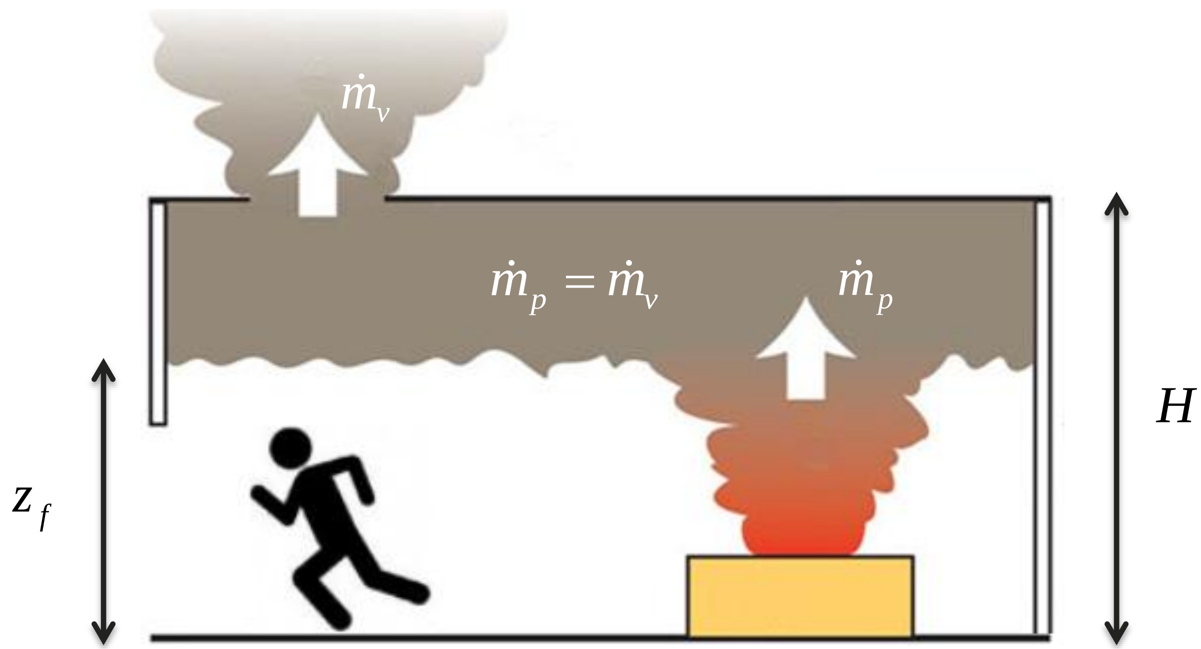
Contribution à l'amélioration des modèles théoriques utilisés en ingénierie du désenfumage

Présenté par :
El Mehdi KOUTAIBA

Encadré par :
Olivier VAUQUELIN
Elizabeth BLANCHARD
Philippe FROMY

Sommaire

Contexte du travail



Formule du petit et grand feu (IT 246)

On s'intéresse au remplissage et à la vidange simultanés d'un local ventilé naturellement.

$$\Sigma = \frac{0.043\left(z_f + 1.5\sqrt{A_f}\right)^{5/2}}{\sqrt{H - z_f}} \qquad \Sigma = \frac{0.312\left(z_f^{3/2}\sqrt{A_f}\right)}{\sqrt{H - z_f}}$$

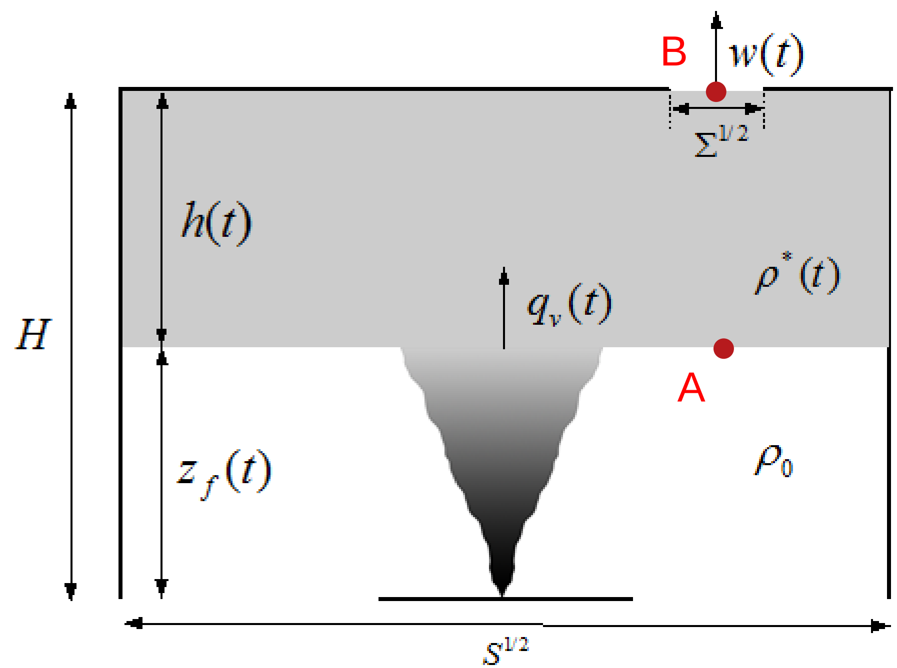
Modèle classique de remplissage et de vidange

- Equations de conservation appliquées à la couche de fumée dans le cas général non-Boussinesq :

$$S\frac{dh}{dt} = q_v(t) - w(t)\Sigma$$

$$S\frac{d\rho^* h}{dt} = \rho(t)q_v(t) - \rho^*(t)w(t)\Sigma$$

$$\rho_0 w^2(t) = 2C_d^2 \Delta\rho^*(t)gh(t)$$



Modèle classique de remplissage et de vidange

Modèle point-source (Modèle de Morton, Turner & Taylor (1956)

$$u(z) = \frac{25}{48\pi\alpha^2} B^{1/3} z^{-1/3}$$

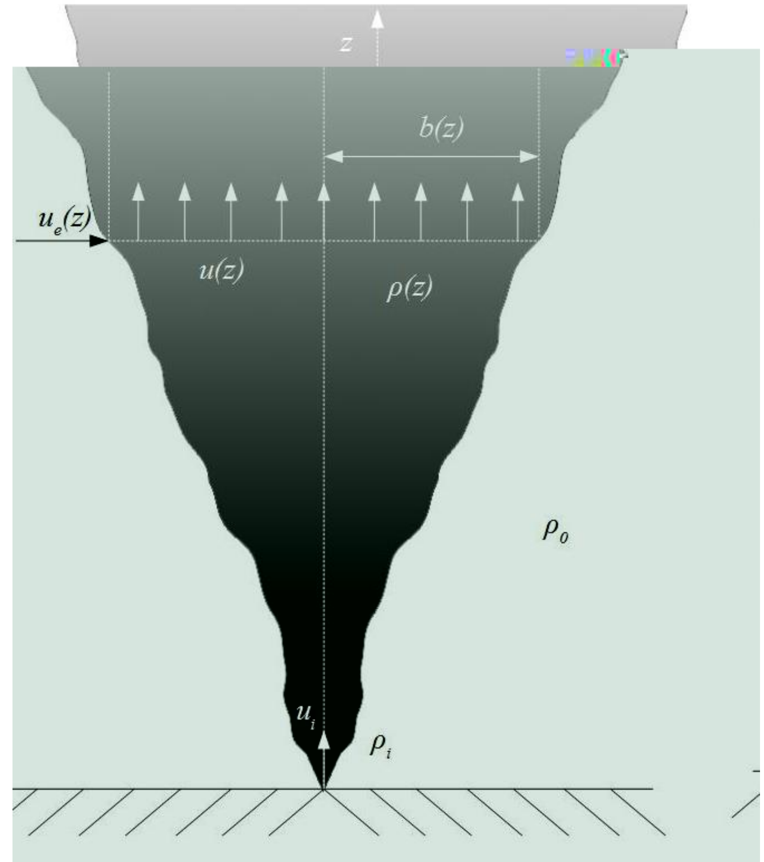
$$\beta(z) = \frac{6\alpha}{5} z$$

$$\eta(z) = \frac{4}{3g}\left(\frac{25}{48\pi\alpha^2}\right)^{2/3} B^{2/3} z^{-5/3}$$

$$\boxed{B = \frac{\Delta\rho_i}{\rho_i} g u_i \pi b_i^2}$$

$$\boxed{B = \frac{g\dot{Q}_c}{\rho_0 C_p T_0}}$$

$$\boxed{Avec \quad \eta = \frac{\Delta\rho}{\rho} \quad et \quad \beta = \left(\frac{\rho}{\rho_0}\right)^{1/2} b}$$



Modèle classique de remplissage et de vidange

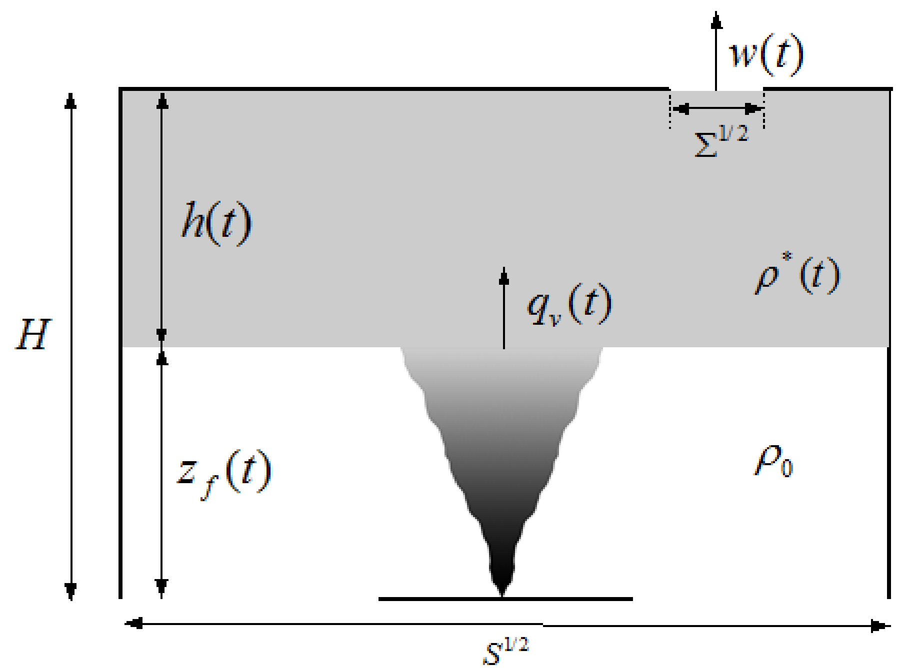
Modèle point-source (Modèle de Morton, Turner & Taylor (1956)

- Equations de conservation appliquées à la couche de fumée

$$S\frac{dh}{dt} = q_v - w\Sigma$$

$$S\frac{d\rho^* h}{dt} = \rho q_v - \rho^* w\Sigma$$

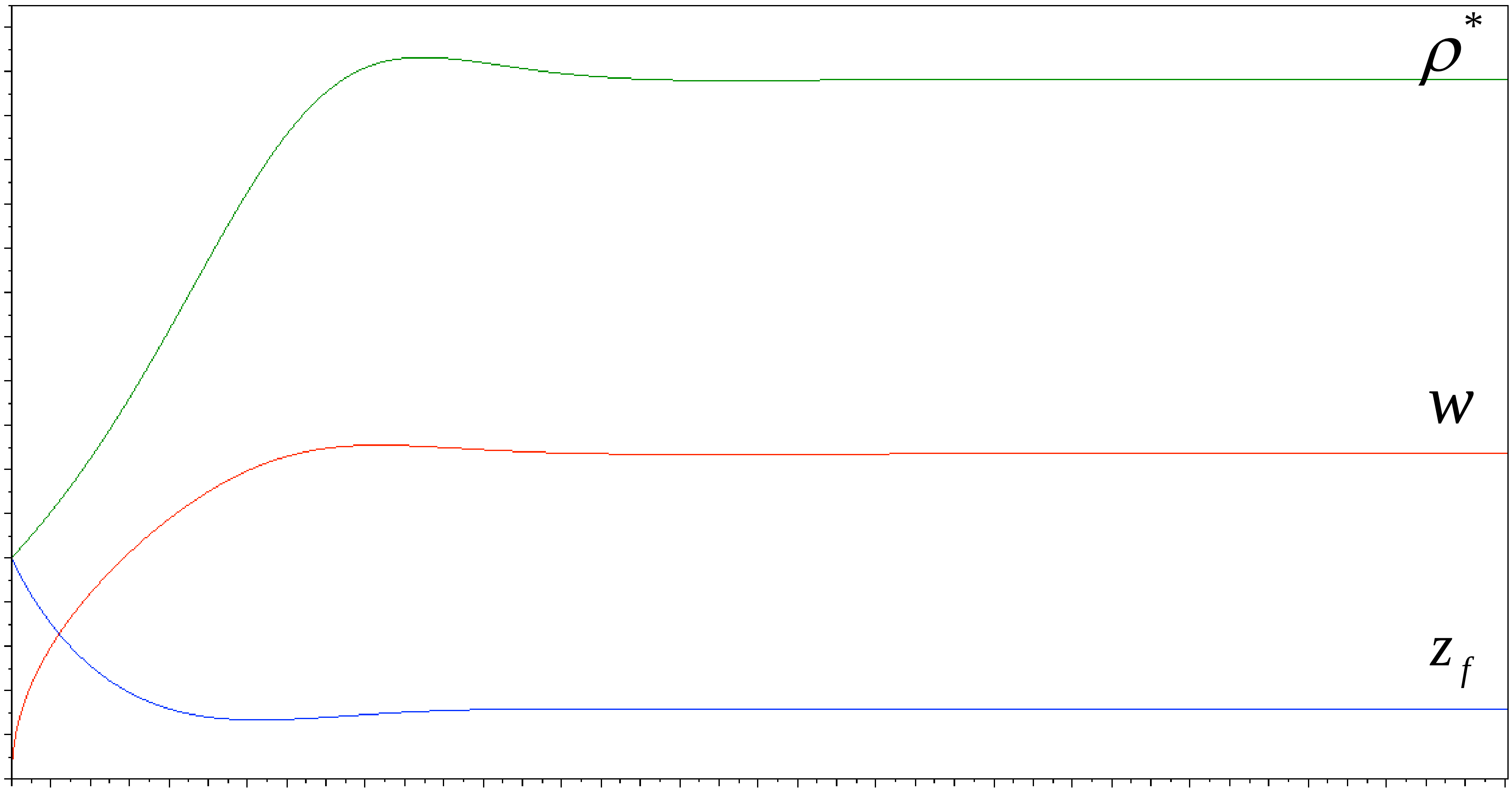
$$\rho_0 w^2 = \Delta\rho^* g h$$



$$q_v = \pi b^2 u = \frac{36\pi\alpha^2}{25}\left(\frac{25}{48\pi\alpha^2}\right)^{1/3} B^{1/3}\left(\frac{4}{3g}\left(\frac{25}{48\pi\alpha^2}\right)^{2/3} B^{2/3} + z_f^{5/3}\right)$$

Modèle classique de remplissage et de vidange

Modèle point-source (Modèle de Morton, Turner & Taylor (1956)



Modèle classique de remplissage et de vidange

Modèle point-source (Modèle de Morton, Turner & Taylor (1956)

Surface de l'exutoire à l'état stationnaire :

$$\Sigma = \frac{972\pi}{625}\frac{\alpha^4}{C_d^2}\left(z_f^{5/3} + \frac{4}{3g}\left(\frac{25}{48\pi\alpha^2}\right)^{2/3} B^{2/3}\right)^2 \frac{z_f^{5/6}}{\sqrt{H - z_f}}$$

À l'état stationnaire la hauteur de la couche de fumées est une fonction de :

Petit feu

$$\Sigma = \frac{0.043\left(z_f + 1.5\sqrt{A_f}\right)^{5/2}}{\sqrt{H - z_f}}$$

Grand feu

$$\Sigma = \frac{0.312\left(z_f^{3/2}\sqrt{A_f}\right)}{\sqrt{H - z_f}}$$

- La géométrie du local : hauteur et surface de l'exutoire.
- La puissance de la source : le flux de flottabilité.

Implémentation de la fonction panache

Modèle fonction panache (O. Vauquelin & G. Michaux 2004)

$$\frac{d}{dz}\left(u\beta^2\right)=2\alpha u\beta \quad \bullet \quad \frac{d}{dz}\left(u^2\beta^2\right)=\eta g\beta^2 \quad \bullet \quad \frac{d}{dz}\left(\eta u\beta^2\right)=0$$

Introduction de la fonction panache :

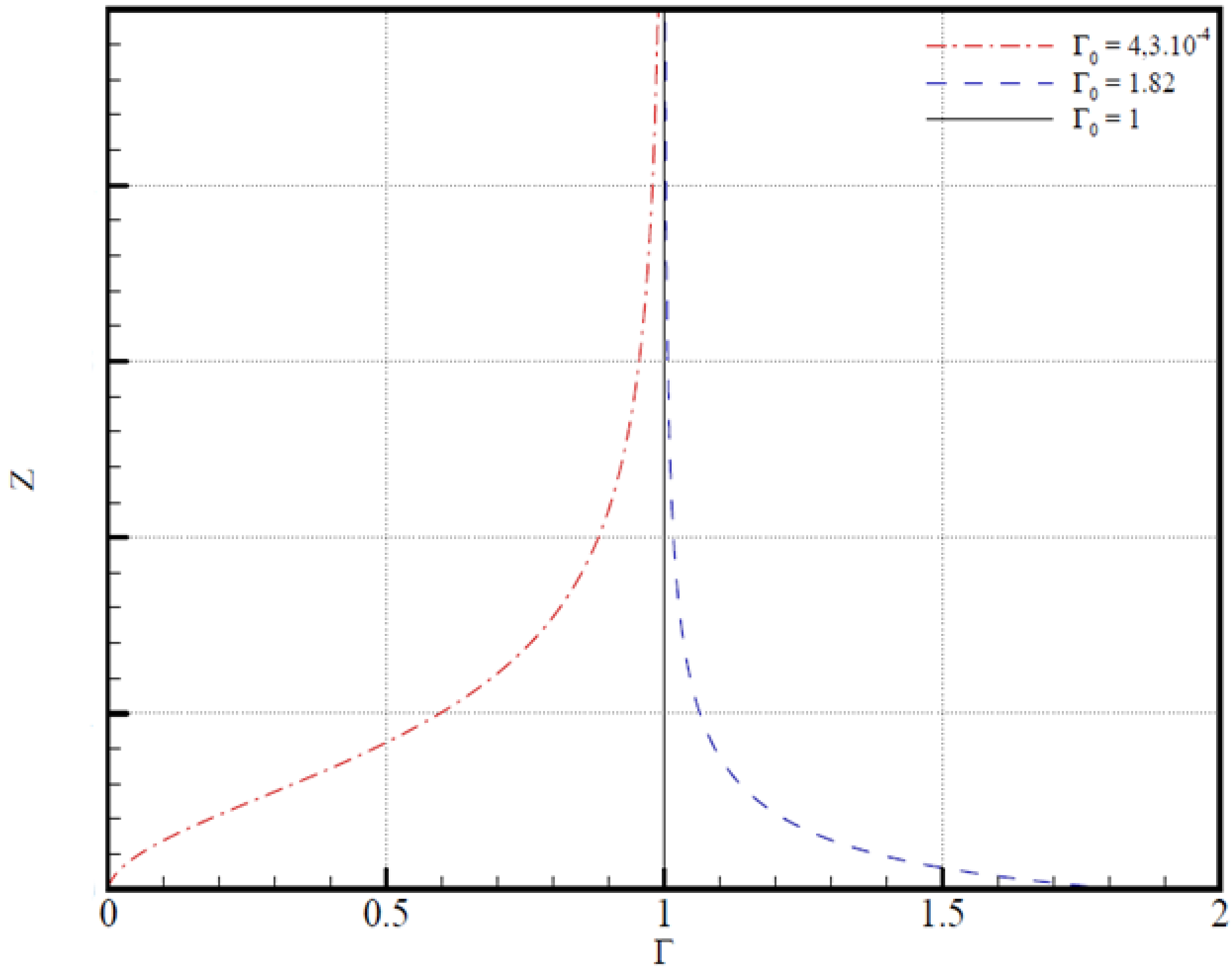
$$\Gamma(z)=\frac{5g}{8\alpha}\frac{\eta\beta}{u^2}$$

Dérivées premières :

$$\frac{du}{dz}=\frac{8\alpha}{5}\frac{u}{\beta}\left(\Gamma-\frac{5}{4}\right) \quad \bullet \quad \frac{d\beta}{dz}=\frac{4\alpha}{5}\left(\Gamma-\frac{5}{2}\right) \quad \bullet \quad \frac{d\eta}{dz}=-\frac{16\alpha^2}{5}\left(\frac{u}{\beta}\right)^2\Gamma$$

Implémentation de la fonction panache

Modèle fonction panache (O. Vauquelin & G. Michaux 2004)



Implémentation de la fonction panache

Modèle fonction panache (O. Vauquelin & G. Michaux 2004)

La fonction panache est définie par l'équation différentielle

$$\frac{d\Gamma}{dz} = \pm\frac{1}{\kappa}\Gamma^{1/2}(1-\Gamma)^{13/10} \qquad \text{avec} \qquad k = \frac{\beta_i\left|\Gamma_i - 1\right|^{3/10}}{4\alpha_i\Gamma_i^{1/2}}$$

La détermination de la fonction panache conduit aux lois d'évolution des variables du panache avec l'altitude.

$$\frac{u}{u_i} = \left(\frac{\Gamma_i}{\Gamma}\right)^{1/2}\left(\frac{1-\Gamma}{1-\Gamma_i}\right)^{1/10} \quad \bullet \quad \frac{\beta}{\beta_i} = \left(\frac{\Gamma}{\Gamma_i}\right)^{1/2}\left(\frac{1-\Gamma_i}{1-\Gamma}\right)^{3/10} \quad \bullet \quad \frac{\eta}{\eta_i} = \left(\frac{\Gamma_i}{\Gamma}\right)^{1/2}\left(\frac{1-\Gamma}{1-\Gamma_i}\right)^{1/2}$$

Implémentation de la fonction panache

Modèle fonction panache (O. Vauquelin & G. Michaux 2004)

- Equations de conservation appliquées à la couche de fumée

$$S\frac{dh}{dt} = q_v - w\Sigma \qquad\qquad S\frac{d\rho^* h}{dt} = \rho q_v - \rho^* w\Sigma$$

$$\rho_0 w^2 = \Delta\rho^* g h$$

$$\boxed{q_v = \pi b^2 u = \pi u_i \beta_i^2 \left[\eta_i + \left(\frac{\Gamma}{\Gamma_i}\right)^{1/2} \left|\frac{1-\Gamma_i}{1-\Gamma}\right|^{1/2} \right]}$$

Implémentation de la fonction panache

Modèle fonction panache (O. Vauquelin & G. Michaux 2004)

Surface de l'exutoire à l'état stationnaire :

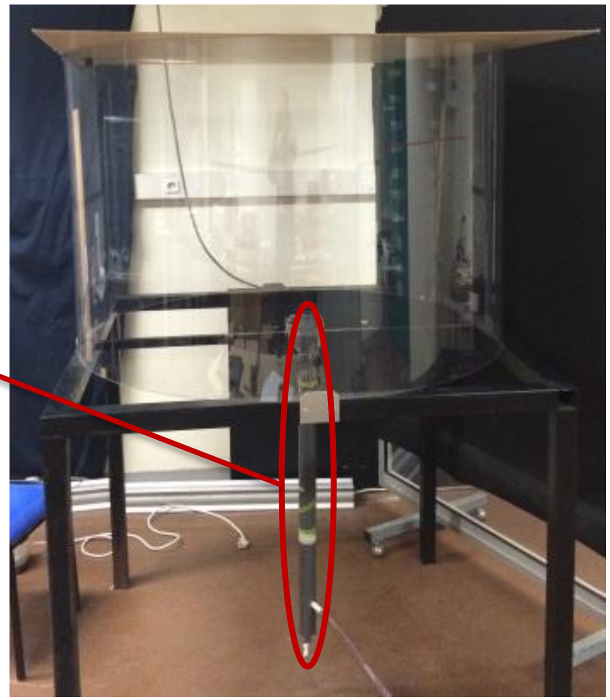
$$\Sigma = \sqrt{\frac{5\pi^2}{8\alpha}\frac{\beta_i^5}{\Gamma_i}}\,\frac{\left[\eta_i + \left(\frac{\Gamma_f}{\Gamma_i}\right)^{1/2}\left|\frac{1-\Gamma_i}{1-\Gamma_f}\right|^{1/2}\right]\left(\frac{\Gamma_i}{\Gamma_f}\right)^{3/4}\left|\frac{1-\Gamma_f}{1-\Gamma_i}\right|^{3/4}}{\sqrt{H - z_f}}$$

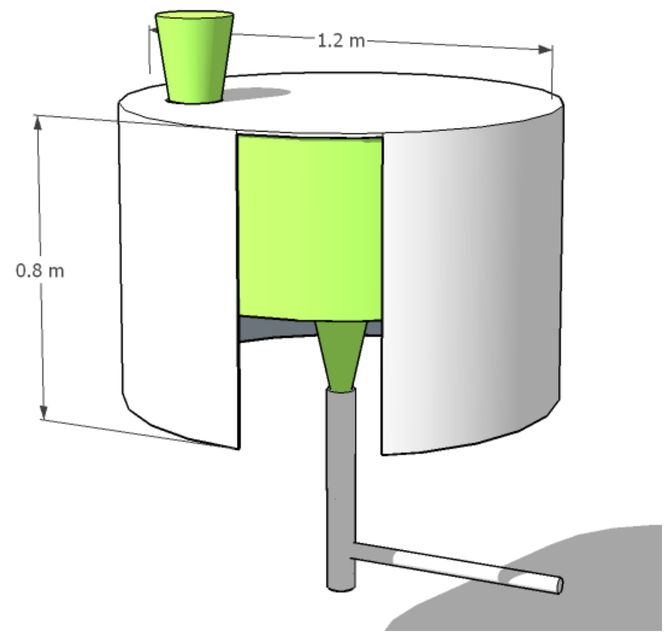
Cette équation est résolue par itération en la combinant à l'équation différentielle :

$$\frac{d\Gamma}{dz} = \pm\frac{1}{\kappa}\Gamma^{1/2}\left(1-\Gamma\right)^{13/10} \qquad \text{avec} \qquad k = \frac{\beta_i\left|\Gamma_i - 1\right|^{3/10}}{4\alpha_i\Gamma_i^{1/2}}$$

Expériences sur maquette à échelle réduite

Dispositif expérimental



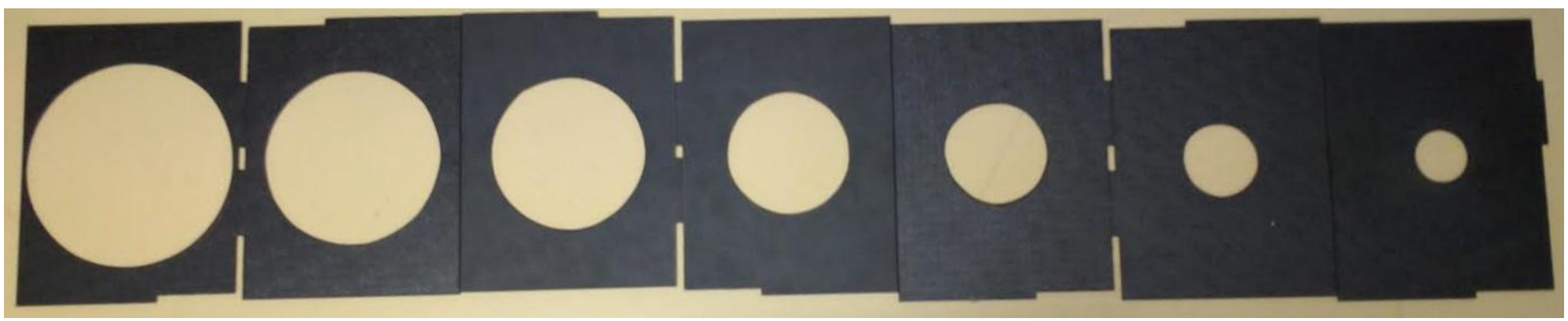


Expériences sur maquette à échelle réduite

Conditions expérimentales

$$Re = \frac{d_i u_i \rho_i}{\mu} > 4000$$

Configuration	$d_i(mm)$	$\rho_i(kg/m^3)$	$u_i(m/s)$	Γ
1	12	1	7,95	0.001
2	12	0.3	24,16	0.001
3	90	1	0.70	1



Modules d'exutoire

Expériences sur maquette à échelle réduite

Image à traiter

Image transformée en nuances de gris

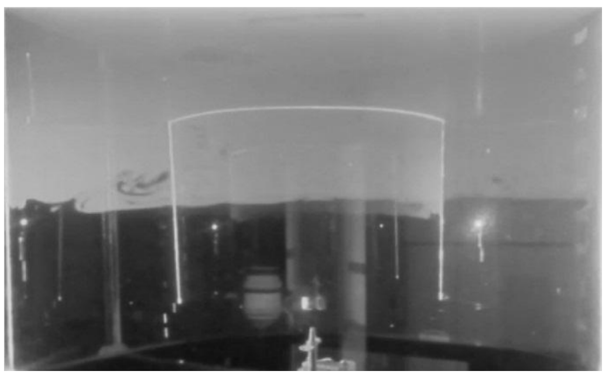


Image en nuances de gris
rognée sur la cuve

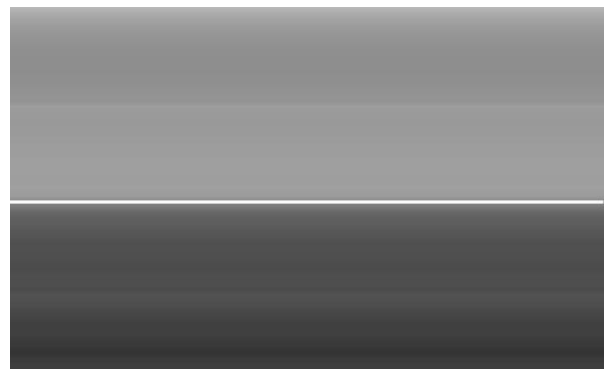
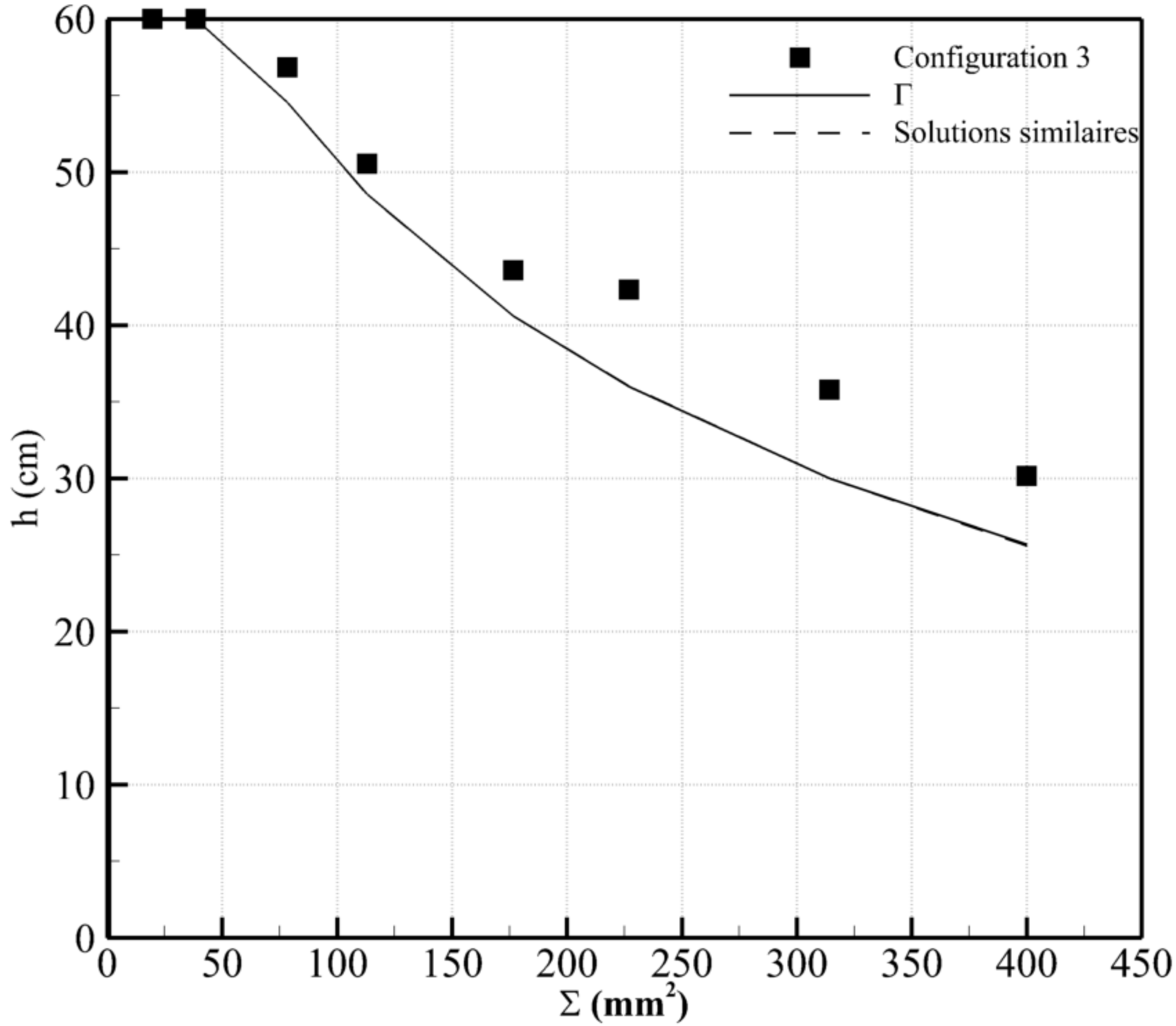


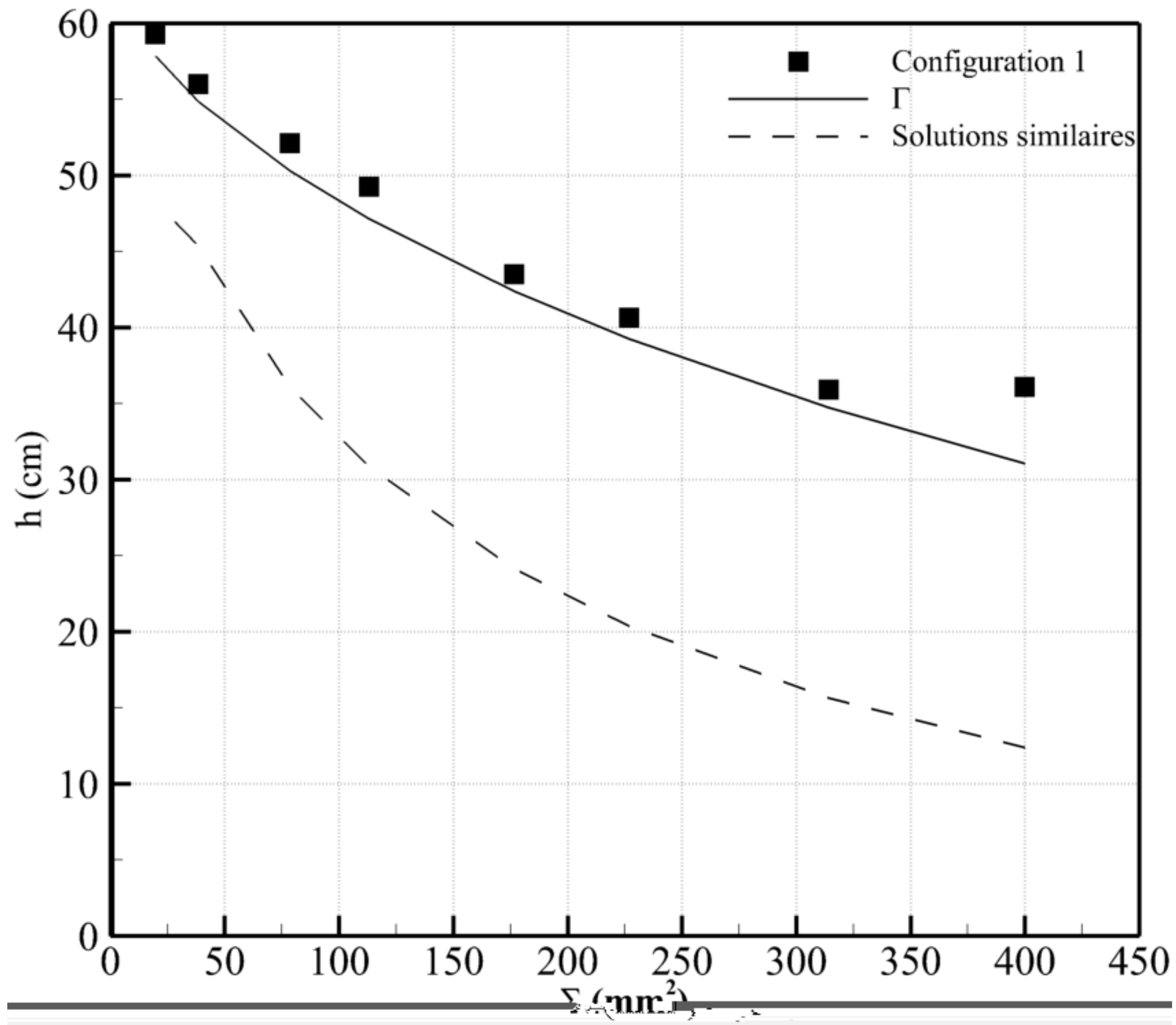
Image moyennée avec position
du gradient maximal

Expériences sur maquette à échelle réduite



Config	1	2	3
$d_i(mm)$	12	12	90
$\rho_i(kg/m^3)$	1	0.3	1
$u_i(m/s)$	7.95	24,16	0.70
Γ	0.001	0.001	1

Expériences sur maquette à échelle réduite



Config	1	2	3
$d_i(mm)$	12	12	90
$\rho_i(kg/m^3)$	1	0.3	1
$u_i(m/s)$	7.95	24,16	0.70
Γ	0.001	0.001	1

Merci pour votre attention

le futur en construction