Annexe 1 :

TP : mesure du débit dans une tuyère de Laval.

14/05/2019

ENJALBERT Marion

Présentation de l'expérience :

La tuyère de Laval est un dispositif qui est utilisé, entre autre, pour calculer des débits. Dans ce TP, le but est de mesurer le débit grâce à la tuyère de Laval de deux façons différentes.

Pour réaliser cette expérience, on utilise le grand canal de la salle B005 de l'ENSEEIHT. Dans ce canal on dispose une tuyère de Laval, ici on prend celle qui réduit la largeur du canal de 8cm au col de la tuyère, on a donc que la largeur du canal au niveau du col de la tuyère L_r est de 17cm (car la largeur du canal est de 25cm). Le col de la tuyère est situé à environ 9 mètres de la vanne de fond. La tuyère de Laval permet de passer d'un régime à un autre (fluvial ou torrentiel), quatre cas sont possibles :

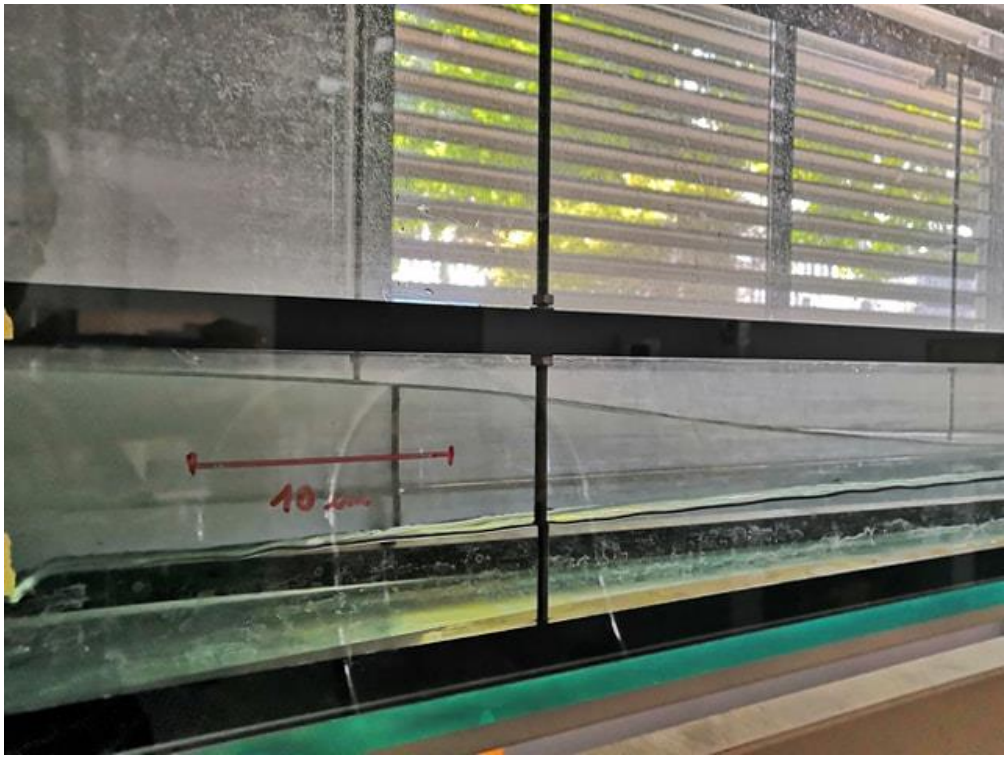
torrentiel – fluvial

torrentiel – torrentiel

fluvial – fluvial

fluvial – torrentiel

Dans ce TP, seul le cas du passage du régime fluvial au régime torrentiel est étudié pour mesurer des débits.



Ici, la hauteur d'eau en amont du col de la tuyère est supérieure à la hauteur critique, on est donc en régime fluvial tandis que à l'aval du col, la hauteur d'eau est inférieure à la hauteur critique et on a donc un régime torrentiel. La hauteur critique caractérise donc le passage entre le régime torrentiel et le régime fluvial. La hauteur d'eau mesurée au niveau du col de la tuyère est la hauteur critique h_r.

<u>Etude théorique :</u>

La hauteur critique au niveau du col de la tuyère permet une première détermination expérimentale du débit grâce à la formule suivante :

$$\boxed{h_c(x) = g^{-1/3} * L(x)^{-2/3} * Q^{2/3}}$$

En se plaçant au col de la tuyère et en inversant la formule on a donc :

$$\boxed{Q = \sqrt{g} * L_r * h_r^{3/2}}$$

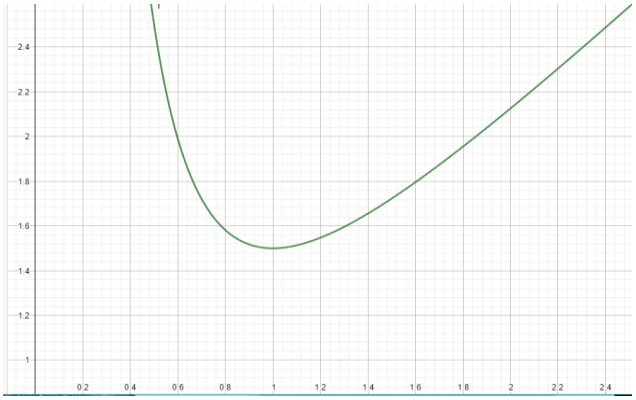
L'autre hauteur d'eau qui permet une détermination expérimentale du débit est la hauteur en amont de la tuyère h_{2min}, celle du régime fluvial. Elle peut être plus facile à lire de par sa stabilité tandis que la hauteur critique n'est pas toujours facile à déterminer car il est difficile de savoir exactement où se trouve le col de la tuyère.

Pour trouver la valeur du débit grâce à cette hauteur d'eau, il faut déterminer la hauteur critique h_{ca} à l'amont de la tuyère au niveau du régime fluvial puis utiliser la formule :

$$\boxed{Q = g^{1/2} * L_a * h_{ca}^{3/2}}$$

Une étude théorique permet de montrer que le rapport $\xi = h2min \,/\, hca$ est solution de l'équation :

$$\boxed{\frac{1}{2}\xi^{-2} + \xi = \frac{3}{2}\left(\frac{L_a}{L_r}\right)^{2/3}}$$



Tracé de la fonction $f(\xi) = \frac{1}{2}\xi^{-2} + \xi$ *sur géogébra.*

En calculant le second membre dans les conditions du TP, on trouve :

$$\boxed{\frac{3}{2}\left(\frac{L_a}{L_r}\right)^{2/3} = 1.939}$$

Ce qui nous donne ξ = 0.6 ou 1.8. Or on sait que h_{ca} est plus petit que h_{2min}, on en déduit donc que la seule valeur possible pour ξ est donc 1,8.

On aura donc finalement que $h_{ca} = h_{2min}/1,8$ et on pourra donc calculer le débit grâce à la formule donnée précédemment.

<u>Mesures expérimentales :</u>

En imposant un débit à la pompe de 16,5L/s on trouve :

Hauteur d'eau au col = 10,5cm

Hauteur d'eau en amont = 13,4cm

En imposant un débit à la pompe de 13,6L/s on trouve :

Hauteur d'eau au col = 9,4cm

Hauteur d'eau en amont = 11,9cm

<u>Comparaison avec les valeurs théoriques :</u>

En utilisant le programme python (ci-dessous), on peut calculer les débits grâce aux hauteurs d'eau mesurées et aussi donc calculer les erreurs relatives par rapport au débit donné au niveau de la pompe.

Pour le débit de 16,5L/s on a :

```
Python 3.6.1 (default, Dec 2015, 13:05:11)
[GCC 4.8.2] on linux
Hauteur d'eau au col=0.105
Débit de la pompe =16.5
Hauteur d'eau en amont =0.134
Qth1 avec les données du col de la tuyère = 18.116211141543918 L/s
Hauteur critique en amont de la tuyère = 0.07444444444444445
Qth2 avec les données du régime fluvial en amont = 15.90460736685528 L/s
Erreur relative du Qth1 = 9.795219039660108 %
Erreur relative du Qth2 = 3.608440200877086 %
débit linéique q = 0.09705882352941177 m2/s
hauteur critique au niveau du col Hc = 0.09865831173350494 m
>
```

Pour le débit de 13,6L/s on a :

```
Python 3.6.1 (default, Dec 2015, 13:05:11)
[GCC 4.8.2] on linux
Hauteur d'eau au col=0.094
Débit de la pompe =13.6
Hauteur d'eau en amont =0.119
Qth1 avec les données du col de la tuyère = 15.345293716837096 L/s
Hauteur critique en amont de la tuyère = 0.0661111111111111
Qth2 avec les données du régime fluvial en amont = 13.310249512727 L/s
Erreur relative du Qth1 = 12.833042035566885 %
Erreur relative du Qth2 = 2.1305182887720613 %
débit linéique q = 0.07999999999999999 m2/s
hauteur critique au niveau du col Hc = 0.08673019487280174 m
>
```

Les erreurs relatives peuvent être dues aux imprécisions lors de la mesure des hauteurs d'eau bien évidemment. Il faut aussi faire attention à ne pas faire déborder le trop-plein à l'amont de la vanne de fond car le débit ne serait pas le même à la pompe que dans le canal car on perdrait de l'eau.

Programme python pour calculer les débits et calculer les taux d'erreur :

```
from math import *
g=9.81
La = 0.25
Lr = 0.17
Hr = float(input("Hauteur d'eau au col="))
Qp = float(input("Débit de la pompe ="))
H2min = float(input("Hauteur d'eau en amont ="))


def  Calcul_Debit_HauteurCritique (Hr):
  Qth= (sqrt(g)*Lr*Hr**(3/2))*10**3
  print ("Qth1 avec les données du col de la tuyère =",Qth,"L/s")
  return Qth


def Calcul_Debit_HauteurAmont (H2min):
  Hca = H2min/1.8
  print ("Hauteur critique en amont de la tuyère =",Hca)
  Qth=(sqrt(g)*La*Hca**(3/2))*10**3
  print ("Qth2 avec les données du régime fluvial en amont =",Qth,"L/s")
  return Qth


def Erreur_Relative_Hr (Qthe,Qp):
  E = ((Qthe-Qp)/Qp)*100
  E = abs(E)
  print ("Erreur relative du Qth1 =",E,"%")

def Erreur_Relative_H2min (Qthe2,Qp):
  E = ((Qthe2-Qp)/Qp)*100
  E = abs(E)
  print ("Erreur relative du Qth2 =",E,"%")





''' Corps du programme '''
Qthe = Calcul_Debit_HauteurCritique (Hr)
Qthe2 = Calcul_Debit_HauteurAmont (H2min)
Erreur_Relative_Hr(Qthe, Qp)
Erreur_Relative_H2min (Qthe2,Qp)
```

Annexe 2 :

TP : Ouverture totale d'une vanne de fond, rupture de barrage.

14/05/2019

ENJALBERT Marion

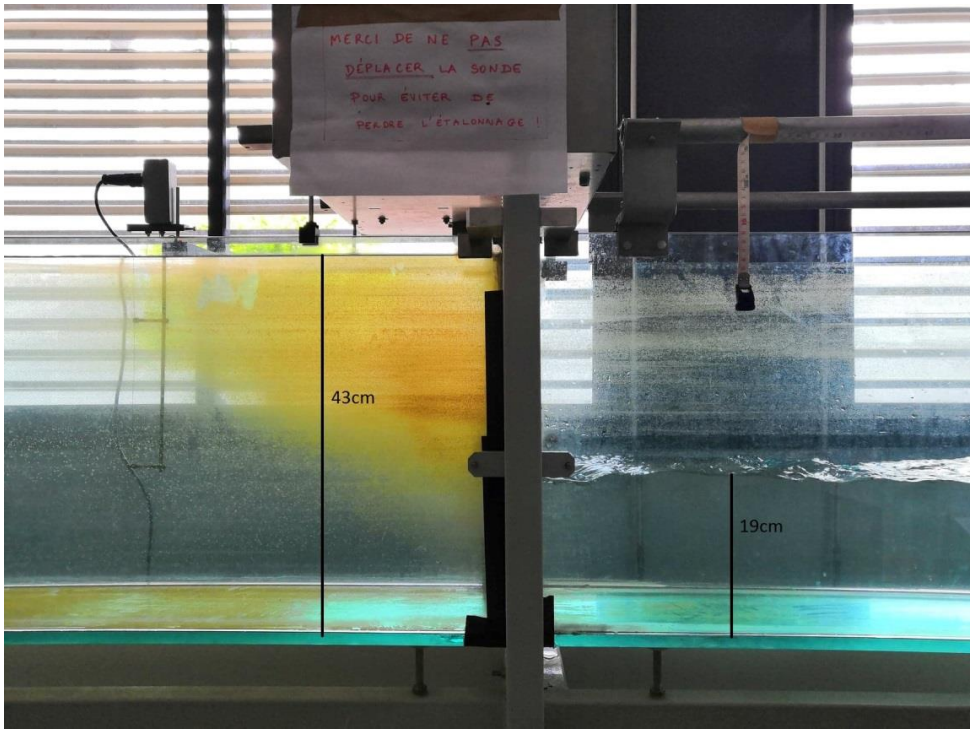
Présentation de l'expérience :

Le but de cette expérience est de modéliser la rupture d'un barrage afin de pouvoir éventuellement en évaluer les risques en fonction de la pertinence du modèle utilisé. Pour cette expérience, on se sert du grand canal de la salle B005 de l'ENSEEIHT. La rupture du barrage sera modélisée par l'ouverture rapide de la vanne de fond après avoir instauré un régime quasi stationnaire en imposant une certaine hauteur d'eau en amont et en aval de la vanne de fond. Pour cela, il faut aussi utiliser la vanne qui se situe à la fin du canal pour pouvoir influer sur la hauteur d'eau en aval de la vanne de fond.

En ouvrant rapidement la vanne de fond, on va voir l'apparition d'un ressaut hydraulique qui aura une certaine hauteur et se déplacera à une certaine vitesse. La hauteur d'eau et la vitesse dépendent de la hauteur en amont et en aval de la vanne de fond et des caractéristiques du canal.

Une étude théorique permet de calculer la hauteur et la vitesse du ressaut pour des conditions initiales données. Cette étude théorique a été faite pour des conditions initiales telles que :

- La hauteur d'eau en amont de la vanne de fond est de 43cm
- La hauteur d'eau en aval de la vanne de fond est 19cm

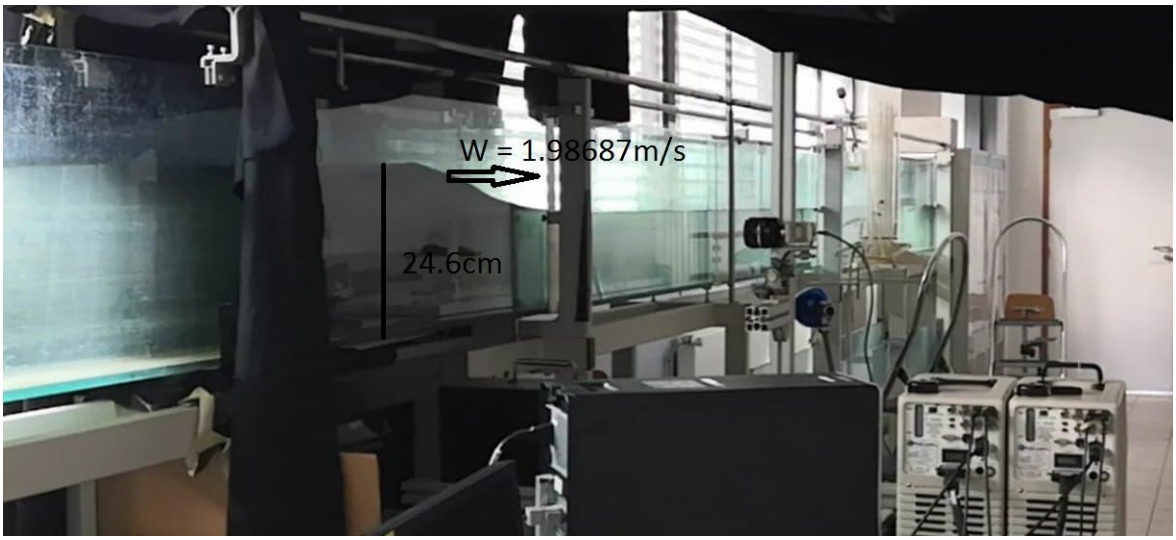


Dans ces conditions, la vitesse du ressaut théorique est : $W_{th} = 1.9m/s$

La hauteur du ressaut théorique est : $h_{1,th} = 30cm$

<u>Mesures expérimentales :</u>

Dans le grand canal, pour être dans les conditions évoquées précédemment, on remonte la vanne de la fin du canal à 190mm, on baisse ensuite la vanne de fond à 20mm. Au bout d'un certain temps, on arrive bien à la situation où la hauteur d'eau en amont de la vanne est de 43cm et celle en aval est de 19cm. A cet instant, on ouvre au maximum la vanne de fond et on voit la création d'un ressaut qui se déplace le long du canal à une certaine vitesse. En refaisant l'expérience 10 fois, on trouve une vitesse moyenne de 1.98687m/s et une hauteur de 24.6cm.



distance ressaut (m)	durée de parcours (s)	vitesse du ressaut (m/s)		vitesse moyenne du ressaut (m/s)
9	4,39	2,050113895		1,986872687
9	4,52	1,991150442		
9	4,52	1,991150442		
9	4,57	1,969365427		
9	4,4	2,045454545		
9	4,56	1,973684211		
9	4,59	1,960784314		
9	4,56	1,973684211		
9	4,64	1,939655172		
9	4,56	1,973684211		

<u>Comparaison avec les valeurs théoriques :</u>

Théoriquement la valeur de la vitesse du ressaut était de 1,9m/s et dans la pratique on trouve 1,986872687m/s.

Calcul de l'erreur relative :

$$\left|\frac{1{,}986872687 - 1{,}9}{1{,}986872687}\right| * 100 = 4{,}4\%$$

Théoriquement, la valeur de la hauteur du ressaut était de 30cm, on trouve expérimentalement une hauteur de 24,6cm.

Calcul de l'erreur relative :

$$\left|\frac{24{,}6 - 30}{24{,}6}\right| * 100 = 22\%$$

L'erreur relative est assez élevée pour la hauteur du ressaut, en effet la lecture de la hauteur du ressaut est assez compliquée et donc imprécise.

Annexe 3 :

TP : Etude de l'influence de la pente du canal sur la position d'un ressaut.

14/05/19

ENJALBERT Marion

Présentation de l'expérience :

Un ressaut qualifie le passage d'un régime torrentiel (Fr > 1) à un régime fluvial (Fr < 1), c'est-à-dire que la hauteur d'eau est inférieure à la hauteur critique à l'amont du ressaut et supérieure à celle-ci à l'aval du ressaut. Au niveau du ressaut, il y a donc une surélévation brusque de la surface libre de l'écoulement.

Dans cette expérience, le but est de mettre en évidence que la pente d'un canal influe sur la position d'un ressaut créé par une rampe fixée dans le canal. Pour la réaliser, il faut utiliser le petit canal dans lequel on dispose la rampe tel que sur la photo ci-après.

Présentation de l'expérience, photo 1

On remarquera à travers cette expérience que pour un débit et une hauteur de vanne aval égaux, plus on augmente l'inclinaison du canal, plus le ressaut se déplace vers l'aval du canal.

Pour mettre en évidence ce phénomène, il faut tout d'abord se placer dans des conditions qui permettent l'apparition d'un ressaut. Ici on décide de mettre un débit d'environ 10L/s c'est-à-dire $0.01m^3/s$ et de relever la vanne aval de telle sorte que la hauteur d'eau à l'amont de celle-ci soit d'environ 12cm.

Mesures expérimentales :

Dans les conditions exprimées ci-dessus, on obtient un ressaut stationnaire qui se positionne environ à 80cm à l'aval de la fin de la rampe.

Cas où le canal n'est pas incliné, photo 2

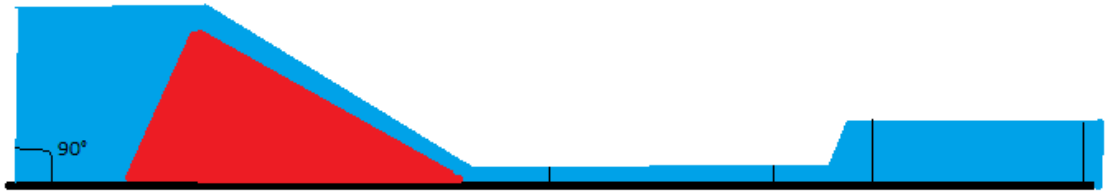
Ensuite, en gardant les mêmes conditions que précédemment, on incline le canal. On remarque ici que le ressaut s'est déplacé de 1 mètre vers l'aval du canal.

Cas où le canal est incliné, recul du ressaut, photo 3

Comment expliquer ce recul du ressaut ?

En inclinant le canal, les hauteurs d'eau par rapport au fond de celui-ci changent, en effet comme la ligne d'eau reste horizontale, plus on se déplace vers la vanne, plus la hauteur d'eau est importante (en régime fluvial après le ressaut)

De plus, en régime torrentiel (entre la fin de la rampe et le ressaut), la hauteur d'eau a tendance à augmenter aussi plus on se rapproche du ressaut.



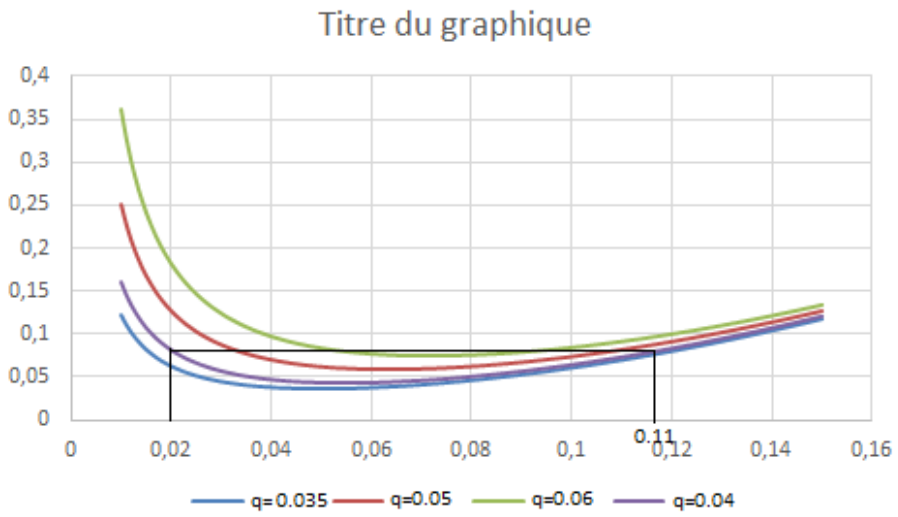
Les hauteurs d'eau à l'amont et à l'aval du ressaut sont dites conjuguées, c'est-à-dire qu'elles ont la même impulsion. Pour une hauteur d'eau en amont du ressaut donnée et un débit linéique donné, on aura toujours la même hauteur d'eau en aval du ressaut. On se rend compte sur le graphique donnant l'impulsion en fonction de la hauteur d'eau pour différents débits linéiques (voir annexe 2) que plus la hauteur d'eau en aval du ressaut est basse plus la hauteur conjuguée (hauteur ayant la même impulsion) doit être élevée pour conserver l'impulsion.

Comparaison avec les valeurs théoriques :

Théoriquement, pour les conditions dans lesquelles nous étions, quand le canal n'était pas incliné, nous devrions trouver une hauteur conjuguée après le ressaut de 11,6cm (voir graphe). Dans la pratique, nous avons trouvé 11,31cm (voir photo numéro 2)

Calcul de l'erreur relative :

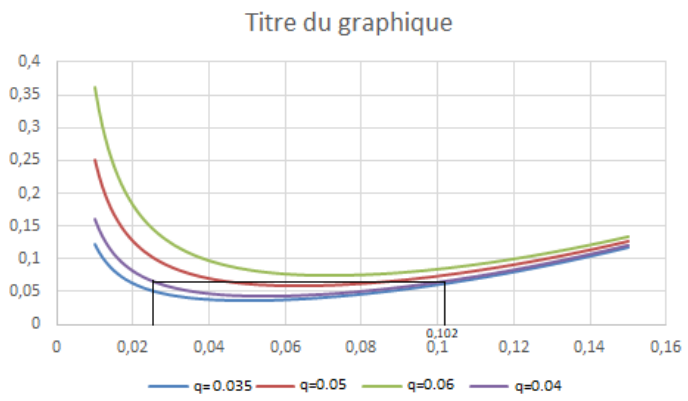
$$\left|\frac{11{,}31 - 11{,}6}{11{,}31}\right| * 100 = 2{,}56\%$$



Dans le cas où le canal est incliné, on trouve 2,49cm en amont du ressaut, théoriquement on devrait avoir une hauteur conjuguée égale à 10,2cm. On trouve dans la pratique (image numéro 3) une hauteur égale à 10,15cm.

Erreur relative :

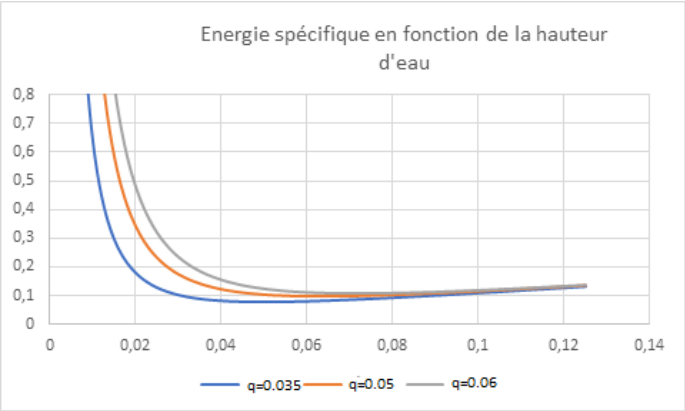
$$\left|\frac{10{,}15 - 10{,}2}{10{,}15}\right| * 100 = 0{,}5\%$$



Energie spécifique :

$$E = h + \frac{q^2}{2gh^2}$$

Avec q : débit linéique = $\frac{Q}{L}$ et L : largeur du canal et h : hauteur d'eau dans le canal selon sa position x.

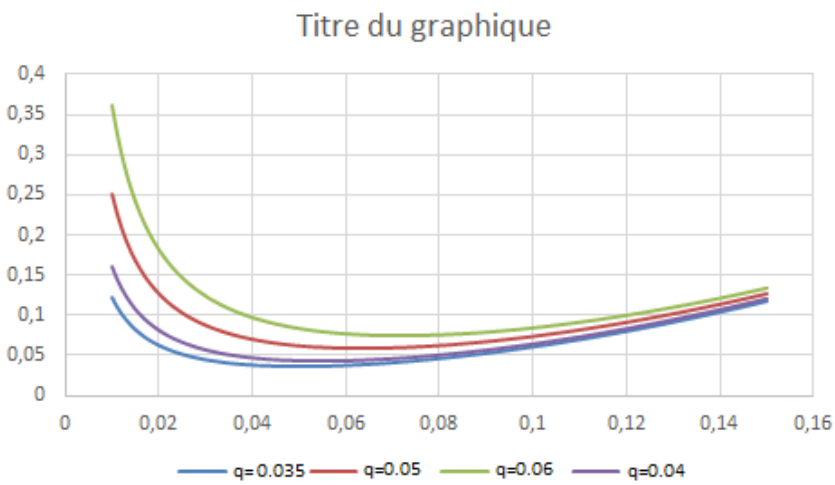


Graphique représentant l'énergie spécifique en fonction de la hauteur d'eau, annexe 1

Impulsion :

$$I(q,h) = \frac{q^2}{h} + \frac{gh^2}{2}$$

Avec q : débit linéique = $\frac{Q}{L}$ et L : largeur du canal et h : hauteur d'eau dans le canal selon sa position x.



Impulsion en fonction de la hauteur d'eau (m), annexe 2

Programme python pour l'énergie spécifique et l'impulsion :

```
from math import *
import numpy as np
Q = float(input("Débit de la pompe en L/s ="))
L = 0.25
g = 9.81

#Hamont = float(input("Hauteur en amont du ressaut en mètre ="))
#Haval = float(input("Hauteur en aval du ressaut en mètre ="))

def Debit_linéique (Q,L):
  q=(Q*10**-3)/L
  print("débit linéique q =",q,"m2/s")
  return q


def Impulsion (q,h):
  I = (q**2/h)+(g*h**2/2)
  print ("impulsion I =",I)
  return I


def Impulsion_2 (q):
  L={}
  a = np.arange(0.01, 0.15, 0.0001)

  for h in a :
    J = (q**2/h)+(g*h**2/2)
    print ("impulsion I =",J,"pour h=",h,"\n")
    L[h]=J
  #print (L)
  return L




def Hauteur_Conjuguee(I,L):
  Diff =[]
  for i in L.values():
    d=I-i
    d= abs(d)
    Diff.append(d)
  a = (min(Diff))
  del Diff[Diff.index(a)]
  b = (min(Diff))
  for i in L.values():
    d=I-i
    d= abs(d)
    if d == b :
```

```
      print("hauteur conjuguée en aval du
ressaut",list(L.keys())[list(L.values()).index(i)])
  return i
  #print (Diff)
```

```
'''corps du programme'''
q = Debit_linéique (Q,L)
I = Impulsion (q,h=float(input("hauteur en amont du ressaut =")))
L = Impulsion_2 (q)
Hauteur_Conjuguee(I,L)
```

Grâce à la fonction `Impulsion`, on peut avoir la valeur de l'impulsion pour un débit linéique donné et une hauteur donnée. Ensuite, la fonction `Hauteur_Conjuguee` permet, pour une hauteur d'eau en amont d'un ressaut, d'avoir environ sa valeur conjuguée à l'aval du ressaut. Il y a quelques limites à ce programme, notamment la dernière fonction car la façon dont elle est construite peut nous donner une valeur de la hauteur en amont proche de celle qu'on a rentré. En effet elle cherche dans une plage de hauteurs et d'impulsions, la hauteur pour laquelle l'impulsion est proche de celle de la hauteur d'eau qui a été rentrée.