Chapitre 4

Transfert de Quantité de Mouvement

VI Généralités Sur Le Transfert De Quantité de Mouvement

VI.1 Définition d'un fluide

Un fluide peut être considéré comme étant une substance formé d'un grand nombre de particules matérielles, très petites et libres de se déplacer les unes par rapport aux autres. C'est donc un milieu matériel continu, déformable, sans rigidité et qui peut s'écouler. Les forces de cohésion entres particules élémentaires sont très faibles de sorte que le fluide est un corps sans forme propre qui prend la forme du récipient qui le contient, par exemple: les métaux en fusion sont des fluides qui permettent par moulage d'obtenir des pièces brutes de formes complexes.

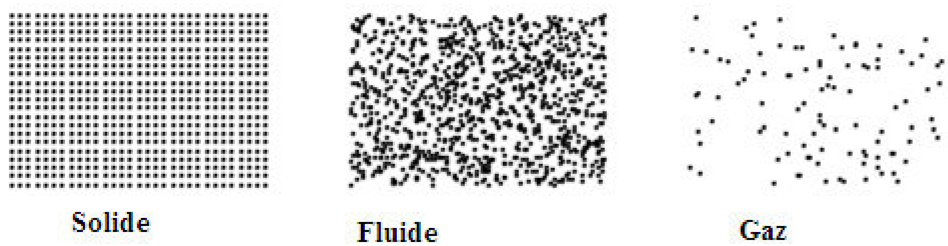
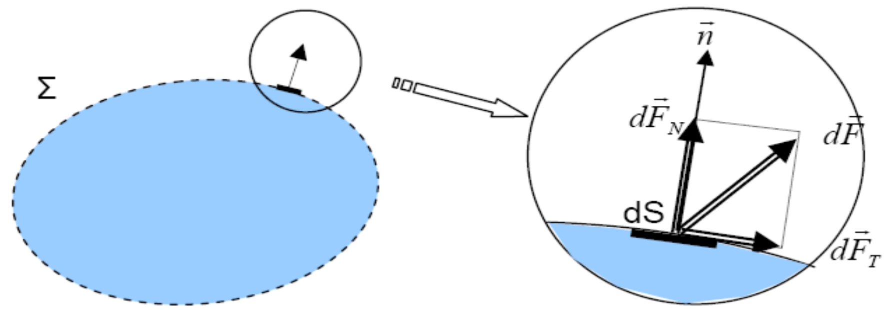


Fig.01: Représentation idéalisée des trois états de la matière :

Les fluides peuvent être classés en deux grande familles : La famille des fluides "newtoniens" (comme l'eau, l'air et la plupart des gaz) et celle des fluides "non newtoniens" (quasiment tout le reste... le sang, les gels, les boues, les pâtes, les suspensions, les émulsions...). Les fluides "newtoniens" ont **une viscosité constante ou qui ne peut varier qu'en fonction de la température**. La deuxième famille est constituée par les fluides "non newtoniens" qui ont la particularité d'avoir leur viscosité **qui varie en fonction de la vitesse** et des contraintes qu'ils subissent lorsque ceux-ci s'écoulent. Ce chapitre est limité uniquement à des fluides newtoniens qui seront classés comme suit.

VI.1.1 Fluide parfait

Soit un système fluide, c'est-à-dire un volume délimité par une surface fermée Σ fictive ou non.



$d\vec{F}$

Fig.02 : Représentation de la force d'interaction au niveau de la surface élémentaire

Considérons $d\vec{F}$ la force d'interaction au niveau de la surface élémentaire dS de normale $d\vec{n}$ *n*r entre le fluide et le milieu extérieur. On peut toujours décomposer $d\vec{F}$ en deux composantes:

- une composante $d\vec{F}_T$ tangentielle à dS.
- une composante $d\vec{F}_N$normale à dS.

En mécanique des fluides, un fluide est dit parfait s'il est possible de décrire son mouvement sans prendre en compte les effets de frottement. C'est à dire quand la composante $d\vec{F}_T$ est nul. Autrement dit, la force $d\vec{F}_T$ est normale à l'élément de surface dS.

VI.1.2 Fluide réel

Contrairement à un fluide parfait, qui n'est qu'un modèle pour simplifier les calculs, pratiquement inexistant dans la nature, dans un fluide réel les forces tangentielles de frottement interne qui s'opposent au glissement relatif des couches fluides sont prise en considération. Ce phénomène de frottement visqueux apparaît lors du mouvement du fluide.

Seulement au repos, qu'on admettra que le fluide réel se comporte comme un fluide parfait, en supposant que les forces de contact sont perpendiculaires aux éléments de surface sur lesquels elles s'exercent.

VI.1.3 Fluide incompressible

Un fluide est dit incompressible lorsque le volume occupé par une masse donné ne varie pas en fonction de la pression extérieure. Les liquides peuvent être considérés comme des fluides incompressibles (eau, huile, etc.)

VI.1.4 Fluide compressible

Un fluide est dit compressible lorsque le volume occupé par une masse donnée varie en fonction de la pression extérieure. Les gaz sont des fluides compressibles par exemple l'air , l' azote …etc.

VI.2. Caractéristiques Physiques

VI.2.1 Masse volumique

$$\boxed{\rho = \frac{\mathbf{m}}{\mathbf{V}}}$$

où :

ρ : Masse volumique en (kg/m3),

m : masse en (kg),

V : volume en (m3).

VI.2.2 Poids volumique

.

$$\boxed{\varpi = \rho \cdot g = \frac{\mathbf{m.g}}{\mathbf{V}}}$$

ϖ : Poids volumique en (N/m3).

m : masse en (kg),

g : accélération de la pesanteur en (m/s2),

V : volume en (m3).

VI.2.3 Densité

$$\boxed{d = \frac{masse\ volumique\ du\ fluide}{masse\ volumique\ d'un fluife\ de\ référence} = \frac{\rho}{\rho_{ref}}}$$

masse volumique d'un fluide de référence

masse volumique du fluide

Dans le cas des liquides en prendra l'eau comme fluide de référence. Dans le cas des gaz on prendra l'air comme fluide de référence.

VI.2.4 Viscosité

C'est une grandeur qui caractérise les frottements internes du fluide, autrement dit sa capacité à s'écouler. Elle caractérise la résistance d'un fluide à son écoulement lorsqu'il est soumis à l'application d'une force. C'est à dire, les fluides de grande viscosité résistent à l'écoulement et les fluides de faible viscosité s'écoulent facilement. Elle peut être mesurée par un viscosimètre à chute de bille, dans lequel en mesure le temps écoulé pour la chute d'une bille dans le fluide. Elle peut également être mesurée par un récipient dont le fond comporte un orifice de taille standardisée. La vitesse à laquelle le fluide s'écoule par cet orifice permet de déterminer la viscosité du fluide.

La viscosité est déterminée par la capacité d'entraînement qui possède une couche en mouvement sur les autres couches adjacentes. Par exemple, si on considère un fluide visqueux placé entre deux plaques P_1 et P_2 tel que la plaque P_1 est fixe et la plaque P_2 est animée d'une vitesse V_2.

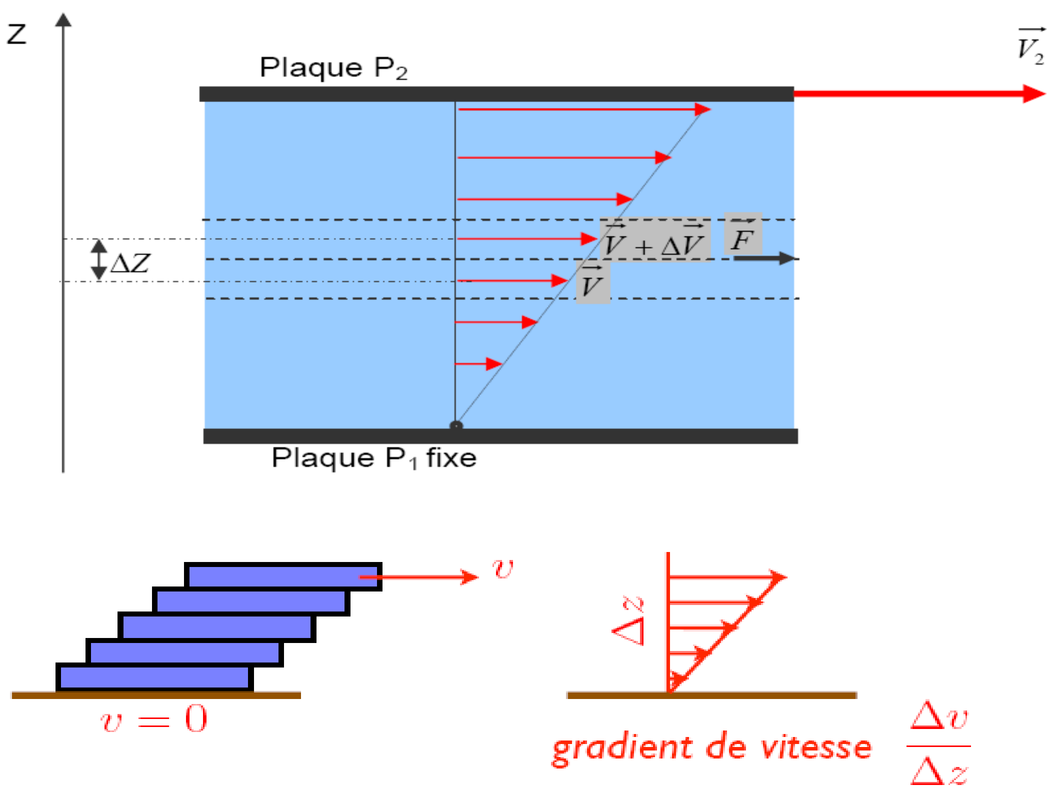


Fig.03 : Variation du profil de vitesses dans le film fluide

En représentant par un vecteur, la vitesse de chaque particule située dans une section droite perpendiculaire à l'écoulement, la courbe lieu des extrémités de ces vecteurs représente le profil de vitesse. Le mouvement du fluide peut être considéré comme résultant du glissement des couches de fluide les unes sur les autres.

On remarque que la force $\vec{F}$ est proportionnelle à la vitesse $\vec{V}$, à l'aire de la plaque A et inversement proportionnelle à la distance ΔZ séparant les deux plaques. Mathématiquement, cette relation s'exprime par l'équation suivante:

$$F = \mu A\left(\frac{\Delta V}{\Delta Z}\right)$$

La constante de proportionnalité μ est dite la viscosité dynamique du fluide**.**

Où :

F : force de glissement entre les couches en (N),

µ : Viscosité dynamique en (kg/m.s),

S : surface de contact entre deux couches en (m^2),

ΔV : Écart de vitesse entre deux couches en (m/s),

ΔZ : Distance entre deux couches en (m).

Remarque : Dans le système international (SI), l'unité de la viscosité dynamique est le Pascal seconde (Pa.s) ou Poiseuille (Pl) : 1 Pa.s = 1 Pl = 1 kg/m.s.

Cependant, dans le système CGS, l'unité $\frac{g}{cm.\sec}$ est connue comme le poise (P). Dans la littérature, il est utile d'exprimer la viscosité rapportée à sa masse volumique.

$$\boxed{\nu = \frac{\mu}{\rho}} \qquad \text{(I.4)}$$

ν est la viscosité cinématique. Dans le système CGS, elle a pour unité $\left(\frac{cm}{\sec^2}\right)$ connue sous la dénomination de Stokes dont la dimension correspond au $\frac{L}{T^2}$. On note que la viscosité du gaz croit avec la température, alors que celle des liquides décroît suivant une loi de la forme :

$$\boxed{\log(\mu) = A + \frac{B}{T}}$$

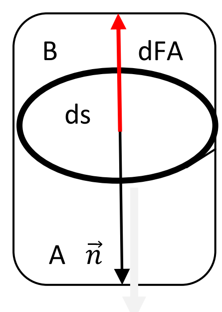
Exemple :

Tableau 5 : Viscosité dynamique **de certains Fluides**

Fluide	**µ (Pa.s)**
eau (0 °C)	$1{,}787 \cdot 10^{-3}$
eau (20 °C)	$1{,}002 \cdot 10^{-3}$
eau (100 °C)	$0{,}2818 \cdot 10^{-3}$
Huile d'olive (20 °C)	$\approx 100 \cdot 10^{-3}$
glycérol (20 °C)	$\approx 1000 \cdot 10^{-3}$
Hydrogène (20 °C)	$0{,}86 \cdot 10^{-5}$
Oxygène (20 °C)	$1{,}95 \cdot 10^{-5}$

IV.3 Statiques des fluides

L'hydrostatique est la science qui étudie l'équilibre des liquides. Elle étudie en particulier la transmission des pressions. En hydrostatique, le fluide étant au repos, les lois établies pour un fluide parfait s'appliqueront à un fluide réel.



Un fluide réel diffère du fluide idéal par sa viscosité .Or celle-ci ne manifeste ses effets que s'il y a un déplacement.

IV.3.1 Notion de pression en un point d'un fluide

Dans un milieu quelconque, entre autre le milieu fluide, la force que le volume élémentaire (A) exerce sur le volume élémentaire (B) à travers un élément de surface $\overrightarrow{(ds)}$ est dFA et soit $\vec{n}$ la normale à (ds) passant par un point M. La pression est une grandeur scalaire. C'est l'intensité de la composante normale de la force qu'exerce le fluide sur l'unité de surface. Elle est définie en un point A d'un fluide par l'expression suivante :

$$\boxed{P_A = \frac{\left\|\overrightarrow{dF_N}\right\|}{dS}}$$

où :

dS : Surface élémentaire de la facette de centre A (en mètre carré),

n : Vecteur unitaire en A de la normale extérieure à la surface,

dF_N : Composante normale de la force élémentaire de pression qui s'exerce sur la surface (en Newton),

P_A : pression en A (en Pascal),

Sur la surface de centre A, d'aire dS, orientée par sa normale extérieure *n* , la force de pression élémentaire *dF* s'exprime par :

$$\boxed{\overrightarrow{dF_N} = -P_A.dS.\vec{n}}$$

Principe fondamental de l'hydrostatique

On considère un liquide immobile à l'intérieur d'un récipient; la pression en tous les points du liquide situés sur un même plan horizontal est identique. Les points A et B étant sur une verticale, le principe s'écrit:

$$\mathbf{P_B - P_A = \rho.g.h}$$

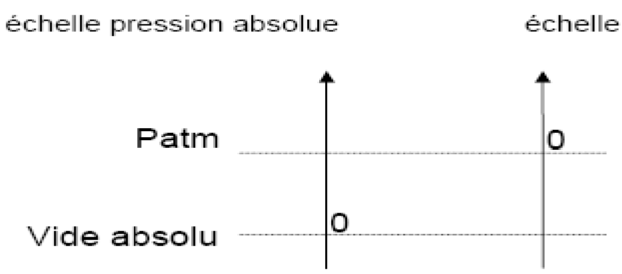
P_B, P_A : pressions en B et A → kg/(m.s^2) ou Pa (pascal) ;

ρ : masse volumique du liquide → kg/m3 ;g : accélération de la pesanteur → m/s^2

h : distance verticale entre A et B → m

La différence de pression (en Pa) entre A et B est numériquement égale au poids d'une colonne de liquide de section unité 1 m2 et de hauteur h en m: on pourra dire que P_B - P_A exprimée en pascals est donc égale à une pression de h m de colonne de liquide de masse volumique ρ (kg/m3). On peut toujours exprimer une pression avec une unité de hauteur après avoir précisé le liquide choisi.

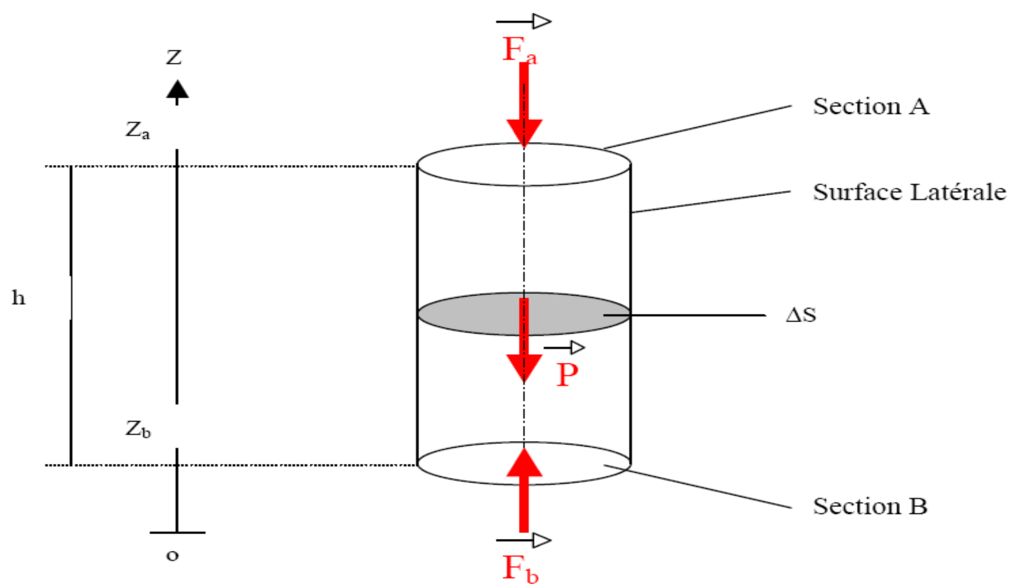
La différence de pression (en Pa) entre A et B est numériquement égale au poids d'une colonne de liquide de section unité 1 m2 et de hauteur h en m: on pourra dire que P_B - P_A exprimée en pascals est donc égale à une pression de h m de colonne de liquide de masse volumique ρ (kg/m3). On peut toujours exprimer une pression avec une unité de hauteur après avoir précisé le liquide choisi.



$$P_{absolue} = P_{relative} + P_{atmosphérique}$$

Démonstration de la formule d'hydrostatique

Etudiant l'équilibre d'une partie de fluide en forme de cylindre vertical de section droite très petite ΔS et d'une hauteur h.



Le cylindre est soumis à l'action de son poids et à l'action des forces de pression du milieu liquide extérieur.

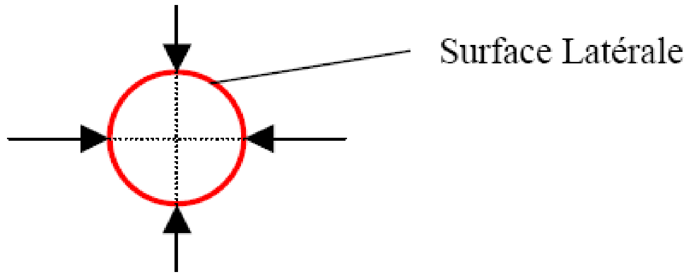
- Poids: $P = m.g$ or $m = \rho.V$ donc $P = \rho.V.g$ (avec $V = h\ .\ \Delta S$)

- Forces de pression:

-Section A : $Fa = Pa\ .\ \Delta S$

-Section B : $Fb = Pb\ .\ \Delta S$

-Surface latérale : $FL = 0$ (les forces de pression ⊥ à l'axe du cylindres s'opposent et s'annulent.



A l'équilibre :

$\vec{P} + \overrightarrow{Fa} + \overrightarrow{Fb} = \vec{0}$

On projette l'équation sur l'axe OZ :

-P - Fa + Fb = 0

$-\rho.V.g - Pa . \Delta S + Pb . \Delta S = 0$

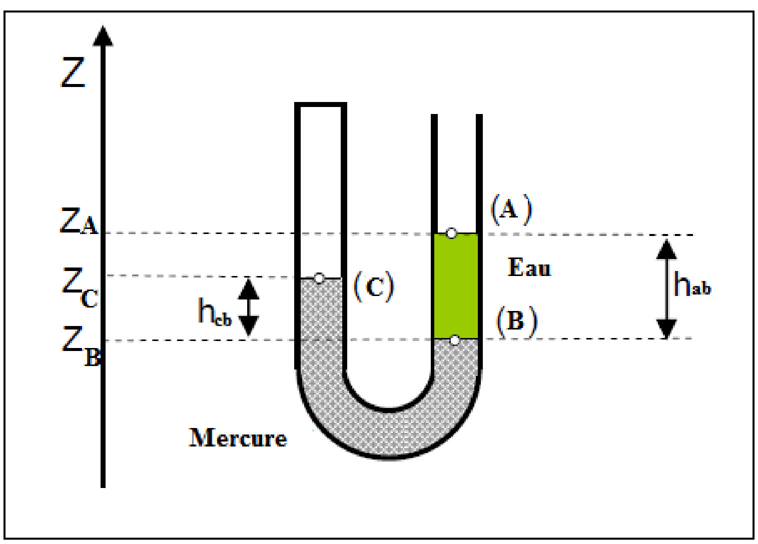
$- \rho.h.\Delta S.g - Pa . \Delta S + Pb . \Delta S = 0$

$-\rho.h.g - P_a + P_b = 0$

or $h = Z_a - Z_b \Rightarrow$ $\boxed{Pa + \rho.g. Z_a = P_b + \rho.g. Z_b}$

Exemple

Soit un tube en U fermé à une extrémité qui contient deux liquides non miscibles.



Entre les surfaces :

- (A) et (B) il s'agit de l'essence de masse volumique ρ_{Eau}=100 kg/m^3.

- (B) et (C), il s'agit du mercure de masse volumique $\rho_{mercure}$=13600 kg/m^3.

La pression au-dessus de la surface libre (A) est P_A=Patm=1 atm.

L'accélération de la pesanteur est g=9,81 m/s^2.

La branche fermée emprisonne un gaz à une pression P_C qu'on cherche à calculer :

1) En se basant sur la Relation Fondamentale de l'Hydrostatique, calculer la pression P_B (en mbar) au niveau de la surface de séparation en point (B) sachant que h_{ab}= (Z_A-Z_B)= 800 mm.
2) De même, pour le mercure, calculer la pression au point (c) P_c (en mba) au niveau de la surface (C) sachant que h_{ac}= (Z_C-Z_B)= 60 mm.

Solution :

1- L'application de la relation Fondamentale de l'Hydrostatique entre les points (A) et (B) permet d'écrire :

$$P_A-P_B= \rho_{Eau.}g(Z_A-Z_B) \Rightarrow P_B= P_A + \rho_{Eau.}g(h_{ab})$$

A.N. P_B = 1,013.10^5 +1000*9,82*0.8= 1,09156*10^5 Pascal= 1091,56 mbar

2- Pour le mercure

$$P_B-P_C= \rho_{Mercure.}g(Z_B-Z_C) \Rightarrow P_C= P_B - \rho_{Mercure.}g(h_{cb})$$

A.N. P_C = 1.09156*10^5 – 13600*0.06*9.82 = 5.322*10^4 = 53.22mbar

IV.4 Dynamique des fluides Incompressibles parfaits

L'écoulement des fluides est un phénomène complexe. On s'intéresse aux équations fondamentales qui régissent la dynamique des fluides incompressibles parfaits, en particulier :

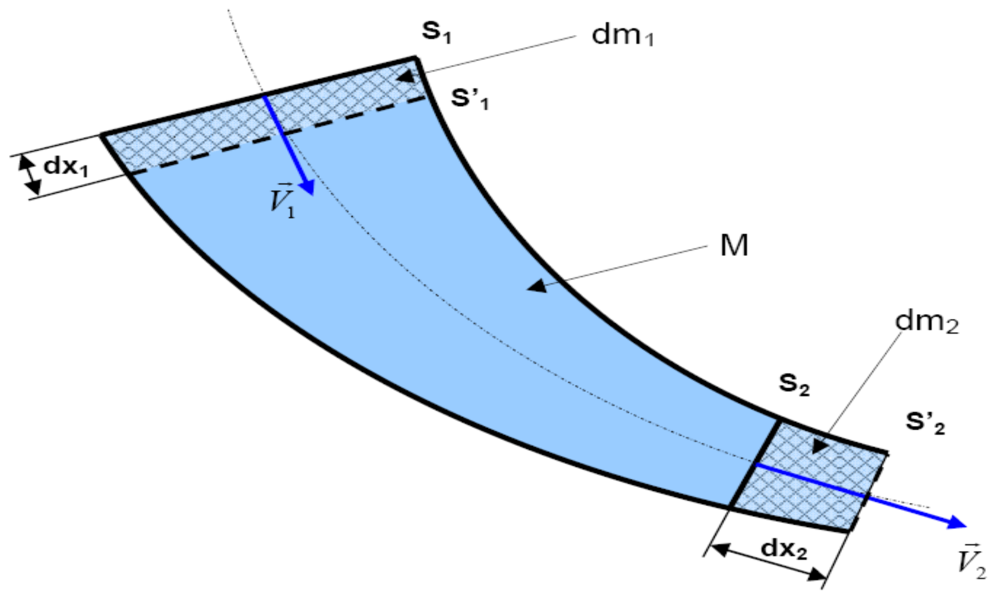
- l'équation de continuité (conservation de la masse),
- le théorème de Bernoulli (conservation de l'énergie) et,
- le théorème d'Euler (conservation de la quantité de mouvement) à partir duquel on établit les équations donnant la force dynamique exercée par les fluides en mouvement (exemple les jets d'eau).

IV.4 .1 Ecoulement permanent

L'écoulement d'un fluide est dit permanent si le champ des vectrices vitesses des particules fluides est constant dans le temps.

IV.4 .2 Equation de continuité

Considérons une veine d'un fluide incompressible de masse volumique ρ animée d'un écoulement permanent.



On désigne par :

- S_1 et S_2 respectivement la section d'entrée et la section de sortie du fluide à l'instant t,
- S'_1 et S'_2 respectivement les sections d'entrée et de sortie du fluide à l'instant t'=(t+dt),
- V_1 et V_2 les vecteurs vitesse d'écoulement respectivement à travers les sections S_1 et S_2 de la veine.
- dx_1 et dx_2 respectivement les déplacements des sections S_1 et S_2 pendant l'intervalle de temps dt,
- dm_1 : masse élémentaire entrante comprise entre les sections S_1 et S'_1,
- dm_2 : masse élémentaire sortante comprise entre les sections S_2 et S'_2,
- M : masse comprise entre S_1 et S_2,
- dV_1 : volume élémentaire entrant compris entre les sections S_1 et S'_1,
- dV_2 : volume élémentaire sortant compris entre les sections S_2 et S'_2,

A l'instant t : le fluide compris entre S_1 et S_2 a une masse égale à (dm_1+ M)

A l'instant t+dt : le fluide compris entre S'1 et S'2 a une masse égale à (M+ dm_2).

Par conservation de la masse: $dm_1 + M = M + dm_2$ en simplifiant par m on aura

$dm_1 = dm_2 =$ Donc $\rho_1.dV_1 = \rho_2.dV_2$ ou encore $\rho_1.S_1dx_1 = \rho_2.S_2dx_1$

En divisant par dt on abouti à :

$$\rho_1.S_1dx_1/dt = \rho_2.S_2dx_1/dt \Leftrightarrow \rho_1.S_1V_1 = \rho_2.S_2V_2$$

Puisque le fluide est incompressible :$\rho_1 = \rho_2 = \rho$ On peut simplifier et aboutir à 1):

$$\boxed{S_1V_1 = S_2V_2}$$

IV.5 Notion De Débit

IV.5.1 Débit massique

Le débit massique d'une veine fluide est la limite du rapport *dm /dt* quand dt tend vers 0.

$$\boxed{q_m = \frac{dm}{dt}}$$

où :

- q_m est la masse de fluide par unité de temps qui traverse une section droite quelconque de la conduite.
- dm : masse élémentaire en (kg) qui traverse la section pendant un intervalle de temps dt
- dt : intervalle de temps en (s) en tenant compte des équations précédentes on obtient :

$$q_m = \frac{dm}{dt} = \rho_1 S_1 \frac{dx_1}{dt} \quad avec \ \frac{dx_1}{dt} = V_1 \ et \ \frac{dx_2}{dt} = V_2$$

avec :

V_1: Vitesse moyenne d'écoulement de la veine fluide à travers S_1

V_2: Vitesse moyenne d'écoulement de la veine fluide à travers S_2

D'où :

$$\boxed{q_m = S_1V_1 = S_2V_2}$$

Soit dans une section droite quelconque S de la veine fluide à travers laquelle le fluide s'écoule à la vitesse moyenne v :

$q\ m = \rho\ S\ V.$. (3)

où :

q_m : Débit massique en (kg/s) ; ρ : Masse volumique en (kg/m3)

S : Section de la veine fluide en (m^2) V : Vitesse moyenne du fluide à travers (S) en (m/s)

IV.5 2 Débit volumique

Le débit volumique d'une veine fluide est la limite du rapport *dV/ dt* quand dt tend vers 0.

$$\boxed{q_v = \frac{dV}{dt}}$$

- q_v : Volume de fluide par unité de temps qui traverse une section droite quelconque de la conduite.
- dV : Volume élémentaire, en (m3), ayant traversé une surface S pendant un intervalle de temps dt,
- dt : Intervalle de temps en secondes (s),

D'après la relation précédente, et en notant que $\boxed{dV = \frac{dm}{\rho}}$ on peut écrire également que

$$q_v = \frac{q_m}{\rho}$$

En fin

$$\boxed{\mathbf{q_V = \mathit{SV}}}$$

IV.5.3 Relation entre débit massique et débit volumique

A partir des relations précédentes on peut déduire facilement la relation entre le débit massique et le débit volumique :

$$\boxed{q_m = \rho \,.q_v}$$

Exemple :

Un fluide parfait incompressible (eau) s'écoule d'un orifice circulaire situé sur le coté d'un réservoir avec un débit volumique q_v= 24L/min. Le diamètre de l'orifice est d =15 mm.

1) Calculer le débit massique d'eau à travers l'orifice en Kg/s.
2) Déterminer la vitesse d'écoulement au niveau de l'orifice.

Solution

1) On sait que $q_m = \rho \,.q_v$ et ρ_{eau} =1000g/L donc on aura

$$q_m = 1000*\frac{24}{60} = 400g/s \quad = 0{,}4 \text{ Kg/s}$$

2) En appliquant l'équation de continuité de mouvement, on peut écrire :

$$\mathbf{Q_v = V.S} \Rightarrow V = \frac{Q_V}{S} = \frac{4Q_V}{\pi d^2} = \frac{4*0,4}{3.14*0,015^2} = 2.26\ m/s$$

IV.6 *T*héorème de Bernoulli –

Cas d'un écoulement sans échange de travail

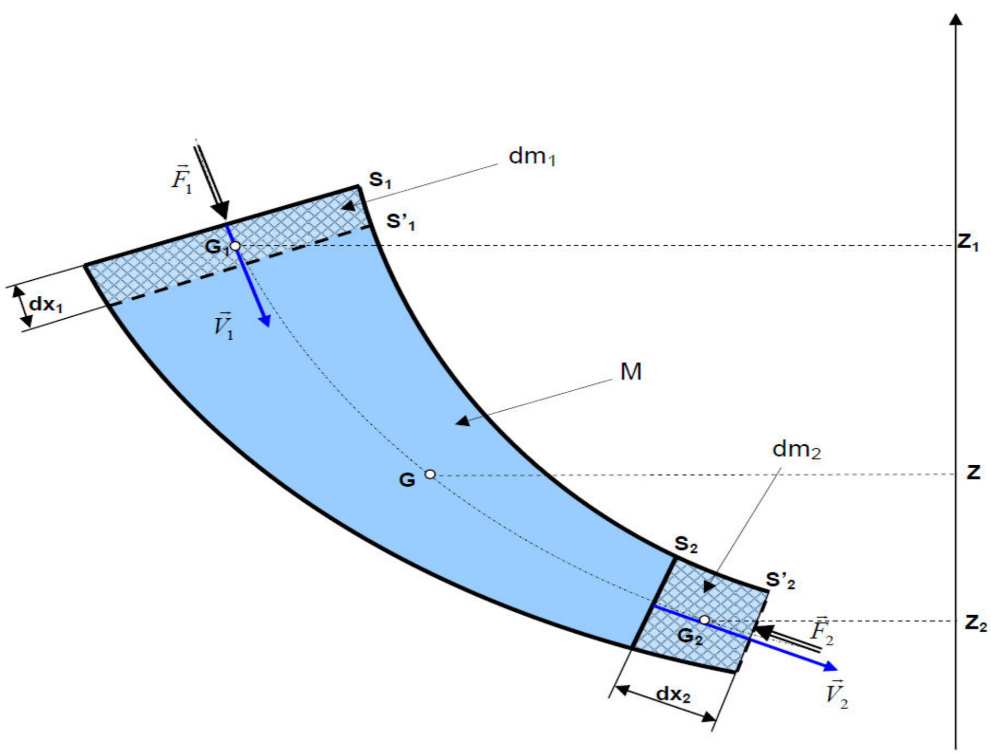
Reprenons le schéma de la veine fluide du paragraphe IV.4.2 avec les mêmes notations et en introduisant hypothèses suivantes:

- Le fluide est parfait et incompressible.
- L'écoulement est permanent.
- L'écoulement est dans une conduite parfaitement lisse.

On considère un axe *Z* vertical dirigé vers le haut.

On note Z_1, Z_2 et Z respectivement les altitudes des centres de gravité des masses dm_1, dm_2 et M.

On désigne par F_1 et F_2 respectivement les normes des forces de pression du fluide agissant au niveau des sections S_1 et S_2.



A l'instant t le fluide de masse (dm1 + M) est compris entre S1 et S2. Son énergie mécanique est :

$E_{mec}= E_{pot}+ E_{cin} =(dm\ g\ Z_1\ +MgZ\ ) +\frac{1}{2}\,(dm\ V_1^2 + \int_{S1}^{S2}\frac{V^2}{2}$

A l'instant t'=(t+dt) le fluide de masse ($M+dm_2$) est compris entre S'_1 et S'_2. Son énergie mécanique est :

$E^1_{mec}= E^1_{pot}+ E^1_{cin} =(M\ g\ Z\ +dm_2gZ_2\ ) +\frac{1}{2}\,(dm_2\ V_2^2 + \int_{S1}^{S2}\frac{dmV^2}{2}$

En appliquant le théorème de l'énergie cinétique à ce fluide entre les instants t et t+Δt (la variation d'énergie cinétique est égale à la somme des travaux des forces extérieures : poids et forces pressantes), on obtient :

$$\boxed{\frac{V^2}{2}+\frac{P}{2}+Z=H=Cte}$$

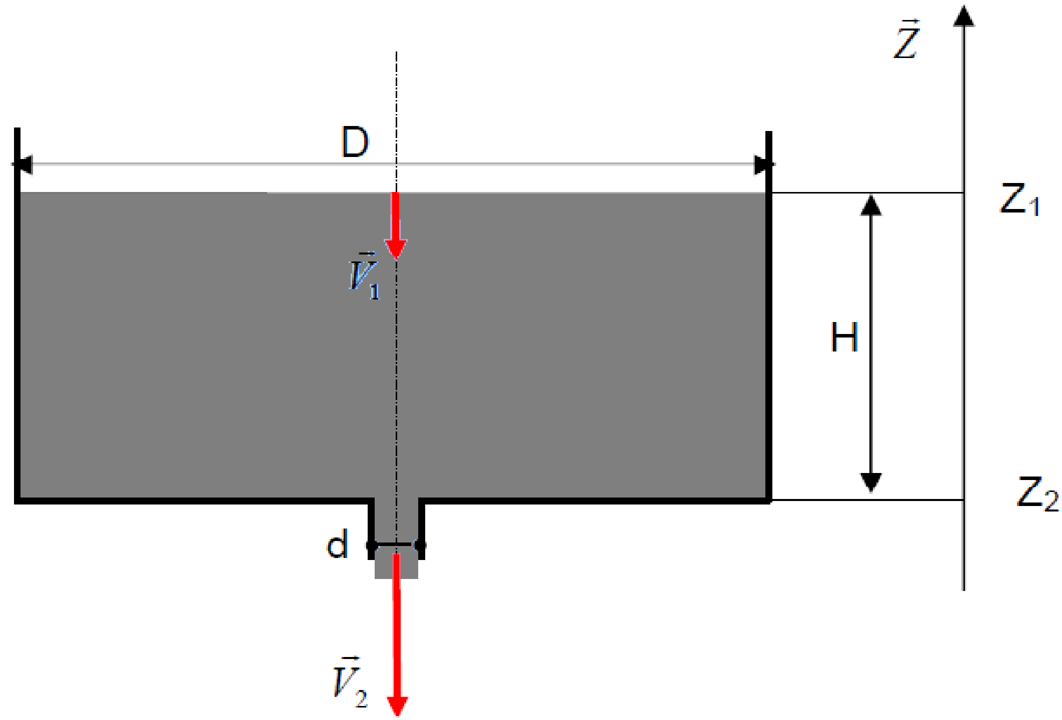
P est la pression statique, ρgZ est la pression de pesanteur, $\frac{\rho V^2}{2g}$ est la pression cinétique

Tous les termes sont exprimés en mètres de colonne de fluide. A partir de la la relation précédente nous pouvons écrire :

$$\boxed{\frac{V_2^2}{2}+\frac{P_2}{2}+g.Z_2 \quad = \frac{V_1^2}{2}+\frac{P_1}{2}+\ g.Z_2}$$

Exemple

On considère un réservoir cylindrique de diamètre intérieur D = 4m rempli d'eau jusqu'à une hauteur H = 6 m. Le fond du réservoir est muni d'un orifice de diamètre d = 20 mm permettant de faire évacuer l'eau



On ouvre l'orifice du fond et on laisse passer un temps très petit dt, le niveau d'eau H du réservoir descend d'une quantité dH. On note $V_1 = \frac{dH}{dT}$ la vitesse de descente du niveau d'eau, et V_2 la vitesse d'écoulement dans l'orifice. On donne l'accélération de la pesanteur $g = 9{,}81\ m/s^2$.

1) Déduire l'expression de V_1 en fonction de V_2, D et d .

2) Ecrire l'équation de Bernoulli. On suppose que le fluide est parfait et incompressible.

3) A partir des réponses aux questions 1) et 2) établir l'expression de la vitesse d'écoulement V2 en fonction de g, H, D et d.

4) Calculer la vitesse V2. On suppose que le diamètre d est négligeable devant D. C'est-à-dire $d \ll D$

5) En déduire le débit volumique qV.

Solution

1) En appliquant l'équation de continuité on obtiendra

$$\mathbf{Q_v = V_1.S_1 = V_2 S_2} \Rightarrow$$

$\frac{\pi D^2}{4} * V_1 = \frac{\pi d^2}{4} * V_2 \, donc \, V_1 = V_2 \frac{d^2}{D^2}$ **Eq.1**

2) Le fluide est supposé parfait et incompressible, donc il est possible de décrire son mouvement sans prendre en compte les effets de frottement et la variation de sa masse volumique avec la pression extérieur.

$$\frac{V_2^2}{2} + \frac{P_2}{2} + g.Z_2 = \frac{V_1^2}{2} + \frac{P_1}{2} + g.Z_2$$

Or $P_1 = P_2$ et $(Z_1\text{-}Z_2) = H \Rightarrow$ On obtient

$$\frac{V_2^2 - V_1^2}{2} - g * H = 0 \qquad \textbf{Eq.2}$$

3) En substituant l'équation (1) dans (2) on obtient

$$\frac{V_2^2 - \frac{d^4}{D^4}}{2} = g.H$$

Donc la vitesse :

$$\boldsymbol{V_2 = \sqrt{\frac{2.g.H}{1 - \frac{d^4}{D^4}}}}$$

4) En considérant $d << D$ alors l'expression de la vitesse d'écoulement s'écrit

$$\boldsymbol{V_2 = \sqrt{2.g.H}}$$

A.N. $V_2 = \sqrt{2.9.81.6} = 10.94$ m/s

5) $Q_v = V_2S_2$ $= \frac{\pi d^2}{4} * V_2 = \frac{\pi 0.02^2}{4} * 10.94 = 3.29*10^{-3}\ m^3/s$

Conclusion

La statique des fluides est basée principalement sur la relation fondamentale de hydrostatique, qui spécule que la différence de pression entre deux points est proportionnelle à leur différence de profondeur

Alors que dans le cas des fluides en mouvement , la mécanique des fluides est base sur l' équation de conservation et l'équation de Bernoulli , qui ont un intérêt pratique considérable du moment ou elles permettent de comprendre le principe de fonctionnement de beaucoup d'instruments de mesure de débits tels que le tube de Pitot, le tube de Venturi et le diaphragme…etc.