

## TP MF : Mécanique des fluides

Ce TP se fera exclusivement sur ordinateur. Pour autant, il ne s'agira pas de modèles théoriques et/ou de simulations d'écoulements. Les documents illustratifs seront le plus souvent des films d'écoulements réels et les modèles semi-empiriques de pertes de charge régulières et singulières dans les circuits hydrauliques ou aérauliques auront pour but de dimensionner les installations et d'en calculer le coût énergétique et/ou économique lors du transport dans les conduites.

### 1. « Navigation » dans le dossier « Mécanique des fluides Multimedia 2 » (1 heure 15)

(Université de Stanford+ONERA publié par Cambridge University Press et Elsevier en France)

Vous trouverez l'exécutable MFM2.exe dans le dossier **Program files(x86)/Mecaflux/MFM2/windows**

La fenêtre ci-dessous apparait au démarrage proposant les rubriques du contenu :



Vous naviguerez dans l'ordre dans les sections **Kinematics** (**Cinématique**), **Dynamics** (**Dynamique**) puis **Boundary Layer** (**Couche limite**) en vous intéressant en priorité aux onglets/items suivants et dans l'ordre indiqué.

Vous répondrez spécifiquement aux questions posées dans cet énoncé.

*Rq: Vous pouvez revenir en arrière dans l'historique de votre navigation personnelle (à l'intérieur d'un thème seulement) (icône de flèche retour en haut à gauche)*

### DOSSIER (ONGLET) : CINÉMATIQUE

- **VISUALISATION DES ÉCOULEMENTS** (items 59 à 90)
  - ➔ Rappeler les définitions des 4 types de lignes de fluide (reconnaitre les notations du document)
  - ➔ Quel type d'écoulement cherche-t-on à « simuler » dans les cellules de Hele-Shaw ? Principe ?
- **LIGNES DE COURANT (ET FONCTION COURANT)** (items 119 à 129)
  - ➔ Comment relie-t-on (écoulement 2D de hauteur h) le débit volumique à la fonction courant ?
- **ROTATIONNEL (VORTICITY)** (items 130 à 139)
  - ➔ Relation entre le rotationnel du champ des vitesses et le vecteur rotation instantané local ?
  - ➔ Pourquoi un écoulement rotationnel est aussi nommé écoulement « potentiel » ?
  - ➔ Relation entre le rotationnel et la fonction courant ?
- **ÉCOULEMENT COMPRESSIBLE OU INCOMPRESSIBLE** (items 50 à 58)
  - ➔ Ecrire et interpréter l'équation d'Euler
  - ➔ Ecrire l'équation de continuité d'un fluide (+ cas particulier d'un écoulement incompressible)

### DOSSIER (ONGLET) : DYNAMIQUE

- **ÉQUATION DE NAVIER-STOKES** (items 149 à 167)
  - ➔ Écrire les deux équations gouvernant l'évolution d'un champ eulérien des vitesses (2D)
  - ➔ Quelle force semble manquer ? Pourquoi ?
  - ➔ Quelle(s) équation(s) (conditions supplémentaires) manque-il pour obtenir le champ des vitesses ?

- **NOMBRE DE REYNOLDS** (items 191 à 229)
  - ➔ Définition du Re et séparation des régimes d'écoulement
  - ➔ Quand (dans quels domaines de Re) considère-t-on qu'un écoulement est « dominé » plutôt par la viscosité ou par l'inertie ? Termes prépondérants dans Navier-Stokes ?
- **TRAINEE (ET PORTANCE)** (items 252 à 266)
  - ➔ Définition du coefficient de traînée ( $C_D$  ou  $C_x$ )
  - ➔ Allure des courbes  $C_D(Re)$  pour des obstacles « immergés » (ordre de grandeur des Re limites de zones (linéaire (rampant), laminaire, transition, turbulent, crise de résistance...))
- **VIRTUAL LAB (FACULTATIF)**
  - ➔ Simulation cinématique d'écoulements autour d'obstacle (par superposition d'écoulements : uniforme, puits ou source de masse, doublet (dipôle) puits-source, vortex...)

### **DOSSIER (ONGLET) : COUCHE LIMITE**

- **VISCOSITÉ = DIFFUSION DE QUANTITÉ DE MOUVEMENT** (items 612 à 621)
  - ➔ Epaisseur d'une couche limite laminaire sur plaque
  - ➔ Réaliser les mesures sur vidéo (621)
  - ➔ Traduire les viscosités en Poiseuille (et confirmer les valeurs)
- **INSTABILITÉS, TRANSITION, TURBULENCE** (items 676 à 680 puis 694-695)
  - ➔ Transition de la couche limite
  - ➔ Qu'est-ce qu'un point de séparation ? Rôle du régime dans la couche sur la position de ce point et conséquences ?

### **DOSSIER (ONGLET) : SIMILITUDE (PARAMETRES ADIMENSIONNÉS)**

- **RECHERCHE DE PARAMÈTRES ADIMENSIONNÉS CARACTÉRISTIQUES :** (items 547 à 550)  
**EXPÉRIENCES TUBE EN U AVEC DES NOMBRES DE REYNOLDS DIFFÉRENTS**
- **MESURE DE VISCOSITÉ PAR ÉCOULEMENT DE RÉSERVOIR** (items 555 à 558)

### **DOSSIER (ONGLET) : VOLUMES DE CONTROLE**

- **PIPE FLOW VIRTUAL LAB : ESTIMATION DE PERTES DE CHARGE DANS UN CIRCUIT HYDRAULIQUE POUR DES DÉBITS ENVISAGÉS**

## **2. Evaluation des pertes de charges sur une installation (1 heure)**

On utilisera le logiciel « Mecflux standard »™ (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 : (associé à l'exercice 12 du TD MF2) : Puissance mécanique récupérable à la turbine d'un barrage**

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.

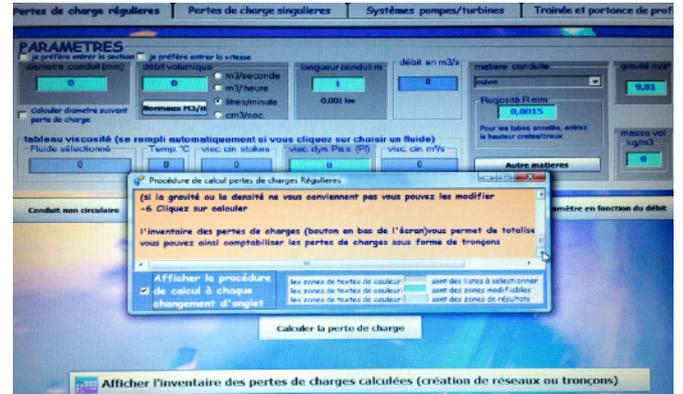
La lecture sur abaque est-elle plus précise que la calcul par la formule de Colebrook utilisée par le logiciel ?

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.** Afficher 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.

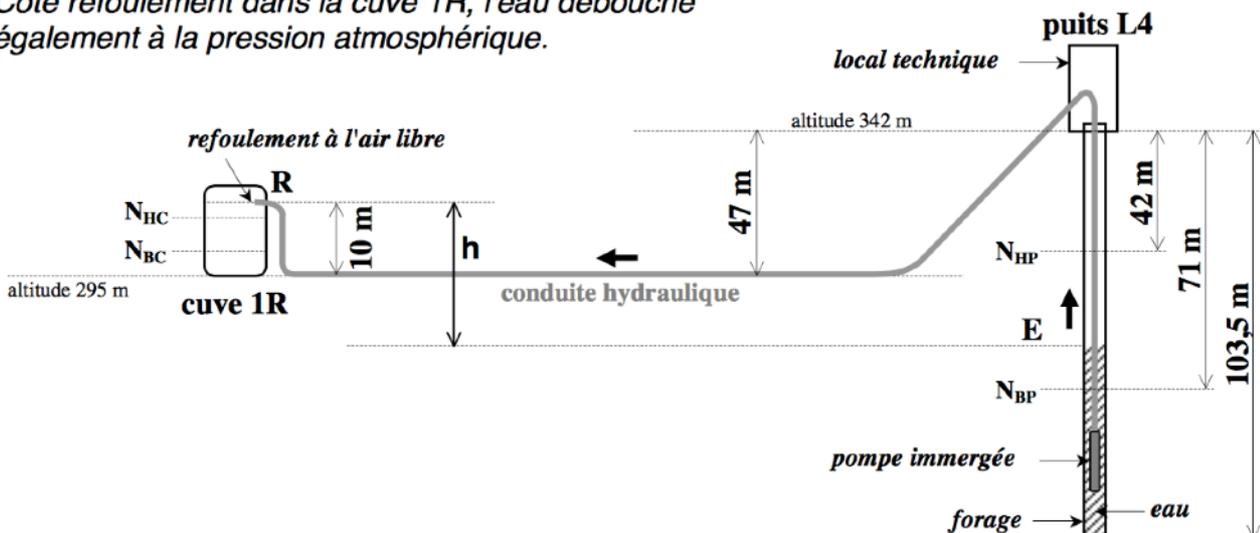
Il s'agit d'une conduite en PVC de diamètre intérieur  $D = 50 \text{ mm}$  et de longueur totale  $L = 920 \text{ m}$ .

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 mini et 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 gravir 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  
 Entrez 6 valeurs de débits volumique Qv (m3/h) de la courbe: 2, 4, 6, 8, 10, 12  
 Entrez les 6 valeurs de Hauteur manométrique Hm (m) respectivement: 50, 45, 40, 30, 15, 5

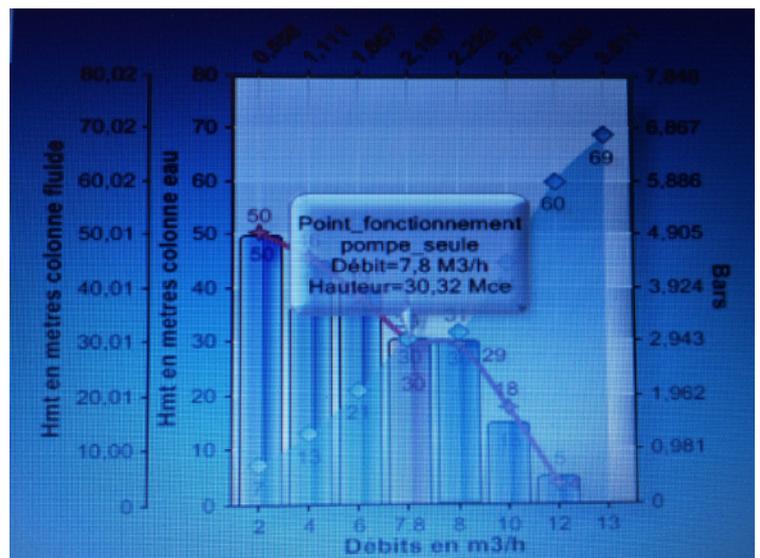
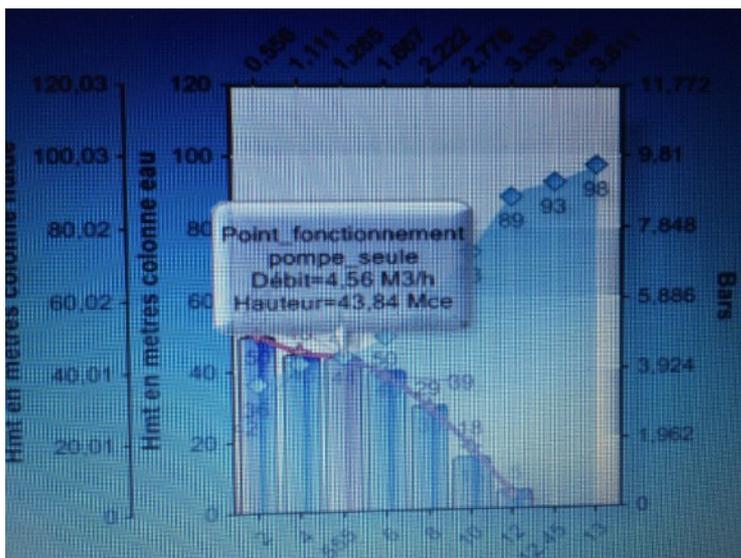
Vous créez une caractéristique de pompe :  
**« Pompes immergées multicellulaires »**

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

**débit  $Q_y$  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 gravir (essayez hmax puis hmin) 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 ».