

Fiche 1

Écoulements de fluides (supérieur)

Ressources utilisées

— COTE, VIDAL, BCPST2

Pré-requis

Plutôt proche **BCPST2** :

- Statique des fluides (particule de fluide, échelles) [L2]
- Lignes de champ, de vitesse, de courant [L2]
- Forces pressantes, équivalent volumique [L2]
- Théorème de l'énergie mécanique [L1/L2]
- (Premier principe en écoulement [L2])

Éléments imposés possibles

Relation de BERNOULLI ; équation d'EULER ; charge ; tube de PITOT, VENTURI...

Introduction pédagogique

Niveau Deuxième année de licence (PC ou **BCPST**).

Difficultés Si l'on refait le bilan énergétique : définition du système.

Sinon, hypothèses d'application des différentes relations ; de plus en plus compliqué plus on ajoute de notion (prochain cours, fluides réels)...

Calculs peuvent impliquer un jeu entre différentes équations : pas trivial sans recul.

Travaux dirigés Relation de TORICELLI, vidange d'une citerne ; tube de PITOT, effet VENTURI ; ...

Travaux pratiques Utilisation de manomètres...

On fait le choix de ne décrire d'abord que des écoulements de fluides parfaits. Cela permet de mettre au clair quelques réflexes pour les élèves, notamment sur la vérification d'hypothèses, sur lesquelles on insistera aujourd'hui. L'idéal serait que ce cours suive un cours qui aurait réintroduit le bilan énergétique, que l'on rappellera en introduction, et sur lequel on se base pour arriver à la relation de BERNOULLI en appliquant les hypothèse du fluide parfait.

Bien sûr, l'objectif de ce cours est d'immédiatement appliquer cette relation à des cas concrets ; si d'abord on pourra montrer en quoi consiste la relation (en introduisant notamment la notion de charge et de perte de charge), il faudra donner des applications de l'étude d'écoulements de fluides pour les élèves : on pense notamment à la sonde de PITOT pour l'étude de vitesse et à la compréhension de l'effet VENTURI, dont les élèves auront forcément entendu parler.

Bien sûr, en se plaçant en BCPST2, le choix naturel permettant de suivre le programme est de n'aborder les écoulements quasiment qu'au travers de leurs aspects énergétiques. En PC ou en L2 en général, on pourrait mettre

bien plus à profit les expressions volumiques des forces de pression (ou plus tard de viscosité) pour retrouver les équations de la dynamique des fluides (parfait : EULER ou non : NAVIER-STOKES).

Introduction

Au début de cette séquence de cours, nous avons décrit un fluide au repos, et sommes arrivés à la relation fondamentale de la statique des fluides.

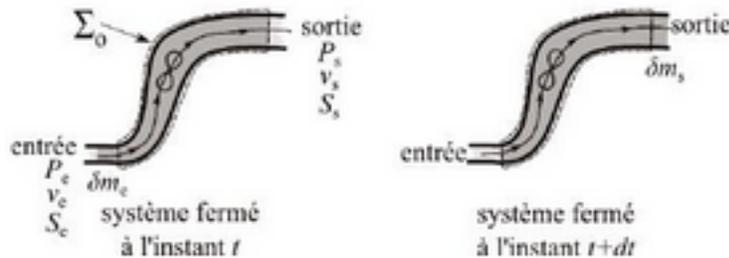


FIGURE 1.1 – Description du système considéré, source : COTE, VIDAL

Lors du dernier cours, nous sommes arrivés, en appliquant le théorème de l'énergie mécanique à un système composé de fluide en écoulement (1.1), au résultat suivant :

$$\left[\frac{p}{\rho} + \frac{1}{2}v^2 + gz \right]_e^s = w_u + w_d \quad (1.1)$$

où l'on trouve le travail utile et le travail des forces de frottement visqueux. On reconnaît bien sûr, en quantité massique (donc en joule/kg), l'énergie cinétique, l'énergie potentielle de pesanteur, et une autre énergie massique $\frac{p}{\rho}$ liée aux forces de pression dans le fluide, dont on précisera la signification plus loin.

Remarque Démonstration, COTE, VIDAL p. 626 ; très proche du bilan du premier principe en écoulement, que l'on a vu pour les machines thermiques !

1.1 Description de l'écoulement d'un fluide parfait

Nous travaillons dans le cadre restreint de l'étude d'un fluide parfait, **qui est un modèle**. Un fluide parfait est un fluide qui n'est soumis à aucune force de frottement (ni interne ni extérieure). Nous verrons ce que cela signifie plus concrètement dans un prochain cours, mais on dit aussi qu'un fluide parfait est un fluide non visqueux. Cela amène à considérer (c'est une hypothèse !) que w_d est nul, il n'y a pas de pertes d'énergie *par dissipation*.

On peut alors voir l'écoulement d'un fluide parfait comme un écoulement qui conserverait son énergie, sa vitesse... mais comme le montre la formule, c'est plus compliqué que simplement une histoire de dissipation : nous allons voir cela avec une forme plus concrète, la relation de BERNOULLI, après avoir introduit quelques notions utiles à la résolution de problème concernant les fluides parfaits.

Remarque En fonction de ce dont on a besoin, et de ce qu'il y a à traiter en deuxième partie...

1.1.1 (Caractéristiques de l'écoulement d'un fluide parfait)

Conservation de la masse Le débit massique se conserve ; et pour un fluide incompressible, le débit volumique se conserve alors. On peut donc facilement lier la section d'une conduite et la vitesse du fluide parfait en écoulement dans celui-ci. [Présenter des applications numériques ?]

Applicabilité de la statique des fluides L'écoulement unidirectionnel d'un fluide parfait suit la répartition de pression décrite par la statique des fluides dans toute direction perpendiculaire à l'écoulement.

Remarque Peut se montrer, n'est pas l'essence de la leçon à mon goût, mais voir COTE, VIDAL, p. 640.

1.1.2 La relation de BERNOULLI

Il s'agit de reprendre l'expression du bilan énergétique précédemment établi dans les conditions suivantes :

- l'écoulement est permanent (pas de dépendance en temps);
- le fluide est parfait (pas de dissipation);
- le fluide est incompressible (masse volumique constante);
- l'écoulement ne rencontre pas de parties mobiles (pas de travail utile créé);
- le fluide n'est soumis qu'à son poids et aux forces pressantes.

Dans ces conditions, on peut écrire, la démonstration dépassant le cadre de ce cours, que sur une ligne de courant :

$$C = p + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho g z = \text{Constante} \quad (1.2)$$

que l'on appelle aussi la conservation de la charge.

Remarque Dans un fluide parfait, il n'y a pas de « perte de charge », cette quantité est constante le long d'une ligne de courant ; lorsque l'on travaillera avec des fluides non parfaits, c'est à dire pour lesquels il y a viscosité/frottement, cela ne sera plus vrai.

1.2 Application

Pédagogie L'une ou l'autre à développer en fonction de l'élément imposé.

Remarque Dans tout le cadre de cette étude, on utilise, expérimentalement, des appareils de mesure de pression : être au point sur les manomètres...

1.2.1 Tube de PITOT et mesure de vitesse

Cours et exercice dédié dans le COTE, VIDAL.

Remarque Insister sur les lignes de courant, introduire le point d'arrêt.

1.2.2 Effet VENTURI et mesure de débit

Cours et exercice dédié dans le COTE, VIDAL.

Remarque Principe d'une trompe à eau : dépression à l'endroit du rétrécissement !

Conclusion

Retour sur l'utilisation du théorème de BERNOULLI : lier pression et vitesse (éventuellement altitude, pour les phénomènes de vidange) ; à utiliser conjointement avec autres relations : statique des fluides (pour la pression) et débit conservé (pour le lien entre vitesse et section) !

Cas très simple ici, idéalisé car fluide parfait... suite du cours : introduction aux fluides réels avec notion de viscosité qui amène à considérer des pertes de charge, la relation de BERNOULLI n'est plus valable... Amène à l'explication d'autres phénomènes : la circulation sanguine, les écoulements dans les milieux poreux... se rapprocher de la SVT.