configurations étudiées
- Optimum hydraulique : entre 1.25 et 1.5
- Optimum économique : 1
- Paramètre secondaire
- Influence du nombre de Froude le long de l'inlet

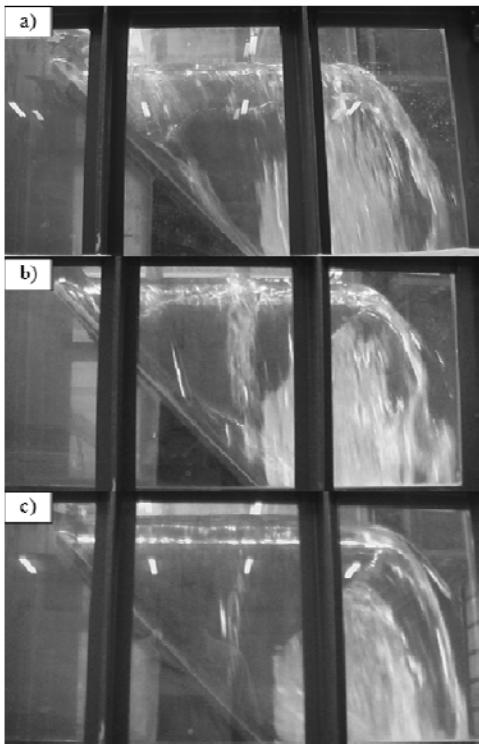
**H/Wu = 0.667**

$W_i/W_o$	$(h/h_{Wi/Wo=1})^{1.5}$	$(h-w/h-w_{Wi/Wo=1})^{1.5}$	$q/q_{Wi/Wo=1}$
Hydraulic optimal PKW height			
0.5	0.83	0.74	0.87
0.667	0.91	0.87	0.92
0.796	0.94	0.91	0.97
1.256	1.09	1.14	1.02
1.5	1.18	1.27	1.01
2	1.29	1.48	1.00
Technico-economic optimal PKW height			
0.5	0.63	0.59	0.92
0.667	0.78	0.76	0.96
0.796	0.88	0.78	0.98
1.256	1.10	1.44	1.00
1.5	1.17	1.61	1.01
2	1.27	1.85	0.98

## Effet des largeurs d'alvéoles

- 14 configurations étudiées
- Optimum hydraulique : entre 1.25 et 1.5
- Optimum économique : 1
- Paramètre secondaire
- Influence du nombre de Froude le long de l'inlet
- Influence capacité d'évacuation de l'outlet

$$H/W_u = 0.167, P/W_u = 1.33$$

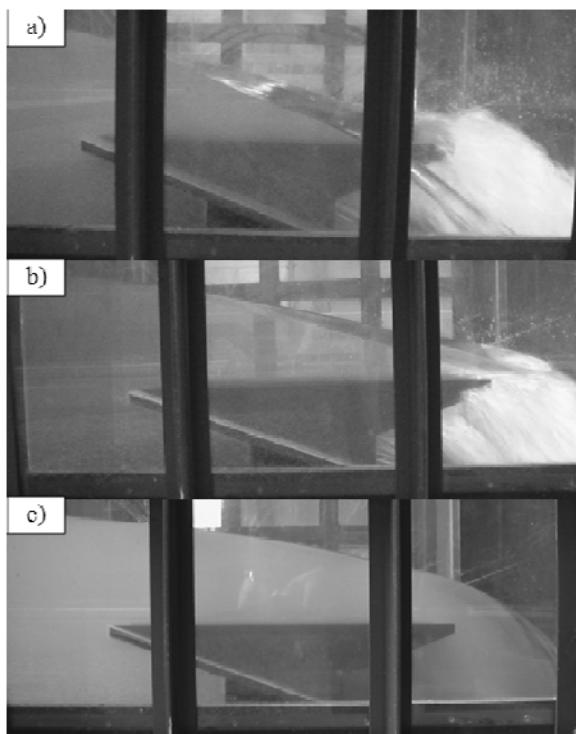


$$Wi/Wo = 0.5$$

$$Wi/Wo = 1$$

$$Wi/Wo = 2$$

$$H/W_u = 0.667, P/W_u = 0.5$$



## Effet des porte-à-faux

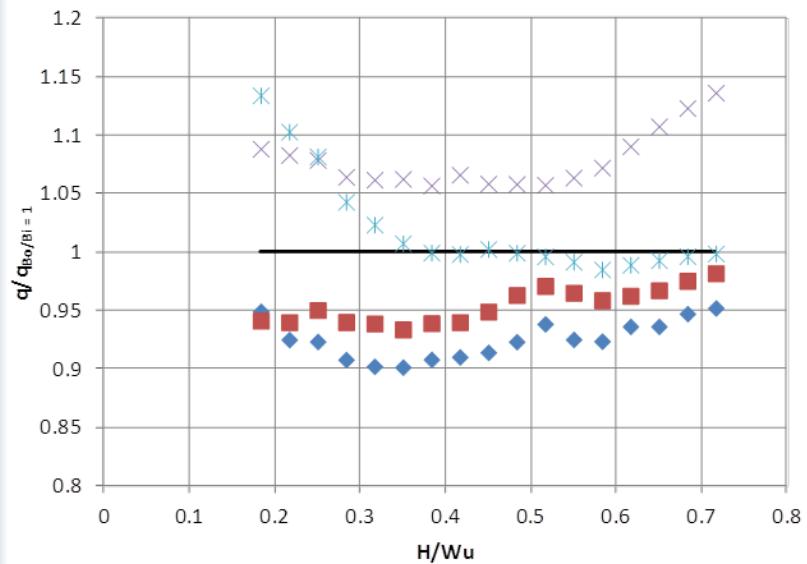
### Etude sur modèles à position des porte-à-faux variable

- 10 configurations étudiées ( $P/W_u = 1.33, 0.5; Bo/B_i = 0, 0.33, 1, 3, \infty$ )
- Mesure des courbes Charge – Débit
- Mesure des hauteurs de surface libre

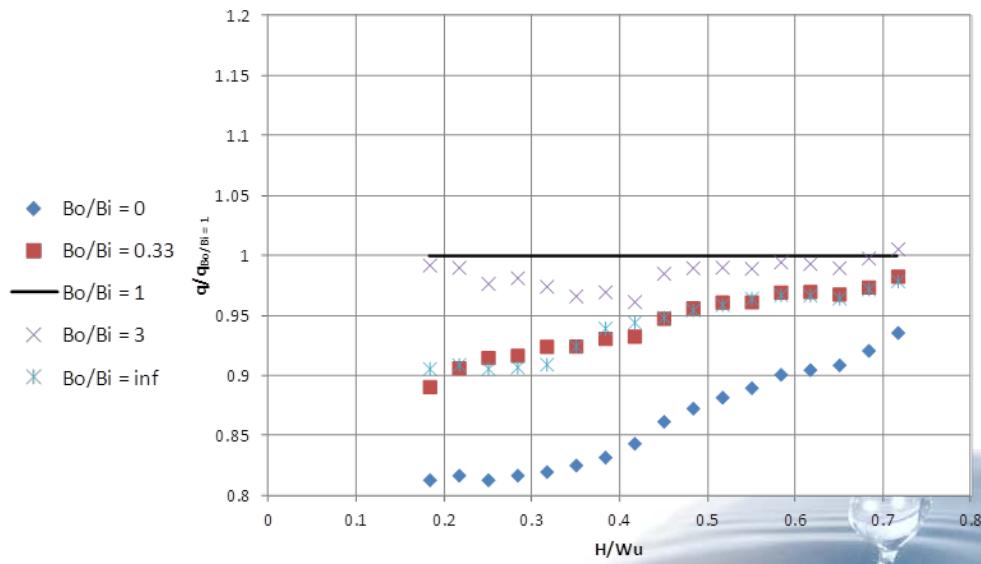
## Effet des porte-à-faux

- 10 configurations étudiées
- Porte-à-faux amont pas forcément plus efficace
- Equilibre entre pente optimale de l'inlet et pente suffisante de l'outlet

**P/Wu = 1.33**



**P/Wu = 0.5**



## Conclusion

### Conseils de dimensionnement

- Eviter le dimensionnement aux trop faibles charges (pente des courbes d'efficacité et effets de lame)
- Intérêt d'augmenter la section des inlet pour y diminuer les vitesses
  - Par l'accroissement du rapport  $Wi/Wo$
  - Par l'accroissement de la hauteur du déversoir
  - Par le positionnement des porte-à-faux plus à l'amont si la hauteur optimale n'est pas atteinte
- Assurer l'évacuation de l'outlet
  - Par une pente suffisante  $So$
  - Par une largeur suffisante  $Bo$
- Eviter les études sur une gamme de variation trop faible des paramètres
  - Pour éviter de masquer les caractéristiques hydrauliques dans la précision des mesures
  - Afin de pouvoir rencontrer des critères de dimensionnement divers et variés