

TP “Ressauts Hydrauliques 1Hy” (RH-1Hy)

O. Thual, Département “Hydraulique - Mécanique des Fluides”

Attention : les compte rendus de TP sont individuels ou par binômes et doivent être remis aux enseignants à la fin de la séance.

1 Description générale

Le canal vitré côté fenêtre de la salle B005 (voir figure 1) est équipé d’un circuit hydraulique avec un pompe permettant un débit allant de 30 à 50 l/s. Deux vannes, une en amont, l’autre en aval du canal, peuvent être actionnées à partir d’un petit programme simple.



FIGURE 1 – Grand canal vitré de la salle B005. Contrôle d’un ressaut hydraulique.

Il est demandé de créer des ressauts stationnaires ou mobiles (voir figure 2) à diverses positions du canal en réglant la hauteur des vannes et le débit de la pompe. L’objectif est d’expliquer les phénomènes observés en utilisant des connaissances de bases.

Les élèves devront prendre des initiatives pour acquérir des données expérimentales susceptibles d’illustrer ou de confirmer les résultats issus de modélisations théoriques (voir ci-dessous). Une lecture approfondie de ce document préalable à la réalisation du TP est indispensable.

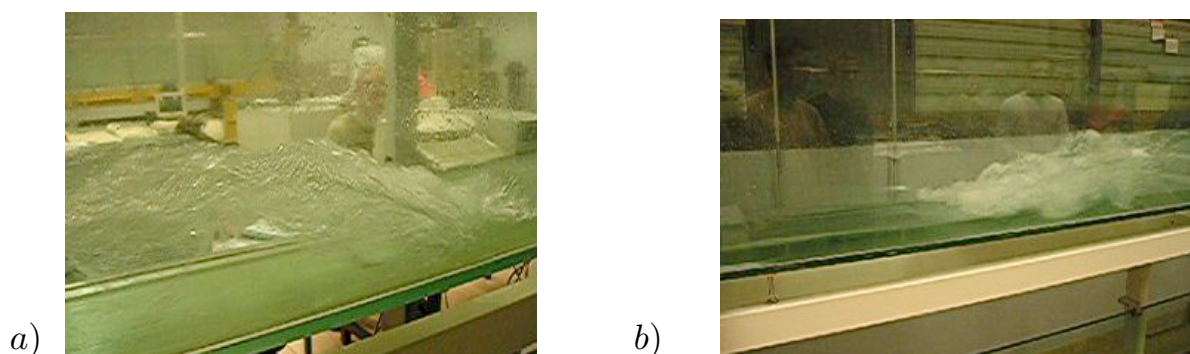


FIGURE 2 – Ressauts hydrauliques a) stationnaire, b) mobile.

Les expériences pourront être réalisées par groupes de dix élèves maximum. Pour augmenter le nombre de mesures réalisées lors d’une séance, le petit canal vitré voisin du grand canal pourra être utilisé.

2 Modélisation 1D de l'écoulement

La section utile du grand canal vitré, de largeur $L = 25$ cm, est comprise entre deux vannes situées en $x = 0$ et $x = d$ avec $d = 12$ m. On note Q le débit d'eau circulant dans le canal dans le sens des x positifs et l'on suppose que le régime de la pompe qui l'alimente est réglé pour obtenir un débit Q pouvant aller jusqu'à environ $Q_{max} = 30$ l.s⁻¹. On note respectivement h et U la hauteur et la vitesse moyenne dans le canal et $q = U h$ le débit linéique. On note $g = 9.81$ m.s⁻² la gravité et $\rho = 1\,000$ kg m⁻³ la masse volumique de l'eau. On néglige ici la pente du fond.

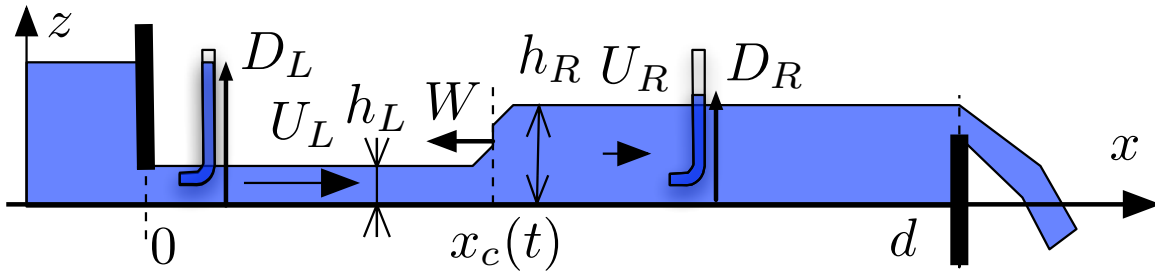


FIGURE 3 – Ressaut instationnaire observé dans un canal vitré.

En actionnant les vannes amont et aval, on suppose que l'on est capable de générer un ressaut stationnaire ou instationnaire en un point respectivement fixe $x_c \in]0, d[$ ou mobile $x_c(t) \in]0, d[$ (figure 3) du canal vitré. On note h_L et h_R les hauteurs d'eau respectivement mesurées à gauche et à droite du ressaut avec $h_R > h_L$. On note $U_L \geq 0$ et $U_R \geq 0$ les vitesses de la couche fluide respectivement à gauche et à droite du ressaut et $W = \dot{x}_c(t)$ la vitesse du ressaut lorsqu'il est mobile.

3 Conservation de l'impulsion pour un ressaut stationnaire

Dans un premier temps, on suppose que l'on a réussi à stabiliser un ressaut stationnaire et que l'on a donc $W = 0$. On note donc $h(x)$ et $U(x)$ les profils stationnaires respectifs de hauteur et de vitesse dans le canal. On considère un domaine \mathcal{D} compris entre deux sections du canal et englobant le ressaut (figure 4).

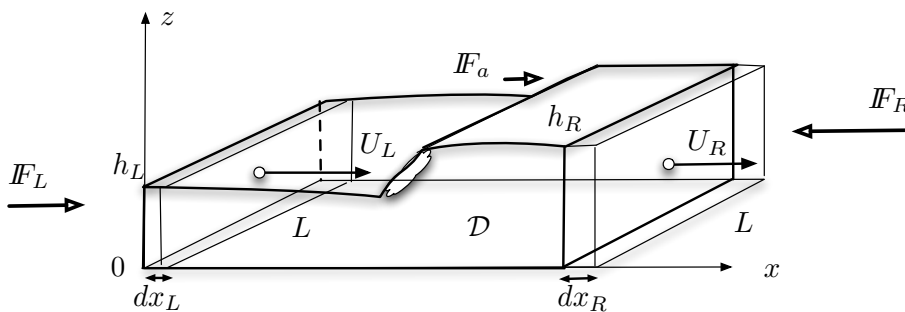


FIGURE 4 – Portion du canal englobant le ressaut.

- 1) Justifier, avec des arguments simples, que $q = h U$ est constant.

- 2) Que représente physiquement la grandeur $h U \rho L$ pour une section du canal prise en une position x quelconque ?
- 3) Montrer que la grandeur $h U^2 \rho L$ représente le flux de quantité de mouvement qui entre par unité de temps à travers une section du canal.
- 4) On suppose que la pression est de la forme $p(x, z) = p_a - \rho g [z - h(x)]$ où p_a est la pression atmosphérique. Justifier, avec des arguments simples, cette hypothèse.
- 5) En déduire que la force de pression \mathcal{F} qui s'exerce sur une section du canal est de la forme $p_a h L + \frac{1}{2} \rho g h^2 L$. Indiquer, par exemple à l'aide d'un graphique, la direction dans laquelle s'applique cette force.
- 6) Calculer le bilan des forces exercées sur le domaine \mathcal{D} (figure 4) en n'oubliant pas la force \mathcal{F}_a exercée par l'atmosphère sur la surface libre du ressaut. On négligera les forces de frottement sur le fond.
- 7) Justifier, avec des arguments simples, le bilan de quantité de mouvement

$$h_L U_L^2 \rho L + \frac{1}{2} g h_L^2 \rho L = h_R U_R^2 \rho L + \frac{1}{2} g h_R^2 \rho L . \quad (1)$$

- 8) Déduire de tout ce qui précède les relations de saut

$$h_L U_L = h_R U_R = q \quad \text{et} \quad h_L U_L^2 + \frac{1}{2} g h_L^2 = h_R U_R^2 + \frac{1}{2} g h_R^2 . \quad (2)$$

- 9) En déduire la conservation de l'impulsion $\mathcal{I}(q, h_L) = \mathcal{I}(q, h_R)$ avec $\mathcal{I}(q, h) = q^2/h + \frac{1}{2} g h^2$.
- 10) Tracer la fonction $\mathcal{I}(q, h)$ en fonction de h pour plusieurs valeurs de q .

4 Réalisation d'expériences pour un ressaut stationnaire

Expérience :	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Q (l/s)	7.5	7.5	7.5	10	10	.....7	.....10	.....13	20	.....18
q ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)	.03	.03	.03	.04	.04	.....8	.....11	.....14	.....16	.08
x_c (m)	1.5	2	5	2.5	4	7.5	0	3	6	11.5
h_L (cm)	1.5	2	3	.....3	.....5	4	3	.....15	5	7
h_R (cm)	10.3	.....1	6.5	11.8	.....6	7.2	19.4	16.2	.....17	.....19
\mathcal{I} ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-2}$)	.061	.047	.....2	.....4	.067	.....9	.....12	.168	.14	.....20
D_L (cm)	21.9	.....	.....	.....	.....	.....	39.2	.....	.....	.....
D_R (cm)	10.8	.....	.....	.....	.....	.....	20.3	.....	.....	.....
$\Delta \mathcal{E}$ (cm)	11.1	.....	.....	.....	.....	.....	19	.....	.....	.....

TABLE 1 – Tableau “ressauts stationnaires” à compléter.

- 11) En utilisant les abaques graphiques de la figure 5, indiquer les valeurs manquantes i pour $i = 1, 2, \dots, 20$ des six premières lignes du tableau 1.
- 12) À l'aide des moyens de mesures disponibles pour le TP (débitmètre et double décimètre au minimum), essayer de reproduire ce tableau ou un tableau équivalent. À l'aide d'un tube de Pitot (voir figure 2), mesurer les hauteurs D_L et D_R et les reporter sur le tableau. Ajouter de nouvelles colonnes à ce tableau en réalisant de nouvelles expériences.

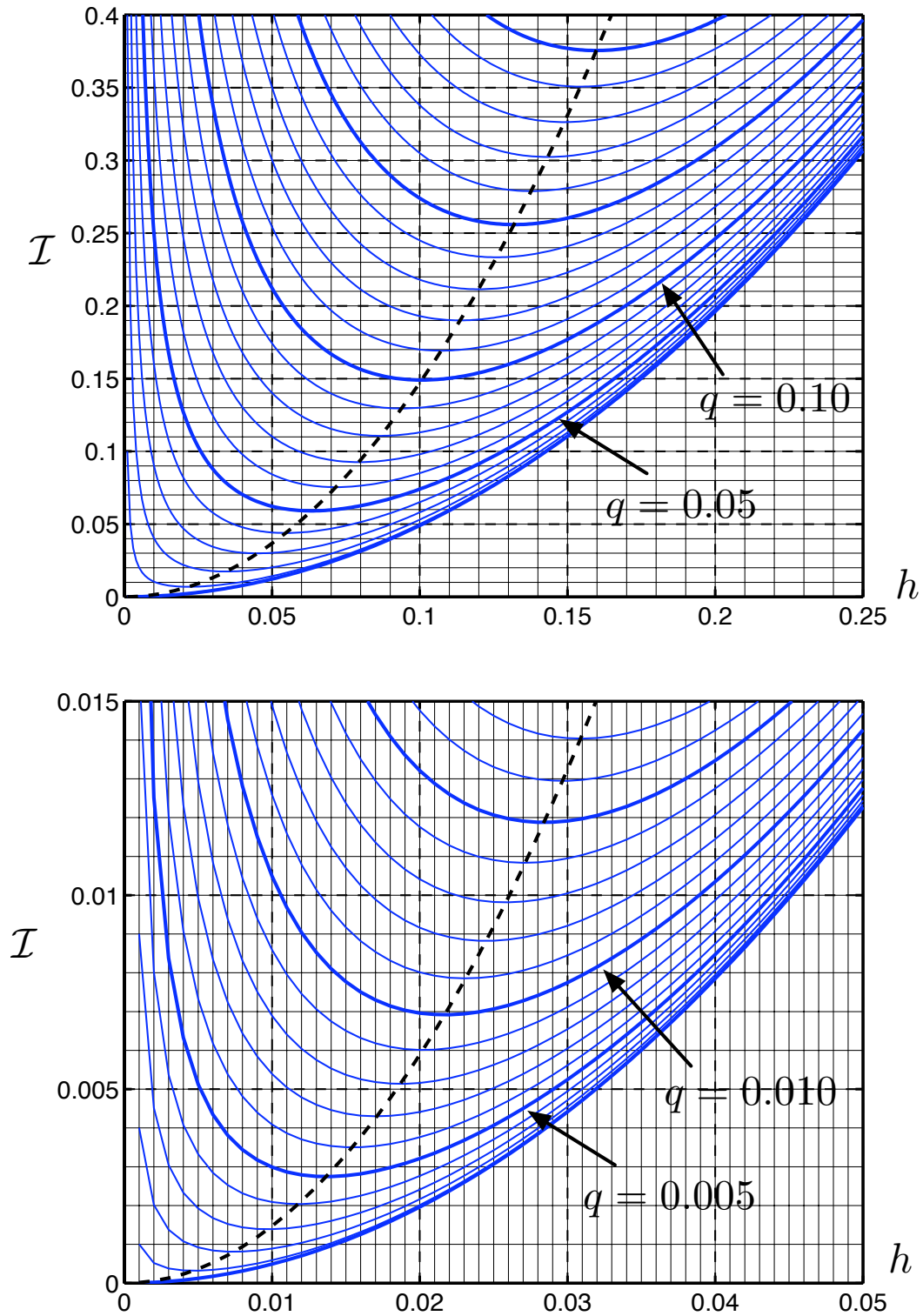


FIGURE 5 – Graphes de la fonction $\mathcal{I}(q, h) = \frac{q^2}{h} + \frac{1}{2}g h^2$, avec h en m et q en m^2/s .

- 13) On définit la charge hydraulique par la quantité $\mathcal{E}(q, h) = h + \frac{U^2}{2g} = h + \frac{q^2}{2gh^2}$ (voir figure 6). Justifier, à l'aide d'arguments simples, que $\mathcal{E}_L = D_L$ et $\mathcal{E}_R = D_R$. Compléter le tableau à l'aide des valeurs $\Delta\mathcal{E} = D_R - D_L$. Justifier que le ressaut induit une perte de charge importante. On pourra utiliser la figure 6.

5 Cas du ressaut mobile

On suppose maintenant que le ressaut hydraulique est animé d'une vitesse constante W .

- 14) Justifier ou interpréter, avec des arguments simples, la relation

$$q' = h_L (U_L - W) = h_R (U_R - W), \quad (3)$$

- 15) Interpréter la relation de conservation de la quantité de mouvement

$$h_L U_L (U_L - W) + \frac{1}{2} g h_L^2 = h_R U_R (U_R - W) + \frac{1}{2} g h_R^2, \quad (4)$$

- 16) En déduire la relation

$$h_L (U_L - W)^2 + \frac{1}{2} g h_L^2 = h_R (U_R - W)^2 + \frac{1}{2} g h_R^2, \quad (5)$$

que l'on peut écrire sous la forme $\mathcal{I}(q', h_L) = \mathcal{I}(q', h_R)$.

- 17) On suppose que l'on ferme brusquement la vanne aval pour obtenir un ressaut mobile de vitesse $W < 0$ avec $U_R = 0$. Montrer que la mesure de h_L et h_R permet, à l'aide d'une détermination graphique sur la figure 5, de calculer W et U_L .
- 18) Pour plusieurs choix du débit linéique q , on établira tout d'abord un régime stationnaire en abaissant complètement la vanne aval. On remontera alors brusquement cette vanne pour créer un ressaut remontant le canal à la vitesse $W < 0$ et tel que $U_R = 0$. En mesurant h_L et h_R , fabriquer un tableau dans lequel la vitesse théorique W est comparée à la vitesse mesurée dans le canal à l'aide d'un chronomètre.

6 Formulaire

Débit linéique q , impulsion \mathcal{I} et charge hydraulique \mathcal{E} :

$$q = hU, \quad \mathcal{I}(q, h) = \frac{q^2}{h} + \frac{gh^2}{2} \quad \text{et} \quad \mathcal{E}(q, h) = h + \frac{q^2}{2gh^2}.$$

On a $\mathcal{I}(q, h_L) = \mathcal{I}(q, h_R)$ pour un ressaut stationnaire, $\mathcal{I}(q', h_L) = \mathcal{I}(q', h_R)$ avec $q' = h(U - W)$ pour un ressaut mobile de vitesse W et $\mathcal{E} = D$ pour la hauteur D d'un tube de Pitot.

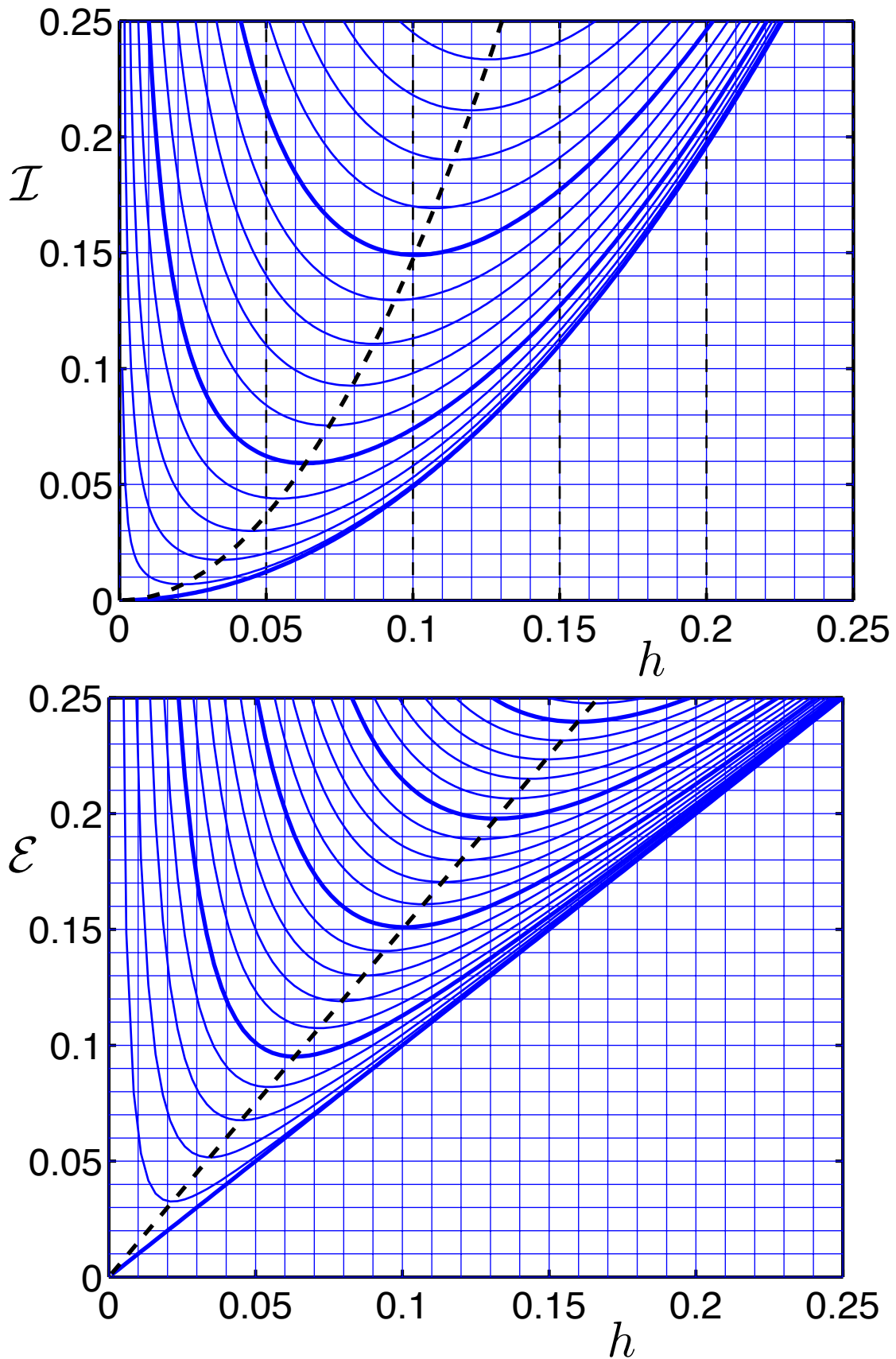


FIGURE 6 – Tracé en fonction de h (en m), pour q variable par pas de $.01 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, des fonctions :
 a) $\mathcal{I}(q, h) = q^2/h + g h^2/2$ (en $\text{m}^3 \text{ s}^{-2}$) et b) $\mathcal{E}(q, h) = h + q^2/(2g h^2)$ (en m).

7 Éléments de réponses

Les valeurs du tableau et de la figure ci-dessous sont approximatives et ne sont pas issues de réelles expériences. Il ne serait donc pas étonnant de trouver, lors des expériences, des valeurs différentes.

Expérience :	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Q (l/s)	7.5	7.5	7.5	10	10	10	20	20	20	20
q ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)	.03	.03	.03	.04	.04	.04	.08	.08	.08	.08
x_c (m)	1.5	2	5	2.5	4	7.5	0	3	6	11.5
h_L (cm)	1.5	2	3	2	2.5	4	3	4	5	7
h_R (cm)	10.3	8.6	6.5	11.8	10.2	7.2	19.4	16.2	13.9	10.6
\mathcal{I} ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-2}$)	.061	.047	.034	.082	.067	.048	.22	.168	.14	.115
D_L (cm)	21.9	13.5	8.1	22.4	15.5	9.1	39.2	24.4	18	13.7
D_R (cm)	10.8	9.3	7.6	12.4	11	8.8	20.3	17.4	15.6	13.6
$\Delta\mathcal{E}$ (cm)	11.1	4.2	0.5	10.0	4.5	0.3	19	7	2.5	0.2

TABLE 2 – Tableau “ressauts stationnaires” complété par les valeurs manquantes.

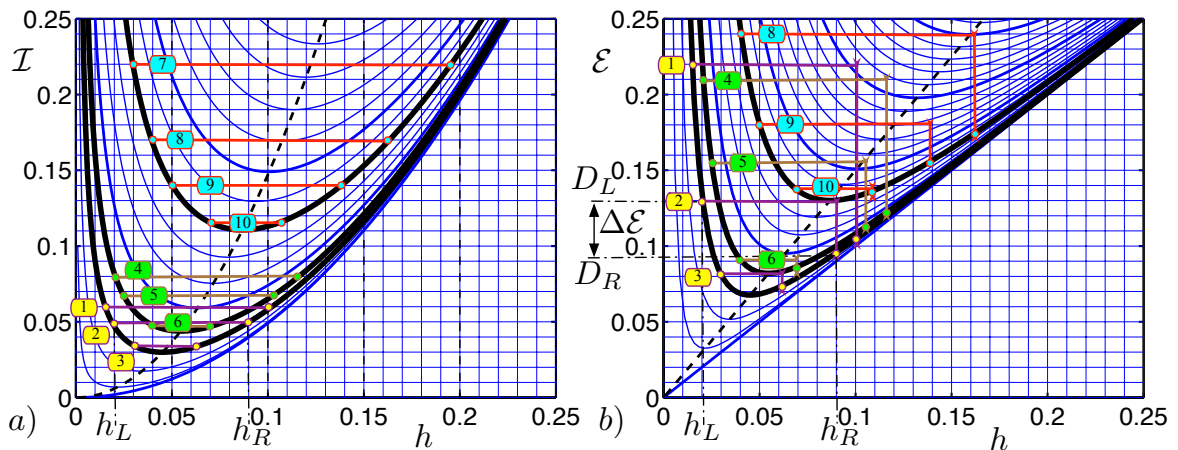


FIGURE 7 – Impulsion $\mathcal{I}(q, h)$ et énergie spécifique $\mathcal{E}(q, h)$ pour $q \in \{.03, .04, .08\} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. a) Détermination graphique des valeurs de h_R à partir de h_L . b) Détermination graphique de la perte de charge $\Delta\mathcal{E} = D_L - D_R$.