

## Connaissances de base

## Écoulement dans des conduites et robinetteries

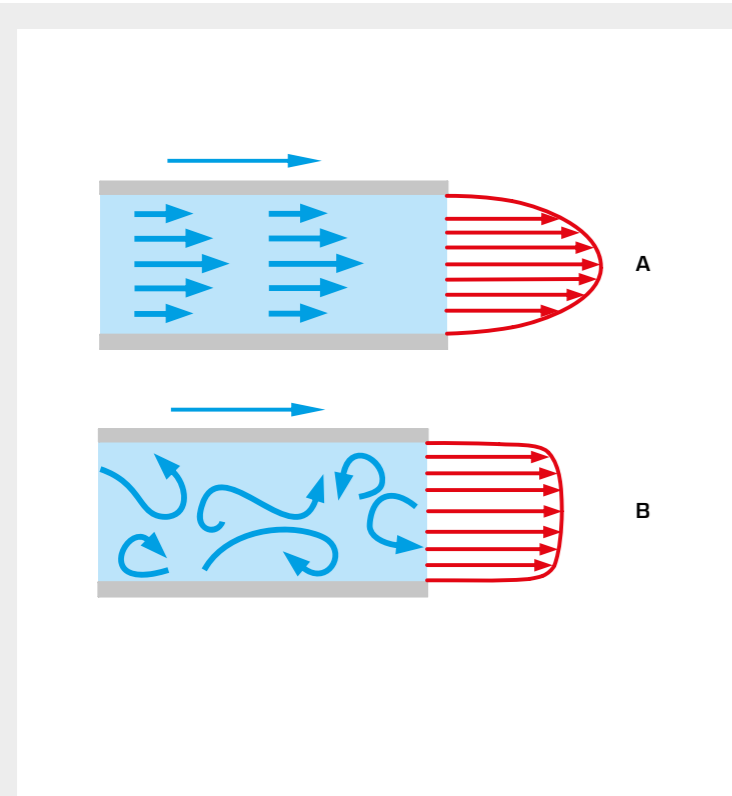
Les systèmes de tuyauterie servent de manière générale à transporter des fluides. Lors de la traversée d'une conduite, l'énergie de pression du fluide baisse suite aux frottements tandis que l'énergie interne du fluide augmente. La baisse de l'énergie interne du fluide est désignée de manière générale comme étant une perte de charge qui se manifeste par une perte de charge dans le fluide.

En ce qui concerne les pertes qui apparaissent, on fait la distinction entre le frottement dans le fluide et le frottement entre le fluide et la paroi ou la résistance.

En rapport avec les pertes, les termes généraux suivants de mécanique des fluides sont abordés:

- écoulement laminaire et turbulent
- frottement du tuyau par différents matériaux et surfaces
- pertes de charge dans des conduites et raccords de tuyauterie
- perte de charge dans des soupapes et robinetteries

## Écoulement laminaire et turbulent dans des conduites



Dans un écoulement laminaire **A** dans des conduites, des particules de fluide se déplacent en couches parallèles sans se mélanger les unes aux autres. La distribution de la vitesse du fluide dans le tuyau n'est pas homogène. Dans la zone périphérique, le fluide est freiné sous l'effet du frottement du tuyau et se déplace plus lentement que l'axe du tuyau. La perte de charge est proportionnelle à la vitesse moyenne du fluide. Dans la pratique, on rencontre rarement un écoulement laminaire marqué.

Dans un écoulement turbulent **B**, les différentes couches de fluide s'entremêlent en tourbillonnant et échangent de l'énergie entre elles. La forme d'écoulement qui se forme est caractérisée par des mouvements tridimensionnels, imprévisibles et non stationnaires. Une couche limite laminaire demeure en partie, mais uniquement dans la zone périphérique du tuyau. La distribution de la vitesse est pratiquement constante dans une large partie de la section du tuyau. À la différence de l'écoulement laminaire, la perte de charge est proportionnelle au carré de la vitesse moyenne du fluide.

Dans les tuyaux traversés par un écoulement, on calcule le nombre de Reynolds **Re** à partir du diamètre intérieur du tuyau **d**, de la vitesse moyenne du fluide **v** et de la viscosité cinématique **ν**.

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu}$$

Écoulement turbulent  $Re \geq 2300$

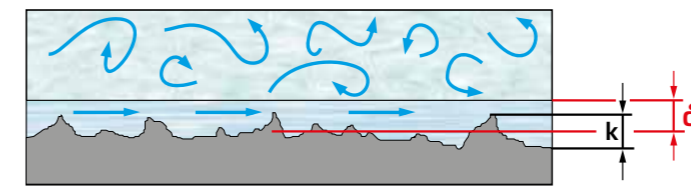
La distinction entre écoulement laminaire et écoulement turbulent peut être déterminée à l'aide du nombre de Reynolds **Re**. Le nombre de Reynolds est un nombre sans dimension. Lorsque le nombre de Reynolds est inférieur à 2300, on parle d'écoulement laminaire. À partir d'un nombre de Reynolds égal à 2300, on parle d'écoulement turbulent. Les écoulements ayant le même nombre de Reynolds ont un comportement similaire.

## Frottement du tuyau sur différents matériaux et surfaces

Dans la pratique, les surfaces des parois de tuyau présentent toujours une certaine rugosité. La rugosité en surface apparaît d'une part lors du processus de fabrication et d'autre part sous l'effet de dépôts en rapport avec l'activité ou de corrosion. Le matériau du tuyau a également une influence décisive sur la rugosité.

Dans le cas de l'écoulement laminaire, la rugosité du tuyau n'a qu'une influence très limitée sur la perte de charge, étant donné que les fluides ont des vitesses très faibles dans la zone de la couche limite.

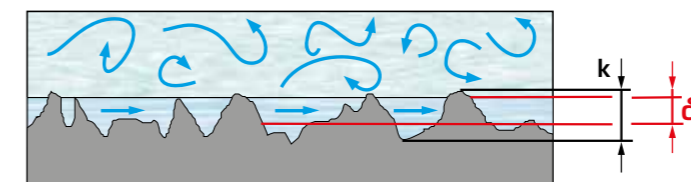
Dans le cas de l'écoulement turbulent, le fait que l'épaisseur  $\delta$  de la couche laminaire limite dépasse ou non des aspérités de la surface du tuyau **k** et la recouvre est un élément décisif. On parle dans ce cas de **tuyaux hydrauliquement lisses** et la rugosité n'a pas d'influence sur la perte de charge. Lorsque les aspérités dépassent largement de la couche limite laminaire, l'effet lissant de la couche limite est perdu. Dans ce cas, on parle de **tuyaux hydrauliquement rugueux** et la rugosité a une influence importante sur la perte de charge.



$\delta$  épaisseur de la couche limite laminaire  
**k** hauteur des aspérités

## Tuyaux hydrauliquement lisses

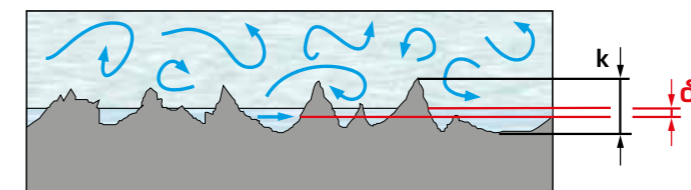
La couche laminaire limite est suffisamment marquée pour recouvrir les aspérités de la surface du tuyau. L'écoulement tubulaire turbulent se déplace librement.



$\delta$  épaisseur de la couche limite laminaire  
**k** hauteur des aspérités

## Tuyaux dans la zone de transition

Selon la condition d'écoulement et la constitution du tuyau, on observe dans la pratique des formes mixtes. Lorsque la couche laminaire limite est clairement marquée mais que les aspérités ne sont pas entièrement recouvertes, on parle de tuyaux en zone de transition.



$\delta$  épaisseur de la couche limite laminaire  
**k** hauteur des aspérités

## Tuyaux hydrauliquement rugueux

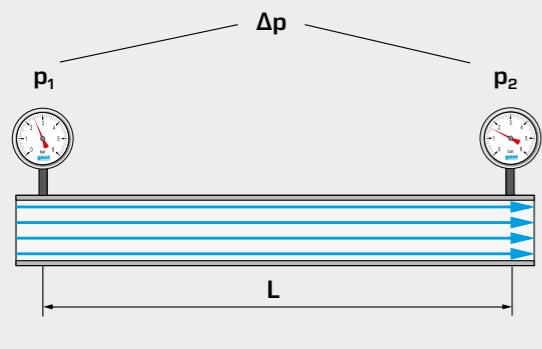
La couche laminaire limite est insuffisamment marquée pour recouvrir les aspérités de la surface du tuyau.

Connaissances de base

# Écoulement dans des conduites et robinetteries

## Perte de charge dans des conduites, raccords de tuyauterie et robinetteries

### Perte de charge dans un élément de tuyauterie droit

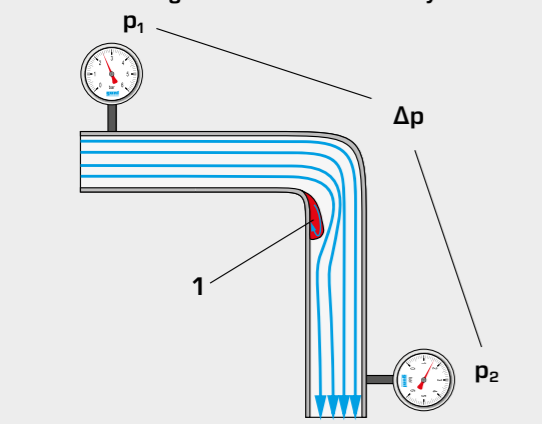


p pression, Δp différentiel de pression, L longueur du tuyau

Les systèmes de tuyauterie sont constitués de différents éléments de tuyauterie ayant chacun des propriétés spécifiques. Lorsque l'on détermine les pertes de charge, on distingue les simples pertes par frottement dans les éléments de tuyauterie rectilignes et les pertes supplémentaires dans ce qu'on appelle les raccords de tuyauterie et autres éléments ajoutés tels que les soupapes. À la différence de ce qui se passe dans les éléments de tuyauterie, en plus des pertes par frottement causées par la rugosité de la surface, on observe dans les raccords de tuyauterie d'autres pertes liées à un décollement de l'écoulement ou à un écoulement secondaire.

La perte de charge dans un raccord de tuyauterie dépend du type de changement de direction; on l'appelle coefficient de traînée ζ. Les coefficients de traînée sont déterminés de manière expérimentale en mesurant la pression de l'entrée p<sub>1</sub> à la sortie p<sub>2</sub> du raccord de tuyauterie; on les retrouve sous la forme de valeurs indicatives dans des tableaux. Le coefficient de traînée indique la différence de pression que l'on doit avoir entre l'entrée et la sortie pour maintenir un débit défini dans un élément de tuyauterie.

### Perte de charge dans un coude de tuyau

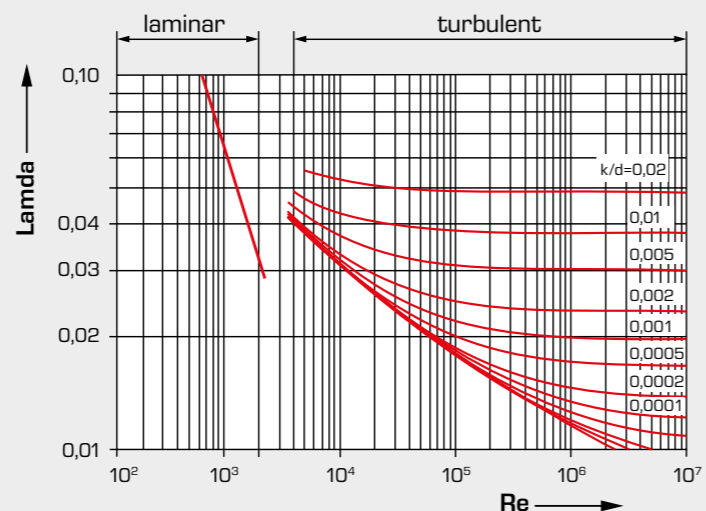


p pression, Δp différentiel de pression, 1 écoulement secondaire

### Différentiel de pression avec des éléments de tuyauterie rectilignes

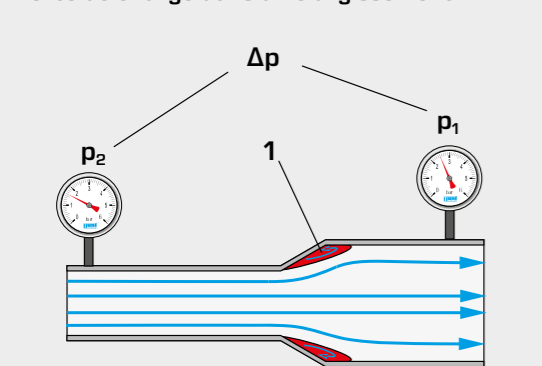
Le différentiel de pression Δp entre l'entrée et la sortie d'un élément de tuyauterie droit est calculé à partir du coefficient de frottement du tuyau λ, de la longueur de tuyau L, de la densité du fluide ρ et du carré de la vitesse moyenne v divisé par le diamètre intérieur du tuyau d<sub>i</sub>.

$$\Delta p = \frac{\lambda \cdot L \cdot \rho \cdot v^2}{d_i \cdot 2}$$



Le diagramme de frottement du tuyau montre la dépendance du coefficient de frottement du tuyau λ au nombre de Reynolds Re et à la rugosité k

### Perte de charge dans un élargissement

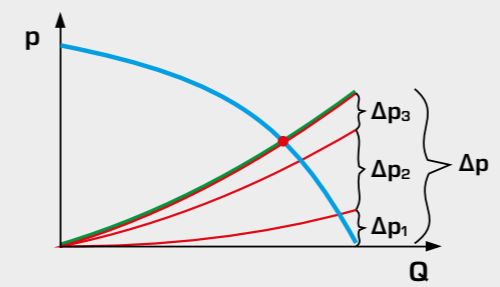


p pression, Δp différentiel de pression, 1 décollement de l'écoulement

### Différentiel de pression sur des raccords de tuyauterie

Le différentiel de pression Δp entre l'entrée et la sortie d'un raccord de tuyauterie est calculé à partir du coefficient de traînée ζ, de la densité du fluide ρ et du carré de la vitesse moyenne v.

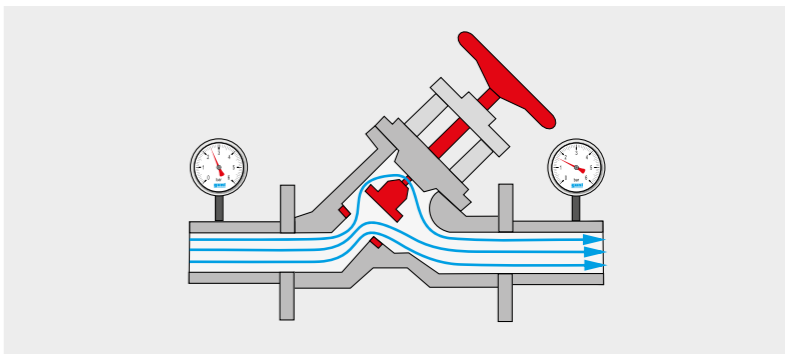
$$\Delta p = \zeta \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2$$



■ coefficients individuels Δp<sub>1-3</sub> d'une installation, ■ coefficient total Δp de l'installation, ■ caractéristique de la pompe; Δp différentiel de pression, p pression, Q débit

L'addition de toutes les pertes de charge dans les différents éléments de tuyauterie donne la caractéristique de l'installation du système de tuyauterie. La caractéristique de l'installation permet de déterminer la hauteur de refoulement requise de la pompe en fonction du débit.

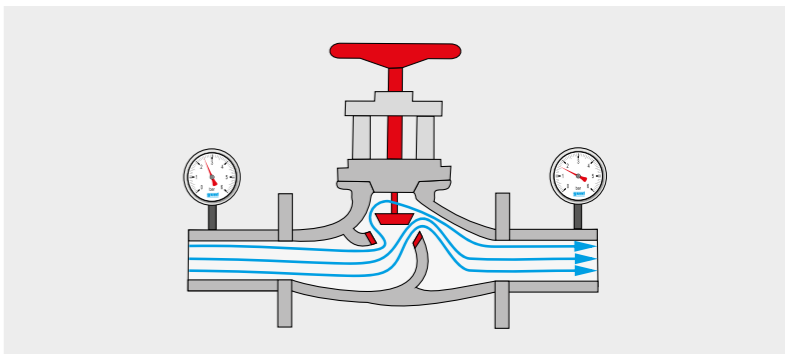
## Pertes de charge dans des robinetteries d'arrêt



Les robinetteries d'arrêt sont utilisées pour stopper le débit dans des systèmes de tuyauterie. Les robinetteries d'arrêt les plus courantes sont les soupapes, robinets et robinets-vannes. La fermeture se fait de façon différente selon le type de robinetterie. La traversée des différentes robinetteries entraîne des pertes de charge différentes en fonction de la géométrie et de l'état d'ouverture.

Des pertes de charge ont lieu même en état d'ouverture complète du fait du changement de direction souvent important qui a lieu à l'intérieur de la robinetterie. Le différentiel de pression peut ici aussi être exprimé au travers du coefficient de traînée ζ pour l'état ouvert.

## Pertes de charge dans des robinetteries de régulation



Sur les robinetteries de régulation, le débit peut être ajusté par le type de construction; on s'appuie donc sur ce dernier pour réguler le débit. Le débit pour chaque état d'ouverture est caractérisé par ce qu'on appelle la caractéristique de la soupape.

Pour la sélection des soupapes, les fabricants de robinetteries indiquent comme coefficient de débit K<sub>v</sub> avec une ouverture de 100% de la robinetterie. Ce coefficient de débit est une grandeur de mesure du régime maximal possible d'un fluide au travers d'une robinetterie. Pour des ouvertures de soupape inférieures à 100%, le coefficient de débit est appelé K<sub>v</sub>. Le coefficient de débit K<sub>v</sub> est compris entre 0 et K<sub>vs</sub>.

Le coefficient de débit K<sub>v</sub> des robinetteries est défini pour différents états d'ouverture en utilisant le débit Q et le différentiel de pression Δp entre l'entrée et la sortie de la robinetterie.

$$K_v = Q \cdot \sqrt{\frac{1 \text{ bar}}{\Delta p}}$$