



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi - B.B.A.
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers

Hydraulique générale

Résumé du cours

Destiné aux étudiants de troisième année licence Sol et Eau

Par : Dr. Nacira CHOURGHAL

SOMMAIRE

I. Introduction

I.1.- Le Système d'Unités SI

I.2.- Les Propriétés des Fluides

I.2.1.- Les Densités

I.2.2.- Les Viscosités

II.- STATIQUE DES FLUIDES : HYDROSTATIQUE

II.1.- Notion de Pression

II.2.- Loi de Pascal

II.3.- Equation Fondamentale de l'Hydrostatique

II.4.- Dispositifs de mesure de la pression

II.5.- Forces de Pression des Fluides sur les Surfaces

III.- DYNAMIQUE DES FLUIDES : ECOULEMENT DANS LES CONDUITES EN CHARGE

III.1.- Les Principes de Base

III.1.1.- Principe de Conservation de Masse ou Equation de Continuité

III.1.2.- Equation Générale d'Écoulement ou Equation de Bernoulli

a.- Cas des Fluides Parfaits (non visqueux)

b.- Cas des Fluides réels (visqueux)

III.1.3.- Les Régimes d'Écoulement : Le Nombre de Reynolds

III.2.- Les Pertes de Charge

III.2.1.- Les Pertes de Charge Linéaires ou

III.2.2.- Les Pertes de Charge Locales ou Singulières

I. Introduction

I.1.- Le Système d'Unités SI

En mécanique des fluides , le système d'unités SI (" Système International ") comporte 3 unités primaires à partir desquelles toutes les autres quantités peuvent être décrites :

Grandeur de Base	Nom de L'Unité	Symbole	Dimension
Longueur	Mètre	m	L
Masse	Kilogramme	kg	M
Temps	Seconde	s	T

I.2.- Les Propriétés des Fluides

I.2.1.- Les Densités

La Densité d'une substance est la quantité de matière contenue dans une unité de volume de cette substance . Elle peut être exprimée de différentes manières :

a.- Densité de masse ou " Masse Volumique " : $\rho = M / V$, Dimensions kg/m^3

b. Densité Relative : Elle représente la masse spécifique d'une substance exprimée par rapport à celle d'une substance de référence : L'eau : $\omega = \rho / \rho_w$, Unité : Adimensionnel (sans unité)=D

I.2.2.- Les Viscosités

La viscosité μ est une propriété d'un fluide due à la cohésion et à l'interaction entre les molécules qui présentent une résistance aux déformations .

Ex : La Viscosité Cinématique :

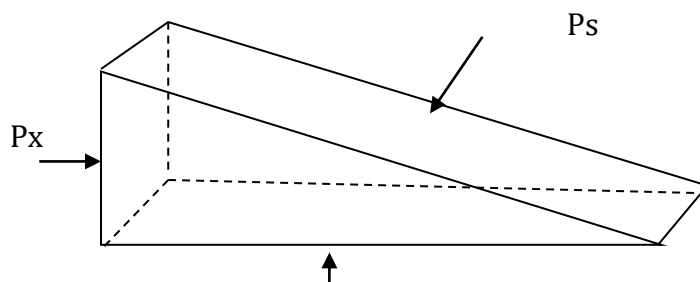
Elle représente le rapport entre la viscosité dynamique et la masse spécifique d'un fluide : $\nu = \eta / \rho$,

Unité : m^2 / s

II.- STATIQUE DES FLUIDES : HYDROSTATIQUE

II.1.- Notion de Pression

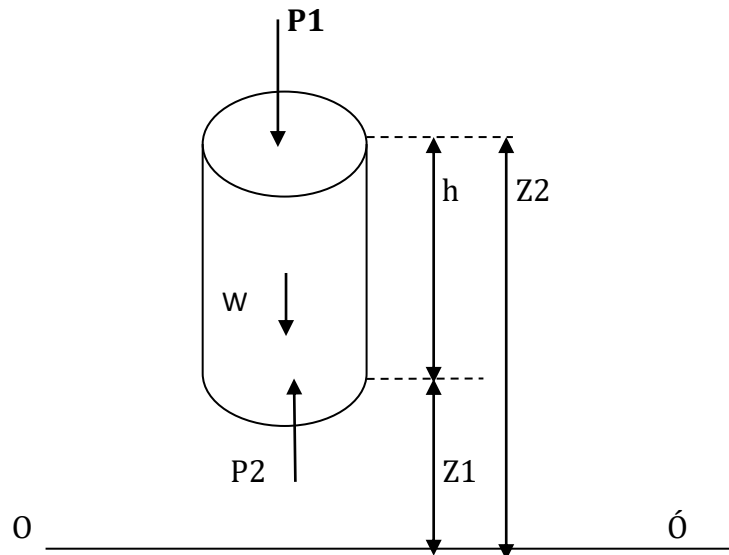
La pression est définie comme la force exercée par un fluide par unité de surface :



Loi de Pascal : " La pression d'un fluide en un point est la même dans toutes les directions "

$$P_x = P_y = P_s$$

II.3.- Equation Fondamentale de l'Hydrostatique



Le fluide étant en équilibre , la somme des forces dans la direction verticale est donc égale à Zéro :

- F1 : P1= Force due à P1
- F2 : P2= Force due à P2
- Force due au poids de la colonne du liquide : $W = mg = gV \rho = gA\rho (Z2 - Z1)$

avec $V =$ Volume de l'élément considéré = $\rho g.A.(Z2-Z1)$

et donc :

$$P2 - P1 = \rho g (Z2 - Z1)$$

Après simplification l'équation dessus peut s'écrire :

$$P = Z + P/\rho g = Cste$$

Egalité des pressions sur un même plan horizontal :

Sur un même plan horizontal, toutes les pressions sont égales (Pressions Isobares) : P1=P2

Au point M , la pression est égale à :

- ✓ $P = \rho gh + P_{atm}$: Pression Absolue
- ✓ $P = \rho gh$: Pression Effective $p = P_M$

II.4.- Dispositifs de mesure de la pression

Le dispositif utilisé dépend de l'importance des pressions à mesurer . Il existe 2 types de dispositifs de mesure des pressions :

- ✓ Les tubes manométriques : utilisés pour la mesure de pressions relativement faibles (... en laboratoires)
- ✓ Les manomètres mécaniques : utilisés pour la mesure de pressions relativement plus élevées (1 à 2 Kg/cm²)

II.5.- Forces de Pression des Fluides sur les Surfaces

II.2.1.- Cas des Forces de Pression exercées par les Fluides sur des Surfaces Planes

- ✓ Expression générale de la Force de Pression : $F = \rho gh c A$
- ✓ Position du point d'application de la Force de Pression : $h_d = hc + I_{O'O} / hc A$

Pour une surface rectangulaire $I_{O'O} = bh^3 / 12$

III.- DYNAMIQUE DES FLUIDES : HYDRODYNAMIQUE

III.1.- Les Principes de Base

III.1.1.- Principe de Conservation de Masse ou Equation de Continuité

Le principe de continuité exprime la conservation de masse , ce qui signifie qu'aucun fluide ne peut être créé ni disparaître dans un volume donné :

$$Q = A_2 V_2 = A_1 V_1 = Cste$$

III.1.2.- Equation Générale d'Écoulement ou Equation de Bernoulli

a.- Cas des Fluides Parfaits (non visqueux)

$$Z_1 + P_1 / \rho g + V_1^2 / 2g = Z_2 + P_2 / \rho g + V_2^2 / 2g = Cste$$

b.- Cas des Fluides réels (visqueux)

Contrairement au fluide parfait non visqueux, la charge H pour un fluide réel visqueux diminue dans la direction de l'écoulement ($dH/dx < 0$). Ceci est dû à la nature visqueuse du fluide qui dissipe une partie de l'énergie: cette perte d'énergie est appelée "Perte de charge"

$$Z_1 + P_1/\rho g + V_1^2/2g = Z_2 + P_2/\rho g + V_2^2/2g + h_{w12}$$

avec : h_{w12} : Perte de charge totale entre les sections 1 et 2

Selon l'origine des pertes de charge, on distingue :

- La perte de charge primaire ou "répartie", noté h_r , qui est la conséquence de la viscosité du fluide et de la rugosité des parois de la section d'écoulement
- La perte de charge secondaire ou "locale" ou "singulière", noté h_s , qui est la conséquence d'une modification brusque dans la nature physique de la section d'écoulement (élargissement, rétrécissement, changement de direction, etc...).
- La perte de charge totale est donc la somme des 2 pertes de charge répartie et singulière : $h_w = h_r + h_s$

III.1.3.- Les Régimes d'Écoulement : Le Nombre de Reynolds

Les écoulements sont classés en 2 régimes principaux : "Laminaire" et "Turbulent" • séparés par une phase transitoire appelée "régime critique"

Pour caractériser ces régimes d'écoulement, on introduit un nombre adimensionnel, appelée "**Nombre de Reynolds**", noté Re et calculé par la formule :

$$Re = VD/\nu$$

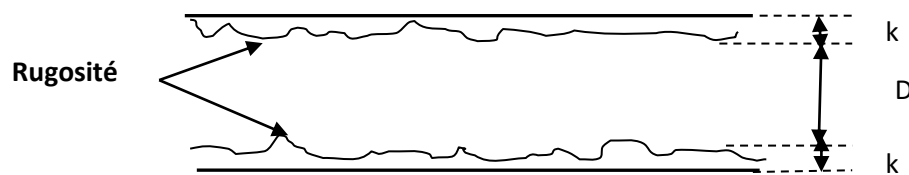
- V = Vitesse moyenne d'écoulement = Q/A
- D = Diamètre de la section d'écoulement (circulaire)
- ν = Viscosité cinématique du fluide = μ/ρ
- ✓ $Re \leq 2000$: Le régime est "LAMINAIRE"
- ✓ $2000 < Re < 4000$: Le régime est "CRITIQUE" ou "TRANSITOIRE"
- ✓ $Re \geq 4000$: Le régime est "TURBULENT"

III.2.- Les Pertes de Charge

III.2.1.- Les Pertes de Charge Linéaires ou Réparties

a.- Notion de Rugosité des Conduites

Contrairement à une surface lisse , une surface rugueuse implique un état de surface dont les irrégularités ont une action directe sur les forces de frottements . Une surface rugueuse peut être considérée comme étant constituée par une série de protubérances élémentaires caractérisées par une hauteur , notée k , et appelée " Rugosité " :



Afin de comparer la rugosité par rapport au diamètre de la conduite , on introduit le rapport : $\epsilon = k / D$:
Rugosité Relative

Calcul de la perte de charge répartie :

$$h_r = \lambda l / D \cdot V^2 / 2g$$

λ étant le coefficient de frottement qui se calcule selon le type du régime d'écoulement comme suit :

- $Re < 2000$: Régime laminaire: $\lambda = 64 / Re$
- $2000 < Re < 4000$: Régime transitoire : $\lambda = 2.7 / (Re)^{0.53}$
- $4000 < Re < 10D/k$: Régime turbulent lisse : $\lambda = x = \frac{1}{(1.82 \log Re - 1.62)^2}$
- $10D/k < Re < 560D/k$: Régime turbulent transitoire : $\lambda = 0.11 (\epsilon + 68 / Re)^{0.25}$
- $Re > 560D/k$: Régime turbulent rugueux : $\lambda = 0.11 (\epsilon)^{0.25}$

III.2.2.- Les Pertes de Charge Locales ou Singulières

a.- Expression Générale d'une Perte de Charge Singulière

En plus de pertes de charge linéaires , la perte de charge singulière se produit localement au niveau d'une modification brusque de la nature physique de la section d'écoulement .

Elle se calcule par la formule :

$$h_s = \xi_s V^2 / 2g$$

ξ_s est le coefficient de perte de charge singulière et se calcule comme suit :

a.- Cas d'un élargissement brusque de la section d'écoulement :

$$\xi_s = (1 - A_1 / A_2)^2$$

Remarque : Cas particulier d'une sortie vers un réservoir : $\xi_s = 1$

b.- Cas d'un rétrécissement brusque de la section d'écoulement :

A1/A2	0,1	0,5	0,7
ξ_s	0,41	0,24	0,14

Remarque : Cas particulier d'une sortie à partir d'un réservoir : $\xi_s = 0.5$

c.- Autres pertes de charge singulières : D'autres types de pertes de charge peuvent avoir lieu dans les conduites : Coudes, vannes, crépine , etc...