

# LP Bilans de grandeurs physiques dans les fluides en écoulement. Applications.

9 juin 2022

Niveau : L2

Commentaires du jury

Prérequis

➤

Expériences

☞ Ballon de baudruche qui se dégonfle

☞ Mesure par mesure de capacité

Bibliographie

✎ *Le nom du livre, l'auteur*<sup>1</sup>

→ Expliciter si besoin l'intérêt du livre dans la leçon et pour quelles parties il est utile.

## Table des matières

<b>1 Bilan de masse</b>	<b>1</b>
1.1 Systèmes considérés	1
1.2 Loi des nœuds massique	1
<b>2 Bilan de quantité de mouvement</b>	<b>2</b>
2.1 Force de poussée	2
2.2 La fusée	2
<b>3 Théorème de Bernoulli</b>	<b>2</b>

## Introduction

Enorme schéma

## 1 Bilan de masse

### 1.1 Systèmes considérés

$\Sigma$  système ouvert (A'B'CD),  $\Sigma^*$  système fermé : ABCD à  $t$ , A'B'C'D' à  $t+dt$ . Pendant  $dt$ ,  $\delta m_e$  rentre dans  $\Sigma$ , et  $\delta m_s$  sort de  $\Sigma$ .

$$\delta m_s = D_m s dt = \rho_2 S_2 v_2 dt$$

$$\text{Bilan de masse : } m(t+dt) = m(t) + \delta m_e - \delta m_s$$

### 1.2 Loi des nœuds massique

$$D_m = \frac{\delta m}{dt} \quad // \quad i = \frac{\delta q}{dt}$$

$$\Sigma_i D_{me,i} = \Sigma_j D - m s, j$$

(schéma) soit ici  $D_{me} = D_{ms,1} + D_{ms,2}$

### Transition

On s'est intéressé pour le moment à une grandeur fondamentale, mais on peut également considérer des bilans de grandeurs dynamiques.

## 2 Bilan de quantité de mouvement

### 2.1 Force de poussée

PFD sur  $\Sigma^*(t)$  :

$$\frac{dp^*}{dt} = \mathbf{F}_{\text{ext}}$$

Au temps  $t$  :

$$\mathbf{p}^*(t) = \mathbf{p}(t) + \delta\mathbf{p}_{ABB'A'} = \mathbf{p}(t) + \delta m_e \mathbf{v}_1 \quad (1)$$

(blabla eqn 2) ((2)-(1))/dt donne :

où on définit  $\Pi$  la **force de poussée**.

Expérience : lâcher un ballon préalablement gonflé (éventuellement avec un bouchon percé pour qu'il aille droit : écoulement laminaire).

### 2.2 La fusée

[slide]

$m(t)$  : masse de la fusée + carburant contenu dans le réservoir au temps  $t$

Référentiel terrestre supposé galiléen (justifié ensuite)

$\mathbf{u}$  vitesse des gaz éjectés par rapport à la fusée

$$\frac{d\mathbf{p}}{dt} = m(t)\mathbf{g} - D_m\mathbf{u}$$

Condition de décollage :  $D_m u \geq m(0)g$

Application numérique pour *Saturn V* :

$m(0) = 3000$  t

$u = 2580$  m/s

soit  $D_{m,min} = 11,6$  t/s.

On peut également calculer le temps max que peut prendre le décollage, en ayant la masse initiale de gaz (ndlr seulement celle du premier moteur, il y en a d'autres pour retourner sur Terre, pas d'inquiétude) :  $m_{gaz}(0) = 2279$  t soit  $T_{max} = 197$  s, à comparer au temps réel de décollage (159 s) : justification de l'hypothèse de référentiel galiléen (le référentiel terrestre ne l'est plus pour une durée d'étude de l'ordre de quelques heures, puisque la Terre tourne en 24h).

## 3 Théorème de Bernoulli

On prend  $\Sigma$  un tube de courant centré sur la ligne de courant  $L$ . (En fait pas besoin du tube de courant.) Pour un écoulement permanent, parfait, laminaire (et profil de vitesse constant sur la section), on fait un bilan d'énergie cinétique :

$$E_c^*(t) = E_c(t) + \frac{1}{2}\delta m_e v_1^2 \quad (2)$$

$$E_c^*(t+dt) = E_c(t+dt) + \frac{1}{2}\delta m_s v_2^2 \quad (3)$$

Thé

et en régime permanent,

## Conclusion

### Message clé

le message est

## Compléments

### Questions

- **Idée d'application concrète très utile du thm de Bernoulli ?** Effet Venturi pour faire le vide par exemple en chimie. Ailes d'avion. **Comment ça marchait les capteurs de vitesse sur les avions avant ?** Tubes de Pitot. Oui, d'ailleurs iels ont arrêté de le faire parce que ça gèle.
- **Fluide parfait pour Bernoulli ? C'est quoi ?** J'ai supposé un *écoulement parfait*, pour lequel on néglige la viscosité. Pour un fluide invicidé, la viscosité est rigoureusement nulle. Pourquoi on fait cette différence ? Souvent on veut les conditions aux limites : vitesse nulle aux bords Tu sais d'où elle vient cette condition pour un fluide newtonien ? Il faut continuité de la vitesse tangentielle sinon force infinie exercée sur le solide.
- **Sur quelle couche les effets visqueux important ?** Couche limite **Son évolution avec le nombre de Reynolds ?** Couche grandit en  $1/\sqrt{Re}$ .
- Est-ce que tu connais un fluide invicidé ? Superfluides. Paradoxe de d'Alembert : aucune force exercée sur un cylindre dans l'écoulement. Pour invicidé pas de force de portance sur une aile, pour un fluide parfait il y a portance. Ça se trouve assez facilement des papiers là-dessus, en fait on mesure toujours une petite viscosité très très faible.
- **C'est quoi les deux critères pour réf terrestre galiléen ?** Temps court devant période de rotation de la Terre, distance courte devant rayon de la Terre. On peut trouver ça dans livres de méca en détail. Moins du millier de km.
- **11,6 t de gaz par seconde ? Tu peux donner un exemple du volume que ça prend ?** En odg,  $10^4 m^3$ . Ça rentre pas dans une fusée, ça. Iels font comment ? Liquide : ergol, ou diergol. En fait, ça permet d'économiser de l'énergie de prendre des fluides qui ont des réactions exothermiques.
- **Toujours sur les fusées, pourquoi on s'embête à mettre des tuyères ?** D'abord pour que l'écoulement soit pas trop turbulent pour que ça aille droit, et surtout pour rester à une vitesse subsonique (cf exercice sur les tuyères).
- Pourquoi on lâche pas juste des blocs de béton de la fusée ? Il faudrait les propulser, ça demande énormément d'énergie. Surtout, il faut que ça soit en *contact* avec ce qu'on propulse (donc avec la fusée) : important que ça soit un fluide.
- Quels TD, TP, quelle logique de la construction ? S'inscrit dans cours plus large sur méca flu, on peut voir des applications du thm de Bernoulli... Un truc très étudié avec des bilans ? Un ressaut hydraulique : zone où l'épaisseur d'eau est très faible, à peu près circulaire, en bas du robinet. Typiquement un truc qui s'étudie très bien. On peut traiter la diffusion sous forme de bilan. Par exemple, on peut étudier le gel de l'eau... Etudier la force exercée sur un mur quand on dirige un jet d'eau vers un mur ou sur une plaque (Guyon, Hulin, Petit).
- À ton avis, on peut redémontrer la méca flu avec des bilans ? Oui, à condition de prendre en compte les forces de cisaillement... Cadre théorique de Navier-Stokes ? Particules de fluide en vision eulérienne (celle où on regarde un point fixe). C'est un peu l'équivalent du système ouvert ici. Redémontrer avec le système fermé, ce serait redémontrer la méca flu avec un point de vue lagrangien : c'est ultra galère. Bref, tout se redémontre bien avec des bilans, sauf pour Navier-Stokes. D'ailleurs : Navier-Stokes ça se démontre en principe avec une vision eulérienne. Pourtant, on applique le PFD, et le PFD ça marche sur un système *fermé*. Comment ça se fait ? Où

est la vérité? Pas de réponse, si vous l'avez envoyez un mail à benjamin.monnet@ens-lyon.fr parce qu'il l'attend avec impatience.

- Pour les TP, on peut faire vérifier les machins sur les temps et les débits avec une "fusée" à eau (remplir aux trois quarts la bouteille d'eau, fermer avec un bouchon, pomper de l'air dedans pour faire monter la pression)
- Bernoulli tu l'as fait avec le TEC. T'aurais pu faire quoi à la place? Navier-Stokes, ou avec bilan d'énergie mécanique.
- Précisions sur les moments où tu as choisi d'utiliser  $d$  plutôt que  $\delta$  ou l'inverse? J'ai choisi  $d$  pour les différentielles : caractérise une évolution. J'utilisais les  $\delta$  pour des quantités infinitésimales. Et quelle est la différence entre les deux en thermo? Différentielle exacte ( $dU$ ) contre quantité infinitésimale ( $\delta Q$ ). C'est quoi une différentielle exacte en maths?

## Commentaires

- Explicite que tu annotes  $\star$  toutes les quantités qui se rapportent à  $\Sigma^\star$ . Reste aussi sur *entrant* et *sortant* plutôt que ABB'A'ABCDEBHZKS
- Faire attention à la transition entre machin ouvert et machin qui a l'air fermé : ça peut perturber éventuellement la compréhension ; est-ce que ça suffit de dire  $v_1 = 0$ ?
- À propos du plan, mettre plus en avant la progression : bilan de quantité fondamentale, puis quantité dynamique, puis quantité "intégrée". Éviter l'effet liste...
- Bonne idée de faire le schéma grand puis de le faire évoluer dans le temps avec des couleurs qui correspondent à ce que tu écris dans les calculs! Précise peut-être au début qu'il va rester tout au long de la leçon...
- Le jury sait que tu vas faire des bilans, c'est le titre. Mais il faut que tout soit pédagogiquement carré, c'est ça qui va faire la différence. Toute la subtilité c'est de trouver une logique dans les plans qui ont l'air d'appeler des listes ("Phénomènes", "Modèles", "Bilans"...). Il faut qu'on sache où aller (cf leçon de Mathieu sur les Modèles de diffusion de la lumière).