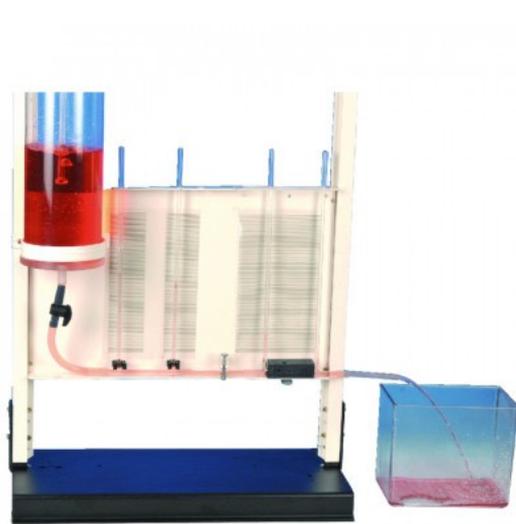


## TP F : Différentes pertes de charge

Ce TP comporte deux parties :

- La première consiste à mesurer des pertes de charges hydrauliques sur une courte installation et tenter de confirmer la relation entre débit et perte de charge linéique dans le modèle de l'écoulement laminaire de Poiseuille. (résistance hydraulique de Poiseuille)
- La seconde utilise des modèles semi-empiriques de pertes de charge régulières et singulières lors d'écoulements turbulents dans deux cas pratiques de circuits hydrauliques :
  - dans un premier cas : Estimer une puissance mécanique max récupérable à la turbine d'un barrage
  - dans un second cas : Déterminer le point de fonctionnement d'une pompe de relèvement sur une branche (ou tronçon) hydraulique.

### 1. Mesures de pertes de charge dans un tube horizontal lors de la vidange d'un réservoir d'eau.



Le dispositif est constitué d'un **vase de Mariotte** (de contenance max de 2 litres), d'un **tube de verre d'écoulement horizontal** (en deux parties car il présente un tronçon amovible intermédiaire en tube souple), de quatre tubes verticaux permettant des prises de pression mesurables grâce aux graduations de l'arrière-plan, de deux vannes de régulation (sortie du vase et sortie après le tube) et d'un bac de récupération.

a. Expliquer comment la fermeture hermétique de la partie supérieure du vase et l'adjonction d'un tube plongeur va permettre d'imposer un débit volumique constant. Quels sont les différents éléments du montage qui seront régulateurs de ce débit ? Que se passe-t-il lorsque le tube plongeur n'est plus immergé ?

b. Dans le modèle d'un écoulement cylindrique de Hagen-Poiseuille dans le tube horizontal, le champ des vitesses horizontales s'écrit :

$$v(r) = \frac{R^2}{4\eta} \cdot \frac{\Delta p}{L} \left( 1 - \frac{r^2}{R^2} \right)$$

En déduire la vitesse débitante (moyenne sur une section de canalisation) et montrer également que le débit volumique  $Q$  (ou  $Dv$ ) est proportionnel à la

variation de pression linéique  $\frac{\Delta p}{L}$  avec pour facteur : la résistance hydraulique linéique  $\frac{8\eta}{\pi R^4}$ .

- c. **Expérimental** : Evaluer le débit et vérifier sa constance. Confirmer (par le calcul du nombre de Reynolds) que l'écoulement est bien laminaire.
- d. **Expérimental** : Estimer la résistance linéique et comparer à la valeur théorique. Pourquoi est-il préférable de travailler avec un débit max de cette installation ? Quel débit ne faudrait-il pas dépasser ?

### 2. Evaluation des pertes de charges sur une installation

On utilisera le **logiciel « Mecaflex standard »<sup>TM</sup> (raccourci sur le bureau)** pour évaluer le coût énergétique et économique de plusieurs installations hydrauliques.

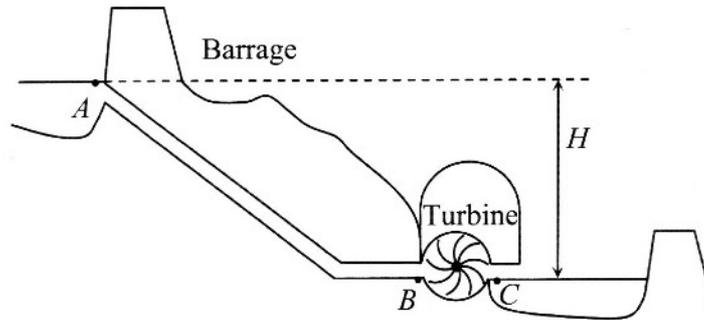
*Le logiciel démarre sur l'onglet « Trainée et portance de profils » et c'est bien le seul que nous n'utiliserons pas dans cette séance !*

Nous allons créer des réseaux ou des tronçons et donc **démarrer sur l'onglet « Pertes de charge régulières »**. Tant que vous ne décochez pas « Afficher la procédure.. », une fenêtre « Procédure de calcul... » apparaîtra pour vous guider dans la chronologie d'assignations des valeurs numériques.

**- Exemple 1 : Puissance mécanique récupérable à la turbine d'un barrage)**

L'énoncé de la situation concrète correspond à cet exercice du TD MF2 :

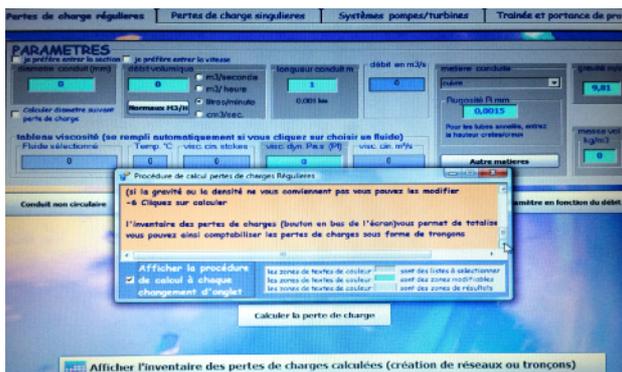
Lors de la phase de vidange du barrage de Grand' Maison, l'eau s'écoule dans une conduite forcée reliant le lac de retenue en amont de Grand' Maison à la retenue du Verney en aval. La conduite a une longueur de 1450 mètres. Elle se termine par un coude la ramenant à l'horizontal pour alimenter une turbine Pelton qui assure la conversion d'une partie de l'énergie potentielle de l'eau en énergie cinétique de rotation sur l'arbre de la turbine. La conduite a un diamètre constant de 3 mètres et se caractérise par une perte de charge  $\Delta h$  exprimée en hauteur d'eau. La vitesse dans la conduite est  $v = 3,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .



La viscosité dynamique de l'eau dans la conduite est prise égale à  $\eta = 1,8 \cdot 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ , sa masse volumique est  $\rho = 1,0 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ . La hauteur de chute est prise égale à  $H = 922$  mètres.

1. En utilisant le diagramme de Moody présenté dans la méthode 6, estimer les pertes de charge régulière par unité de longueur de conduite sachant que sa rugosité absolue  $\varepsilon$  est de l'ordre de 1 mm. En déduire la perte de charge totale de la conduite  $\Delta h$  exprimée en hauteur d'eau. Commenter.
2. Exprimer la perte de charge en hauteur d'eau  $\Delta h_{\text{coude}}$  provoquée par le passage du coude terminal avant l'entrée dans la turbine Pelton. Le coefficient de perte de charge singulière sera pris égal à  $K \approx 1,5$ . Commenter.
3. En un point A à la surface de la retenue amont, la vitesse est supposée nulle. Exprimer la pression en hauteur d'eau équivalente  $\frac{P_B}{\rho g}$  au point B en entrée de la turbine. Application numérique.
4. On suppose, pour simplifier, qu'en sortie de la Pelton au point C, la pression est égale à la pression atmosphérique et la vitesse est négligeable. En considérant que la turbine Pelton a un rendement de 75 %, quelle est la puissance disponible sur l'arbre de la turbine ?

**La résolution de cet exercice ne nécessite pas a priori l'utilisation d'un logiciel mais seulement des compétences de lecture d'un diagramme de Moody !** Le logiciel utilise des bibliothèques de viscosités de fluides, rugosités de matériaux et des formules empiriques de type Colebrook pour les pertes régulières et d'autres pour les pertes singulières. Nous confirmerons la cohérence de son estimation de puissance avec nos calculs.



Entrez le diamètre, la longueur et la vitesse de l'eau dans la conduite. Confirmez le débit volumique affiché.

Choisissez un fluide. L'eau à 20°C n'a pas la viscosité dynamique proposée dans l'exercice : proposez soit un fluide que vous paramétrez vous-même, soit de l'eau à 0°C (!!) (situation la pire !) qui correspondrait presque à la valeur de l'énoncé.

Fixez la rugosité absolue à 1 mm et lancez le calcul de perte de charge.

Notez le nombre de Reynolds proposé et confirmez-le par vous même.

Relevez la perte de charge en pression (Pa ou bars), en mcf ( mètres de colonne de fluide) ainsi que le coefficient de perte de charge. Utilisez alors votre diagramme de Moody pour évaluer également ce coefficient de perte de charge.

Afficher l'inventaire actuel des pertes de charge.

Cliquez alors sur l'onglet « Pertes de charge singulières » pour tenir compte des pertes de charge dans le coude terminal précédant l'entrée dans la turbine.

Choisissez « coude à angle vif » et proposez un angle (en degrés) responsable d'un tel coefficient ( $K=1,5$  de l'énoncé).

Notez les pertes de charge (en Pa, en bars et en mcf)

Ouvrez l'inventaire des pertes de charges pour supprimer éventuellement les tests que vous venez de faire sur plusieurs angles et ne garder que le « bon ».

**Enregistrez l'inventaire sous un nom explicite.** Affichez l'analyse graphique du réseau et **relevez par exemple la perte de charge pour le débit donné, la part des pertes singulières et régulières ainsi que la puissance consommée (en MW) par les pertes de charges.**

Passez sur l'onglet « Système pompes/turbines » (Option turbine cochée)

Introduisez la perte de charge de votre réseau, la hauteur de charge, le rendement de la turbine.

**Editer la fiche de résultats et l'imprimer.**

## - Exemple 2 : Point de fonctionnement d'une pompe immergée insérée dans un réseau hydraulique

La **figure 2** présente le profil de la conduite hydraulique reliant la pompe immergée du puits L4 à la cuve 1R de la cuverie, destinée à recevoir l'eau de ce puits.

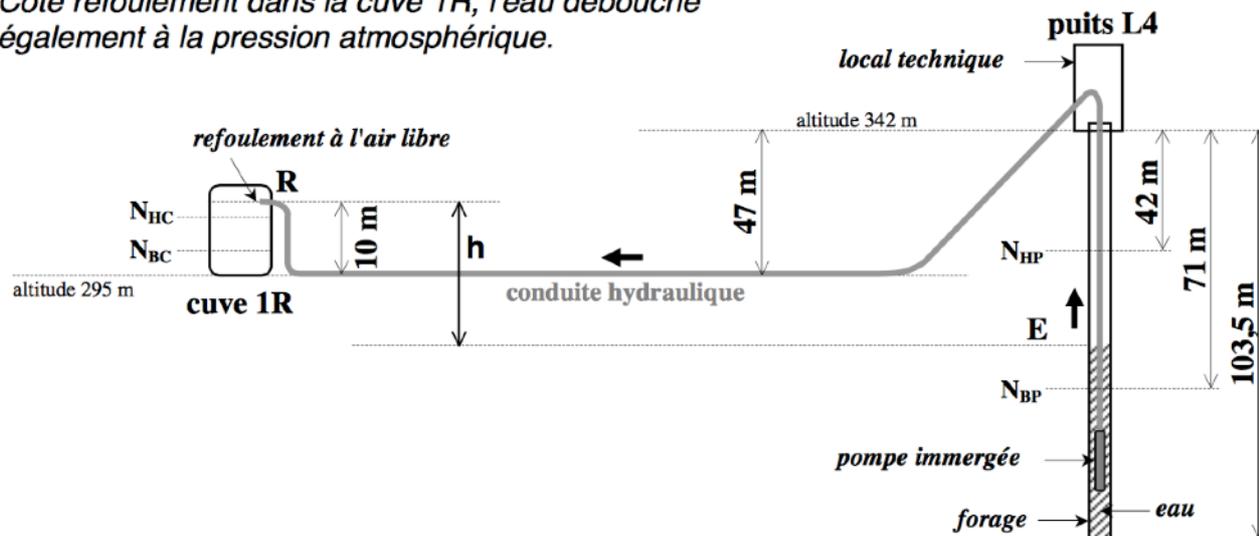
Il s'agit d'une conduite en PVC de diamètre intérieur  $D = 50 \text{ mm}$  et de longueur totale  $L = 920 \text{ m}$ .

La valeur moyenne du débit  $Q$  de la pompe, fixée par les besoins en eau de l'usine, est de  $7 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ . Pour s'adapter aux variations de niveau du puits L4, il peut varier entre  $Q_{\min} = 4 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  et  $Q_{\max} = 10 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ .

Vu la grande longueur et la forme de la conduite, on négligera les pertes de charge singulières devant les pertes de charge régulières.

Une prise d'air en haut du forage permet de maintenir la pression de la surface de l'eau dans le puits à la pression atmosphérique.

Côté refoulement dans la cuve 1R, l'eau débouche également à la pression atmosphérique.



**figure 2 : profil de l'installation hydraulique**

Au cours d'une l'année, le niveau d'eau dans le puits peut varier entre une valeur minimale  $N_{BP}$  et maximale  $N_{HP}$ .

En prenant une rugosité de 0.007 mm pour le PVC, donnez les pertes de charge en mcf et en pascals pour chaque débit (le max et le min) et une température d'eau de 10°C.

Quels sont les dénivelés  $h_{\text{mini}}$  et  $h_{\text{maxi}}$  à vaincre ?

La hauteur manométrique totale est la somme de ce dénivelé et de la perte de charge en mcf.

Placez-vous dans les deux situations extrêmes pour chercher dans chaque cas le point de fonctionnement de la pompe immergée que vous utiliserez.

**Pour la pompe vous partez dans l'onglet d'analyse graphique de votre réseau, vous cochez « rechercher point de fonctionnement pompes, ... »**

Le réseau est fermé car le liquide en circulation n'entre pas en contact avec l'air.  
 Le réseau est ouvert car le liquide en circulation entre en contact avec l'air.

Entrer hauteur à graver en metres: 34  
 Section de l'organe de sortie (m2) (calcul de la vitesse de sortie et de la pression dynamique du fluide): 0,00196

Sélection du matériel fournissant la pression et le débit  
 Créer une pompe/ventilateur en entrant ces données

Entrez 6 valeurs de débits volumique  $Q_v$  (m3/h) de la courbe  
 Débit mini: 2, 4, 6, 8, 10, 12  
 Débit maxi: 2, 4, 6, 8, 10, 12  
 Unités: M3/heure, Litres/seconde

Entrez les 6 valeurs de Hauteur manométrique  $H_{\text{m}}$  (m) respectivement: 50, 45, 40, 30, 15, 5  
 Unités: Metres colonne eau, Pascals

Vous créez une caractéristique de pompe :  
**« Pompes immergées multicellulaires »**

Vous entrez vous-même une caractéristique avec les 6 couples de valeurs suivantes :

**débit  $Q_v$  en m3/h : 2,4,6,8,10**

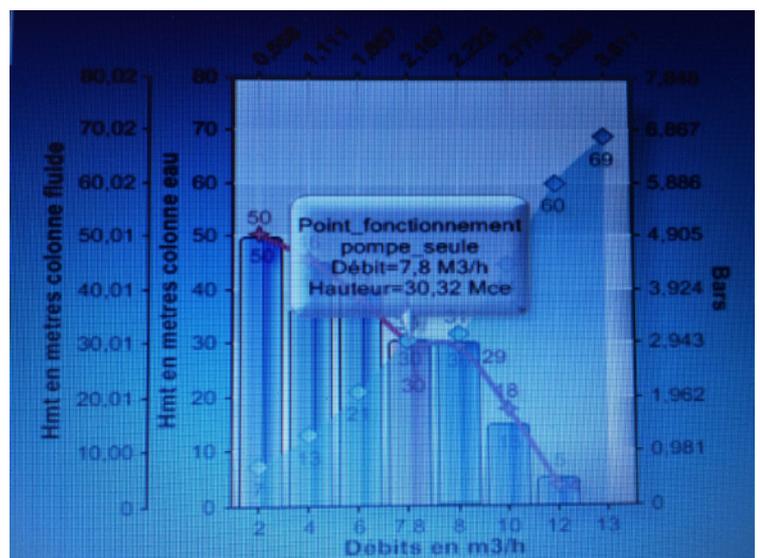
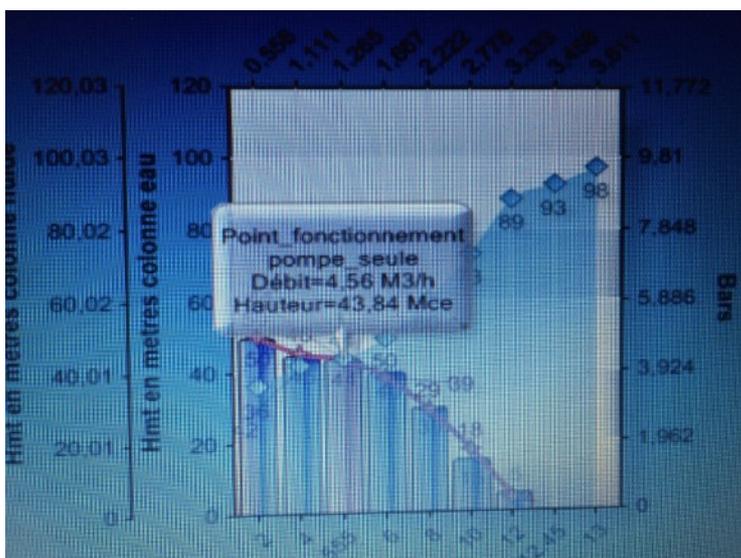
**Hauteur manométrique :**

**50,45,40,30,15,5**

**et ajoutez-la à votre base de données.**

Il suffit ensuite d'indiquer la hauteur à graver (essayez  $h_{\text{max}}$  puis  $h_{\text{min}}$ ) et la section de l'organe de sortie.

**On clique alors « Analyse et points de fonctionnements » et le logiciel nous fournit le point de fonctionnement pour une pompe de ce type ou plusieurs pompes couplées :**



Vous pouvez éventuellement terminer l'étude avec une estimation du coût énergétique sous l'onglet « Systèmes pompes et turbines ».