

# Description des écoulements stationnaires

## Au programme

Extrait du programme officiel : partie 1 « Thermodynamique et mécanique des fluides », bloc 4 « Description d'un fluide en écoulement stationnaire dans une conduite ».

Le bloc 4 introduit le point de vue eulérien pour l'étude des écoulements. Il s'agit de décrire simplement un écoulement en identifiant des tubes de courant sur lesquels des bilans pourront ensuite être effectués. On pourra faire le lien avec la signification physique des opérateurs rotationnel et divergence introduits dans le cours d'électromagnétisme.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Grandeurs eulériennes. Régime stationnaire.	Décrire localement les propriétés thermodynamiques et mécaniques d'un fluide à l'aide des grandeurs intensives pertinentes.
Lignes et tubes de courant.	Associer le caractère a priori divergent ou rotationnel d'un écoulement à une carte de champ de vitesse fournie.
Débit massique.	Exprimer le débit massique en fonction de la vitesse d'écoulement.  Exploiter la conservation du débit massique.
Débit volumique.	Justifier l'intérêt d'utiliser le débit volumique pour l'étude d'un fluide de volume massique constant et uniforme en écoulement.
Écoulements laminaires.	<b>Approche documentaire</b> : Relier la nature de l'écoulement à la valeur du nombre de Reynolds.  Distinguer, sur un document, un écoulement laminaire d'un autre type d'écoulement.

En **gras**, les points devant faire l'objet d'une approche expérimentale.

Extrait du programme officiel : partie 1 « Thermodynamique et mécanique des fluides », bloc 5 « Énergétique des fluides en écoulement laminaire stationnaire dans une conduite ».

Notions et contenus	Capacités exigibles
Fluides parfaits.	Caractériser un fluide parfait par un profil de vitesse uniforme dans une même section droite.
Fluides newtoniens : notion de viscosité.	Citer des ordres de grandeur de viscosité dynamique de gaz et de liquides (dans le cadre des machines hydrauliques et thermiques, des lubrifiants, etc.).  Relier l'expression de la force surfacique de cisaillement au profil de vitesse.  Exploiter les conditions aux limites du champ de vitesse d'un fluide dans une conduite.  Lier qualitativement l'irréversibilité d'un écoulement à la viscosité.

En **gras**, les points devant faire l'objet d'une approche expérimentale.

---

## Au concours

---

- ▷ Écrit : épreuve B 2015 « seulement », cependant ce chapitre est important pour la suite.
- ▷ Oral : occasionnellement.

---

## Plan du cours

---

### I Deux approches de description d'un écoulement

- I.1 Description lagrangienne
- I.2 Description eulérienne
- I.3 Écoulement stationnaire

### II Bilans de masse et débits

- II.1 Débit massique au travers d'une surface
- II.2 Bilan de masse d'un volume de contrôle
- II.3 Débit volumique

### III Quelques propriétés des écoulements

- III.1 Lignes et tubes de courant
- III.2 Écoulement incompressible et divergence du champ de vitesse
- III.3 Écoulement tourbillonnaire et rotationnel du champ de vitesse
- III.4 Écoulement laminaire ou turbulent

### IV Viscosité

- IV.1 Action mécanique exercée par sur une paroi sur un fluide
- IV.2 Écoulement parfait
- IV.3 Vitesse d'un fluide au contact d'une paroi solide
- IV.4 Nombre de Reynolds

---

## Exercices de cours

---

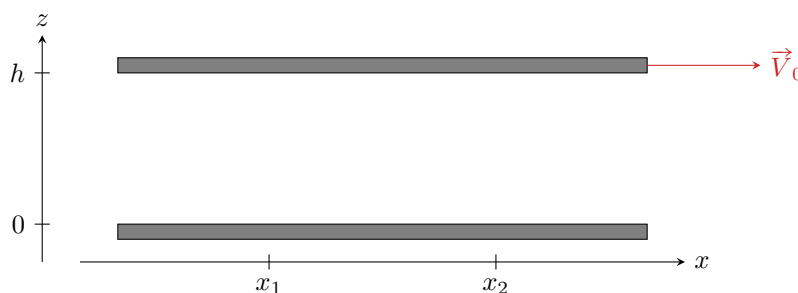
### Exercice C1 : Écoulement de Couette plan : représentation du champ des vitesses

Un écoulement de Couette est un écoulement qui a lieu entre deux plaques en mouvement l'une par rapport à l'autre. Dans l'écoulement plan étudié ici, les deux plaques sont supposées infinies dans les directions  $x$  et  $y$ . La plaque supérieure est tirée à la vitesse  $\vec{V}_0 = V_0 \vec{u}_x$ .

Le champ des vitesses au sein de l'écoulement est donné par

$$\vec{v}(M) = V_0 \frac{z}{h} \vec{u}_x .$$

Représenter ce champ de vitesse en  $x = x_1$  et  $x = x_2$ .



### Exercice C2 : Écoulement de Couette plan : débit massique

On considère l'écoulement de Couette de l'exercice précédent. On suppose la masse volumique  $\rho$  constante et uniforme. Calculer le débit massique au travers de la section  $x = x_1$  en supposant une longueur  $L$  dans la direction  $y$ . Que dire du débit massique au travers de la section  $x = x_2$  ?

### Exercice C3 : Écoulement de Couette plan : caractère incompressible

On considère l'écoulement de Couette des exercices précédents. S'agit-il d'un écoulement compressible ?

### Exercice C4 : Écoulement de Couette plan : caractère tourbillonnaire

On considère l'écoulement de Couette des exercices précédents. S'agit-il d'un écoulement tourbillonnaire ?

### Exercice C5 : Écoulement de Couette plan : forces exercées par les parois sur le fluide

On considère l'écoulement de Couette des exercices précédents. Analyser l'effet sur l'écoulement des forces exercées par la paroi supérieure et la paroi inférieure. En déduire leur sens, puis les calculer pour un élément de surface  $dS$  de chaque paroi.

## Documents

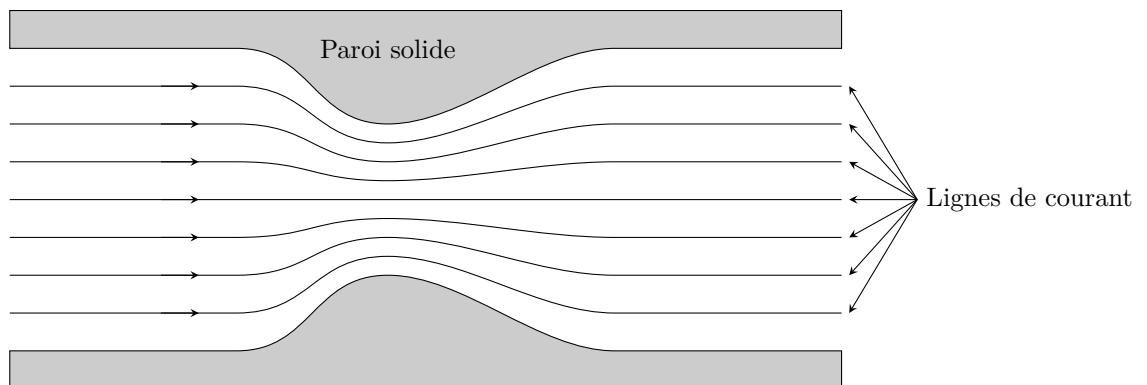
### Document 1 : Point de vue eulérien et lagrangien



Cette carte météo renseigne sur la direction du vent en utilisant soit le point de vue eulérien (choisir « bords »), soit le point de vue lagrangien (choisir « gradient »). La norme de la vitesse est donnée par le code couleur.

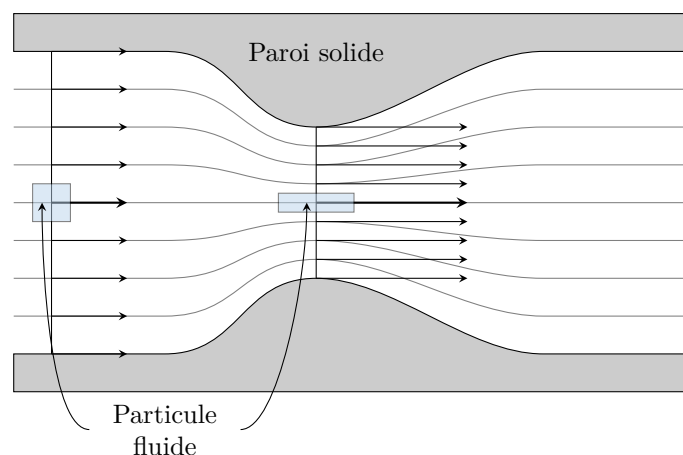
### Document 2 : Lignes de courant dans un convergent-divergent

Les figures qui suivent sont issues du travail de Christophe Cayssiols.



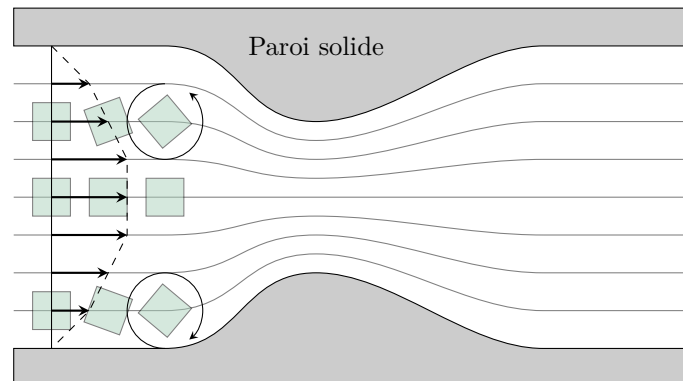
### Document 3 : Écoulement incompressible

Pour simplifier, on suppose le profil de vitesse uniforme dans une section parallèle à l'écoulement. Le resserrement des lignes de courant indique une augmentation de vitesse. La particule de fluide représentée à deux instants différents se déforme, mais comme l'écoulement est incompressible son volume ne change pas.

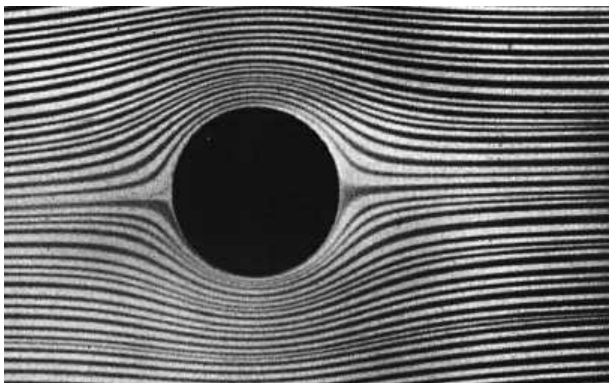


### Document 4 : Écoulement tourbillonnaire

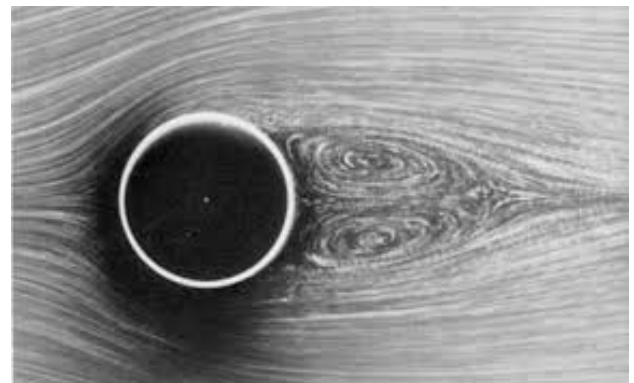
On ne suppose plus cette fois le profil de vitesse uniforme. Le caractère tourbillonnaire de l'écoulement est dû à la différence de vitesse entre « le haut » et « le bas » des particules fluides. En toute rigueur, la rotation d'une particule fluide s'accompagne aussi d'une déformation, non représentée sur la figure.



### Document 5 : Écoulement laminaire et turbulent



Écoulement laminaire



Écoulement turbulent

*Photos issues du site de l'ONERA*



Cette vidéo est réalisée dans un tunnel à fumée : des bouffées de fumée sont envoyées à intervalle régulier dans un écoulement imposé par une soufflerie, ce qui permet de le visualiser. La fin du film (au delà de 50 secondes) permet de voir la transition d'un écoulement laminaire, aux lignes de courant bien définies, vers un écoulement turbulent dans lequel les fluctuations du champ des vitesses sont telles qu'on ne distingue plus de lignes de courant.