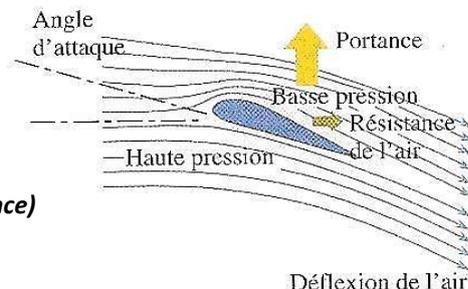


# ÉCOULEMENT D'UN FLUIDE

L'objectif de cette activité est de mettre en œuvre un dispositif expérimental pour étudier l'écoulement d'un fluide, ses conséquences et sa modélisation.

Ci-contre : écoulement de l'air autour d'une aile d'avion (à l'origine de sa portance)



## 1) Lignes de champ et débit volumique :

L'écoulement d'un fluide est modélisé par des **lignes de courant**. Ces lignes représentent les trajectoires des particules du fluide en mouvement.

On dit qu'un fluide s'écoule en **régime permanent** (ou stationnaire) lorsque les lignes de courant n'évoluent pas au cours du temps : la vitesse  $\vec{v}$  en un point quelconque du fluide conserve alors les mêmes caractéristiques au cours du temps.

**EXEMPLE**

Si  $\vec{v}_A$  et  $\vec{v}_B$  ne varient pas au cours du temps alors le régime est permanent.  $\vec{v}_A$  peut être différent de  $\vec{v}_B$  (en direction et en valeur) mais  $\vec{v}_A(t) = \vec{v}_A(t')$ .

Le débit volumique  $D_v$  d'un fluide correspond au volume  $V$  de fluide qui traverse une section droite par unité de temps :

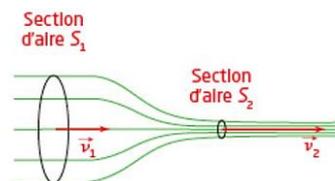
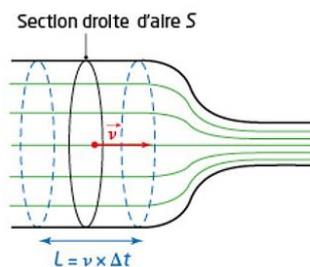
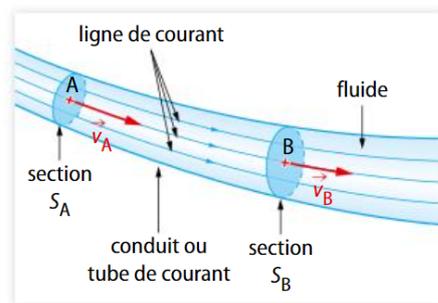
$$D_v = \frac{V}{\Delta t} \quad \left| \begin{array}{l} D_v \text{ en m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \text{ et } V \text{ en m}^3 \\ \Delta t, \text{ la durée, en s, pendant laquelle le volume } V \text{ traverse} \\ \text{la section droite} \end{array} \right.$$

Le volume  $V$  de fluide qui traverse une section droite d'aire  $S$  pendant une durée  $\Delta t$ , avec une vitesse d'écoulement  $v$ , est contenu dans un cylindre de longueur  $L = v \times \Delta t$  et de base d'aire  $S$ . Le débit volumique s'exprime donc ainsi :

$$D_v = \frac{v \times S \times \Delta t}{\Delta t} = v \times S \quad \left| \begin{array}{l} D_v \text{ en m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \text{ et } v \text{ en m} \cdot \text{s}^{-1} \\ S \text{ en m}^2 \end{array} \right.$$

Pour un fluide incompressible, le débit volumique est le même en tout point d'un conduit. Si l'aire de la section droite du conduit change, la relation suivante, appelée équation de continuité, est vérifiée :

$$D_{v1} = D_{v2} \Leftrightarrow v_1 \times S_1 = v_2 \times S_2$$



Les lignes de courant se rapprochent quand la vitesse d'écoulement augmente

**Q1.** Calculer le débit volumique sanguin d'un individu au repos (dont le cœur pompe 5L chaque minute).

**Q2.** Quelle doit être le rapport entre l'aire de la section d'entrée et celle de sortie d'un tuyau d'arrosage pour que la vitesse d'écoulement de l'eau soit multipliée par 10 ?

## 2) Relation de Bernoulli :

### SITUATION-PROBLÈME

L'athérosclérose est une maladie conduisant localement à un rétrécissement du diamètre des artères. Elle s'accompagne d'une chute de la pression artérielle au niveau de la sténose.

Comment expliquer ce phénomène et le vérifier expérimentalement ?



**HYPOTHÈSE** Proposer une réponse à la question en la justifiant.

### DOC 1 Modélisation en laboratoire

L'écoulement du sang dans une artère sténosée (rétrécie) peut être modélisé par un écoulement d'air dans un conduit de section variable (ici deux bouteilles en matière plastique reliées entre elles avec un écoulement assuré par un aspirateur). Des trous réalisés à différents emplacements du conduit permettent d'accéder à la pression du fluide au moyen d'un capteur de pression.



### DOC 2 La relation de Bernoulli

La relation de Bernoulli modélise l'écoulement permanent d'un fluide sans frottement. Elle lie la pression  $P$ , la vitesse  $v$  et l'altitude  $z$  d'un point du fluide. Sur une même ligne de courant on a :

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

Labels in the diagram:  
 -  $P$ : pression du fluide (en Pa)  
 -  $\rho$ : masse volumique du fluide (en  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )  
 -  $v$ : vitesse du fluide (en  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )  
 -  $g$ : intensité de pesanteur (en  $\text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$ )  
 -  $z$ : altitude (en m)

Une **ligne de courant** est une courbe tangente à la vitesse d'un fluide.

Dans le cas où  $z = \text{constante}$ , sur une même ligne de

courant :  $P + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 = \text{constante}$ .

### MESURES

**3** Mettre en œuvre le dispositif expérimental modélisant l'écoulement du sang dans une artère sténosée (doc. 1), et relever différents couples de valeurs ( $P, \varnothing$ ) : pression-diamètre du conduit.

Utiliser un tableur grapheur pour calculer, à partir du débit volumique la vitesse  $v$  du fluide pour chaque diamètre  $\varnothing$  du conduit.

Faire afficher le graphe  $P = f(v^2)$  représentant l'évolution de la pression du fluide en fonction du carré de sa vitesse puis modéliser l'évolution par une fonction adaptée.

### ANALYSE

**4** La courbe tracée permet-elle de vérifier la relation de Bernoulli (doc. 2) ?

Expliquer qualitativement le lien entre le diamètre d'un conduit et la pression du fluide qui s'y écoule afin de justifier la baisse de pression artérielle constatée lors d'une athérosclérose.

### DONNÉES

- ▶  $\rho_{\text{air}} = 1,184 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  à  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ .
- ▶ Débit volumique de l'air dans le conduit (voir notice du système utilisé).

## 3) Effet Venturi et portance :