



Travaux Pratiques pour l’hydraulique fluviale

L’objectif de ces travaux pratiques est d’illustrer quelques notions fondamentales d’hydraulique fluviale à l’aide d’expériences simples réalisées dans un canal, en laissant place à des initiatives.



FIGURE 1 – Grand canal vitré du Département “Hydraulique - Mécanique des Fluides”.

Le grand canal vitré du Département “Hydraulique - Mécanique des Fluides” de l’ENSEEIH (figure 1) est équipé d’un circuit hydraulique avec une pompe qui alimente un débit allant jusqu’à 30 l/s. La largeur miroir de l’écoulement est $L = 25$ cm. La longueur du canal est d’environ $d = 14$ m et sa pente est estimée à $I_0 \sim 0.001$.

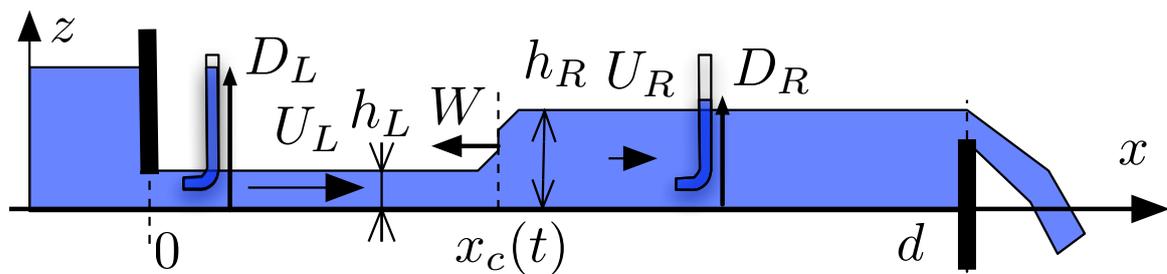


FIGURE 2 – Réglage de la vanne de fond amont et du seuil mince aval.

Deux vannes (figure 2), une en amont (vanne de fond), l’autre en aval (seuil mince), peuvent être actionnées à distance à partir d’un poste de commande (PC). Des tubes de Pitot permettent de visualiser et de mesurer la charge hydraulique. Le canal est équipé d’un débitmètre et la hauteur d’eau peut être mesurée à l’aide d’un double décimètre ou d’une pointe pouvant être réglée pour affleurer la surface libre.

Des abaques permettant de calculer l’énergie spécifique \mathcal{E} (figure 13), l’impulsion \mathcal{I} (figure 10) ainsi que les lois de seuils (figure 5) sont fournies dans cet énoncé :

$$\mathcal{E}(q, h) = h + \frac{q^2}{2gh^2}, \quad \mathcal{I}(q, h) = \frac{q^2}{h} + \frac{1}{2}gh^2 \quad \text{et} \quad Q = \mu \sqrt{2g} h^{2/3} L. \quad (1)$$

1 Régime fluvial

L'écoulement est libre de vannes et l'on explore plusieurs débits.

- 1) Pour trois ou quatre débits Q allant jusqu'au débit maximum, mesurer la hauteur à l'exutoire et vérifier qu'elle est proche de la hauteur critique $h_c = q^{2/3}, g^{-1/3}$. On pourra s'appuyer sur les abaques pour des estimations graphiques.
- 2) Mesurer la hauteur en quelques points du canal et indiquer son sens de variation. Quelle est la nature de la courbe de remous observée ?

2 Régime torrentiel

On règle maintenant les vannes de manière à stabiliser un ressaut stationnaire et l'on visualise la charge hydraulique à l'aide de tubes de Pitot.

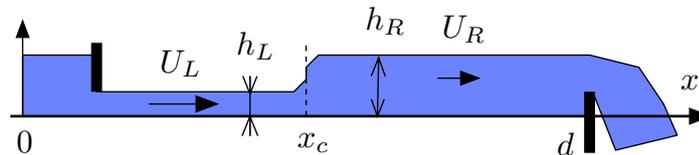


FIGURE 3 – Ressaut stationnaire observé dans un canal vitré.

- 3) Tracer l'allure du profil de charge H dans le canal. Comparer avec la charge spécifique \mathcal{E} .
- 4) Tracer l'allure du profil du nombre de Froude $F = U/\sqrt{gh}$ et indiquer la nature du régime d'écoulement sur les différentes portions. Vérifier le "manuellement" (en faisant des vagues).
- 5) Vérifier que l'impulsion \mathcal{I} est conservée à travers le ressaut hydraulique.
- 6) Estimer la perte de charge à travers le ressaut à l'aide des abaques et comparer avec l'expérience.
- 7) Mesurer la perte de charge entre la vanne amont et le ressaut pour en déduire le coefficient de frottement λ ou le nombre de Strickler K_s .
- 8) Décrire les courbes de remous observées.
- 9) En conservant le même débit, répéter l'expérience pour plusieurs élévations de la vanne aval en veillant à ce que le ressaut se stabilise sur une nouvelle position.
- 10) Explorer de même une autre valeur du débit.

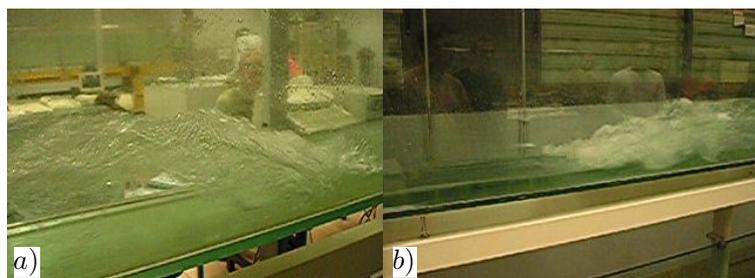


FIGURE 4 – Ressauts hydrauliques.

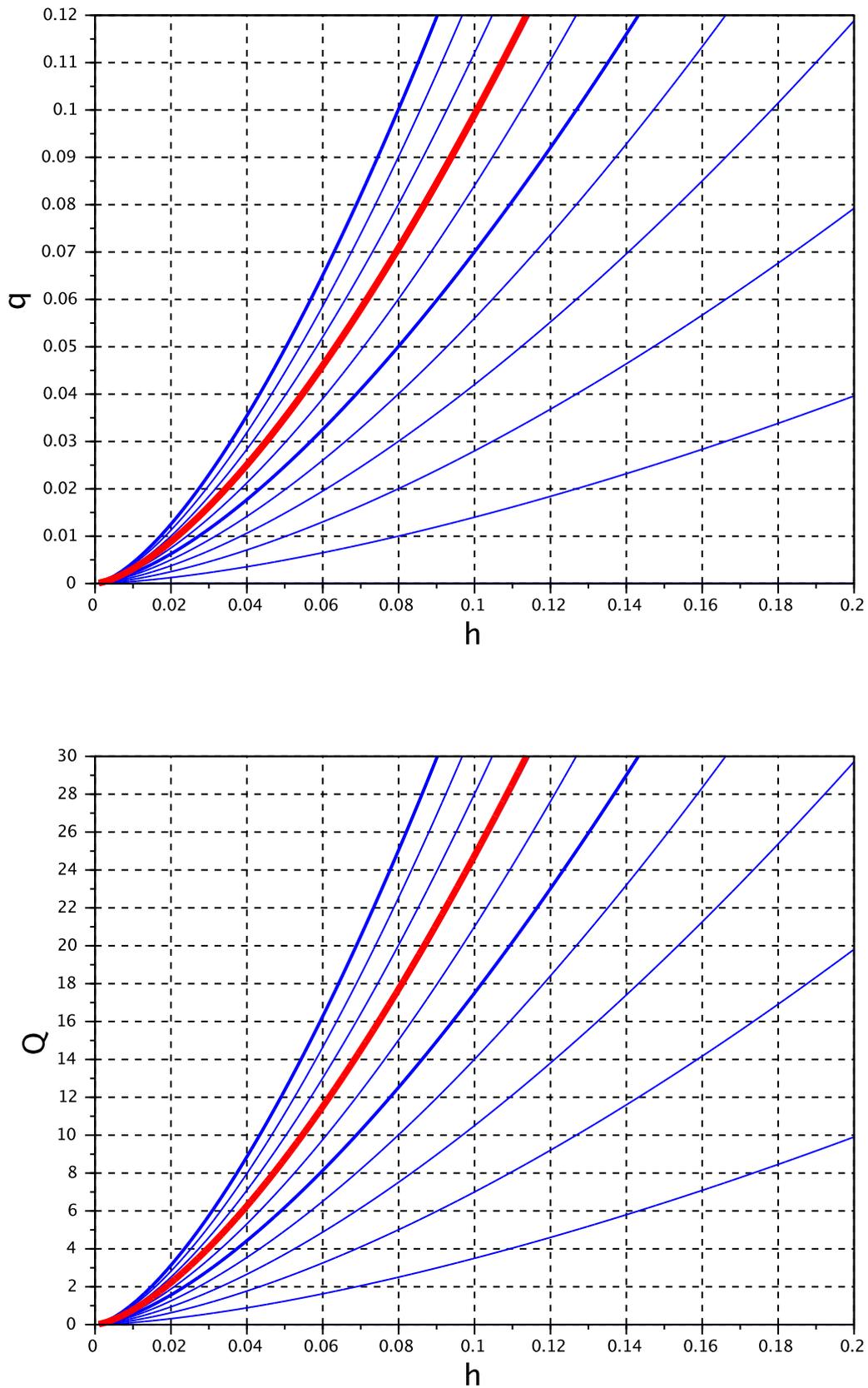


FIGURE 5 – Fonctions $q = \mu\sqrt{2g}h^{3/2}$ (en $\text{m}^2.\text{s}^{-1}$) et $Q = \mu\sqrt{2g}h^{3/2}L$ (en $\text{l}.\text{s}^{-1}$) et en fonction de h (en m), pour $L = 25$ cm et μ variable par pas de .1 et de .5. Cas $\mu = 1/\sqrt{2}$ en rouge.

3 Loi de seuil mince

La vanne amont est levée, on s'intéresse à la hauteur Δh de l'écoulement au-dessus de la vanne aval dont on fait varier la hauteur a . On veut vérifier la loi de seuil $q = \mu \sqrt{2g} (\Delta h)^{3/2}$ où μ est proche de la valeur $2/(3\sqrt{3}) \sim 0.4$.

- 11) Pour un Q débit donné (par exemple $Q = 10$ l/s), mesurer Δh pour plusieurs positions a de la vanne aval. Vérifier que Δh dépend peu de a .
- 12) En fixant a (par exemple $a = 10$ cm), mesurer Δh pour plusieurs débits Q et tracer les valeurs obtenues sur l'abaque de la figure 5. En déduire la valeur expérimentale de μ .

4 Venturi hydraulique

Les canaux jaugeurs de type "Venturi hydraulique" sur fond plat ou "Parshall flume" lorsque le rétrécissement s'accompagne d'une rupture de pente, sont souvent utilisés pour des applications pratiques (figure 6).



FIGURE 6 – Exemple de venturi ou "Parshall flume"

On dispose de plusieurs profils amovibles pour reproduire un Venturi hydraulique dans le canal, les profilés transparents conduisant à un rétrécissement de largeur miroir $L_r = 19$ cm au col.

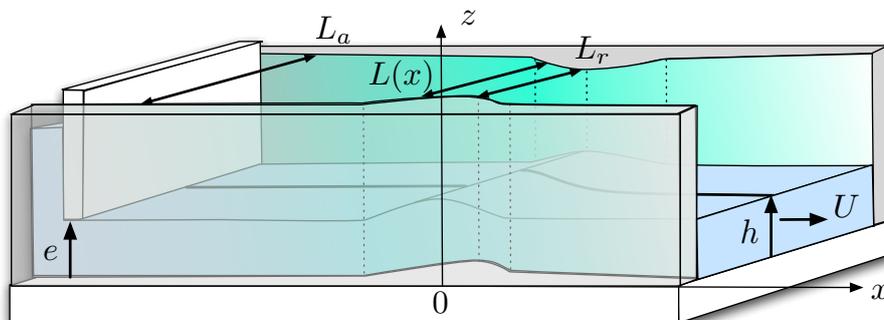


FIGURE 7 – Géométrie du Venturi de jaugeage.

- 13) Positionner le Venturi aux alentours de $x = 8$ m (au deux tiers du canal) pour un débit d'environ $Q = 18$ l/s, puis abaisser la vanne amont pour une ouverture d'environ $e = 5$ cm, la vanne aval étant complètement abaissée. Vérifier que l'écoulement reste partout torrentiel ou modifier les paramètres dans le cas contraire pour obtenir cette situation. Expliquer la variation de hauteur observée dans le Venturi.
- 14) En fermant partiellement la vanne aval (seuil mince), montrer que l'on peut noyer le Venturi et obtenir un régime partout fluvial. Expliquer la variation de hauteur observée dans le Venturi.

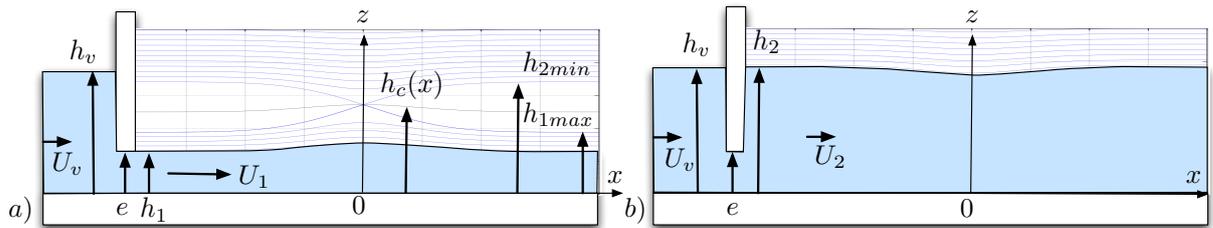


FIGURE 8 – Deux états observés pour le même débit et la même ouverture de la vanne amont.

On abaisse maintenant la vanne aval de manière à observer une transition d'un régime fluvial vers un régime torrentiel.

- 15) Vérifier que $Fr = 1$ au col et justifier ce résultat.
- 16) Montrer que les hauteurs en amont (h_{2min}) et en aval (h_{2max}) du Venturi sont conjuguées pour l'énergie spécifique.
- 17) En faisant varier le débit, vérifier la loi $Q = \mu \sqrt{2g} h_{2min}^{3/2} L$ et déterminer expérimentalement la valeur de μ (on pourra utiliser l'abaque de la figure 5).

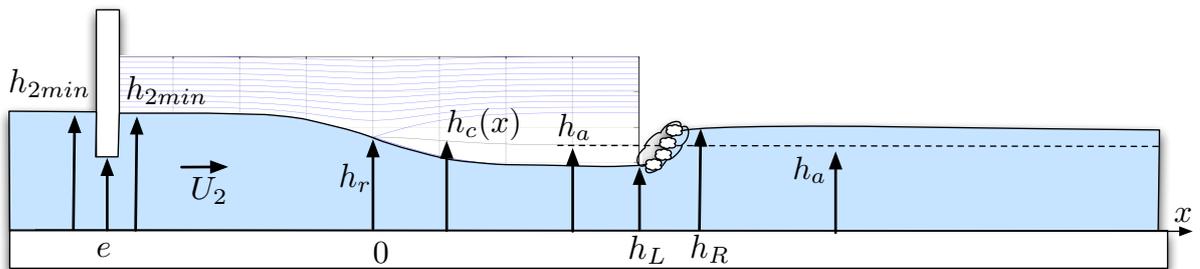


FIGURE 9 – Passage critique suivi d'un ressaut hydraulique.

5 Expérimentations libres

Il existe de nombreuses autres expériences à réaliser dans ce canal. En guise d'approfondissement des expériences ci-dessus, on peut par exemple expliquer la stabilisation d'un ressaut hydraulique stationnaire en un lieu précis (figure 11) ou calculer la forme des lignes d'eau à l'intérieur du Venturi hydraulique (figure 12).

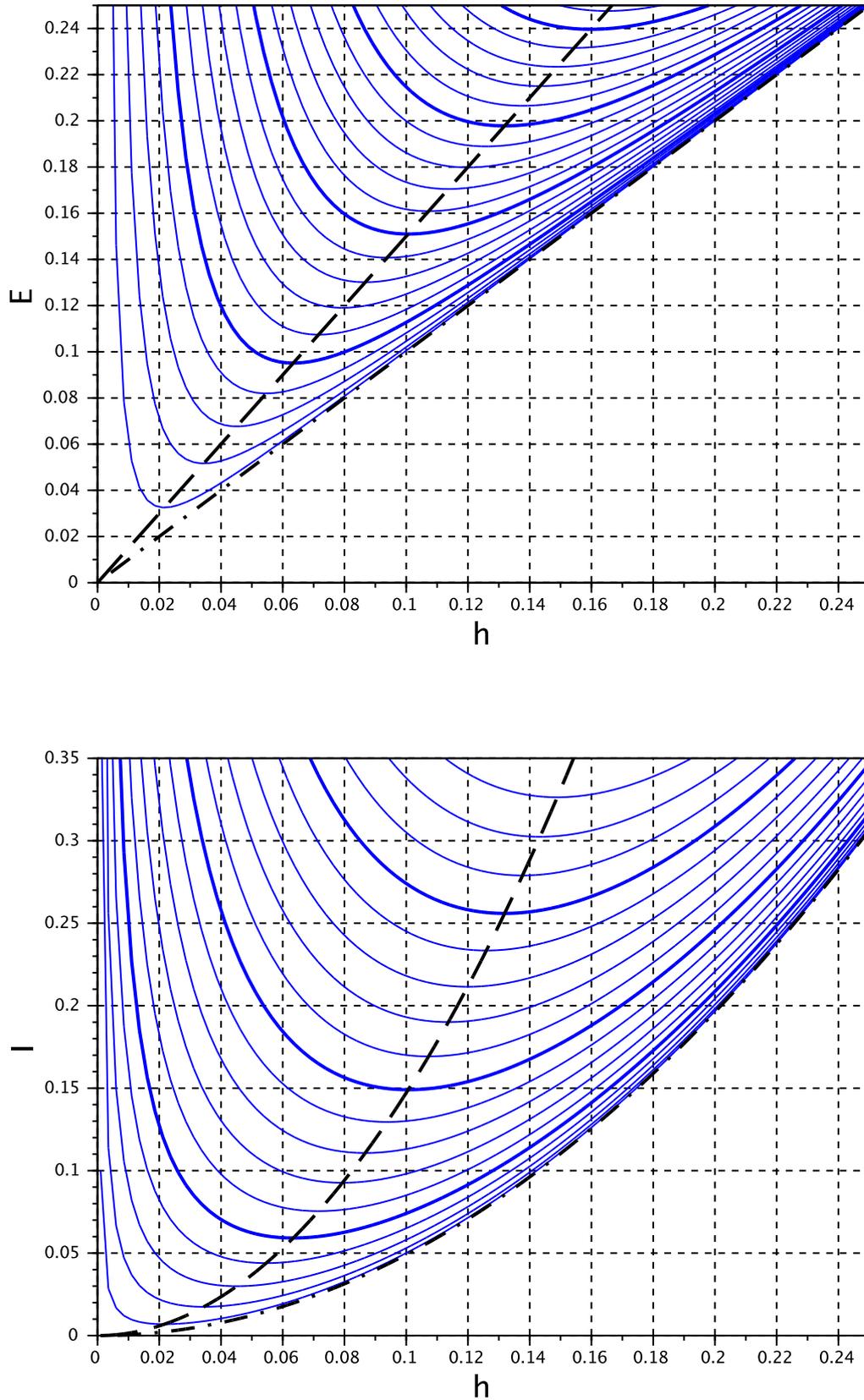


FIGURE 10 – Charge spécifique $\mathcal{E}(q, h) = h + q^2/(2gh^2)$ (en m) et impulsion $\mathcal{I}(q, h) = q^2/h + gh^2/2$ (en $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-2}$) en fonction de h (en m), pour q variable par pas de $.01 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ et de $.05 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$.

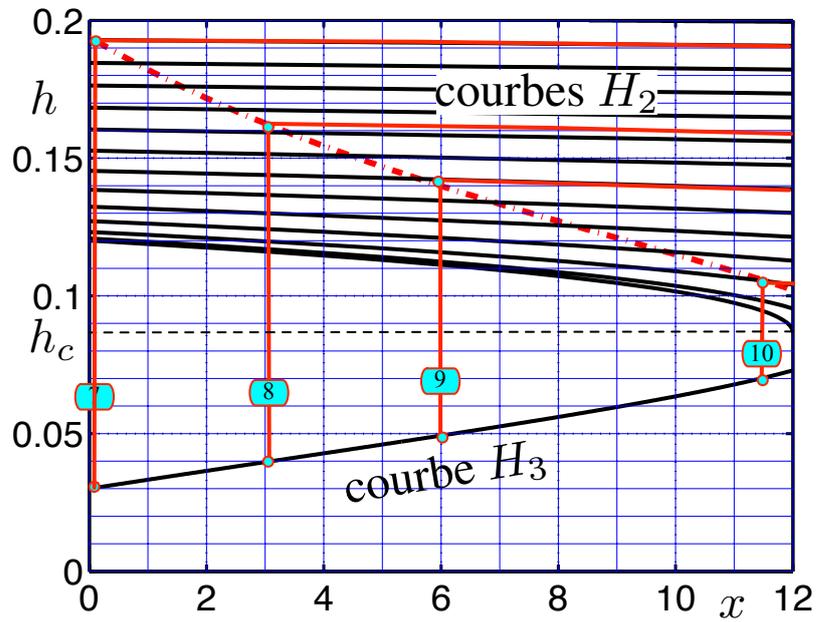


FIGURE 11 – Lignes d'eau avec $h(d)$ variable, $q = 0.08 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, $h(0) = 3 \text{ cm}$ et $h(d) \geq h_c$. Les ressauts sont schématisés par une discontinuité.

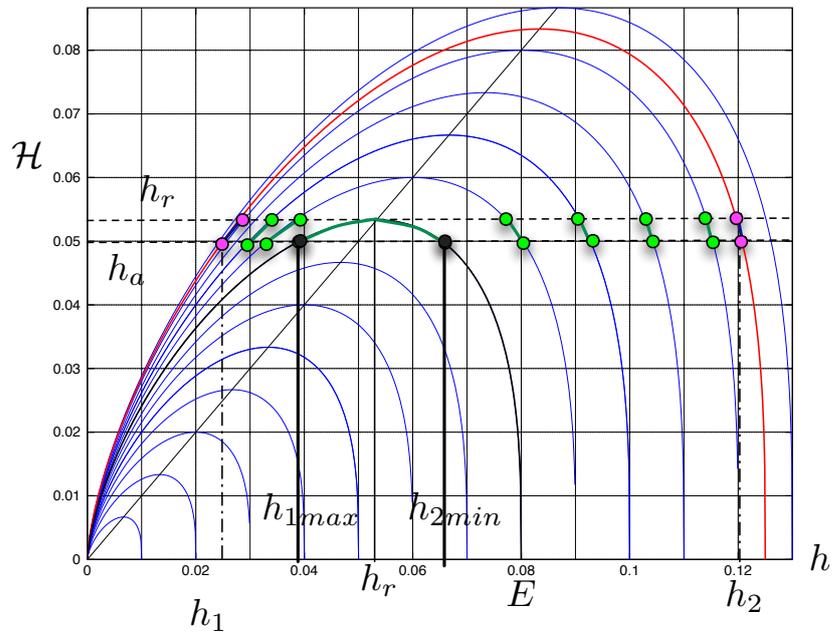


FIGURE 12 – Fonction $\mathcal{H}(E, h) = 2^{1/3} h^{2/3} (E - h)^{1/3}$ et détermination graphique des courbes $h(x)$ pour le Venturi hydraulique.

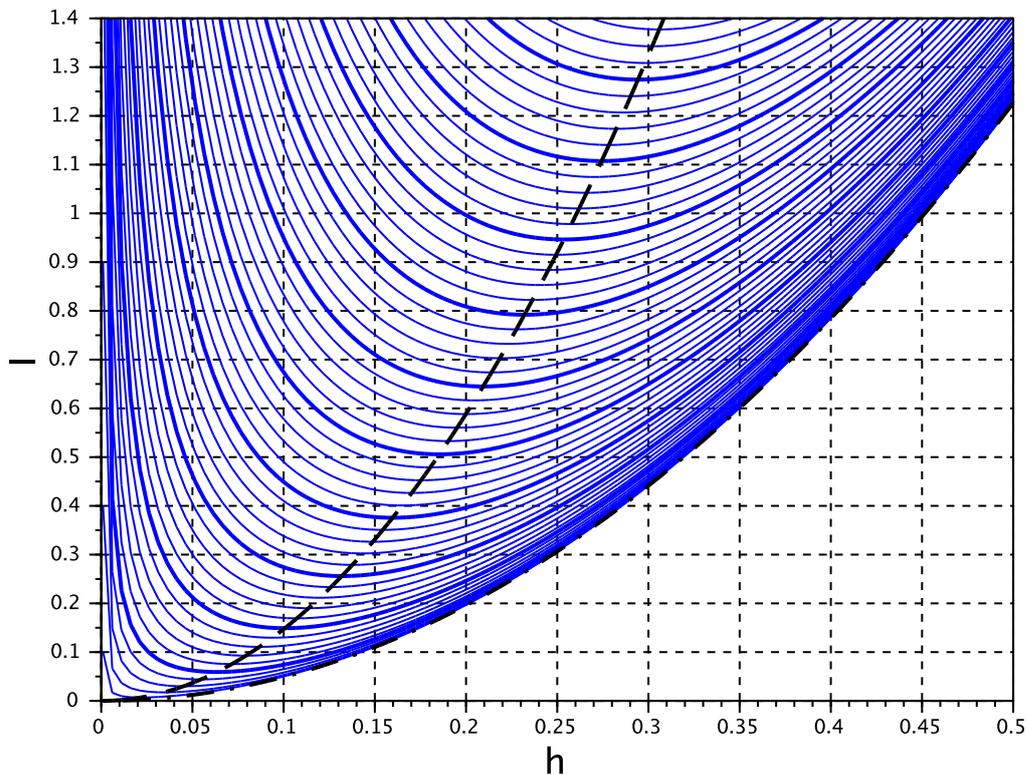
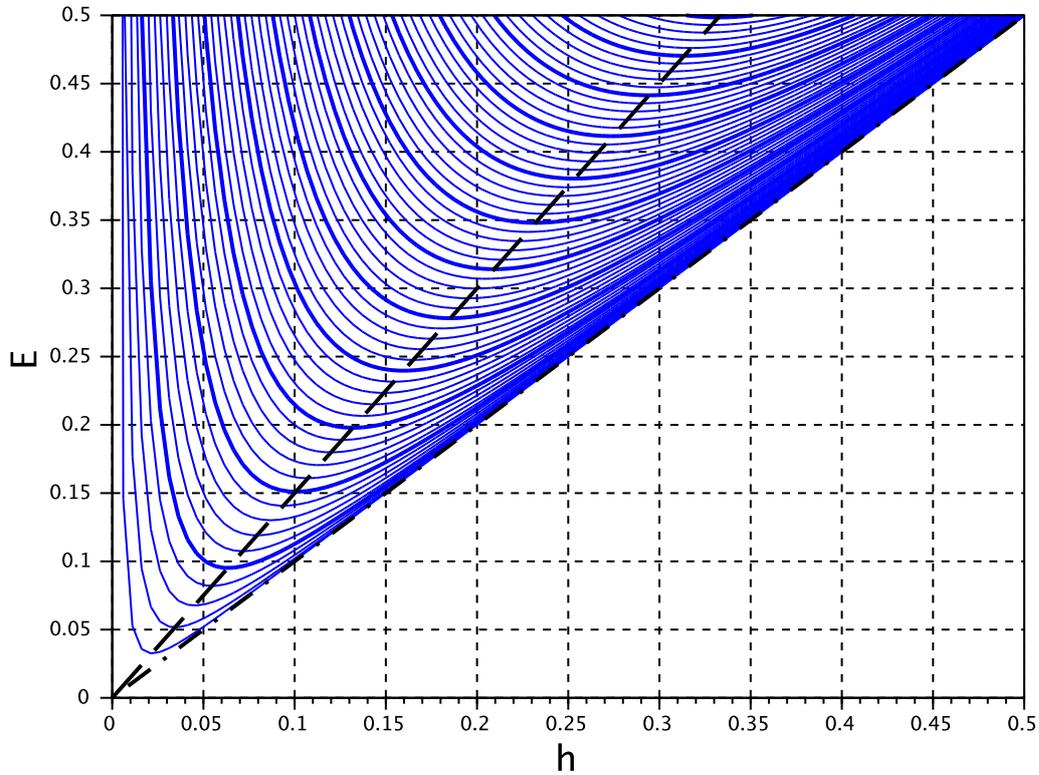


FIGURE 13 – Charge spécifique $\mathcal{E}(q, h) = h + q^2/(2gh^2)$ (en m) et impulsion $\mathcal{I}(q, h) = q^2/h + gh^2/2$ (en $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-2}$) en fonction de h (en m), pour q variable par pas de $.01 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ et de $.05 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$.