|  |
| --- |
| Chapitre I |
| **Biophysique de la Circulation Sanguine** |
| Dr. Chibane Yassine |

***Biophysique de la circulation sanguine***

***Mécanique des fluides***

***I- Introduction générale:***

La mécanique des fluides est l’étude du comportement des fluides et des forces internes associées. C’est une branche de la mécanique des milieux continus qui modélise la matière à l’aide de particules assez petites pour relever de l’analyse mathématique mais assez grandes par rapport aux molécules pour être décrites par des fonctions continues.

Elle se divise en deux parties :

1. La statique des fluides ; l’étude des fluides au repos, qui se réduit pour l’essentiel à l’hydrostatique.
2. La dynamique des fluides ; l’étude des fluides en mouvement.

L’étude de la mécanique des fluides remonte au moins à l’époque de la Grèce antique avec Archimède qui fut à l’origine de la statique des fluides.

1. **Position des fluides dans la mécanique des milieux continus**

Les différents domaines de la mécanique des milieux continus peuvent être situés sommairement à l’aide du tableau suivant :

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Mécanique des milieux continus | Déformation élastique ou Résistances des matériaux | Elasticité |  |
| Plasticité | Rhéologie |
| Mécanique des fluides | Fluides non-newtoniens |
| Fluides newtonien |  |

**B- Quelques définitions utiles :**

1. ***Milieu continu :*** on suppose que l’espace dans lequel nous vivons est mathématiquement représenté par l’espace Euclidien de dimension 3 noté .

Soit un volume de . On dit que est rempli d’un milieu matériel continu, si à tout instant t et en chaque point M de on peut définir des champs de grandeurs physiques locales relatives à ce milieu matériel. Ces champs de grandeur sont différentiables presque partout sur .

Fonction différentiable en un point x : fonction qui peut être assimilée à une fonction linéaire de la variable quand celle-ci tend vers x.

1. ***Plasticité :***
   * + - Qualité de ce qui peut prendre diverses formes.
       - Mesure de la capacité d’un matériau à subir une déformation permanente sans se casser.
       - Qualité de ce qui est malléable.
2. ***Elasticité :***

Propriété que possèdent certains corps de reprendre leur forme ou leur volume quand la force qui les déformait a cessé d’agir.

Limite d’élasticité = plasticité.

1. ***Rhéologie :***

Science des lois de comportement des matériaux qui lient les contraintes aux déformations (élasticité, plasticité, viscosité).

Les fluides non-newtonien (comme le sang, les gels, boues, les pâtes,……etc.) peuvent avoir des comportements très variés. Ils sont généralement inclus dans la rhéologie avec les solides plastiques et des corps aux comportements plus complexes.

En générale on parle donc de mécanique des fluides à propos des fluides newtoniens. Ils sont caractérisés par un coefficient de viscosité qui dépend de la température et de la pression. Cette mécanique des fluides réduite concerne essentiellement l’eau (hydraulique dans les conduites ou hydrodynamique autour d’obstacles) et l’air (aéraulique ou aérodynamique autour des obstacles).

***C- Qu’est ce qu’un fluide ?***

* Les fluides, par opposition aux solides, sont facilement déformables. Ils prennent les formes du récipient qui les contient et ils peuvent s’écouler. On en distingue deux catégories : les liquides et les gaz.
* Les liquides et les solides sont deux états condensés de la matière relativement denses et de masses volumiques comparables (celles des liquides en général plus faibles que celles des solides, mais de même ordre de grandeur : 10% d’écart par un corps donné), hors pour l’état gazeux c’est complètement différent.

# **Solide :**

* + Etat condensé.
  + Molécules fortement liées et astreintes à vibrer autour de positions moyennes fixes.
  + Peu déformables et peu compressible.

## **Fluide :**

* Déformable → molécules libres de se déplacer au hasard

***Liquide :***  ***gaz :***

- Etat condensé - Etat dispersé

- Peu compressible - Compressible

***C-1- Propriétés des fluides :***

**a- L’isotropie :**

Les fluides étudiés seront isotropes, ainsi toutes leurs propriétés physiques sont identiques dans toutes les directions de l’espace.

**b- La compressibilité :**

Cette propriété permet de distinguer les liquides des gaz :

→ *Liquide :*

Un liquide est caractérisé par le fait qu’en petites quantités, il prend une forme sphérique (Figure 1: a) (exemple : une goutte d’eau) et en grandes quantités il occupe un volume indéterminé (Figure 1: b) (surface libre de séparation entre liquide et milieu ambiant). Ce volume peut varier très peu sous l’action de très faibles pressions ou températures.

(b)

(a)

**Figure 1 : Etats d’occupation d’un volume de liquide**

En général pour un liquide le principe de conservation de la masse se ramène à celui de la conservation du volume. C’est pour cela qu’on le considère comme un fluide incompressible.

→ *Gaz :*

Le gaz occupe toujours le volume maximal (pas de surface libre), donc il est capable de changer son volume sous l’action de la pression et de se dilater d’une façon illimitée quand la pression diminue c’est pour cela qu’on le considère comme un fluide compressible (ou expansible).

Gaz

Piston

**Définition de la compressibilité :**

La compressibilité traduit la diminution de volume en réponse à un accroissement de pression. Pour quantifier cet effet on introduit le coefficient de compressibilité isotherme défini par :

Ou est le volume massique.

Un accroissement de pression entraine une diminution de volume, et inversement ; d’où la nécessité de mettre un signe moins devant le coefficient de compressibilité.

***Ordre de grandeur des compressibilités***

|  |  |
| --- | --- |
| Eau | 4,1 10-10 |
| Mercure | 4,4 10-10 |
| Air | 10-5 |

Pour les gaz parfaits, on déduit de l’équation d’état des gaz parfaits : .

***Relation entre masse volumique et compressibilité :***

Le volume (et donc la masse volumique) peut varier sous l’effet de la pression et de la température. En plus du coefficient de compressibilité isotherme, on définit donc un coefficient de dilatation thermique à pression constante : .

Dans un fluide en mouvement les trois grandeurs p, v= 1/ro et T ne sont pas uniformes et l’équilibre thermodynamique n’est réalisé que localement, à l’échelle de la particule. L’équation différentielle d’état :

Peut être transformée en faisant apparaitre les deux coefficients et :

Nous n’étudierons que des écoulements de liquides ou de gaz dans lesquels la température est considérée comme constante (dT=0). L’approximation suivante sera donc faite :

Liquide = fluide incompressible () = Cte : fluide isovolumique (dV=0).

* La masse volumique :  (Kg/m3 en SI)

Exemple : pour l’eau,  Kg/m3

* Le poids volumique :  (N/m3)

Exemple :  N/m3

- La densité : 

exemple : densité de l’aluminium : 2,7 g/cm3 , 1 g/cm3



**c- La mobilité :**

Les fluides sont mobiles car ils ne possèdent pas de formes propres du récipient qui les contient. Les forces nécessaires pour les déformer sont extrêmement faibles. Lorsqu’ils s’écoulent, ils peuvent être soumis à des frottements internes, qui aboutissent à un dégagement de chaleur c’est le cas des ***fluides réels***. Dans le cas où ils pourront s’écouler et continuer le mouvement de façon indéfinie sans dégager de chaleur, ils seront considérés comme des ***fluides parfaits***.

**d- L a viscosité :**

L’agitation des molécules est responsable d’un transfert microscopique de quantité de mouvement d’une particule à sa voisine s’il existe entre elles une différence de vitesse. Ce transfert est traduit par la propriété appelée viscosité.

La viscosité caractérise l’aptitude d’un fluide à s’écouler. Tout fluide réel présente une viscosité qui se manifeste par une résistance à la mise en mouvement du fluide. Par opposition, dans un fluide parfait aucune force de frottement ne s’oppose au glissement des particules fluide les unes contre les autres.

* **Les fluides parfaits n’existent pas ; ils constituent un modèle.**

***C-2- Forces subies par un fluide***

L’un des buts de la mécanique étant de définir la position ou le mouvement des particules matérielles sous l’action des forces qui les sollicitent, il faut donc définir le genre de forces que nous aurons à considérer en mécanique des fluides.

***a- Force de volume : force de pesanteur***

Les champs de force de pesanteur exercent sur les particules fluides des actions à distance qui sont proportionnelles aux volumes des particules. Ce sont les forces de volume.

Considérons un petit volume élémentaire et soit la force élémentaire qui s’exerce sur. On désigne par force volumique f (ou densité de force par unité de volume) la limite de la quantité :

dV

La densité des forces exercées par la gravité

sur un milieu continu est l’un des exemples

les plus classiques:

Par conséquent, la densité volumique de force à laquelle est soumis le fluide est :

***b- Forces de surface : force de pression et force de frottement***

Imaginons une surface S fictive qui, au sein du fluide, sépare le fluide en deux domaines D1 et D2. Les particules qui se trouvent du côté de D2, mais contiguës à S, agissent sur les particules de D1 qui le touchent. Ce sont des actions à courte distance proportionnelles à l’aire de contact et on les appelle forces de surface.

***b-1- La force de pression : force normale***

Soit un fluide enfermé dans une enceinte, pour pouvoir raisonner sur un milieu parfaitement homogène nous devront faire les considérations suivantes :

-On ne tient pas compte du poids (le champ de pesanteur est uniforme  = cste.

-On considère un point M au centre d’une petite surface d’aire placé au sein d’un fluide (Fig-2: a). Nous supposons que les intensités de forces exercés par les molécules sur un coté de cet élément de surface sont uniformément réparties sur toute la surface.



### M

### dA





### M

### Elément de surface (dS)

### dA

b)

a)

**Figure-2 : Forces de pression sur un élément de surface**

En raison de symétrie, la résultante des forces moléculaires est normale à. Si le fluide est repos, est immobile. Donc est équilibré par une force opposée et de même module′, normale à et s’exercent sur l’autre coté de la surface (Fig-2 : b).

La force pressante qu’exercent les molécules du fluide sur dS peut se mettre sous la forme :

Par définition la pression P en un point M d’un fluide en équilibre est égale au rapport :

La pression est parfaitement définie aussi bien sur les parois d’un récipient qu’au sein même du fluide, donc en tout point M du fluide. Ainsi définie, la pression est isotrope en un point, c’est à dire quelle a la même valeur dans toutes les directions.

*-Unités :*



En SI : 1 Pascal = 1 N/m2

**1 atm = 760 mm Hg = 10,33 m d’eau = 1,013 . 105 Pa.**

Les pressions que nous avons envisagées sont des pressions absolues. Concernant les pressions relatives (effectives) c’est à dire les pressions mesurées à partir d’une origine quelconque P’, il est fréquent de choisir la pression atmosphérique P0 comme pression d’origine :

**Pressions effectives = Pressions absolues – Pression atmosphérique**.

La pression effective peut être positive ou négative. Dans le 2ème cas, on l’appelle vide car elle correspond à des pressions inférieures à la pression atmosphérique, alors que les pressions absolues ne peuvent pas être négatives.

***b-2- Les frottements : force tangentielle***

Il n’existe de contraintes tangentielles que si le fluide est visqueux (fluide réel) et en mouvement non uniformément accéléré. L’existence de contraintes tangentielles se manifeste par une résistance à l’écoulement.

Cette force de frottement s’annule avec la vitesse. Pour un fluide au repos, la statique des fluides réels se confond avec la statique des fluides parfaits (non visqueux). Cette distinction n’apparaîtra qu’en dynamique des fluides.

En résumé, il existe des forces de surface normales et tangentielles dans le cas suivant :

1

*Fluide réel en mouvement*

2

Les forces de surfaces sont normales dans les cas suivants :

1

*Fluide parfait*

2

*en mouvement*

1

*Fluide réel ou parfait*

*au repos*

2

1

*Fluide réel ou parfait*

*uniformément accéléré*

2