

I. Description  
d'un fluide en  
mouvement

II. Masse et  
volume en  
écoulement

III. Vorticité

# CINÉMATIQUE DES FLUIDES

Lycée Henri Poincaré, Classe de PC\*

# I. Description d'un fluide en mouvement

1. Particule fluide
2. Champs eulériens dans l'écoulement
3. Visualisation du champ de vitesse
4. Écoulement stationnaire
5. Dérivée particulaire
  - a. Variation sur place dans un écoulement variable
  - b. Variation convective dans un écoulement non uniforme
  - c. Cas général

I. Description  
d'un fluide en  
mouvement

II. Masse et  
volume en  
écoulement

III. Vorticité

# I. Description d'un fluide en mouvement

1. Particule fluide
2. Champs eulériens dans l'écoulement
3. Visualisation du champ de vitesse
4. Écoulement stationnaire
5. Dérivée particulaire
  - a. Variation sur place dans un écoulement variable
  - b. Variation convective dans un écoulement non uniforme
  - c. Cas général

I. Description  
d'un fluide en  
mouvement

II. Masse et  
volume en  
écoulement

III. Vorticité

# I. Description d'un fluide en mouvement

## 1. Particule fluide



## 2. Champs eulériens dans l'écoulement

## 3. Visualisation du champ de vitesse

## 4. Écoulement stationnaire

## 5. Dérivée particulaire

- Variation sur place dans un écoulement variable
- Variation convective dans un écoulement non uniforme
- Cas général

I. Description  
d'un fluide en  
mouvement

II. Masse et  
volume en  
écoulement

III. Vorticité

# I. Description d'un fluide en mouvement

1. Particule fluide
2. Champs eulériens dans l'écoulement
3. Visualisation du champ de vitesse
4. Écoulement stationnaire
5. Dérivée particulaire
  - a. Variation sur place dans un écoulement variable
  - b. Variation convective dans un écoulement non uniforme
  - c. Cas général

I. Description  
d'un fluide en  
mouvement

II. Masse et  
volume en  
écoulement

III. Vorticité

# I. Description d'un fluide en mouvement

1. Particule fluide
2. Champs eulériens dans l'écoulement

## Définition d'un champ eulérien

$F(M, t) =$  grandeur physique  $F$  pour la particule fluide qui se trouve en  $M$  à l'instant  $t$

3. Visualisation du champ de vitesse
4. Écoulement stationnaire
5. Dérivée particulaire
  - a. Variation sur place dans un écoulement variable
  - b. Variation convective dans un écoulement non uniforme
  - c. Cas général

I. Description  
d'un fluide en  
mouvement

II. Masse et  
volume en  
écoulement

III. Vorticité

# I. Description d'un fluide en mouvement

1. Particule fluide
2. Champs eulériens dans l'écoulement
3. Visualisation du champ de vitesse
4. Écoulement stationnaire
5. Dérivée particulaire
  - a. Variation sur place dans un écoulement variable
  - b. Variation convective dans un écoulement non uniforme
  - c. Cas général

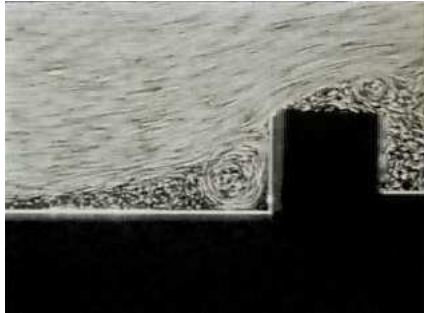
I. Description  
d'un fluide en  
mouvement

II. Masse et  
volume en  
écoulement

III. Vorticité

# I. Description d'un fluide en mouvement

1. Particule fluide
2. Champs eulériens dans l'écoulement
3. Visualisation du champ de vitesse



film : [▶ forwardstep.mov](#)

4. Écoulement stationnaire
5. Dérivée particulaire
  - a. Variation sur place dans un écoulement variable
  - b. Variation convective dans un écoulement non uniforme
  - c. Cas général

I. Description  
d'un fluide en  
mouvement

II. Masse et  
volume en  
écoulement

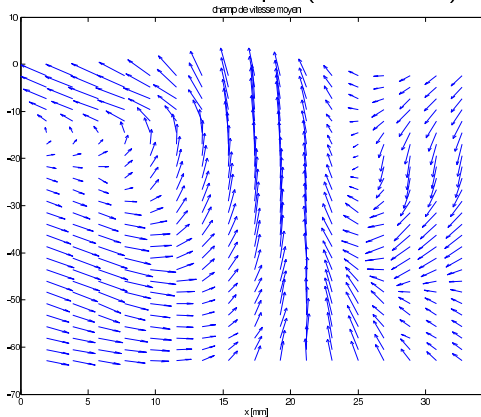
III. Vorticité



# I. Description d'un fluide en mouvement

1. Particule fluide
2. Champs eulériens dans l'écoulement
3. Visualisation du champ de vitesse

## Convection thermique (PIV, ESPCI)



I. Description  
d'un fluide en  
mouvement

II. Masse et  
volume en  
écoulement

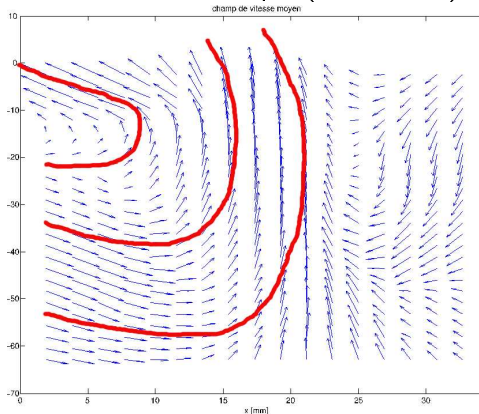
III. Vorticité

4. Écoulement stationnaire
5. Dérivée particulaire

# I. Description d'un fluide en mouvement

1. Particule fluide
2. Champs eulériens dans l'écoulement
3. Visualisation du champ de vitesse

## Convection thermique (PIV,ESPCI)



I. Description  
d'un fluide en  
mouvement

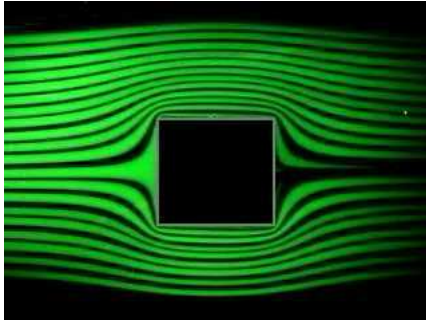
II. Masse et  
volume en  
écoulement

III. Vorticité

4. Écoulement stationnaire
5. Dérivée particulaire

# I. Description d'un fluide en mouvement

1. Particule fluide
2. Champs eulériens dans l'écoulement
3. Visualisation du champ de vitesse



film : [square\\_heleshaw.mov](#)

4. Écoulement stationnaire
5. Dérivée particulaire
  - a. Variation sur place dans un écoulement variable
  - b. Variation convective dans un écoulement non uniforme
  - c. cas général

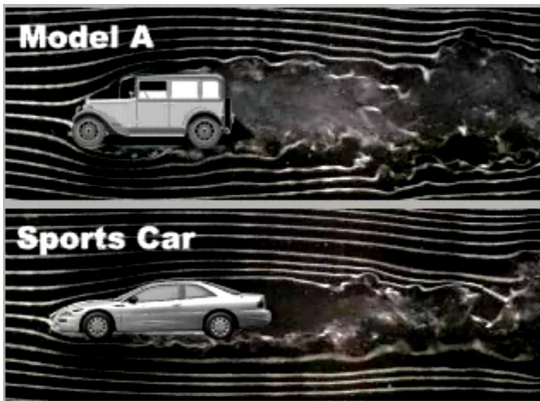
I. Description  
d'un fluide en  
mouvement

II. Masse et  
volume en  
écoulement

III. Vorticité

# I. Description d'un fluide en mouvement

1. Particule fluide
2. Champs eulériens dans l'écoulement
3. Visualisation du champ de vitesse



film : [carsmokecombo.mov](#)

4. Écoulement stationnaire
5. Dérivée particulaire

I. Description  
d'un fluide en  
mouvement

II. Masse et  
volume en  
écoulement

III. Vorticité

# I. Description d'un fluide en mouvement

1. Particule fluide
2. Champs eulériens dans l'écoulement
3. Visualisation du champ de vitesse
4. Écoulement stationnaire
5. Dérivée particulaire
  - a. Variation sur place dans un écoulement variable
  - b. Variation convective dans un écoulement non uniforme
  - c. Cas général

I. Description  
d'un fluide en  
mouvement

II. Masse et  
volume en  
écoulement

III. Vorticité

# I. Description d'un fluide en mouvement

1. Particule fluide
2. Champs eulériens dans l'écoulement
3. Visualisation du champ de vitesse
4. Écoulement stationnaire
5. Dérivée particulaire
  - a. Variation sur place dans un écoulement variable
  - b. Variation convective dans un écoulement non uniforme
  - c. Cas général

I. Description  
d'un fluide en  
mouvement

II. Masse et  
volume en  
écoulement

III. Vorticité

# I. Description d'un fluide en mouvement

1. Particule fluide
2. Champs eulériens dans l'écoulement
3. Visualisation du champ de vitesse
4. Écoulement stationnaire
5. Dérivée particulaire
  - a. Variation sur place dans un écoulement variable
  - b. Variation convective dans un écoulement non uniforme
  - c. Cas général

I. Description  
d'un fluide en  
mouvement

II. Masse et  
volume en  
écoulement

III. Vorticité

# I. Description d'un fluide en mouvement

1. Particule fluide
2. Champs eulériens dans l'écoulement
3. Visualisation du champ de vitesse
4. Écoulement stationnaire
5. Dérivée particulaire
  - a. Variation sur place dans un écoulement variable
  - b. Variation convective dans un écoulement non uniforme
  - c. Cas général

I. Description  
d'un fluide en  
mouvement

II. Masse et  
volume en  
écoulement

III. Vorticité



# I. Description d'un fluide en mouvement

1. Particule fluide
2. Champs eulériens dans l'écoulement
3. Visualisation du champ de vitesse
4. Écoulement stationnaire
5. Dérivée particulaire
  - a. Variation sur place dans un écoulement variable
  - b. Variation convective dans un écoulement non uniforme
  - c. Cas général

I. Description  
d'un fluide en  
mouvement

II. Masse et  
volume en  
écoulement

III. Vorticité

# I. Description d'un fluide en mouvement

1. Particule fluide
2. Champs eulériens dans l'écoulement
3. Visualisation du champ de vitesse
4. Écoulement stationnaire
5. Dérivée particulaire
  - a. Variation sur place dans un écoulement variable
  - b. Variation convective dans un écoulement non uniforme
  - c. Cas général

## Définition

On appelle **dérivée particulaire** de la grandeur  $F$  en  $M$  à l'instant  $t$  la dérivée temporelle de  $F_P(t)$ , où  $P$  est la particule fluide qui passe en  $M$  à l'instant  $t$ . On la note  $\frac{DF(M,t)}{Dt}$ .

I. Description  
d'un fluide en  
mouvement

II. Masse et  
volume en  
écoulement

III. Vorticité

## II. Masse et volume en écoulement

1. Transport de masse, transport de volume
2. Conservation de la masse : aspect local
3. Conservation de la masse : aspect intégral
4. Dérivée particulaire de la masse volumique
5. Écoulement incompressible

I. Description  
d'un fluide en  
mouvement

II. Masse et  
volume en  
écoulement

III. Vorticité

## II. Masse et volume en écoulement

1. Transport de masse, transport de volume
2. Conservation de la masse : aspect local
3. Conservation de la masse : aspect intégral
4. Dérivée particulaire de la masse volumique
5. Écoulement incompressible

I. Description  
d'un fluide en  
mouvement

II. Masse et  
volume en  
écoulement

III. Vorticité

## II. Masse et volume en écoulement

1. Transport de masse, transport de volume
2. Conservation de la masse : aspect local
3. Conservation de la masse : aspect intégral
4. Dérivée particulaire de la masse volumique
5. Écoulement incompressible

I. Description  
d'un fluide en  
mouvement

II. Masse et  
volume en  
écoulement

III. Vorticité

## II. Masse et volume en écoulement

1. Transport de masse, transport de volume
2. Conservation de la masse : aspect local
3. Conservation de la masse : aspect intégral
4. Dérivée particulaire de la masse volumique
5. Écoulement incompressible

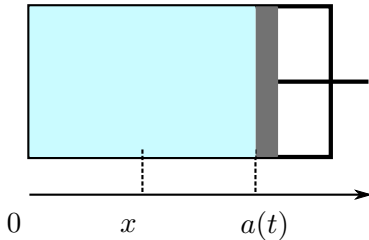
I. Description  
d'un fluide en  
mouvement

II. Masse et  
volume en  
écoulement

III. Vorticité

## II. Masse et volume en écoulement

1. Transport de masse, transport de volume
2. Conservation de la masse : aspect local



3. Conservation de la masse : aspect intégral
4. Dérivée particulaire de la masse volumique
5. Écoulement incompressible

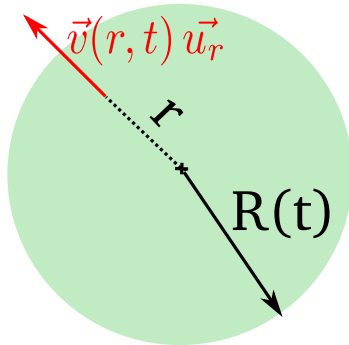
I. Description  
d'un fluide en  
mouvement

II. Masse et  
volume en  
écoulement

III. Vorticité

## II. Masse et volume en écoulement

1. Transport de masse, transport de volume
2. Conservation de la masse : aspect local



3. Conservation de la masse : aspect intégral
4. Dérivée particulaire de la masse volumique
5. Écoulement incompressible

I. Description  
d'un fluide en  
mouvement

II. Masse et  
volume en  
écoulement

III. Vorticité



## II. Masse et volume en écoulement

1. Transport de masse, transport de volume
2. Conservation de la masse : aspect local
3. Conservation de la masse : aspect intégral
4. Dérivée particulaire de la masse volumique
5. Écoulement incompressible

I. Description  
d'un fluide en  
mouvement

II. Masse et  
volume en  
écoulement

III. Vorticité

## II. Masse et volume en écoulement

1. Transport de masse, transport de volume
2. Conservation de la masse : aspect local
3. Conservation de la masse : aspect intégral
4. Dérivée particulaire de la masse volumique
5. Écoulement incompressible

I. Description  
d'un fluide en  
mouvement

II. Masse et  
volume en  
écoulement

III. Vorticité

## II. Masse et volume en écoulement

1. Transport de masse, transport de volume
2. Conservation de la masse : aspect local
3. Conservation de la masse : aspect intégral
4. Dérivée particulaire de la masse volumique
5. Écoulement incompressible

I. Description  
d'un fluide en  
mouvement

II. Masse et  
volume en  
écoulement

III. Vorticité

## II. Masse et volume en écoulement

1. Transport de masse, transport de volume
2. Conservation de la masse : aspect local
3. Conservation de la masse : aspect intégral
4. Dérivée particulaire de la masse volumique
5. Écoulement incompressible

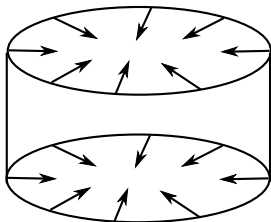
I. Description  
d'un fluide en  
mouvement

II. Masse et  
volume en  
écoulement

III. Vorticité

## II. Masse et volume en écoulement

1. Transport de masse, transport de volume
2. Conservation de la masse : aspect local
3. Conservation de la masse : aspect intégral
4. Dérivée particulaire de la masse volumique
5. Écoulement incompressible



I. Description  
d'un fluide en  
mouvement

II. Masse et  
volume en  
écoulement

III. Vorticité

# III. Vorticité

1. Rotationnel du champ de vitesse
2. Vecteur tourbillon
3. Circulation du champ de vitesse
4. Cas d'une courbe fermée et lien avec la vorticité
5. Vortex de Rankine
6. Écoulements irrotationnels
  - a. Définition et conséquence
  - b. Écoulement irrotationnel incompressible
  - c. Exemple : écoulement autour d'une boule

I. Description  
d'un fluide en  
mouvement

II. Masse et  
volume en  
écoulement

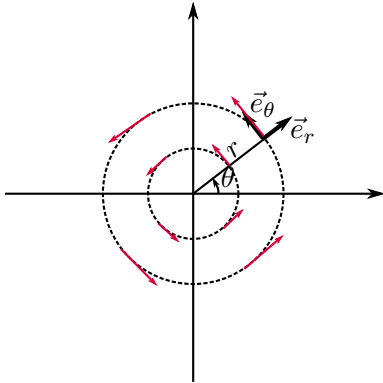
III. **Vorticité**

# III. Vorticité

1. Rotationnel du champ de vitesse
2. Vecteur tourbillon
3. Circulation du champ de vitesse
4. Cas d'une courbe fermée et lien avec la vorticité
5. Vortex de Rankine
6. Écoulements irrotationnels
  - a. Définition et conséquence
  - b. Écoulement irrotationnel incompressible
  - c. Exemple : écoulement autour d'une boule

### III. Vorticité

#### 1. Rotationnel du champ de vitesse



2. Vecteur tourbillon

3. Circulation du champ de vitesse

4. Cas d'une courbe fermée et lien avec la vorticité

5. Vortex de Rankine

6. Écoulements irrotationnels

a. Définition et conséquence

b. Écoulement irrotationnel incompressible

I. Description  
d'un fluide en  
mouvement

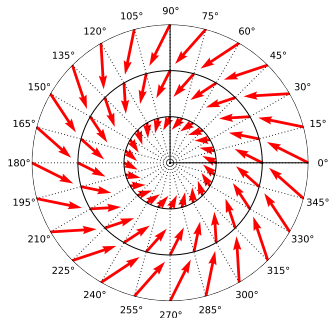
II. Masse et  
volume en  
écoulement

III. Vorticité



### III. Vorticité

#### 1. Rotationnel du champ de vitesse



2. Vecteur tourbillon

3. Circulation du champ de vitesse

4. Cas d'une courbe fermée et lien avec la vorticité

5. Vortex de Rankine

6. Écoulements irrotationnels

a. Définition et conséquence

b. Écoulement irrotationnel incompressible

c. Exemple : écoulement autour d'un cylindre

I. Description  
d'un fluide en  
mouvement

II. Masse et  
volume en  
écoulement

III. Vorticité

# III. Vorticité

1. Rotationnel du champ de vitesse
2. Vecteur tourbillon
3. Circulation du champ de vitesse
4. Cas d'une courbe fermée et lien avec la vorticité
5. Vortex de Rankine
6. Écoulements irrotationnels
  - a. Définition et conséquence
  - b. Écoulement irrotationnel incompressible
  - c. Exemple : écoulement autour d'une boule

### III. Vorticité

1. Rotationnel du champ de vitesse
2. Vecteur tourbillon
3. Circulation du champ de vitesse

#### Définition

Soit  $\Gamma$  une courbe orientée et  $\vec{v}$  un champ de vecteur. On appelle circulation de  $\vec{v}$  le long de  $\Gamma$  la quantité scalaire

$$C = \int_{\Gamma} \vec{v}(M) \cdot d\vec{\ell} \quad .$$

4. Cas d'une courbe fermée et lien avec la vorticité
5. Vortex de Rankine
6. Écoulements irrotationnels
  - a. Définition et conséquence
  - b. Écoulement irrotationnel incompressible
  - c. Exemple : écoulement autour d'une boule

I. Description  
d'un fluide en  
mouvement

II. Masse et  
volume en  
écoulement

III. Vorticité

### III. Vorticité

1. Rotationnel du champ de vitesse
2. Vecteur tourbillon
3. Circulation du champ de vitesse

#### Définition

Soit  $\Gamma$  une courbe orientée et  $\vec{v}$  un champ de vecteur. On appelle circulation de  $\vec{v}$  le long de  $\Gamma$  la quantité scalaire

$$C = \int_{\Gamma} \vec{v}(M) \cdot d\vec{\ell} \quad .$$

4. Cas d'une courbe fermée et lien avec la vorticité
5. Vortex de Rankine
6. Écoulements irrotationnels
  - a. Définition et conséquence
  - b. Écoulement irrotationnel incompressible
  - c. Exemple : écoulement autour d'une boule

I. Description  
d'un fluide en  
mouvement

II. Masse et  
volume en  
écoulement

III. Vorticité

### III. Vorticité

1. Rotationnel du champ de vitesse
2. Vecteur tourbillon
3. Circulation du champ de vitesse
4. Cas d'une courbe fermée et lien avec la vorticité

#### Proposition

Dans un écoulement tourbillonnaire, il existe au moins une courbe fermée de long de laquelle la circulation de la vitesse est non nulle.

5. Vortex de Rankine
6. Écoulements irrotationnels
  - a. Définition et conséquence
  - b. Écoulement irrotationnel incompressible
  - c. Exemple : écoulement autour d'une boule

I. Description  
d'un fluide en  
mouvement

II. Masse et  
volume en  
écoulement

III. Vorticité

# III. Vorticité

1. Rotationnel du champ de vitesse
2. Vecteur tourbillon
3. Circulation du champ de vitesse
4. Cas d'une courbe fermée et lien avec la vorticité

Exemple [▶ wingtip\\_vortex.mov](#)

5. Vortex de Rankine
6. Écoulements irrotationnels
  - a. Définition et conséquence
  - b. Écoulement irrotationnel incompressible
  - c. Exemple : écoulement autour d'une boule

I. Description  
d'un fluide en  
mouvement

II. Masse et  
volume en  
écoulement

III. Vorticité

### III. Vorticité

1. Rotationnel du champ de vitesse
2. Vecteur tourbillon
3. Circulation du champ de vitesse
4. Cas d'une courbe fermée et lien avec la vorticité
5. Vortex de Rankine
6. Écoulements irrotationnels
  - a. Définition et conséquence
  - b. Écoulement irrotationnel incompressible
  - c. Exemple : écoulement autour d'une boule

I. Description  
d'un fluide en  
mouvement

II. Masse et  
volume en  
écoulement

III. Vorticité

# III. Vorticité

1. Rotationnel du champ de vitesse
2. Vecteur tourbillon
3. Circulation du champ de vitesse
4. Cas d'une courbe fermée et lien avec la vorticité
5. Vortex de Rankine
6. Écoulements irrotationnels
  - a. Définition et conséquence
  - b. Écoulement irrotationnel incompressible
  - c. Exemple : écoulement autour d'une boule



# III. Vorticité

1. Rotationnel du champ de vitesse
2. Vecteur tourbillon
3. Circulation du champ de vitesse
4. Cas d'une courbe fermée et lien avec la vorticité
5. Vortex de Rankine
6. Écoulements irrotationnels
  - a. Définition et conséquence
  - b. Écoulement irrotationnel incompressible
  - c. Exemple : écoulement autour d'une boule

# III. Vorticité

1. Rotationnel du champ de vitesse
2. Vecteur tourbillon
3. Circulation du champ de vitesse
4. Cas d'une courbe fermée et lien avec la vorticité
5. Vortex de Rankine
6. Écoulements irrotationnels
  - a. Définition et conséquence
  - b. Écoulement irrotationnel incompressible
  - c. Exemple : écoulement autour d'une boule

I. Description  
d'un fluide en  
mouvement

II. Masse et  
volume en  
écoulement

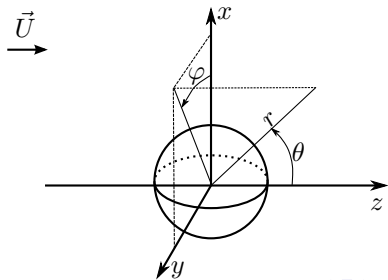
III. Vorticité

# III. Vorticité

1. Rotationnel du champ de vitesse
2. Vecteur tourbillon
3. Circulation du champ de vitesse
4. Cas d'une courbe fermée et lien avec la vorticité
5. Vortex de Rankine
6. Écoulements irrotationnels
  - a. Définition et conséquence
  - b. Écoulement irrotationnel incompressible
  - c. Exemple : écoulement autour d'une boule

### III. Vorticité

1. Rotationnel du champ de vitesse
2. Vecteur tourbillon
3. Circulation du champ de vitesse
4. Cas d'une courbe fermée et lien avec la vorticité
5. Vortex de Rankine
6. Écoulements irrotationnels
  - a. Définition et conséquence
  - b. Écoulement irrotationnel incompressible
  - c. Exemple : écoulement autour d'une boule



# III. Vorticité

1. Rotationnel du champ de vitesse
2. Vecteur tourbillon
3. Circulation du champ de vitesse
4. Cas d'une courbe fermée et lien avec la vorticité
5. Vortex de Rankine
6. Écoulements irrotationnels
  - a. Définition et conséquence
  - b. Écoulement irrotationnel incompressible
  - c. Exemple : écoulement autour d'une boule

▶ Allure des lignes de courant

I. Description  
d'un fluide en  
mouvement

II. Masse et  
volume en  
écoulement

III. Vorticité

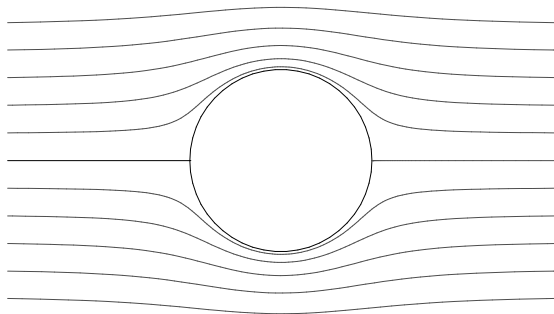


Figure – Lignes de courant pour un écoulement potentiel autour d'une boule