

LP.16 Modélisation d'écoulements de fluides

Naia

| Élément imposé – Aéronautique

Niveau : Term spé

Pré-requis :

- Description d'un fluide (1ère)
- Notion d'énergie (Em)
- loi de l'hydrostatique

Difficultés :

- Système étudié (non ponctuel, particule fluide)
- Nombreuses hypothèses à appliquer
- Intégrer 2 nouvelles relations

Activité :

- TD : application de la relation de la conservation du débit volumique
- TP : Formule de Torricelli (avec activité doc, travail ramassé)

Biblio :

—

Plan proposé

1	Etude de l'écoulement d'un fluide	2
	1.1 Particule fluide	2
	1.2 Cadre de l'étude	2
	1.3 Notion de débit volumique	2
2	Relation permettant l'étude de fluide : relation de Bernoulli	3
3	Application de la relation de Bernoulli	3
	3.1 Mesure de la vitesse de l'écoulement du fluide	3
1	Poussée d'Archimède	5
2	Écoulements de fluides	6
	2.1 Modèle de la particule fluide	6
	2.2 Mouvement de fluide	6
	2.3 Conservation du débit volumique	7
3	Dynamique des fluides incompressibles	8
	3.1 Relation de Bernoulli	8
	3.2 Effet Venturi	9
	3.3 Portance d'une aile d'avion (risqué ?)	9
	3.4 Perte de charge	9

Intro pédagogique

Régime permanent au cours de la leçon
Pression = choc, température = agitation thermique
Evaluation diagnostique
exercice d'applications par groupe, pour qu'ils se corrigent

Leçon

Intro

Interaction avec fluides en mouvement : air quand on marche, boire de l'eau, se baigner. Avion qui vole

1 Etude de l'écoulement d'un fluide

1.1 Particule fluide

Dans un volume $V=1$ mL, on a

$$N = \frac{N_A \times V \times \rho}{M} = 3 \times 10^{22}$$

particules. C'est un chiffre énorme, et on comprend qu'on ne va pas pouvoir appliquer le théorème de l'énergie mécanique à toutes ces molécules. On introduit **la particule fluide** : Volume très petit devant l'échelle de l'écoulement composé d'un grand nombre de particules composant le fluide

Écoulement d'un fluide : Déplacement macroscopique d'un grand nombre de PF

1.2 Cadre de l'étude

- Fluide parfait
- Fluide incompressible
- Écoulement permanent

1.3 Notion de débit volumique

Débit volumique D_v : Volume de fluide d'écoulement à travers une surface par unité de temps

$$D_v = \frac{V}{\Delta t}$$

Or $V = S \times L$ et $L = v \times \Delta t$ (section S longueur L)

On peut donc écrire [démonstration]

$$D_v = S \times v$$

(homogène à du m^3/s)

En régime permanent, le débit volumique d'un fluide incompressible se conserve

2 Relation permettant l'étude de fluide : relation de Bernoulli

Toujours le même cadre de travail

La relation de Bernoulli traduit la conservation de l'énergie mécanique du fluide s'écrit en tout point :

$$\frac{1}{2}\rho v^2 + \rho g z + P = \text{Cte}$$

Analogie volumique des énergies E_c , E_p et E_P

[image Belin entre 2 points]

$$\rho \frac{v_1^2}{2} + \rho g h_1 + p_1 = \rho \frac{v_2^2}{2} + \rho g h_2 + p_2$$

3 Application de la relation de Bernoulli

3.1 Mesure de la vitesse de l'écoulement du fluide

Dans le domaine de l'aéronautique, il nous faut connaître la vitesse de l'avion (pour savoir où il est) : tubes de Pitot. On obtient la vitesse du fluide autour de l'avion, soit la vitesse de l'avion

Tube de Pitot fixe, Fluide = air (parfait, incompressible, permanent)

[Pitot Grecias]

Equilibre

Entre A_0 et A : v_A nulle car point d'arrêt, et les points sont à la même altitude, donc avec Bernoulli :

$$1/2\rho v_{A_0}^2 + P_{A_0} = P_A$$

Entre A' et B' :

$$1/2\rho v_{A'}^2 + P_{A'} = 1/2\rho v_{B'}^2 + P_{B'}$$

$$v_{A_0} = v_A = v = v_{B'}$$

$$P_{A_0} = P_A = P$$

Avec la deuxième équation :

$$P_{B'} = P = P_B$$

Avec la première équation :

$$1/2\rho v^2 + P_B = P_A$$

donc lien vitesse et pression

[Manip pitot avec schéma] Lecture de la différence de pression

Conclusion

Questions/Réponses

Questions	Réponses
<i>VP : QCM non juste ? Remise en cause de méthode de l'enseignement par l'élève ?</i>	QCM permet à l'enseignant de prendre la température de la classe
<i>Masse volumique ?</i>	Masse par unité de volumique
<i>Mettre des élèves par groupe</i>	Dépend de la classe, éviter bavardage
<i>Echelle de l'écoulement</i>	Macroscopique pour l'écoulement mais PF méso
<i>Débit = vS</i>	
<i>Bernoulli ?</i>	
<i>Pitot fixe = problème ?</i>	Écoulement laminaire (Re bas) == Grille
<i>Anémomètre ?</i>	Fil chauffé, mais la température diminue sous l'effet du courant d'air : vitesse liée à cette mesure
<i>Regressi incertitude</i>	
<i>Air incompressible ?</i>	Non
<i>Outil avion ?</i>	

Debrief

fluide parfait pas forcément utile

Montrer le BO

L. Titre

Proposé par Léo

Niveau : Tle générale (mais marche aussi en SPCL)

Pré-requis :

- Mécanique terminale
- Description d'un fluide au repos : forces pressantes, statique des fluides, etc (1ère)

Difficultés :

—

Activité :

- TP : utilisation du logiciel Epanet (SPCL) pour modéliser une canalisation (perte de charge, changement de section)
- TP : torricelli
- TP : balance hydrostatique
- TD : Chateau d'eau, vitesse du sang, Archimède sous-marin...

Biblio :

- Term Spé le livre scolaire
- Term spé Bordas (belles figures!!)
- Ressource SPCL Activités : https://spcl.ac-montpellier.fr/moodle/pluginfile.php/10983/mod_label/intro/seq_6_act_1.pdf
- Ressources SPCL Cours (bien fait, avec partie canalisation) : https://spcl.ac-montpellier.fr/moodle/pluginfile.php/10983/mod_label/intro/seq_6_synth%C3%A8se.pdf

Plan proposé

Intro pédagogique

Leçon

Intro

Problématique? Comment le mouvement de l'air autour de l'avion permet de le faire voler? // OU // pistolet à peinture?

1 Poussée d'Archimède

La **poussée d'Archimède** est la résultante des forces de pression exercées par un fluide au repos sur un corps immergé dans le fluide. Pour un fluide à l'équilibre dans un champ de pesanteur uniforme, il n'y a pas de mouvement.

Origine de la poussée d'Archimède : Avec la loi fondamentale de la statique des fluides, on sait que la pression augmente avec la profondeur d'immersion, donc sur un

objet, il y aura une résultante vers le haut en partant du bas

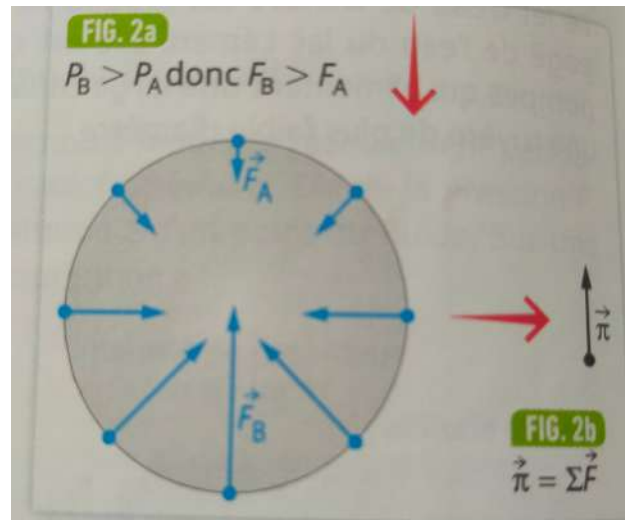


Figure 1 – Resultante d'Archimède (bordas)

Dans un référentiel galiléen, avec comme système un volume V fini de fluide, les forces s'exerçant sont le poids \vec{P} et la résultante des forces de pression $\vec{\Pi}$. En appliquant la première loi de Newton, on a $\vec{P} + \vec{\Pi} = \vec{0}$. De plus, pour tout objet qui occupe le volume V , peu importe la nature et en l'absence de mouvement, la pression dans le fluide est la même que lorsque l'objet est remplacé.

On trouve donc que $\vec{\Pi} = -\vec{P}_{fluide}$, ce qui pour un fluide de masse volumique constante donne : $\vec{\Pi} = -\rho_{fluide} V_{immerge} \vec{g}$

Exemple : Icerberg (avec comparaison poisson) [le livre scolaire p368]

La poussée d'Archimède a des conséquences importantes en aéronautique, en plongée sous-marine ou encore en construction navale.

2 Ecoulements de fluides

2.1 Modèle de la particule fluide

Fluide modélisé par un grand nombre de petits volumes : les **particules fluides**.

La vitesse d'un petit volume de fluide est la vitesse moyenne des entités qui le composent. Dans le cas d'une particule fluide, il y a un nombre important d'entités microscopique. Il faut retenir que les particules fluides sont petites devant les longueurs caractéristiques de l'écoulement

2.2 Mouvement de fluide

Certes les fluides sont plus complexes que les solides. Mais on va faire ce qu'on sait, regarder une particule fluide. L'objectif est d'obtenir un **champ de vitesse** : l'ensemble

des vecteurs vitesse de toutes les particules de fluides.

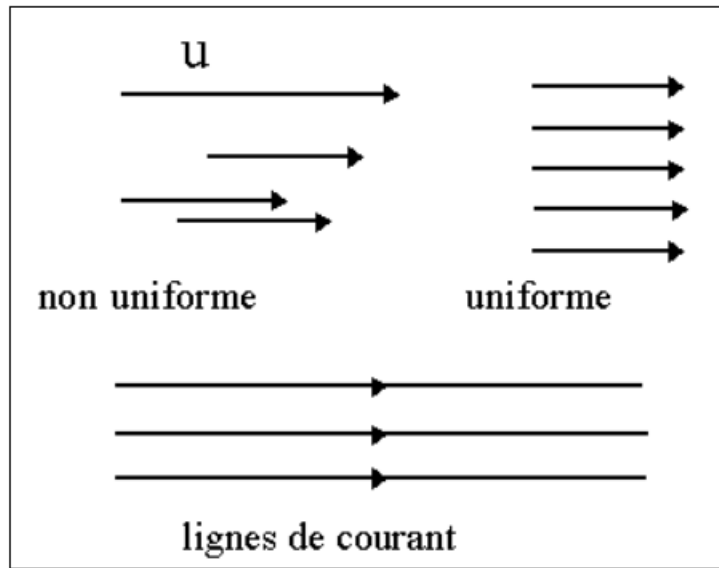


Figure 2 – Exemples de champ de vitesse (<https://www.u-picardie.fr/beauchamp/eadaa/mecafluib.htm>)

- Lignes de courant : trajectoires suivies par les particules fluides
- Tube de courant : ensemble de lignes de courant qui se déforment au sein de l'écoulement (exemple simple : contour d'un tuyau)

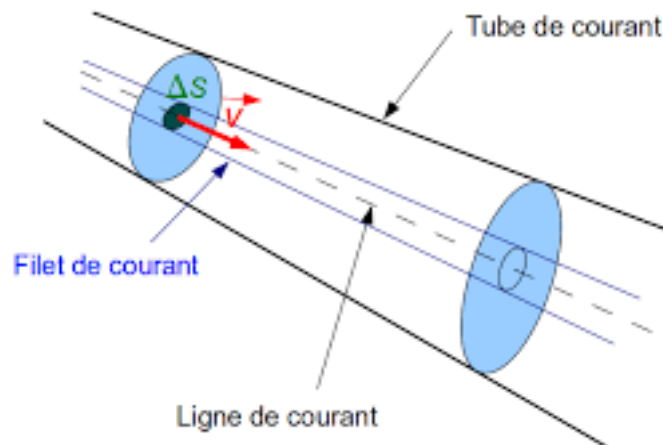


Figure 3 – Tube de courant (<http://www.etasc.fr/index.php?/page/cours/definitionsDynamique/physiqueGenerale:mecaFlu>)

2.3 Conservation du débit volumique

On introduit une nouvelle grandeur : le **débit volumique** D_v (m^3/s), avec $D_v = \frac{dV}{dt}$ (V en m^3 et t en s).

Nouveau vocabulaire :

- Ecoulement *incompressible* : écoulement où la masse volumique ρ est uniforme et constante
- Ecoulement *permanent* (ou *stationnaire*) : écoulement où le vecteur vitesse \vec{v} est indépendant du temps, mais peut varier avec la position (IMPORTANT)

La masse d'une particule fluide est constante au cours du temps. Ainsi, dans l'hypothèse d'un écoulement *incompressible*, le volume est constant (même si la particule se déforme). On peut donc relier le débit volumique à la surface traversée :

$$D_v = v \times S \text{ avec } v \text{ la vitesse en m/s et } S \text{ la surface en m}^2$$

Remarque : c'est homogène

Si on rajoute l'hypothèse d'un écoulement permanent, il y a **conservation du débit volumique**. On en déduit que le long d'un tube de courant :

$$D_v = v_1 \times S_1 = v_2 \times S_2$$

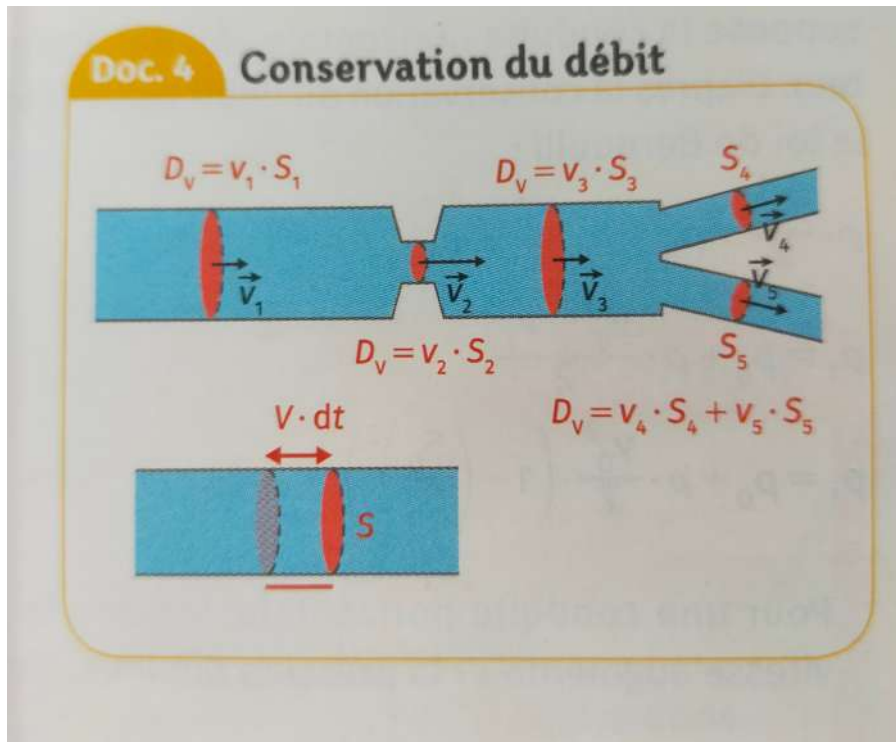


Figure 4 – Conservation du débit volumique (le livre scolaire)

Cette relation est très utile pour déterminer la vitesse à différents endroits d'un tube

3 Dynamique des fluides incompressibles

3.1 Relation de Bernoulli

Dans la suite, comme dans tous les exercices niveau lycée, les écoulements étudiés seront *permanents*, *incompressibles*, *sans tourbillons* et *sans frottements*. Néanmoins ce

n'est pas toujours le cas.

Dans ces hypothèses, avec un fluide parfait (sans frottements ni effets dissipatifs), l'énergie mécanique de la particule de fluide se conserve au cours de son déplacement. Ainsi, en prenant compte l'énergie cinétique, potentielle de pesanteur, et celle des forces de pression, Bernoulli a montré la **relation de Bernoulli** :

$$\rho \frac{v_1^2}{2} + \rho g h_1 + p_1 = \rho \frac{v_2^2}{2} + \rho g h_2 + p_2$$

Avec

- ρ masse volumique en kg/m^3
- v_1 et v_2 vitesses d'écoulement aux points 1 et 2 d'une ligne de courant (m/s)
- g intensité de la pesanteur $< \text{N/kg}$
- h_1 et h_2 hauteurs des points 1 et 2 (m)
- p_1 et p_2 pressions aux points 1 et 2 (Pa)

Remarques : C'est un bilan d'énergies volumiques

Remarques : Le modèle décrit jusqu'ici permet d'étudier les écoulements incompressibles, mais ne permet pas de traiter les écoulements turbulents, avec frottements visqueux, ou prévoir la perte de charge dans les canalisations.

3.2 Effet Venturi

Lorsqu'un fluide arrive dans une conduite qui se resserre (ou si le tube de courant change de taille), la **conservation du débit volumique** et la **relation de Bernoulli** permettent d'établir :

$$\begin{aligned} \rho \frac{v_1^2}{2} + p_1 &= \rho \frac{v_2^2}{2} + p_2 \\ p_2 &= p_1 + \rho \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} \\ p_2 &= p_1 + \rho \frac{v_1^2}{2} \times \left(1 - \left(\frac{S_1}{S_2}\right)^2\right) \end{aligned}$$

Pour une conduite horizontale, si la section diminue, la vitesse augmente et la pression diminue : **effet Venturi**

Exemples : trompe à vide, pistolet à peinture

3.3 Portance d'une aile d'avion (risqué?)

Différence de pression entre haut et bas : génère une force de portance. Discussion tube de Pitot [exercice 33 p382 le livre scolaire]

Egalement balle de ping pong en lévitation !!

3.4 Perte de charge

Voir SPCL