

Récupération d'énergie par colonne d'eau oscillante

Oscillation du niveau d'eau et formation d'une débit d'air

Présentation du système

- Introduction
- Schéma
- Maquette

Oscillation de la colonne d'eau

- Expérience
- Résultats

Création d'un débit d'air

- Expérience
- Résultats

Approche théorique

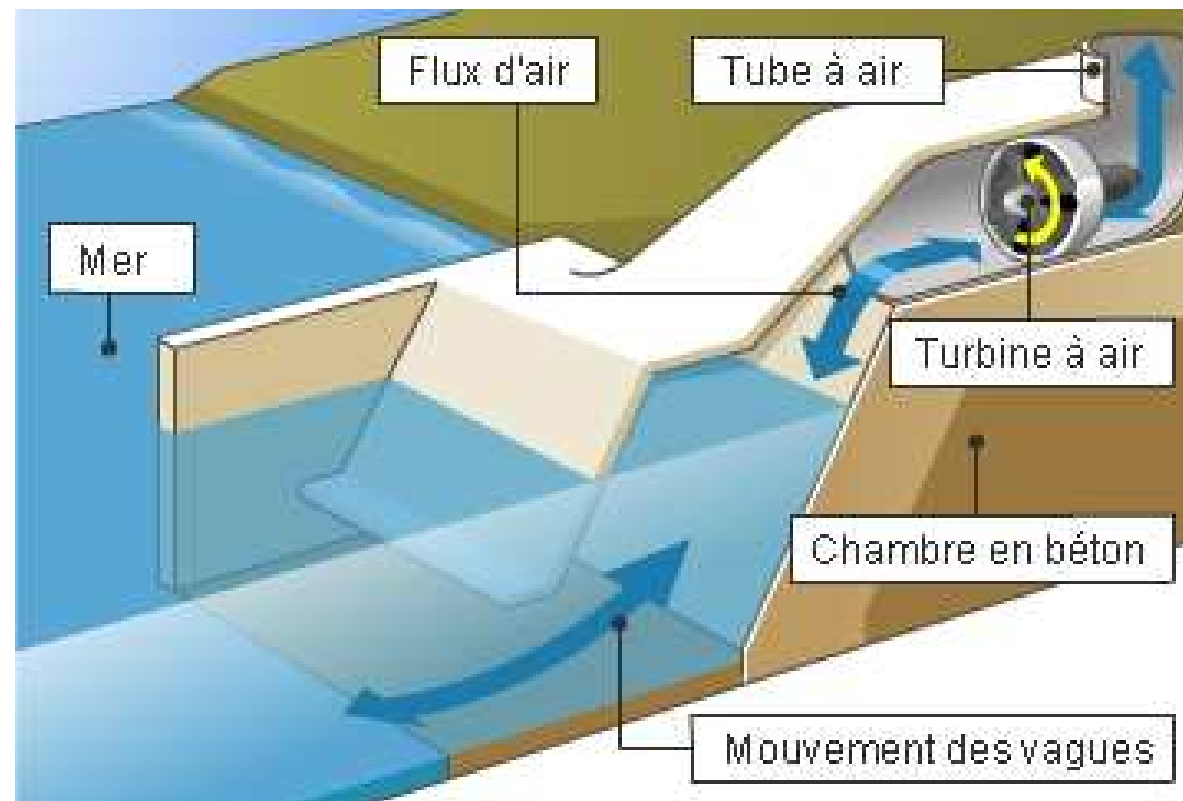
- Mise en équation du problème
- Résolution
- Commentaire

Conclusion

Annexes

- Algorithme de décomposition en série de Fourier
- Inventaire des forces et bilans
- Algorithme de simulation du niveau d'eau

Exemple de centrale électrique à colonne d'eau oscillante



Présentation du système

- Introduction
- Schéma
- Maquette

Oscillation de la colonne d'eau

- Expérience
- Résultats

Création d'un débit d'air

- Expérience
- Résultats

Approche théorique

- Mise en équation du problème
- Résolution
- Commentaire

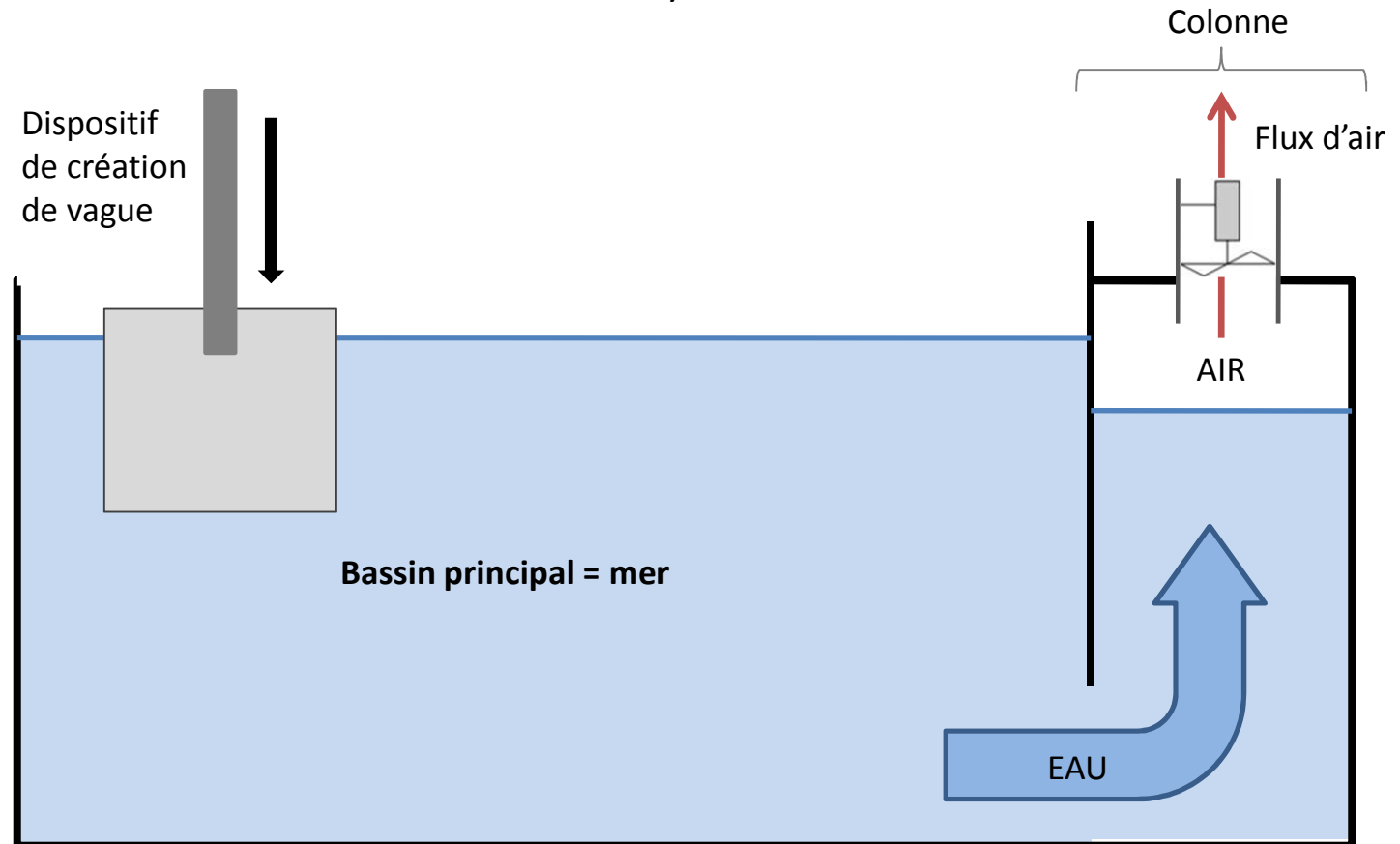
Conclusion

Annexes

Présentation du système

Schématisation

Schéma du système



Maquette d'approche du système

Vue d'au dessus de la maquette

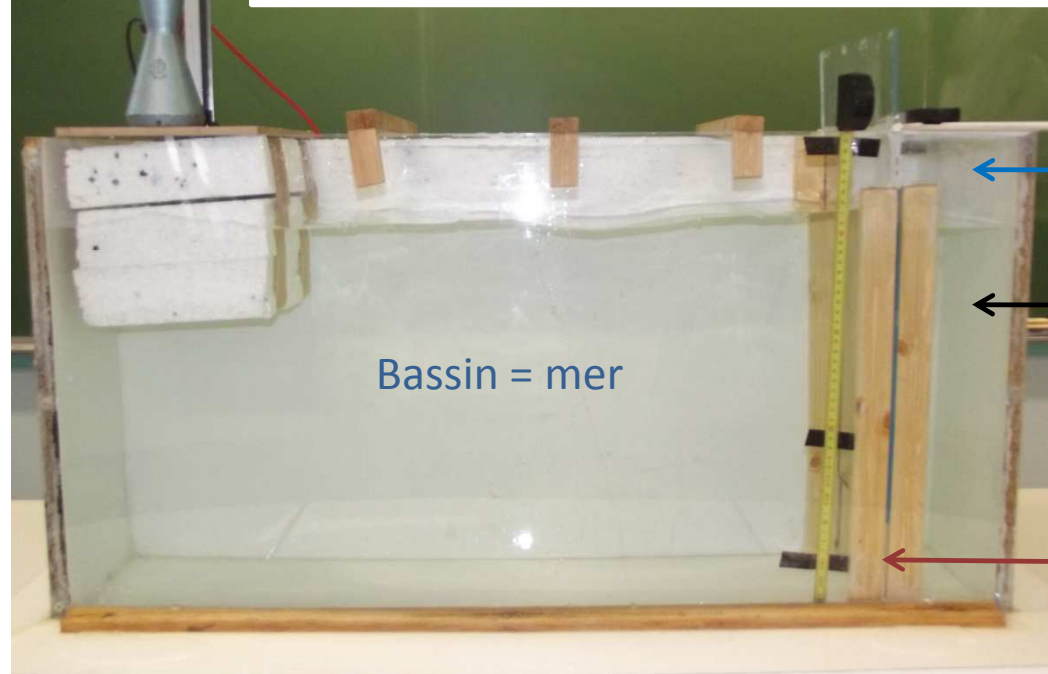
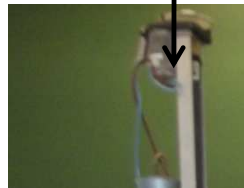
Système
d'excitation
(vérin électrique)
→ Création de
vagues



Sortie d'air

Anémomètre

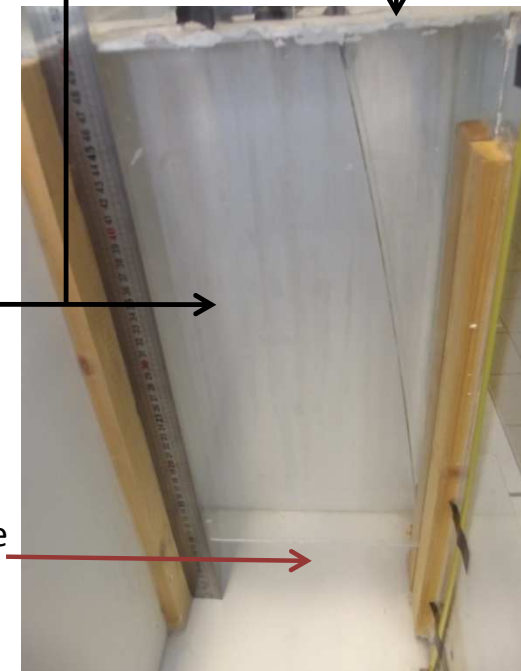
Partie supérieure
de la colonne



Cavité d'air

Colonne

Ouverture de
la colonne



Vue de face de la maquette

Vue interne de la colonne 3

Oscillation de la colonne d'eau

Mise en évidence de l'effet filtre de la colonne

Présentation du système

- Introduction
- Schéma
- Maquette

Oscillation de la colonne d'eau

- Expérience
- Résultats

Création d'un débit d'air

- Expérience
- Résultats

Approche théorique

- Mise en équation du problème
- Résolution
- Commentaire

Conclusion

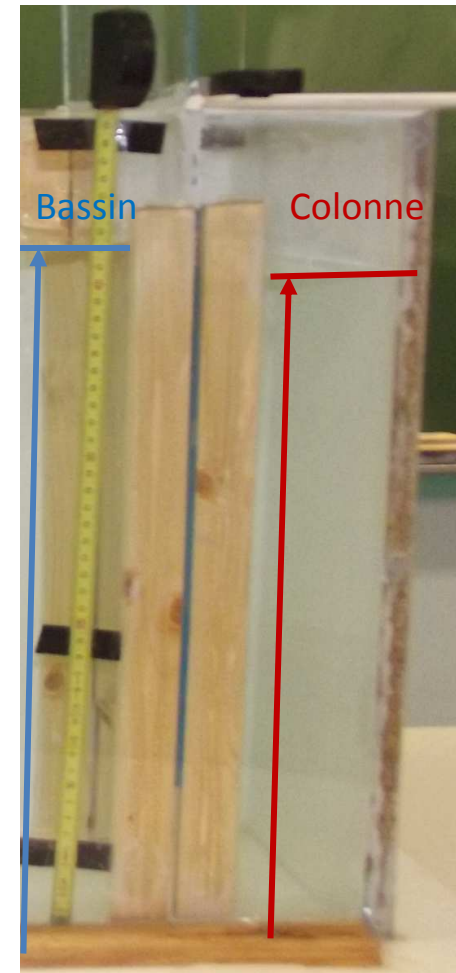
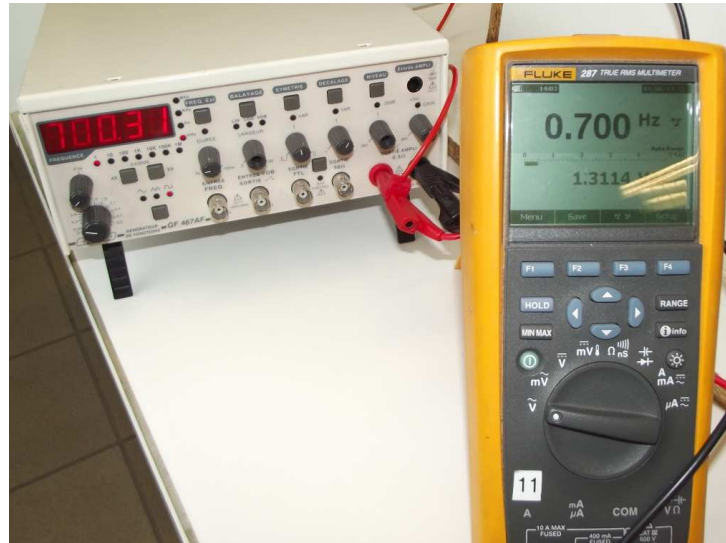
Annexes

Expérience :

On réitère l'expérience pour plusieurs valeur de fréquence d' excitation.



Réglage fréquence d'oscillation



Présentation du système

- Introduction
- Schéma
- Maquette

Oscillation de la colonne d'eau

- Expérience
- Résultats

Création d'un débit d'air

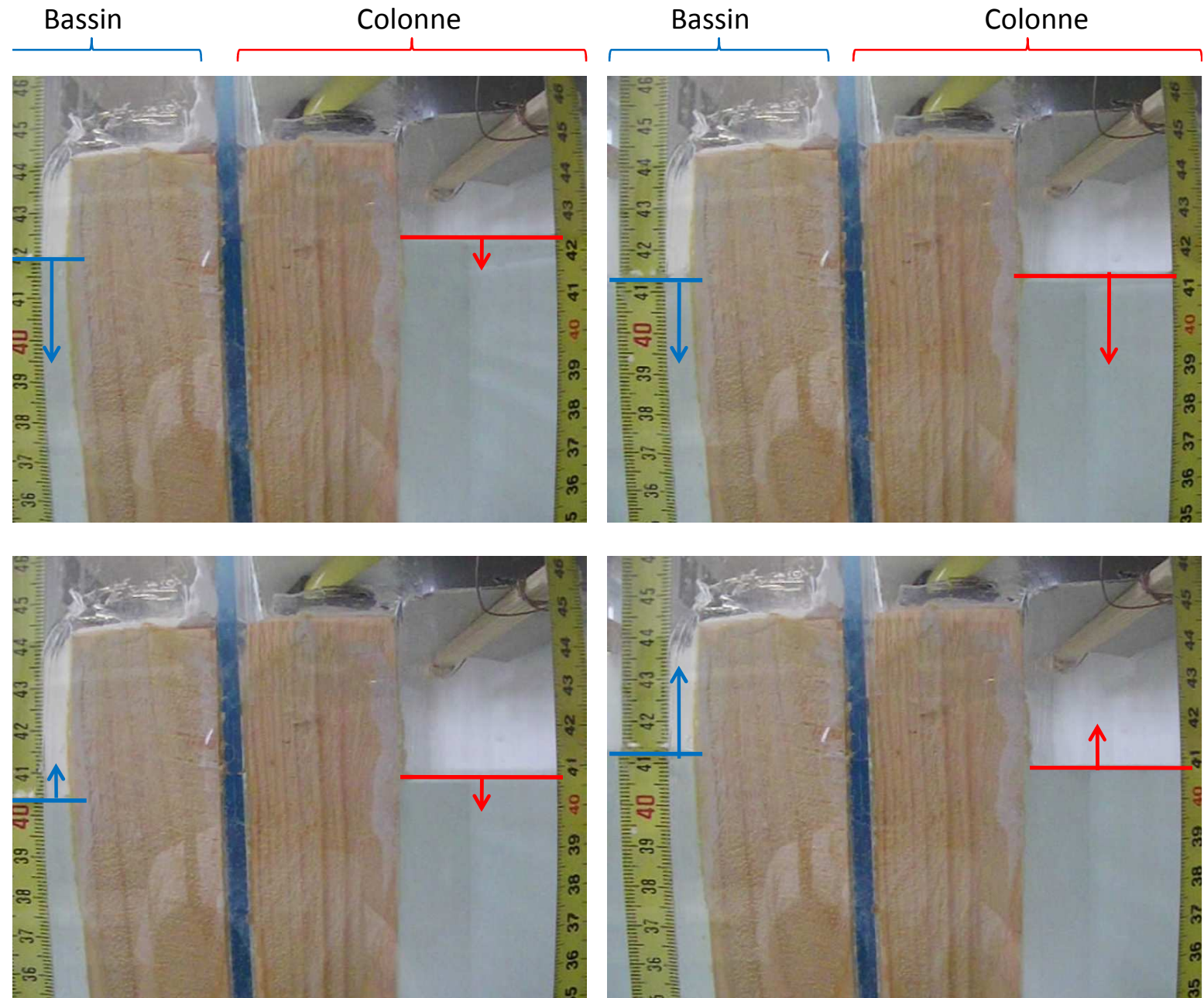
- Expérience
- Résultats

Approche théorique

- Mise en équation du problème
- Résolution
- Commentaire

Conclusion

Annexes



Présentation du système

- Introduction
- Schéma
- Maquette

Oscillation de la colonne d'eau

- Expérience
- Résultats

Création d'un débit d'air

- Expérience
- Résultats

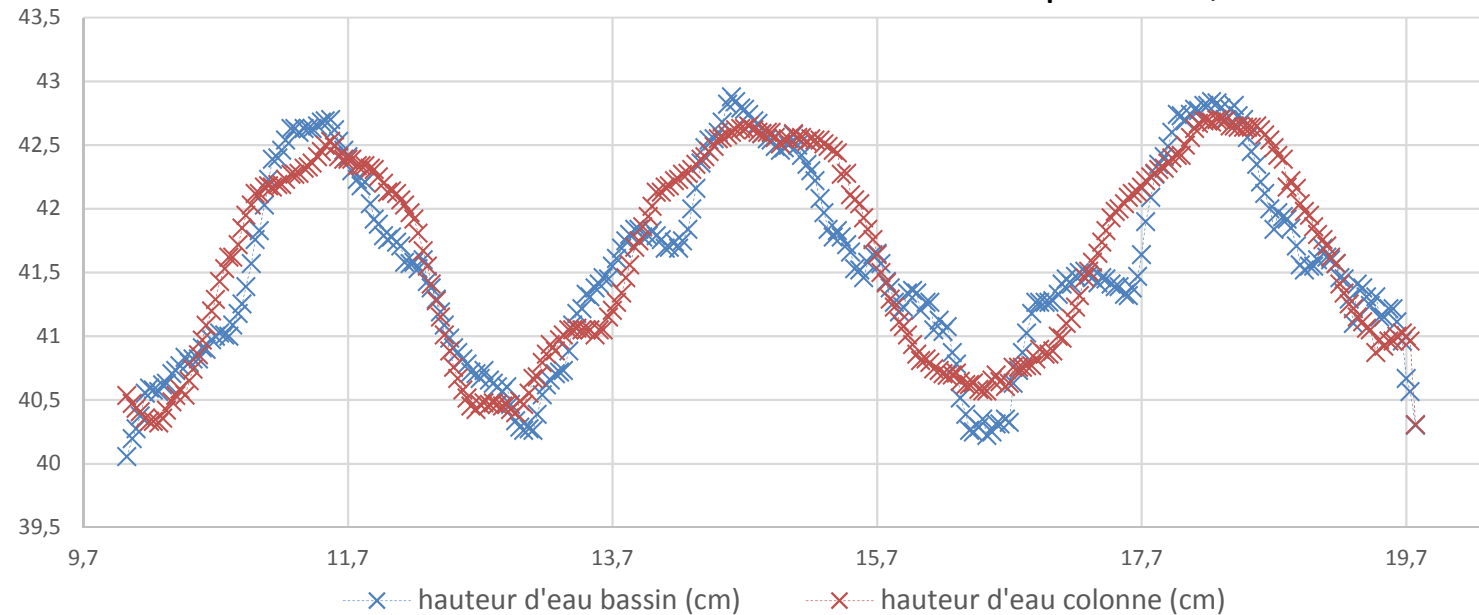
Approche théorique

- Mise en équation du problème
- Résolution
- Commentaire

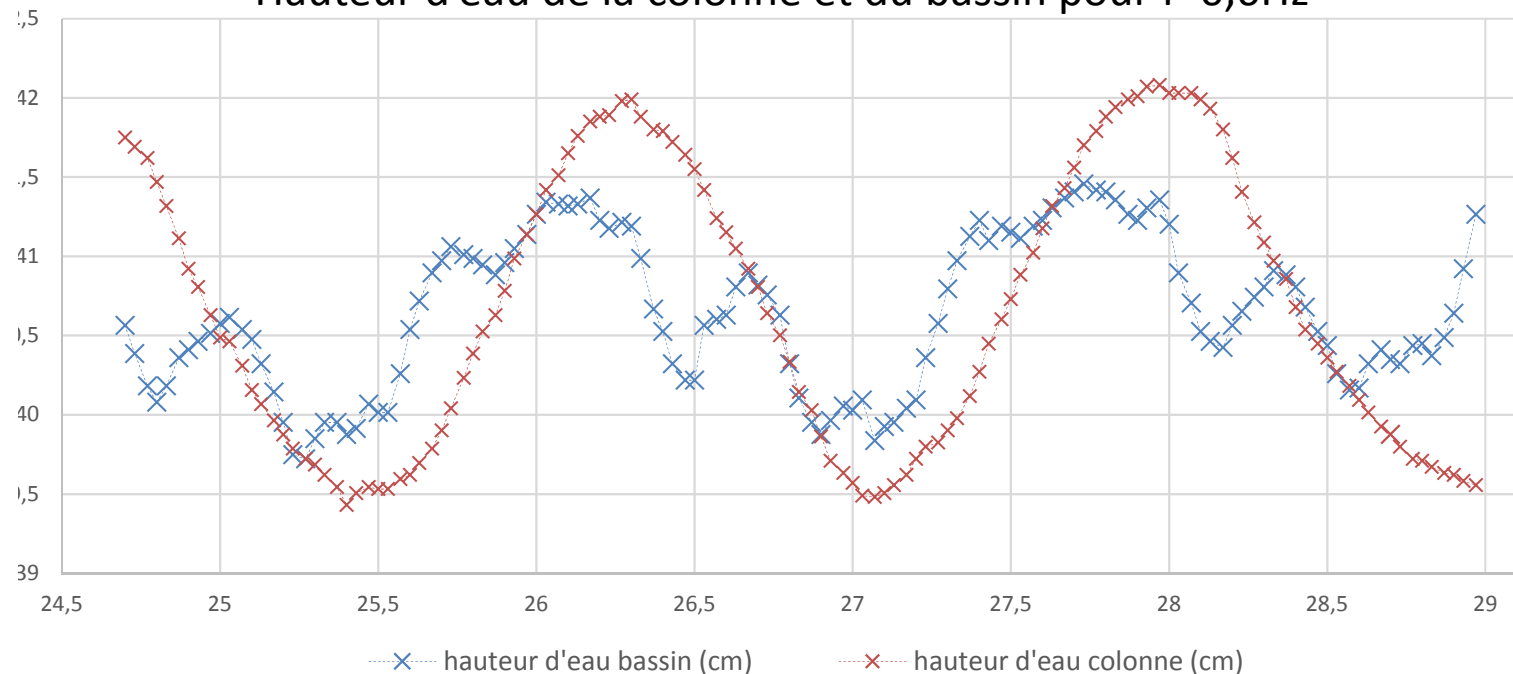
Conclusion

Annexes

Hauteur d'eau de la colonne et du bassin pour $f=0,3\text{Hz}$



Hauteur d'eau de la colonne et du bassin pour $f=0,6\text{Hz}$



Présentation du système

- Introduction
- Schéma
- Maquette

Oscillation de la colonne d'eau

- Expérience
- Résultats

Création d'un débit d'air

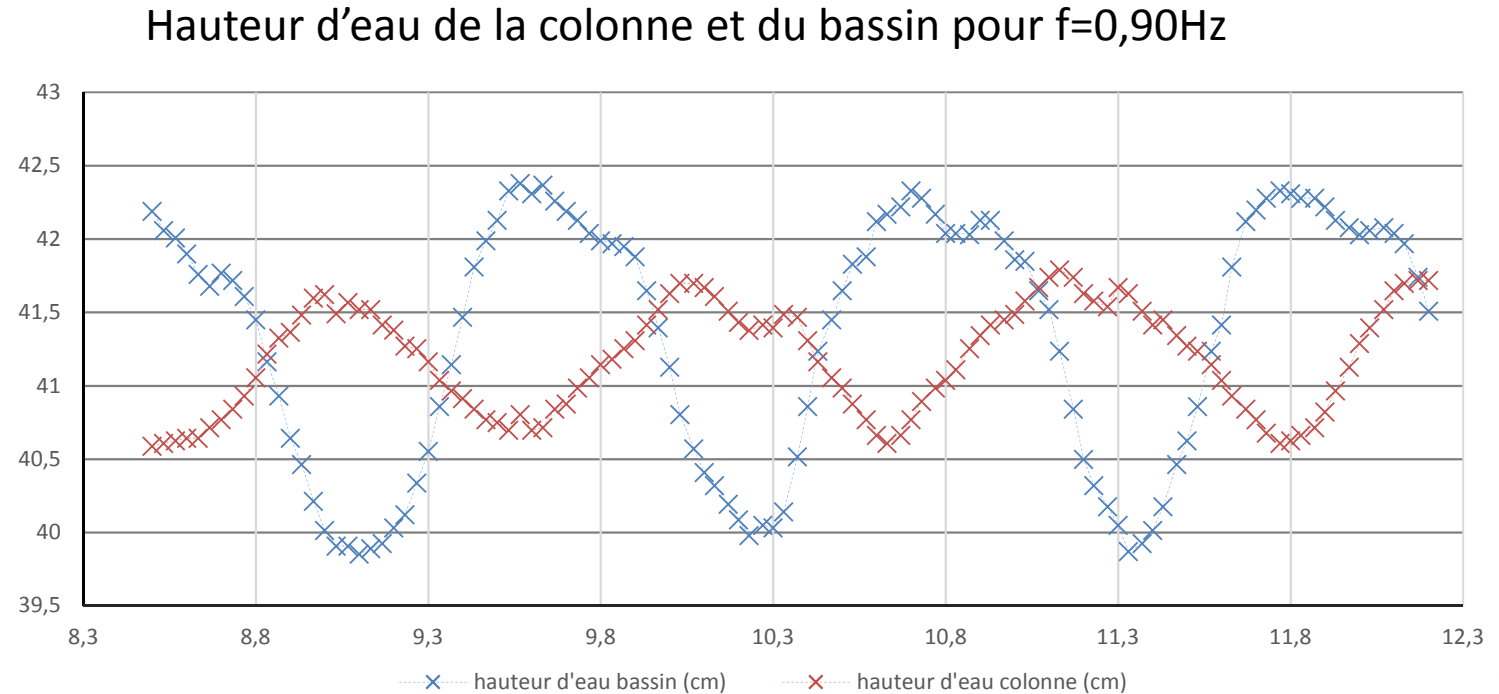
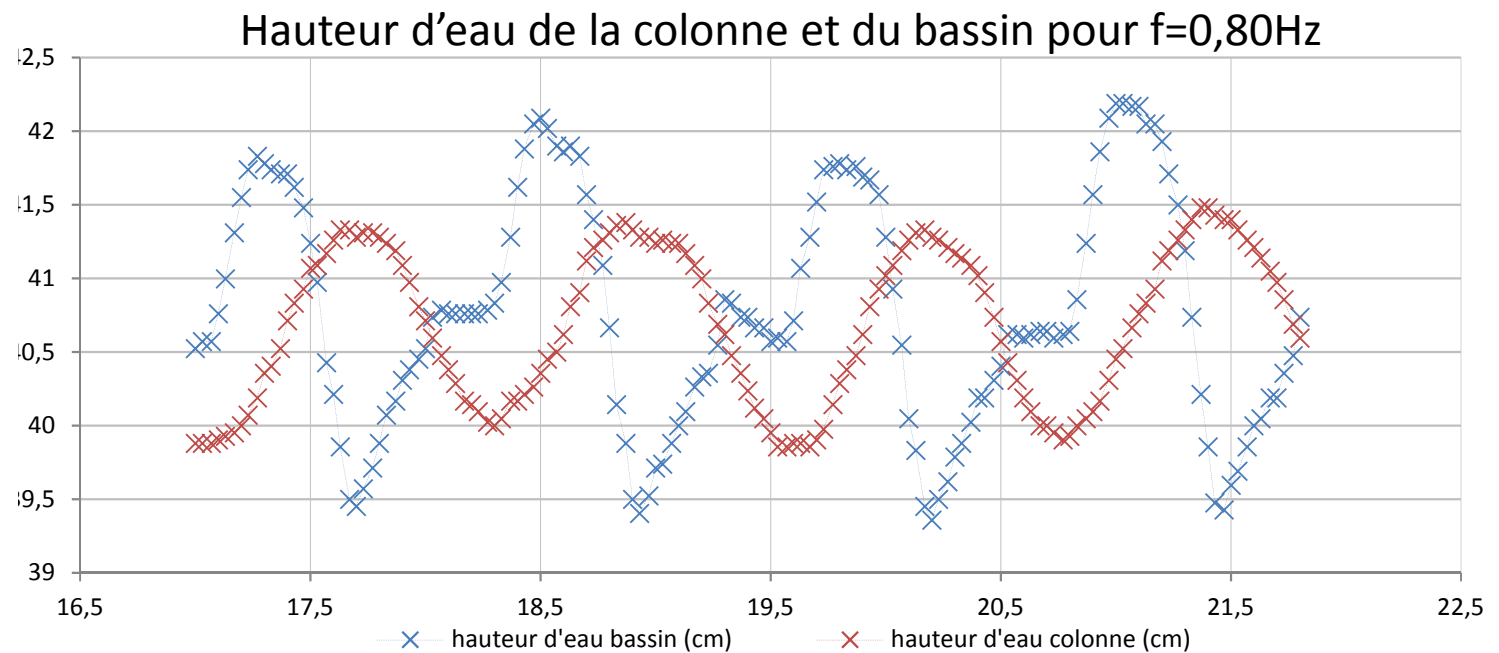
- Expérience
- Résultats

Approche théorique

- Mise en équation du problème
- Résolution
- Commentaire

Conclusion

Annexes



Présentation du système

- Introduction
- Schéma
- Maquette

Oscillation de la colonne d'eau

- Expérience
- Résultats

Création d'un débit d'air

- Expérience
- Résultats

Approche théorique

- Mise en équation du problème
- Résolution
- Commentaire

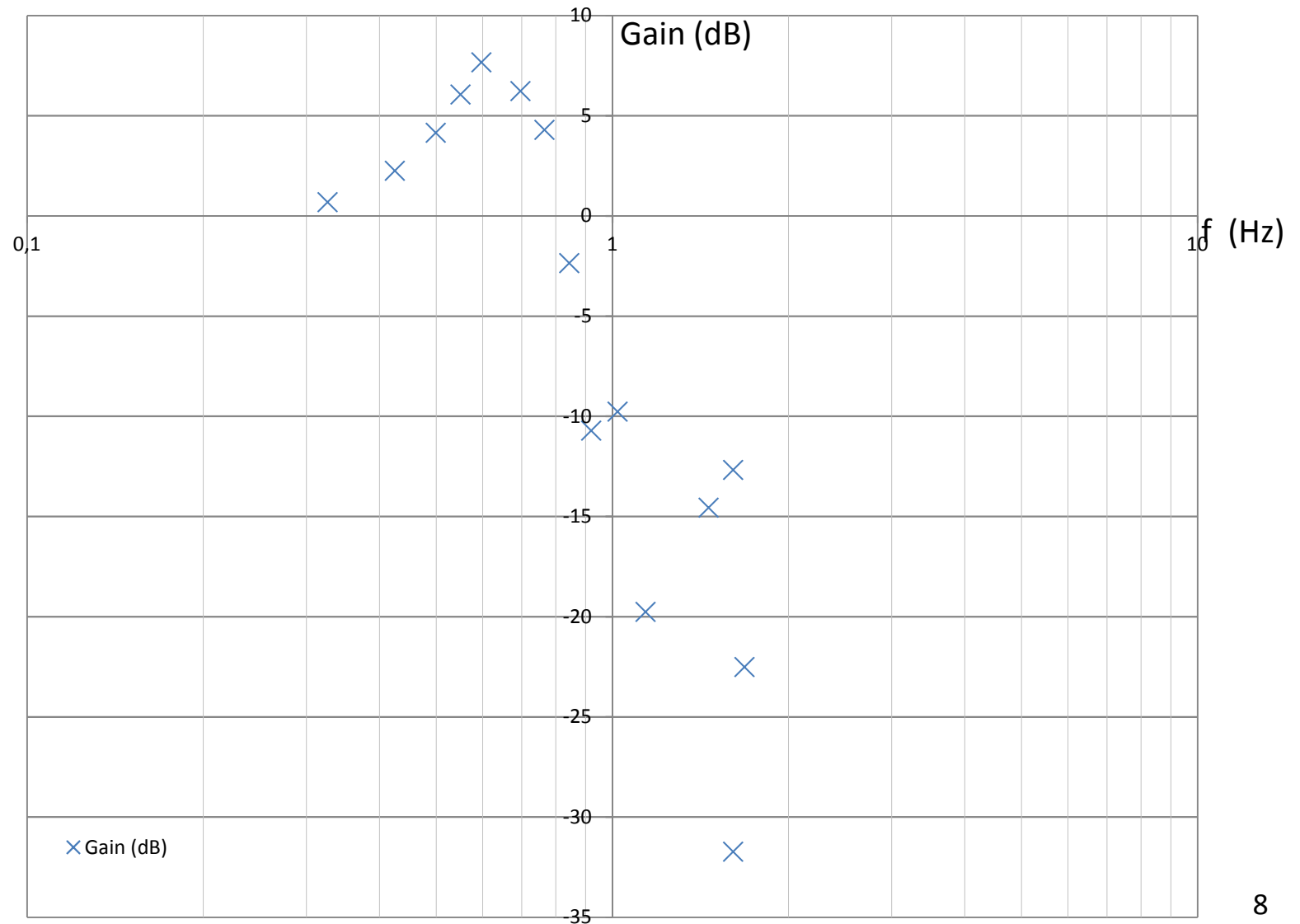
Conclusion

Annexes

Oscillation de la colonne d'eau

Mise en évidence de l'effet filtre de la colonne

Gain en dB $\rightarrow GdB = 20\log(X_m \text{ colonne} / X_m \text{ bassin})$
en fonction de la fréquence pour $D=32\text{mm}$



Création d'un débit d'air

Expériences

Présentation du système

- Introduction
- Schéma
- Maquette

Oscillation de la colonne d'eau

- Expérience
- Résultats

Création d'un débit d'air

- Expérience
- Résultats

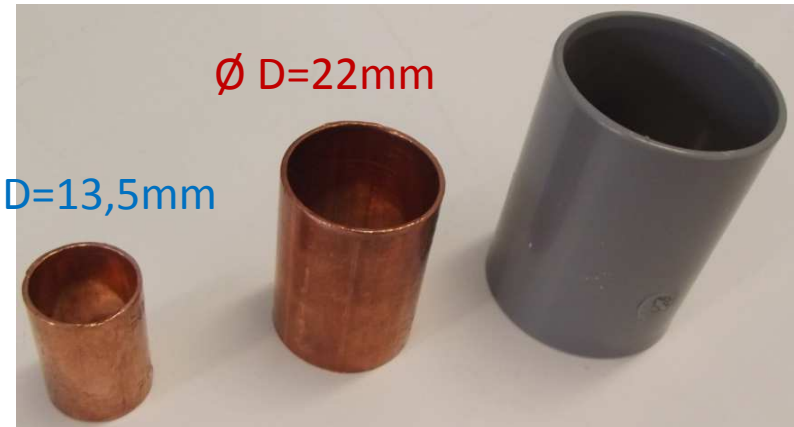
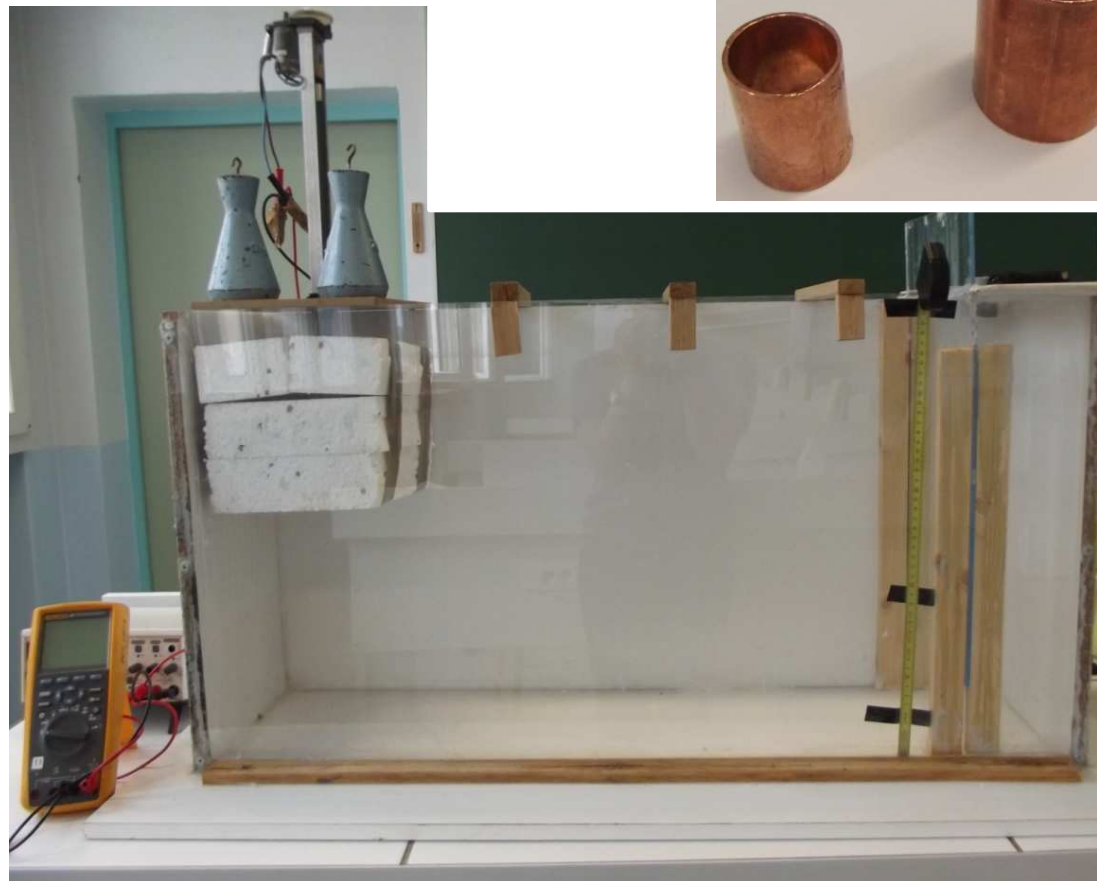
Approche théorique

- Mise en équation du problème
- Résolution
- Commentaire

Conclusion

Annexes

Expériences :



Création d'un débit d'air

Expériences

Présentation du système

- Introduction
- Schéma
- Maquette

Oscillation de la colonne d'eau

- Expérience
- Résultats

Création d'un débit d'air

- Expérience
- Résultats

Approche théorique

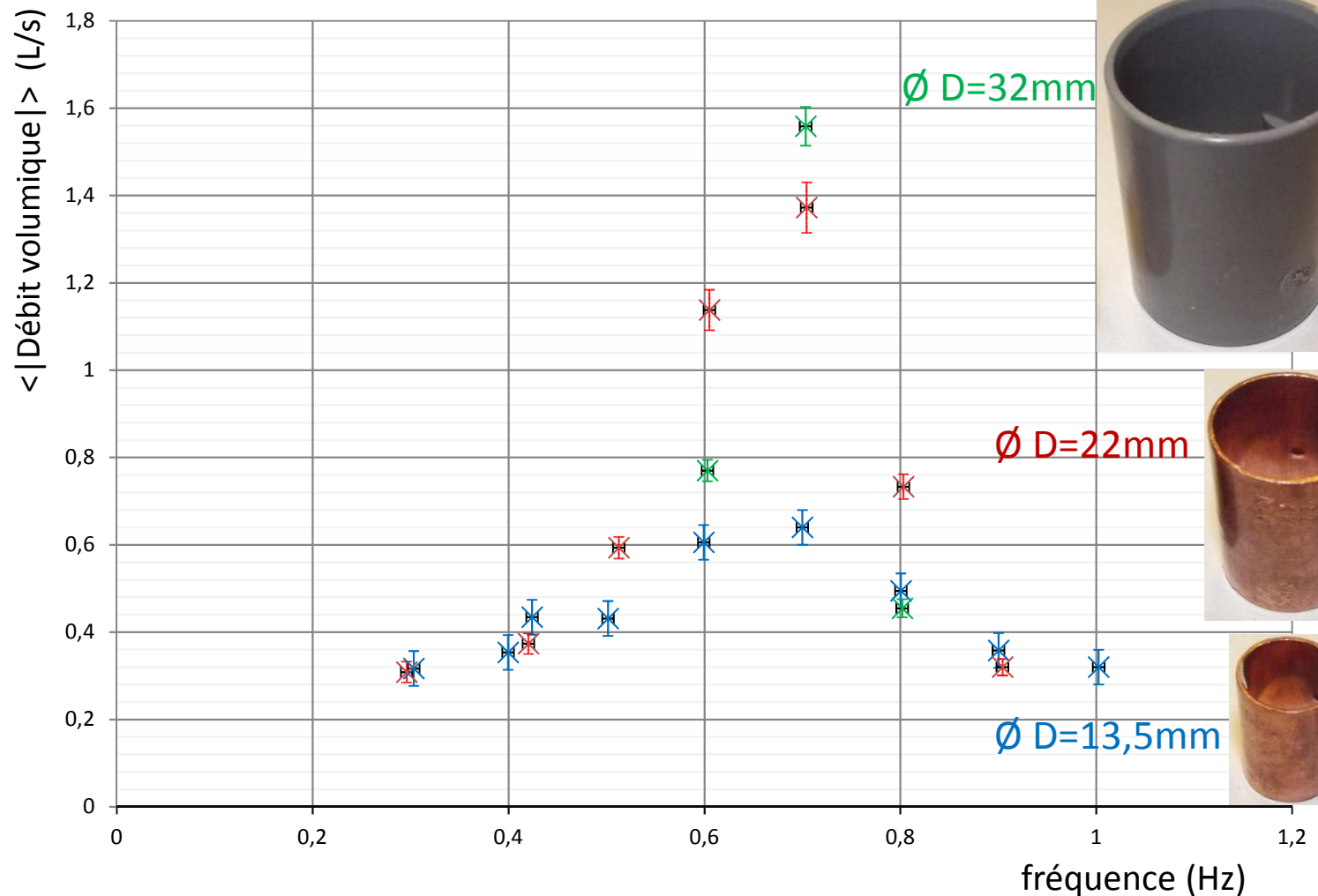
- Mise en équation du problème
- Résolution
- Commentaire

Conclusion

Annexes

Résultats :

<|Débit volumique|> en fonction de la fréquence du fondamental pour plusieurs sections



Mise en équation du problème

Présentation du système

- Introduction
- Schéma
- Maquette

Oscillation de la colonne d'eau

- Expérience
- Résultats

Création d'un débit d'air

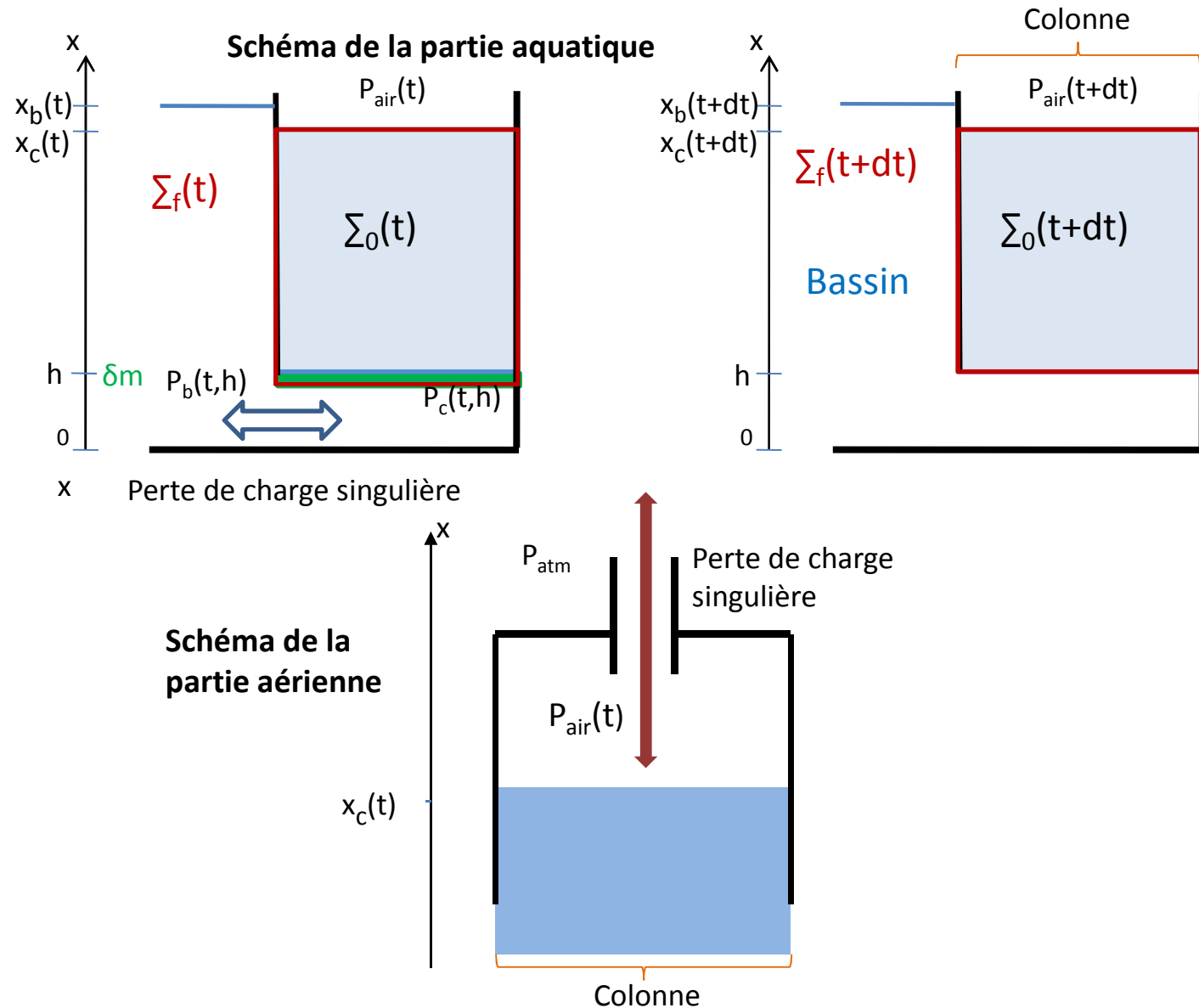
- Expérience
- Résultats

Approche théorique

- Mise en équation du problème
- Résolution
- Commentaire

Conclusion

Annexes



Présentation du système

- Introduction
- Schéma
- Maquette

Oscillation de la colonne d'eau

- Expérience
- Résultats

Création d'un débit d'air

- Expérience
- Résultats

Approche théorique

- Mise en équation du problème
- Résolution
- Commentaire

Conclusion

Annexes

Approche théorique

Mise en équation du problème

Hypothèses:

- Problème unidimensionnel : ne dépend que de la hauteur et du temps
- Écoulement turbulent : Dans l'eau pour $Re=4 \cdot 10^3 > 2 \cdot 10^3$; dans l'air : $Re=2 \cdot 10^3$
- ARQS
- Perte de charge singulière : notée ζ_{eau} pour l'ouverture de la colonne, ζ_{air} pour le rétrécissement du tuyau
- L'eau et l'air sont supposés incompressibles \rightarrow Débit volumique constant
- Le volume d'eau du bassin ne dépend pas de celui de la colonne

Forces appliquées suivant la direction x :

- Forces de pression
- Poids

Approche théorique

Résolution informatique

Présentation du système

- Introduction
- Schéma
- Maquette

Oscillation de la colonne d'eau

- Expérience
- Résultats

A partir d'un bilan de quantité de mouvement puis à l'application du principe fondamentale de la dynamique:

$$(x_c - h)(\ddot{x}_c + g) + \frac{1}{2} \left(\left(\frac{S_c}{S_{ouv}} \right)^2 \zeta_{eau} + \left(\frac{\mu_{air}}{\mu_{eau}} \right) \left(\frac{S_c}{S_{tuyau}} \right)^2 \zeta_{air} \right) \dot{x}_c \dot{x}_c + \frac{1}{2} \left(1 + \frac{\mu_{air}}{\mu_{eau}} \right) \dot{x}_c^2 + \frac{\mu_{air}}{\mu_{eau}} g l_{colonne} = g(x_b - h)$$

Avec:

Création d'un débit d'air

- Expérience
- Résultats

- $\mu_{eau} = 10^3 \text{ kgm}^{-3}$ et $\mu_{air} = 1,2 \text{ kgm}^{-3}$
- $x_b(t) = X_0 + X_{mb} \cos(2\pi f t) \rightarrow X_0 = 41 \text{ cm}$ et $X_{mb} = 1 \text{ cm}$
- $S_{ouv} = 25 \cdot h$ (pour $h = 10 \text{ cm} \rightarrow S_{ouv} = 250 \text{ cm}^2$)
- $S_c = 288 \text{ cm}^2$
- $S_{tuyau}(D=1,35 \text{ cm}) = 1,4 \text{ cm}^2$; $S_{tuyau}(D=2,2 \text{ cm}) = 3,8 \text{ cm}^2$; $S_{tuyau}(D=3,2 \text{ cm}) = 8,0 \text{ cm}^2$

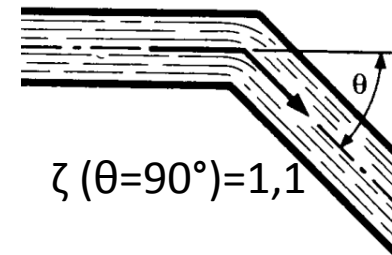
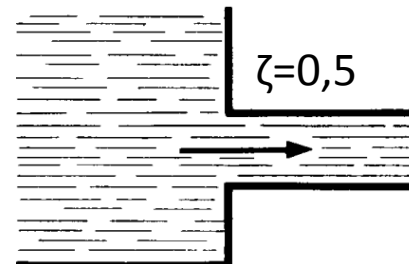
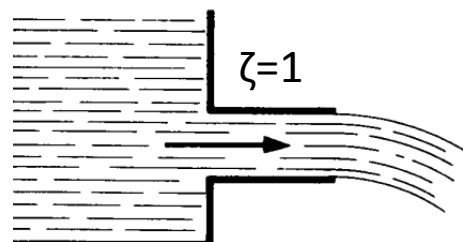
Approche théorique

- Mise en équation du problème
- Résolution
- Commentaire

On prendra ainsi pour les simulation numérique $\zeta_{eau} = 1$ et $\zeta_{air} = 1$

Conclusion

Annexes



Présentation du système

- Introduction
- Schéma
- Maquette

Oscillation de la colonne d'eau

- Expérience
- Résultats

Création d'un débit d'air

- Expérience
- Résultats

Approche théorique

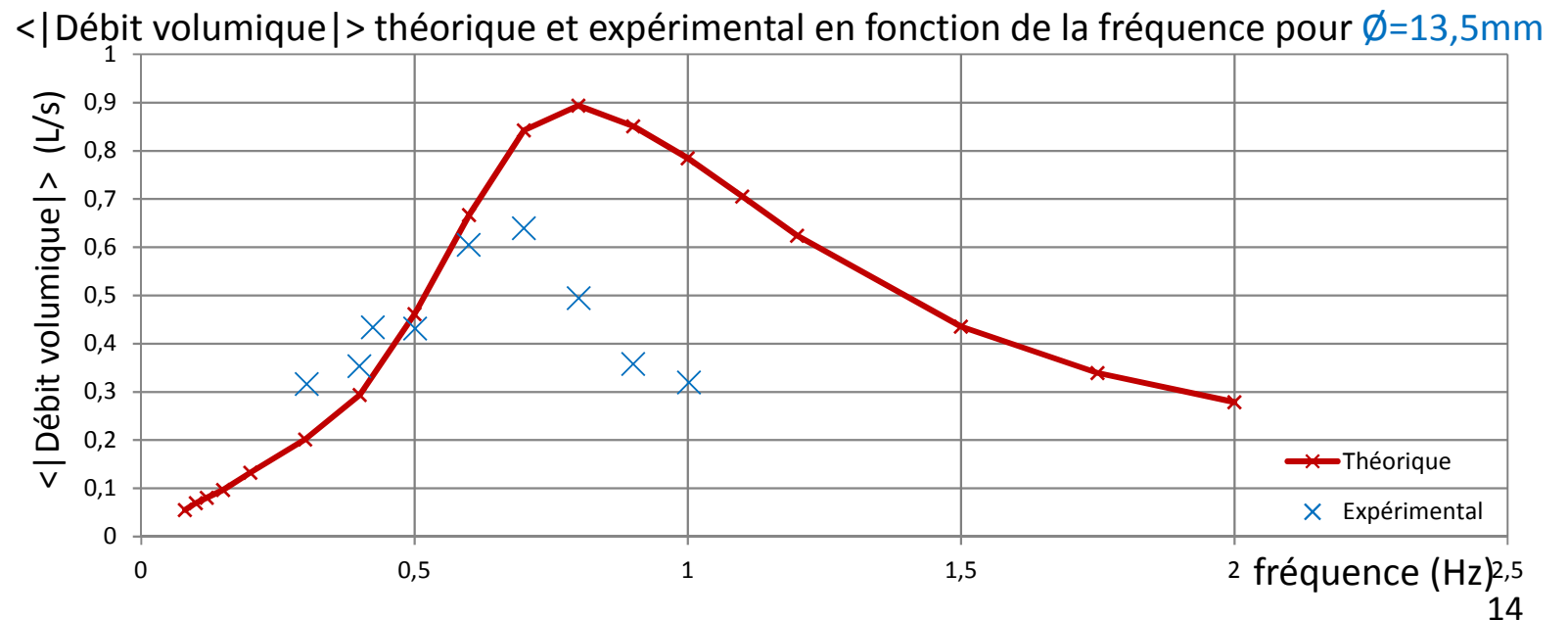
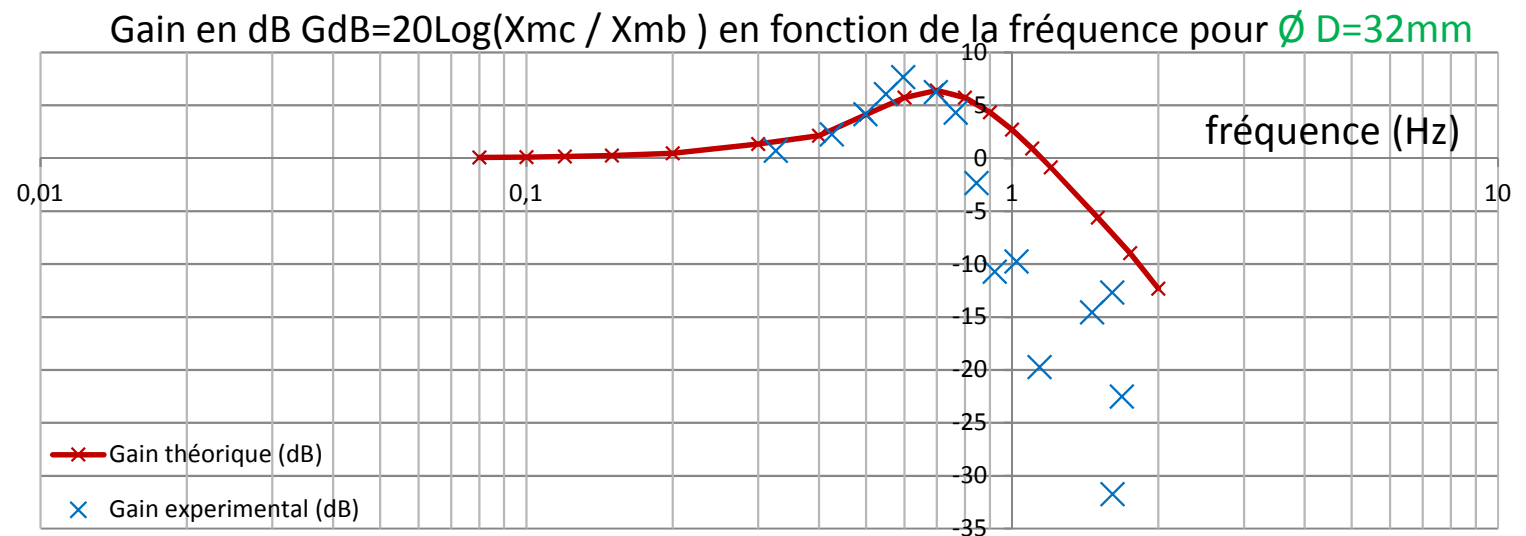
- Mise en équation du problème
- Résolution
- Commentaire

Conclusion

Annexes

Approche théorique

Résultats et commentaire



Présentation du système

- Introduction
- Schéma
- Maquette

Oscillation de la colonne d'eau

- Expérience
- Résultats

Création d'un débit d'air

- Expérience
- Résultats

Approche théorique

- Mise en équation du problème
- Résolution informatique
- Commentaire

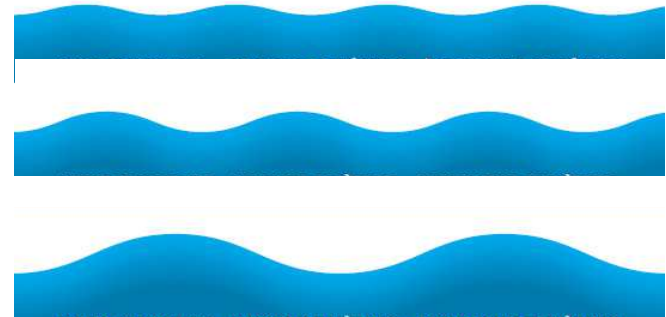
Conclusion

Annexes

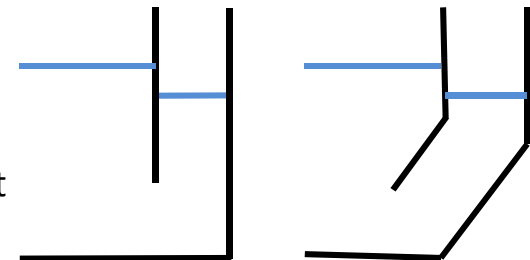
Conclusion

Différents paramètres modifiant le fonctionnement du système :

- Du au milieu :
 - Fréquence
 - Amplitude



- Du à la géométrie du système :
 - Forme et dimension de l'ouverture
 - Forme et dimension du rétrécissement



Annexes

Présentation du système

Algorithme de décomposition en série de Fourier

Oscillation de la colonne d'eau

Création d'un débit d'air

Approche théorique

Conclusion

Annexes

- Algorithme de décomposition en série de Fourier
- Inventaire des forces et bilans
- Algorithme de simulation du niveau d'eau

```
#ouverture du fichier du niveau d'eau dans le bassin pour une excitation de f=0,5Hz
fichier = open("F:\\\\TIPE EXP\\entr0,5.txt", "r")
#ouverture du fichier du niveau d'eau dans la colonne pour une excitation de f=0,5Hz
fichiers= open("F:\\\\TIPE EXP\\entrfs0,5.txt", "r")

variable = fichier.readline().rstrip('\n\r').split(";")
variables = fichiers.readline().rstrip('\n\r').split(";")

x,y = [],[]
for ligne in fichier:
    ligne = ligne.replace(',','.') # Adaptation à la lecture par python
    donnees = ligne.rstrip('\n\r').split(";")
    y.append(float(donnees[0]))
fichier.close()
for ligne in fichiers:
    ligne = ligne.replace(',','.') # De même
    donnees = ligne.rstrip('\n\r').split(";")
    x.append(float(donnees[0]))
fichiers.close()

y=np.array(y)
x=np.array(x)

fe = 30 # fréquence d'échantillonnage en Hz
T = int(len(y)*0.033) # durée en seconde
N = len(y)+1 # Nombre de point :
sinus2 = np.array(y)
sinus2s = np.array(x)

fourier = fftpack.fft(y) #Base du developpement en série de Fourier
fouriers = fftpack.fft(x)

axe_f = np.arange(0.,N-1)*fe/N # axe fréquentiel

plt.figure()
plt.plot(axe_f[0:len(axe_f)//2],np.abs(fourier)[0:len(axe_f)//2],'x-')
plt.plot(axe_f[0:len(axe_f)//2],np.abs(fouriers)[0:len(axe_f)//2],'x-')
plt.xlabel('axe frequentiels en Hertz')
plt.show()
```

Annexes

Inventaire des forces et bilans

Présentation du système

Oscillation de la colonne d'eau

Création d'un débit d'air

Approche théorique

Conclusion

Annexes

- Algorithme de décomposition en série de Fourier
- Inventaire des forces et bilans
- Algorithme de simulation du niveau d'eau

Forces de pression appliquées au système dans la direction x :

- $F_{\text{pair}} = -P_{\text{air}}(t)S_c$
- $F_{\text{peau}} = P_c(t,h)S_c$

Détermination pression :

- Relation de Bernoulli étendue :
 - $\Delta P_{\text{tot}} = P_{\text{tot b}}(t,h) - P_{\text{tot c}}(t,h) = \frac{1}{2} \zeta_{\text{eau}} V_{\text{ouv}} |V_{\text{ouv}}|$ avec $V_{\text{ouv}} = \frac{S_c}{S_{\text{ouv}}} \dot{x}_c$
 - $\Delta P_{\text{tot}} = P_{\text{tot air}}(t) - P_{\text{tot atm}} = \frac{1}{2} \zeta_{\text{air}} V_{\text{tuyau}} |V_{\text{tuyau}}|$ avec $V_{\text{tuyau}} = \frac{S_c}{S_{\text{tuyau}}} \dot{x}_c$
- Pressions totales :
 - $P_{\text{tot b}}(t,h) = P_b(t,h) + \mu_{\text{eau}} g x_b(t)$
 - $P_{\text{tot c}}(t,h) = P_c(t,h) + \frac{1}{2} \mu_{\text{eau}} \dot{x}_c^2 + \mu_{\text{eau}} g x_c(t)$
 - $P_{\text{tot air}}(t) = P_{\text{air}}(t) + \frac{1}{2} \mu_{\text{air}} \dot{x}_c^2 + \mu_{\text{eau}} g L$
 - $P_{\text{tot atm}}(t) = P_{\text{atm}} + \frac{1}{2} \mu_{\text{air}} \dot{x}_c^2 + \mu_{\text{eau}} g (L + l_{\text{col}})$

Bilan de quantité de mouvement suivant la direction x :

$$\begin{aligned} (\text{à } t) \quad & P_{\Sigma f}(t) = P_{\Sigma 0}(t) + \delta m \dot{x}_c \\ (\text{à } t+dt) \quad & P_{\Sigma f}(t+dt) = P_{\Sigma 0}(t+dt) \end{aligned}$$

Annexes

Présentation du système

Algorithme de simulation du niveau d'eau

Oscillation de la colonne d'eau

```
g=9.81
h=0.1
X0=0.4
XM=0.005
Mueau=1000
Muair=1.2
```

Création d'un débit d'air

```
Sc=0.115*0.25
D=0.0135 #0.032 0.022 0.0135
Stuyau=(D**2)*np.pi/4
Souv=h*0.215
lcol=0.1
```

Approche théorique

```
Zeau=1
Zair=1
f=0.7
```

Conclusion

```
w=2*f*np.pi
LT=np.linspace(0,50,10**6)
```

Annexes

- Algorithme de décomposition en série de Fourier
- Inventaire des forces et bilans
- Algorithme de simulation du niveau d'eau

```
def Fla(Y,t):
    pourabs=(Sc/Souv)**2*Zeau+(Muair/Mueau)*(Sc/Stuyau)**2*Zair
    pourcar=1+(Muair/Mueau)
    return [Y[1],
            (g*(X0+XM*np.cos(w*t)-h)-0.5*pourabs*Y[1]*abs(Y[1])-0.5*pourcar*(Y[1]*Y[1]))-(Muair/Mueau)*g*lcol/(Y[0]-h)-g]

Xb=(X0+XM*np.cos(w*LT))
U=spl.odeint(Fla,[0.4,0.1],LT)
plt.plot(LT[3*10**5:],U[:,0][3*10**5:],)
U=1000*Sc*U
plt.plot(LT[3*10**5:],U[:,1][3*10**5:],)
plt.plot(LT[3*10**5:],Xb[3*10**5:], 'r')
plt.show()

V=np.abs(U[:,1][6*10**5:])
p=0
for i in V:
    p+=i
print (p/len(V))
```