Lycée François Pétrarque

GENIE INDUSTRIEL

MECANIQUE DES FLUIDES

Objectif 1 du référentiel :

Appliquer les lois fondamentales de la mécanique des fluides aux installations agro alimentaires

MECANIQUE DES FLUIDES

I. Définition :

Un fluide peut être considéré comme étant formé d'un grand nombre de particules matérielles, très petites et libres de se déplacer les unes par rapport aux autres. U**n fluide est donc un milieu matériel continu, déformable, sans rigidité et qui peut s'écouler**. Parmi les fluides, on fait souvent la distinction entre liquides et gaz.

II. Liquides et gaz :

Les liquides et gaz habituellement étudiés sont **isotropes, mobiles et visqueux**. La propriété physique qui permet de faire **la différence entre les deux est la compressibilité.**

- **l'isotropie** assure que les propriétés sont identiques dans toutes les directions de l'espace.
- **la mobilité** fait qu'ils n'ont pas de forme propre et qu'ils prennent la forme du récipient qui les contient.
- **la viscosité** caractérise le fait que tout changement de forme s'accompagne d'une résistance (frottements).

III. Forces de volume et forces de surface.

Comme tout problème de mécanique, la résolution d'un problème de mécanique des fluides passe par la définition du système matériel S, particules de fluide à l'intérieur d'une surface fermée limitant S. A ce système on applique les principes et théorèmes généraux de mécanique et thermodynamique :

- principe de la conservation de la masse.
- principe fondamental de la dynamique.
- principe de la conservation de l'énergie.

STATIQUE DES FLUIDES

I. La grandeur PRESSION :

La pression est définie localement à partir de la composante normale à la surface de laquelle elle s'exerce :

♥

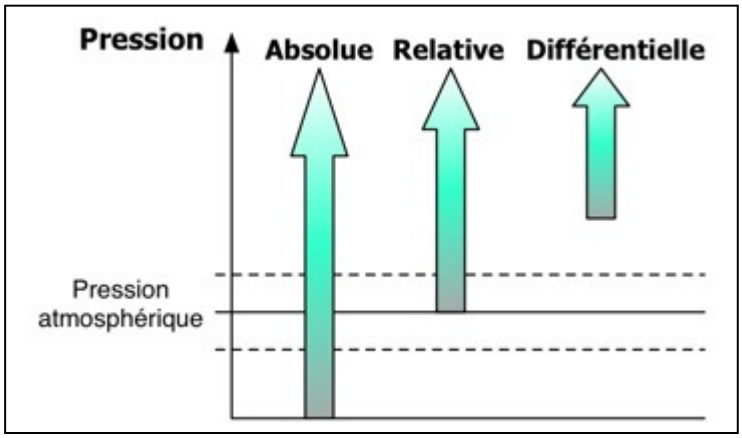
$$p = \frac{F}{S}$$ .p s'exprime en $kg.m^{-1}.s^{-2}$ soit en pascal (Pa) ou $N.m^{-2}$

Il existe de nombreuses autres unités de pression couramment employées dans l'industrie. Le tableau 2.1 en dresse une liste non-exhaustive.

TAB. 2.1: Unités de pression usuelles

Unité	Correspondance avec le Pa
bar	1 b=10^5 Pa
Atmosphère (atm)	1 atm=101325 Pa
Millimètre de mercure (mmHg) ou torr	1 mmHg=133,32 Pa
Centimètre de colonne d'eau (cmCE)	1 cmCE=98,06 Pa
Psi (Livres par pouce au carré)	1 Psi=6894,7 Pa

On distingue différents types de pression :



La pression absolue : C'est la pression réelle, dont on tient compte dans les calculs sur les gaz. (grandeur essentiellement positive (nulle à la limite)

La pression atmosphérique ou pression barométrique : La pression atmosphérique moyenne au niveau de la mer, à 15 °C, est d'environ 1013 mbar. Elle peut varier, de avec la pluie ou le beau temps. Elle est fonction de l'altitude (hydrostatique).

La pression relative : C'est la différence de pression par rapport à la pression atmosphérique. Elle est le plus souvent utilisée, car la plupart des capteurs, sont soumis à la pression atmosphérique. Pour mesurer une pression absolue, il faut faire un vide poussé dans une chambre dite de référence. Elle est égale à $p_1 - p_{at}$; elle peut être positive (surpression) ou négative (dépression).

Pression différentielle : C'est une différence entre deux pression, dont l'une sert de référence. Une

pression différentielle peut prendre une valeur négative.

Le vide : Il correspond théoriquement à une pression absolue nulle. Il ne peut être atteint, ni dépassé. Quand on s'en approche, on parle alors de vide poussé.

Pression de service ou pression dans la conduite : C'est la force par unité de surface exercée sur une surface par un fluide s'écoulant parallèlement à la paroi d'une conduite.

♥

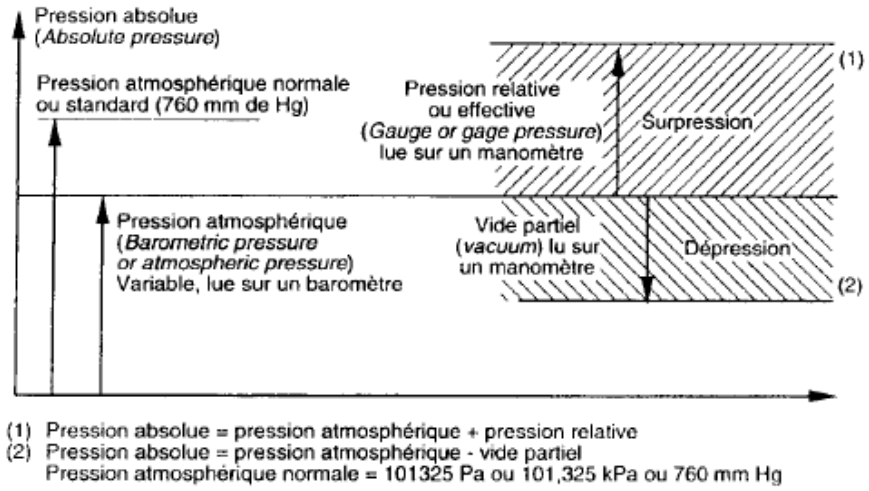


FIG. 2.2 Différentes sortes de pression mesurées.

Extrait de Physique Industrielle des fluides de M LAGIERE chez TECHNIP

Documents extraits de base de physique pour le technicien Mécanique Thermique. Collection PRUNET chez DUNOD

II. La masse volumique et la densité d'un fluide

a) La masse volumique

Dans le cas d'un liquide, (ou pour un gaz dans lequel la variation de pression est faible), la masse volumique ne dépend pas de la pression. De plus, si on suppose la température uniforme, **la masse volumique sera considérée comme constante**. D'autre part, pour des différences d'altitude courantes, l'accélération de la pesanteur g peut aussi être considérée constante. Dans ce cas on peut intégrer la relation précédente :

- **Dans un fluide la pression croît de haut en bas.**
- **les surfaces isobares sont des plans horizontaux.**
- **la surface de séparation entre deux fluides non miscibles est un plan horizontal.**

♥ $$\boxed{\rho = m/V \ (Kg/m^3)}$$

avec :
m en kg
V en m3

b) la densité

La densité d'un corps est le rapport entre sa masse volumique et la masse volumique d'un corps de référence. Le corps de référence est l'eau (pour les liquides et les solides) et l'air pour les gaz1. La densité est une grandeur sans dimension et sa valeur s'exprime donc sans unité de mesure2.

La densité, notée d, s'exprime de la sorte :

$$\boxed{d = \frac{\rho_{\text{corps}}}{\rho_{\text{ref}}}}$$

où ρ_{corps} est la masse volumique du corps considéré, et ρ_{ref} est la masse volumique du corps de référence.

Le plus souvent, l'eau est utilisée comme corps de référence pour la densité des liquides et des solides. Dans ce cas, la masse volumique de l'eau est prise égale à 1 000 kg.m-3 (ou à 1 kg.dm-3 ou à 1 kg/L). Il s'agit de la masse volumique de l'eau à 3,98 °C et à pression atmosphérique.

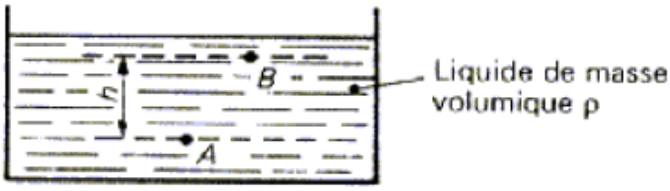
La densité devient :

$$\boxed{d = \frac{\rho_{\text{corps}}}{\rho_{\text{eau}}}}$$

III. *Principe Fondamental de la Statique des Fluides*

Dans un fluide au repos de masse volumique constante soumis uniquement aux forces de pesanteur, la différence de pression entre deux points A et B est égale à :

$$\boxed{p_B - p_A = \rho . g . h_{AB}.}$$



- la différence de pression entre deux points ne dépend que de leurs différences d'altitude.
- la pression est la même en tout point d'un plan horizontal, quelle que soit la forme du récipient.

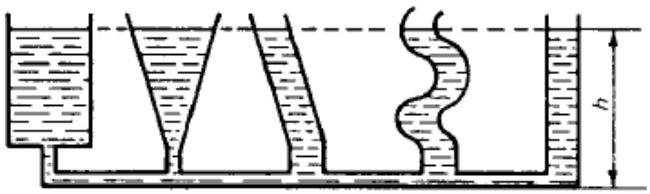
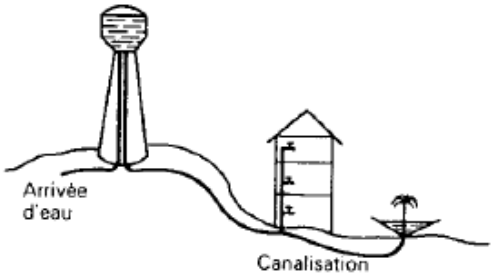
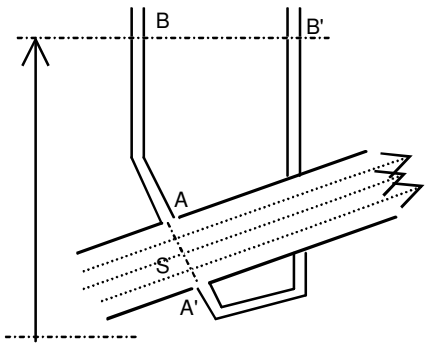


Figure 16. *Les vases communicants.*



IV. Notion de pression dans une conduite :



Lorsque la conduite est cylindrique notamment, on admettra que la répartition des pressions est hydrostatique dans une section droite.

On peut donc **brancher des tubes piézométriques** ; ils mesurent par rapport au plan de référence la quantité : $\frac{p}{\rho g} + z = Cte$

V. Principe de Pascal

Dans un fluide iso volume en équilibre, les pressions se transmettent intégralement et instantanément.

Application du principe de Pascal :

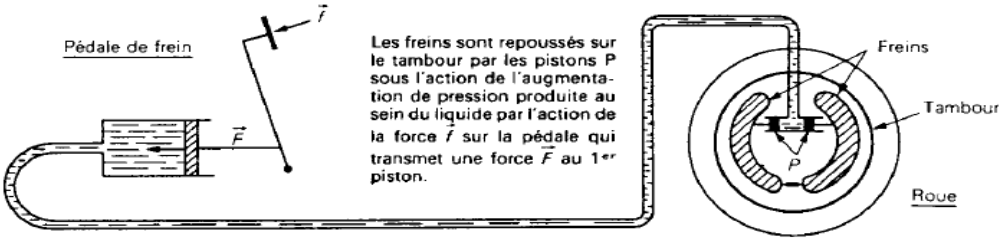
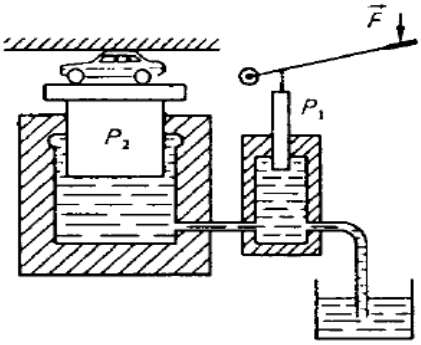


Figure 31. *Frein hydraulique.*



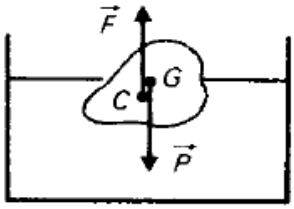
La force $\vec{F}$ provoque l'enfoncement du piston P_1 donc le refoulement du piston P_2 vers le haut. La voiture est « écrasée ». Un système de soupape à la base de chaque réservoir permet au liquide de circuler d'un réservoir à l'autre.

VI. Principe d'Archimède

Tout corps plongé dans un liquide (ou un gaz) reçoit une poussée, qui s'exerce de bas en haut, et qui est égale au poids du volume de liquide déplacé.

Les applications qui en découlent de ce principe sont:

- vérins hydrauliques
- presses hydrauliques
- freins hydrauliques

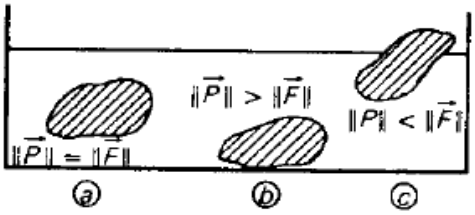


V = volume total
V' = volume immergé
ρ masse volumique de l'objet
ρ' masse volumique du liquide

$\|\vec{P}\| = \rho V g$ à l'équilibre

$\|\vec{F}\| = \rho' V' g, \quad \rho V = \rho' V'$

Flottaison des corps :



1er cas: Si $\|\vec{P}\| > \|\vec{F}\|$ soit $\rho > \rho'$, le corps coule.

2ème cas : Si $\|\vec{P}\| = \|\vec{F}\|$ soit $\rho = \rho'$, le corps reste en équilibre au sein du liquide.

3' cas: Si $\|\vec{P}\| < \|\vec{F}\|$ soit $\rho < \rho'$, le corps remonte en surface.

Un corps peut flotter si sa masse volumique moyenne est inférieure à la masse volumique du liquide dans lequel il est immergé. Son poids est égal au poids du volume de liquide déplacé.

Application : le densimètre

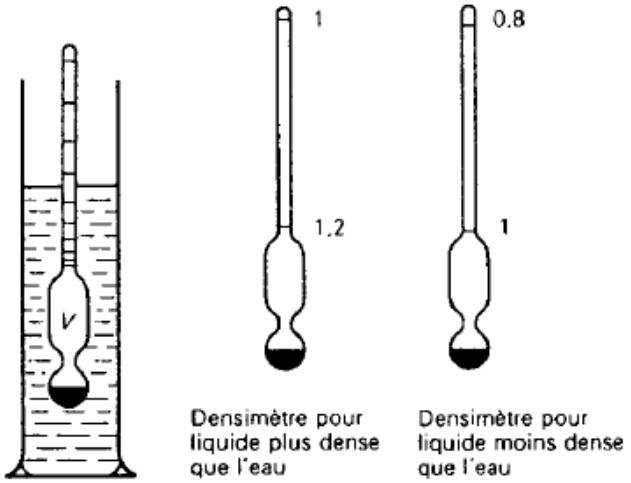


Figure 44. *Un densimètre. Il comprend un réservoir lesté, de volume V et une longue tige mince graduée. Il est d'autant plus immergé que la masse volumique du liquide est plus faible. Il est gradué en général en densité, les valeurs les plus grandes étant en bas de la tige, près du réservoir. Les graduations ne sont pas équidistantes, elles sont plus resserrées en bas. On le gradue en l'immergeant dans des liquides de densités connues (c'est un appareil relatif).*

☞ ***vitesse de sédimentation (loi de Stockes)***

$$\boxed{v = \frac{g.d^2.(\rho'-\rho)}{18.\eta} \approx \frac{d^2.(\rho'-\rho)}{2\eta}}$$

g est l'accélération de la pesanteur 10 $m.s^{-2}$
d est le diamètre des particules en m
ρ est la masse volumique des particules en $kg.m^{-3}$
ρ 'est la masse volumique du liquide en $kg.m^{-3}$
η est la viscosité en Pa.s

VI. TENSION SUPERFICIELLE

a) Le phénomène

Observations

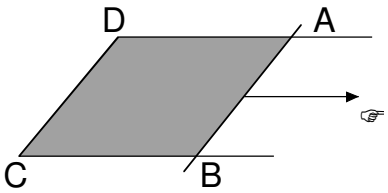
- La surface libre de l'eau dans un tube forme un ménisque près des bords.
- Les poils d'un pinceau sec se rassemblent lorsqu'ils sont mouillés.
- Une aiguille fine en acier flotte à la surface de l'eau.
- L'eau monte dans un capillaire alors que le mercure descend.
- Une plaque de verre adhère très fortement à une surface plane lorsque celle-ci est mouillée.
- Une lame de savon prend une forme telle que sa surface soit minimale.

Conclusion

- **La surface libre d'un liquide tend à se contracter spontanément de façon à acquérir une aire minimale.**
- **La surface d'un liquide se comporte un peu comme la membrane tendue d'un ballon.**

b) La force de tension superficielle

Force de tension superficielle appliquée à un solide tiré par une lame liquide



Considérons un cadre ABCD dont le coté AB, de longueur L, peut glisser sur DA et CB. Plongé initialement dans un liquide (par exemple de l'eau de savon), ce cadre est rempli d'une lame mince liquide. Le liquide tire AB vers DC par une force **f** sur chaque face de la lame, proportionnelle à la longueur L, telle que $\mathbf{f} = \gamma \cdot L$.

Pour maintenir AB en équilibre, il faut lui appliquer une force **F** (qui ne dépend pas de la position de AB) telle que $\mathbf{F} = 2 \cdot \mathbf{f}$ ou $F = 2\gamma L$

avec **F** en N , L en m et γ en $N \cdot m^{-1}$.

a) Définition

Dans la relation précédente, le coefficient γ s'appelle **tension superficielle** du liquide.

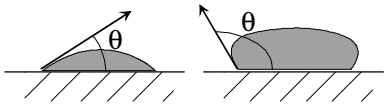
Dimension : $[\gamma] = M\,T^{-2}$.

Unité : Dans le système international (SI), l'unité de **tension superficielle** n'a pas de nom particulier : $(N \cdot m^{-1})$.

Ordres de grandeur (dans le cas d'interface liquide-air)

Liquide	γ ($N \cdot m^{-1}$) à 20 °C
eau (à 20 °C	$73\ x \cdot 10^{-3}$
eau (à 0 °C)	75,6 x□103
huile végétale	$32\ x \cdot 10^{-3}$
Ethanol	$22\ x \cdot 10^{-3}$
Ether	$17\ x \cdot 10^{-3}$
Mercure	$480\ x \cdot 10^{-3}$

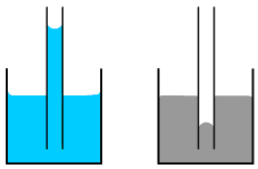
b) Angle θ de raccordement liquide/solide



Une goutte de liquide déposée sur une plaque solide plane et horizontale peut :

- soit s'étaler largement (par exemple de l'eau sur du verre propre) ; dans ce cas, on dit que le liquide **mouille parfaitement** le solide, et l'angle de raccordement □ **vaut 0°**,
- soit former une lentille :
  - si θ **< 90°**, le liquide **mouille imparfaitement** le solide (par exemple l'eau sur du verre sale)
  - si θ **> 90°**, le liquide **ne mouille pas** le solide (par exemple le mercure sur du verre).

Le même angle de raccordement se retrouve à la surface libre d'un liquide près des bords du récipient et provoque la formation d'un ménisque dans les tubes. (exemples de l'eau et du mercure)



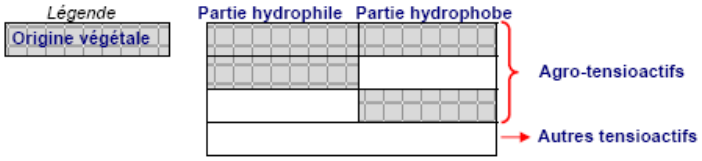
c) Mesurages de tension superficielle

✓ Méthode du capillaire et Méthode du stalagmomètre

d) Applications : agents tensioactifs

Le rôle des agents tensioactifs est d'abaisser la valeur de la tension superficielle des liquides dans lesquels ils sont ajoutés pour les rendre mouillants, moussants, détergents, émulsifiants...

Substance qui permet d'éliminer les graisses et autres salissures à la surface de matériaux.
Il existe trois grandes catégories :
les détergents anioniques, non ioniques et cationiques selon la partie de la molécule douée de propriétés détergentes. **Ils servent à nettoyer, dégraisser mais aussi à désinfecter.**



Origine des tensioactifs (source Ademe 2005)

Ils se composent de :

- eau : détermine la concentration du produit final, entraîne les salissures détachées par le lavage et permet de donner la température nécessaire.
- tensioactifs (agents de surface) : ce sont les produits actifs du mélange qui vont provoquer la rupture des liaisons entre saletés et supports.
- adjuvants : produits moussants surtout utilisés en agro-alimentaire, produits anti-mousse pour les autolaveuses, sequestrants pour empêcher la précipitation d'ions métalliques, d'inhibiteurs de corrosion utilisés dans les machines à laver, ou dans les détartrants, de produits bactéricides, d'enzymes, etc.
- **colorants et (dé)odorants :** pour colorer, déodoriser ou conférer une odeur.

La caractéristique majeure d'un détergent est son squelette, mesurable par le pH :

- pH élevé : détergent dégraissant alcalin (soude, potasse, ammoniaque, silicates) pour l'élimination des graisses, détergents ammoniaqués ou décapants ou solvants.
- pH est équilibré (entre 6 et 8) : produit neutre comme les détergents d'entretien, pour le lavage manuel ou mécanisé des sols, à base d'ammonium quaternaire.
- pH bas : détergent détartrant ou désincrustant acide (acide chlorydrique, phosphorique, …).

Un nouveau règlement européen (n°648/2004) rentré en vigueur le 8 octobre 2005 impose désormais une biodégradabilité FINALE de 60%.

Composé	Abréviation
Tensioactifs anioniques	
Alkylbenzène sulfonate de sodium	LABS
Paraffine sulfonate de sodium	PS
Cumène sulfonate de sodium	CS
Naphtalene sulfonate de sodium	NS
Alkylsulfate de sodium	AS
Alkyléthersulfate de sodium	AES
Dioctylsulfosuccinate de sodium	DOSS
α-sulfomonométhylester gras	MES
α-oléfine sulfonate de sodium	AOS
Tensioactifs non ioniques	
Alkylphénol éthoxylé	APE
Alcool éthoxylé	AE
Alkyl glucamide	AG
Alkyl polyglucoside	APG
Dérivés du sorbitan	
Tensioactifs cationiques et amphotères	
Alkylbétaine	AB
Amines éthoxylées	AME
Chlorure de benzalkonium	CBA
Oxyde d'amine	OXA
Dérivés d'imidazoline	IMI
Diesterquat	DQ

Abréviation des tensioactifs (source Ademe 2005)