

BILAN 5 : Viscosité

CORRECTION

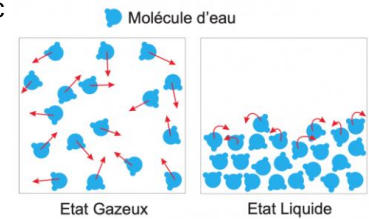


RAPPEL

- ✓ Un **FLUIDE** correspond à l'état microscopique à une structure non organisée de la matière.

La cohésion entre les particules d'un fluide sont faibles, ce qui autorise donc l'amplitude des particules.

- ✓ Parmi les fluides, on distingue :
 - L'état **LIQUIDE** : particules peu liées, agitées
 - L'état **GAZEUX** : particules non liées, désordonnées, agitées



- ✓ Un fluide est caractérisé par sa **MASSE VOLUMIQUE** ou par sa **DENSITE**

Masse volumique en g/cm^3 ou kg/m^3

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Masse en g ou kg

Volume en cm^3 ou m^3

$$d = \frac{\rho}{\rho_{\text{eau}}}$$

Densité de l'espèce chimique

Masse volumique d'une espèce (g.cm^{-3})

Masse volumique de l'eau (g.cm^{-3})

Attention

Il est indispensable que la masse volumique du fluide ρ et la masse volumique de l'eau ρ_{eau} soient dans la même unité dans le calcul de la densité.

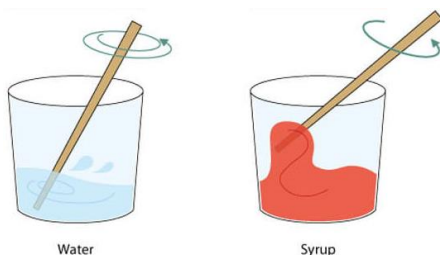
$$\rho_{\text{eau}} = 1\,000\,\text{kg.m}^{-3}$$

I- La VISCOSITE d'un FLUIDE

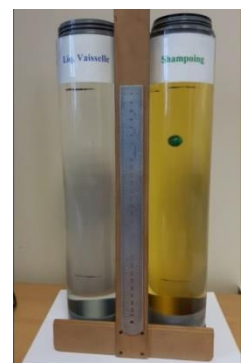
- ✓ Un **fluide PARFAIT** est un fluide qui s'écoule, qui se déplace **SANS FROTTEMENT**
- ✓ Dans la réalité, les fluides parfaits, c'est-à-dire les fluides qui s'écoulent sans frottements, n'existent pas
- ✓ Les systèmes hydrauliques par exemple, comportent souvent des huiles minérales comme fluide, du fait de leurs propriétés lubrifiantes.
- ✓ Mais il faut compter avec les caractéristiques de ces fluides, et en particulier la **VISCOSITE**



Tous les liquides ne s'écoulent pas aussi vite.



Il est plus facile d'agiter de l'eau que du miel ou du sirop



Une bille d'acier ne tombe pas à la même vitesse dans tous les liquides.

Bon à Savoir!

La viscosité d'un fluide traduit sa difficulté à s'écouler aisément, la viscosité d'un fluide caractérise donc sa résistance à l'écoulement.

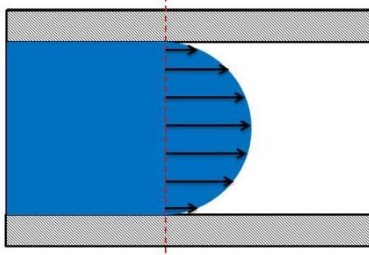
II- PROFIL DE VITESSE

On peut imaginer un fluide comme étant formé d'un ensemble de **COUCHES DE FLUIDE** (ou lames de fluides), très fines, parallèles, superposées les unes sur les autres et pouvant **GLISSER** les unes sur les autres sans se mélanger, à la manière d'un jeu de cartes qu'on étale.



Le mouvement du fluide résulte donc du **GLISSEMENT** des couches de fluide les unes sur les autres, à la manière d'un jeu de carte qu'on étale sur le tapis.

Sous l'effet des interactions entre les couches de fluides contiguës, et des interactions entre les couches de fluides et la paroi de la canalisation dans laquelle s'écoule le fluide, il existe des **FROTTEMENTS** entre couches de fluides, s'**OPPOSANT** au glissement d'une couche de fluide sur l'autre.



Ce qui fait que toutes les couches de fluides ne s'écoulent pas à la même **VITESSE** en fonction de la distance à laquelle elles se trouvent par rapport à la paroi de la canalisation : on dit qu'il existe un **profil des vitesses**.

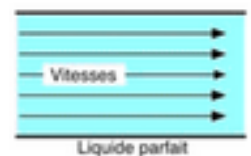
Différence de profil des vitesses entre un fluide parfait et un fluide visqueux :

Bon à Savoir!

Un fluide **PARFAIT** n'a aucune interaction avec les parois de la canalisation.

Il n'y a donc aucune résistance à l'écoulement.

Les couches de fluide se déplacent donc toutes à la **MEME** vitesse.



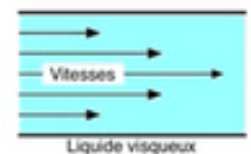
Un fluide **VISQUEUX** a des interactions avec les parois de la canalisation du fait des **FROTTEMENTS**

Il y a donc une résistance à l'écoulement.

Les couches de fluide ne se déplacent donc **PAS** toutes à la **MEME** vitesse.

Conséquences :

Toutes les couches de fluides n'ayant pas forcément la même vitesse, c'est pour cette raison que l'on parle de **VITESSE MOYENNE D'ECOULEMENT v_{moy}**



III- Les UNITES de la VISCOSITE d'un FLUIDE

Il existe **2** unités pour la viscosité d'un fluide :

Bon à Savoir!

- La **VISCOSITE DYNAMIQUE** notée η (éta) dont l'unité est **Pa.s**
Elle représente **l'écoulement du fluide lui-même.**
- La **VISCOSITE CINEMATIQUE** notée ν (nu) dont l'unité est **m².s⁻¹**
Elle représente **le comportement d'un objet dans le fluide considéré.**
- La relation entre viscosité **dynamique** et viscosité **cinématique** est :

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}$$

ν (nu) : Viscosité cinématique en (m²/s)
Avec η (éta) : Viscosité dynamique en (Pa.s)
 ρ (rho) : masse volumique en (kg/m³)

Remarques

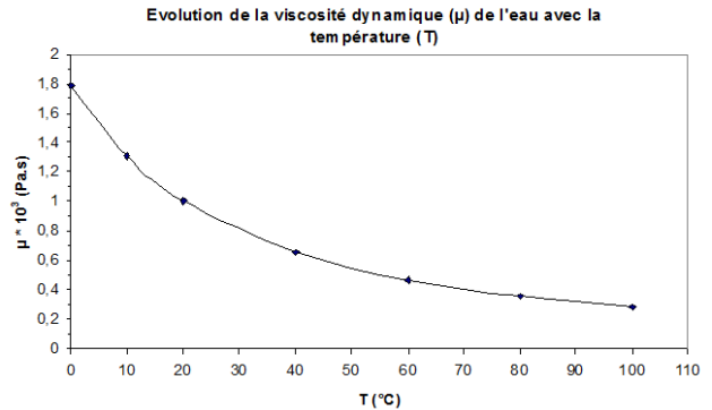
On trouve aussi le Stokes comme unité : $1 \text{ St} = 1,0 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$

On observe que :

→ La viscosité varie d'un fluide à l'autre

→ La viscosité diminue quand la température augmente (pour un liquide)

Eau à 0°C	$\eta = 1,787 \times 10^{-3} \text{ Pa.s}$
Eau à 20 °C	$\eta = 1,002 \times 10^{-3} \text{ Pa.s}$
Eau à 100 °C	$\eta = 0,2818 \times 10^{-3} \text{ Pa.s}$
Huile d'olive à 20°C	$\eta = 100 \times 10^{-3} \text{ Pa.s}$
Glycérol à 20 °C	$\eta = 1000 \times 10^{-3} \text{ Pa.s}$



IV- La MESURE de la VISCOSITE d'un FLUIDE

Les mesures de viscosité permettent de déterminer un paramètre important dans la connaissance des propriétés d'un fluide.

Elles permettent en particulier d'en vérifier la **NATURE** ou la **STRUTURE**

- Ainsi, dans le domaine industriel, la mesure de la viscosité permet de vérifier la **QUALITE** d'un lubrifiant, d'une peinture.
- La viscosité est une propriété importante des fluides de forage (en effet, la viscosité des boues de forage utilisées dans les puits de pétrole doit être très précise : trop fluides, les boues ne pourront pas remonter les débris de forage, et trop visqueuses, le pompage sera difficile. La viscosité des boues de forage doit être telle que les boues retiennent les débris de forage de manière à les remonter à la surface.)
- La propulsion par rame ou par hélice se fait grâce aux frottements de l'air ou de l'eau, donc grâce à la viscosité.

APPAREILS DE MESURES

Viscosimètre à chute de bille

Une bille sphérique tombe lentement dans un tube bien calibré renfermant le liquide visqueux.

On mesure la durée Δt que met la bille pour parcourir une certaine distance connue.

On montre que la viscosité dynamique η est proportionnelle à la durée.

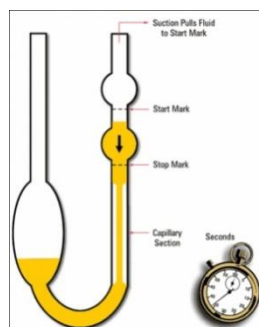


Viscosimètre d'Ostwald (viscosimètre capillaire)

On mesure la durée t d'écoulement d'un volume V de liquide à travers un tube capillaire.

On montre que la viscosité cinématique ν est proportionnelle à la durée t .

La constante de proportionnalité est fournie par le constructeur, sinon, il faut étalonner l'appareil avec un liquide de viscosité cinématique connue à la température donnée (eau)



Viscosimètre rotatif

Les viscosimètres rotatifs sont habituellement constitués d'un cylindre en rotation dans un récipient contenant le liquide à analyser.

La rotation est maintenue à une vitesse constante grâce à un moteur à courant continu assurant la stabilité de la vitesse.

La résistance à l'écoulement du liquide provoque la torsion de la barre d'accouplement moteur-cylindre.

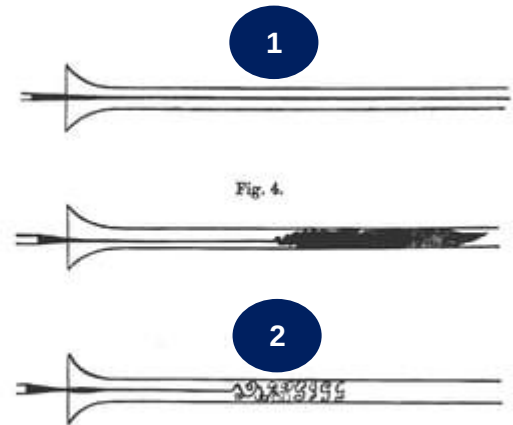
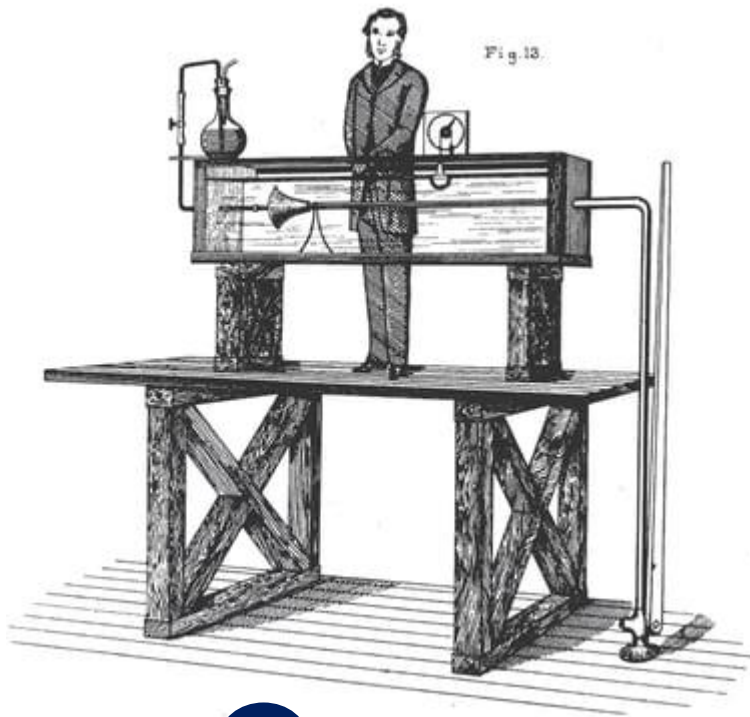
Cette torsion est détectée par un transducteur



V- Les DIFFERENTS TYPES d'ÉCOULEMENT

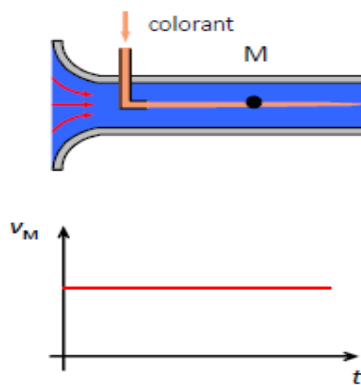
1883 : **REYNOLDS** expérimente en envoyant un filet de liquide coloré dans une canalisation où s'écoule un fluide.

Il fait varier différents paramètres (viscosité du fluide en écoulement, diamètre de la canalisation, vitesse d'écoulement du fluide ...), ce qui lui permet de conclure sur **2** types d'écoulement très différents.



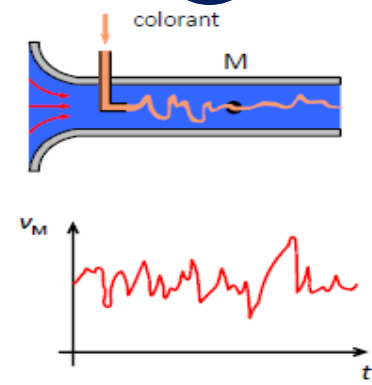
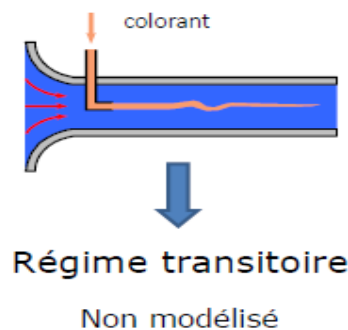
1

2



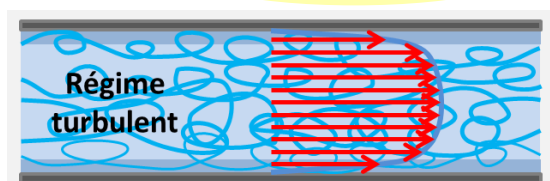
Les couches de fluides glissent les unes sur les autres, elles ne se mélangent pas.

↳ Régime laminaire



Les couches de fluides se mélangent entre elles. Il y a homogénéisation de la matière.

↳ Régime turbulent



VI- Le NOMBRE de REYNOLDS pour CARACTERISER l'ÉCOULEMENT d'un fluide

Le paramètre qui permettait de déterminer si l'écoulement est laminaire ou turbulent est un **NOMBRE SANS DIMENSION** appelé « **NOMBRE DE REYNOLDS** » et donné par :

$$Re = \frac{v_{moy} \cdot D}{\nu}$$

$$Re = \frac{\rho \cdot v_{moy} \cdot D}{\eta}$$

ρ : masse volumique du fluide (kg/m³)

v_{moy} : vitesse moyenne d'écoulement du fluide (m/s)

D : diamètre de la conduite (m)

η : viscosité dynamique du fluide (Pa.s)

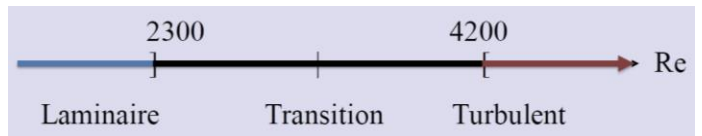
ν : viscosité cinématique (m²/s)

L'expérience montre que :

- si $Re < 2000$ le régime est laminaire,
- si $2000 < Re < 3000$ le régime est intermédiaire,
- si $Re > 3000$ le régime est turbulent.

Pour le régime turbulent, on définit le régime :

- turbulent lisse si $Re < 100\,000$
- turbulent rugueux si $Re > 100\,000$



Exemple

Soit de l'eau s'écoulant avec un débit $Q_v = 5 \text{ m}^3/\text{h}$ dans une canalisation de diamètre $D = 3,5 \text{ cm}$.

Calculer

→ sa vitesse d'écoulement

→ le nombre de Reynolds de manière à déduire la nature de l'écoulement ($\nu = 1,0 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)

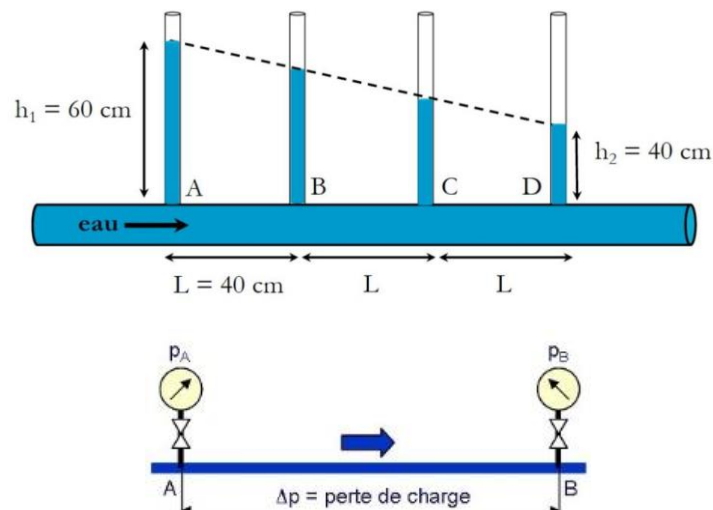
$v_{moy} = \text{débit} : \text{section} = (5/3600) / (\pi \times 0,0175^2) = 1,44 \text{ m/s}$

$Re = 1,44 \times 0,035 / (1,0 \times 10^{-6}) = 50\,400$

$2000 < 50\,400 > 100\,000$ donc le régime est turbulent lisse

VII- OBSERVATION des PERTES de CHARGE

EXPERIMENTATION <https://www.youtube.com/watch?v=k0Y8UA5dTrk>



OBSERVATIONS

→ le niveau du fluide **diminue** dans les tubes piézométriques au fur et à mesure que ce fluide s'écoule dans une conduite, ce qui traduit une perte de **pression** entre les points A, B, C et D de la conduite.

Cette perte de pression, est appelée aussi **perte de charge** le long de la conduite.

POURQUOI CES PERTES DE CHARGES ?

- les **frottements** du fluide le long des portions **rectilignes** et de section **constante** de la conduite.
→ On les appelle **pertes de charge LINEAIRES ou REGULIERES**
- la résistance à l'écoulement provoquée par des **accidents de parcours** de la conduite

ex : coudes

élargissement ou rétrécissement de la section de la canalisation

présence d'un diaphragme

présence d'une vanne

→ On les appelle **pertes de charge SINGULIERES**

VIII- CALCULS Les PERTES de CHARGE REGULIERES

1 Expression des pertes de charge REGULIERES

Entre 2 points séparés par une longueur L, dans un tuyau de diamètre D, apparaît une perte de charge qui peut s'exprimer :

→ en **pression** selon l'expression :

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

→ en **mètre de colonne** de liquide selon l'expression :

$$\Delta h = \lambda \frac{v^2}{2g} \frac{L}{D}$$

Avec :

- Δp : perte de pression en Pa
- Δh : perte de hauteur (m)
- λ : coefficient de frottement (sans unité)
- ρ : masse volumique du fluide en écoulement (kg/m³)
- v : vitesse moyenne d'écoulement du fluide (m/s)
- L : longueur de canalisation droite (m)
- D : diamètre de la canalisation (m)
- g : intensité de pesanteur (N/kg)

Remarque

On remarque que les pertes de charge dépendent :

- de la canalisation (**longueur, diamètre, rugosité**)
- du fluide (**masse volumique, vitesse moyenne d'écoulement**)
- du **coefficient de frottement λ**

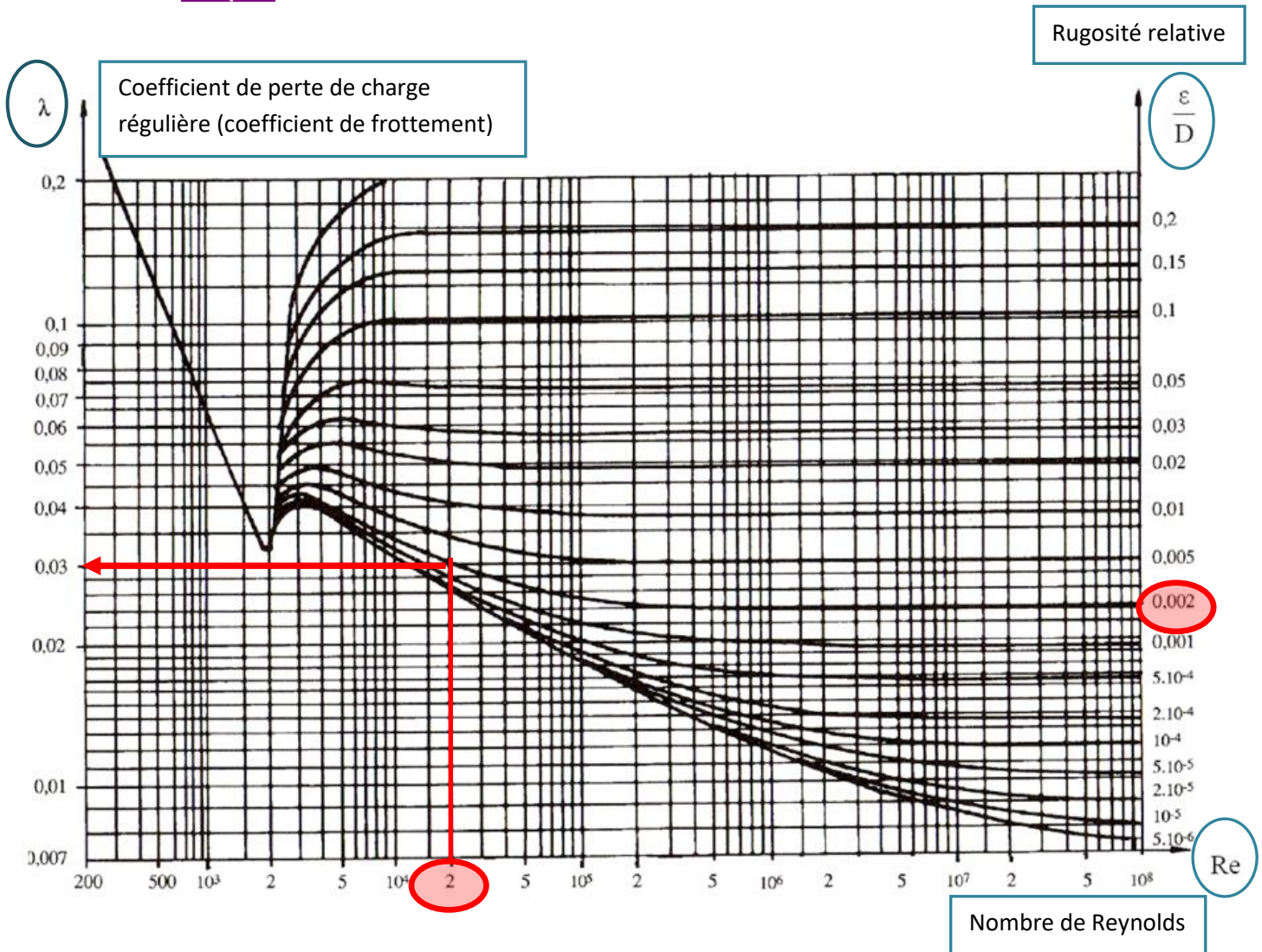
2 Le coefficient de frottement λ

► Pour trouver la valeur du coefficient de pertes de charge régulière, on peut utiliser 2 techniques :

- soit des **formules** empiriques

REGIME LAMINAIRE		REGIME TURBULENT	
$Re < 2000$		REGIME TURBULENT LISSE	REGIME TURBULENT RUGUEUX
$\lambda = \frac{64}{Re}$ avec $Re = \frac{vD}{\nu}$		$\lambda = 0,316 Re^{-0,25}$ $Re < 100\,000$	$Re > 100\,000$ Le coefficient λ est indépendant du nombre de Reynolds et ne dépend que de la rugosité relative de la canalisation → il sera défini avec des abaques (voir page suivante)

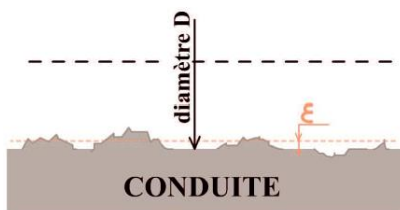
- soit les **abaques** de Colebrook



Pour trouver le coefficient de pertes de charge régulières λ grâce aux abaques de Colebrook, il faut :

Etape 1 : calculer le nombre de Reynolds Re (donc déjà connaître la **vitesse moyenne d'écoulement du fluide**)

Etape 2 : calculer la rugosité relative de la canalisation grâce à la formule suivante : ϵ / D



avec

→ ϵ est la rugosité de la canalisation, souvent donnée en mm, inférieure à 1mm pour des canalisations en cuivre, verre ... jusqu'à 2-3 mm pour des canalisations en béton.

→ D est le diamètre de la canalisation.

EXEMPLE

Déterminer graphiquement le coefficient de pertes de charge régulières λ pour

→ une canalisation de diamètre $D = 4,0$ cm, de rugosité $\epsilon = 0,08$ mm

→ sachant que le nombre de Reynolds caractérisant l'écoulement est $Re = 2 \times 10^4$.

Vérifier à l'aide de la formule.

$D = 4,0$ cm = 40 mm et $\epsilon = 0,08$ mm (ils doivent être dans la même unité) : calcul de $\epsilon / D = 0,08 / 40 = 0,002$

On sait que : $Re = 2 \times 10^4$

On relève $\lambda = 0,03$

Vérification par le calcul $\lambda = 0,316 \times Re^{-0.25} = 0,316 \times (2 \times 10^4)^{-0.25} = 0,03$

IX- CALCULS des PERTES de CHARGE SINGULIERES

Causées par la présence d'**accidents** de parcours le long de l'écoulement du fluide

→ en **pression** selon l'expression :

$$\Delta p = K \frac{\rho v^2}{2}$$

Avec :

- Δp : perte de pression en Pa
- Δh : perte de hauteur (m)
- K : coefficient de frottement (sans unité) dû aux accidents de parcours
- ρ : masse volumique du fluide en écoulement (kg/m^3)
- v : vitesse moyenne d'écoulement du fluide (m/s)
- g : intensité de pesanteur (N/kg)

→ en **mètre de colonne** de liquide selon l'expression :

$$\Delta h = K \frac{v^2}{2g}$$

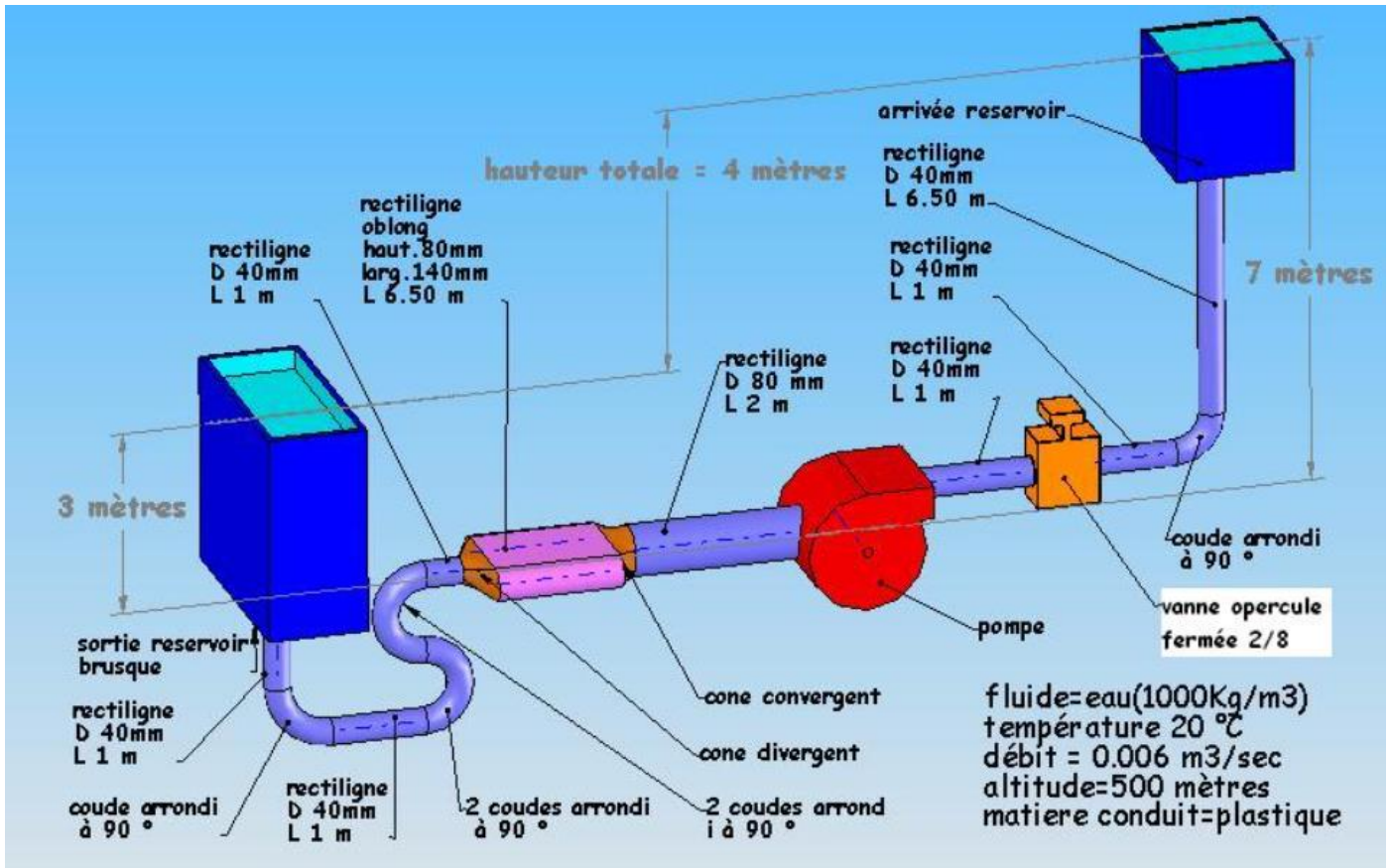
Remarque

Parfois, on traduit la singularité en termes de « **longueur équivalente** ».

Cela signifie qu'une singularité provoque autant de perte de charge qu'une longueur L_{eq} de canalisation rectiligne.

X- CALCUL des PERTES de CHARGE TOTALES

Pour connaître l'intégralité des pertes de charge subies par un fluide le long d'une canalisation, il suffit d'**additionner** toutes les pertes de charge (régulières et singulières).



Les pertes de charge totales provoquent des **pertes d'énergie**, donc une **perte de puissance**.

Bon à Savoir!

La puissance perdue à cause des pertes de charges s'exprime :

→ A partir des **pressions** selon l'expression :

$$P = Q_v \times \Delta P$$

→ A partir **mètre de colonne** de liquide selon l'expression :

$$P = \rho \times g \times Q_v \times \Delta h$$

Avec :

- P : puissance perdue (W)
- Δp : perte de pression en Pa
- Δh : perte de hauteur (m)
- ρ : masse volumique du fluide en écoulement (kg/m^3)
- g : intensité de pesanteur (N/kg)