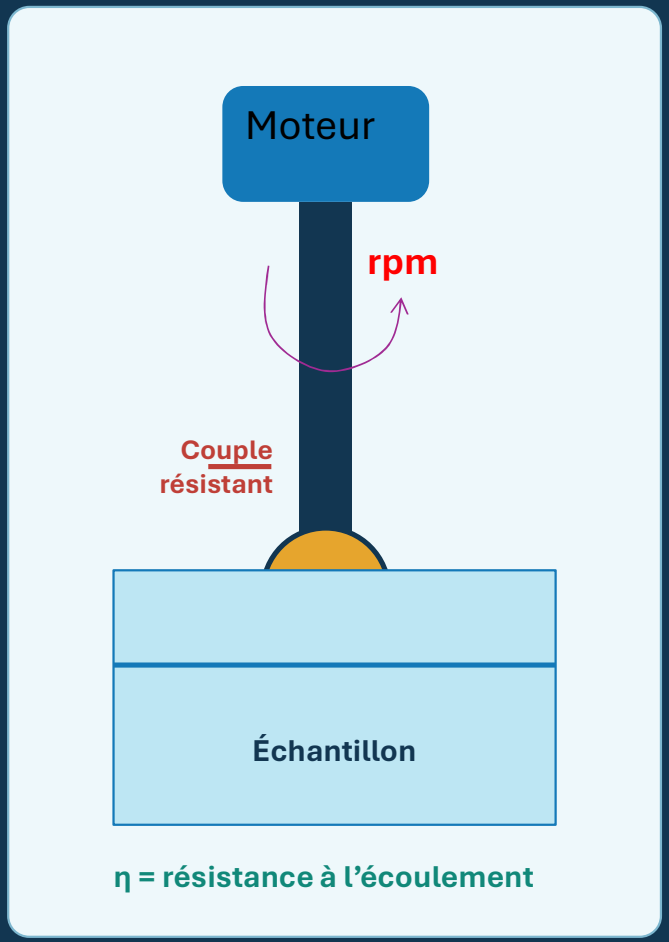
# VISCOSITÉ ET SA MESURE

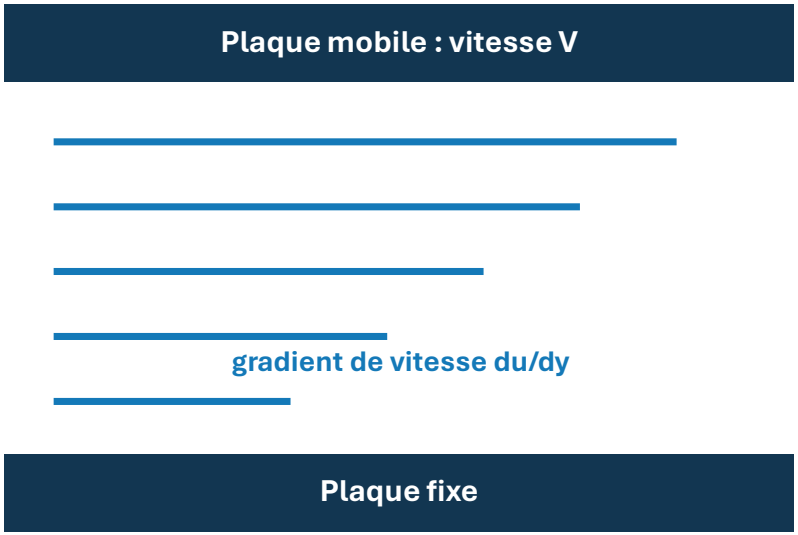
Comprendre l’écoulement, choisir un viscosimètre et fiabiliser la mesure




Par D,Toueix

# La viscosité mesure la résistance à l'écoulement

## Deux plaques séparées par un fluide




$$\tau = \mu \cdot du/dy$$

Loi de Newton pour un fluide newtonien

### Viscosité dynamique μ

Résistance interne au cisaillement.

Unité SI : Pa·s

Usage courant : mPa·s

### Viscosité cinématique v

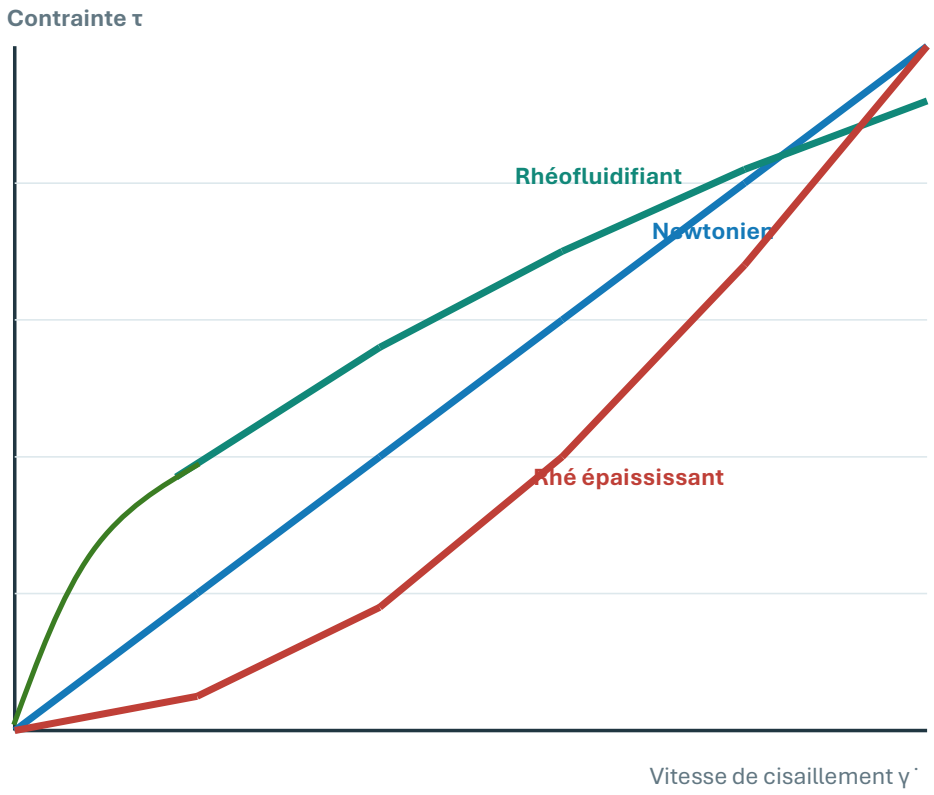
Rapport entre viscosité et masse volumique.

$v = \mu/\rho$

Unité SI : $m^2/s$

**1 mPa·s = 1 cP | 1 $mm^2/s$ = 1 cSt**

# Newtonien ou non newtonien : la courbe révèle le comportement




### Fluide newtonien

μ reste constante lorsque le cisaillement varie : eau, huiles minérales légères, gaz.

### Fluide rhéofluidifiant

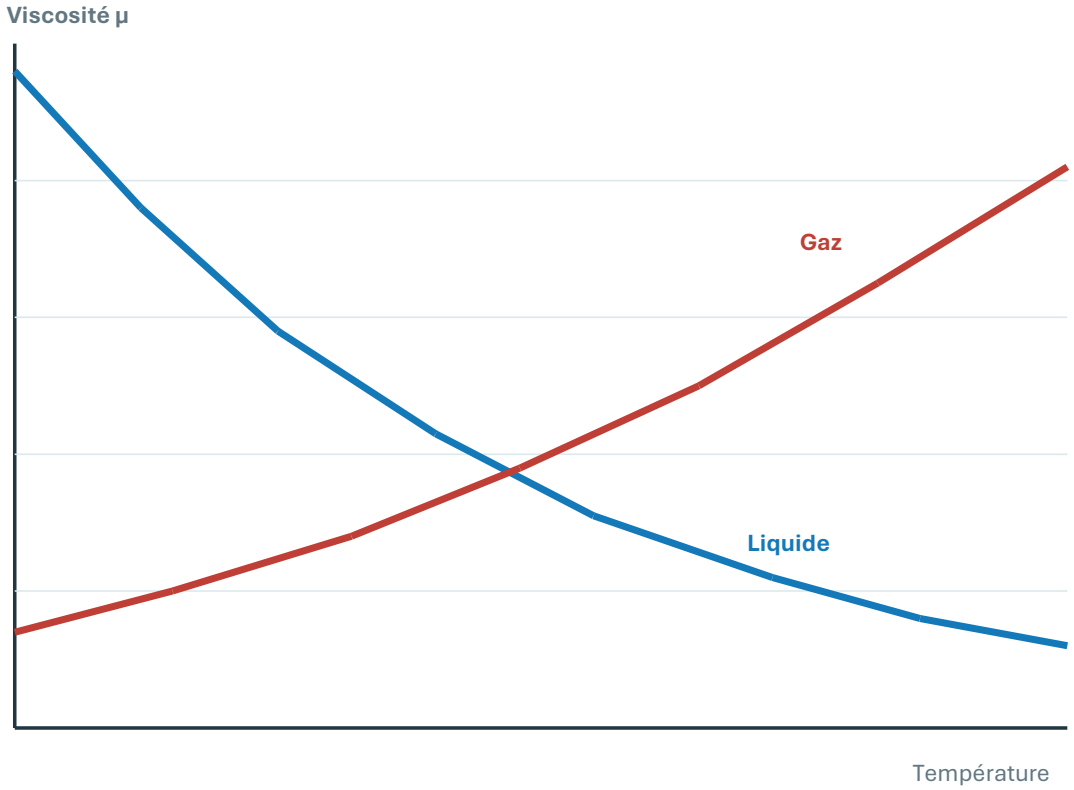
La viscosité apparente diminue avec le cisaillement : yaourt, peinture, jus concentré.

### Fluide à seuil ou épaississant

Certains fluides exigent une contrainte initiale ou épaississent sous cisaillement.

**Pour un fluide non newtonien, toujours indiquer la vitesse de cisaillement.**

# La température domine souvent l’évolution de la viscosité




### Liquides

Quand la température augmente, les forces de cohésion influencent moins l’écoulement. La viscosité diminue fortement.

### Gaz

Le transport de quantité de mouvement augmente avec l’agitation moléculaire. La viscosité augmente avec la température.

**Une mesure sans température reste difficile à comparer.**

# Chaque principe de mesure couvre une plage différente

### 1

### Capillaire

**Temps d’écoulement**

Liquides newtoniens peu à moyennement visqueux

### 2

### Chute de bille

**Vitesse terminale**

Liquides transparents newtoniens

### 3

### Rotation

**Couple sur un mobile**

Newtoniens et non newtoniens

### 4

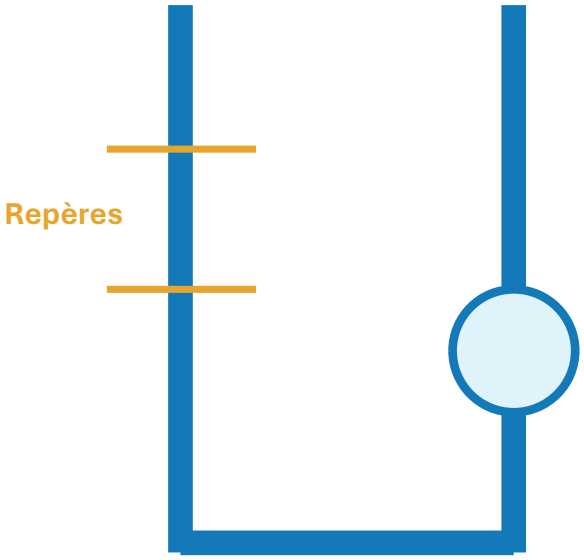
### Vibration

**Amortissement**

Mesure en ligne et procédés

**Le choix dépend du comportement rhéologique, de la plage attendue et du niveau d’incertitude.**

# Viscosimètre capillaire : le temps devient viscosité cinématique



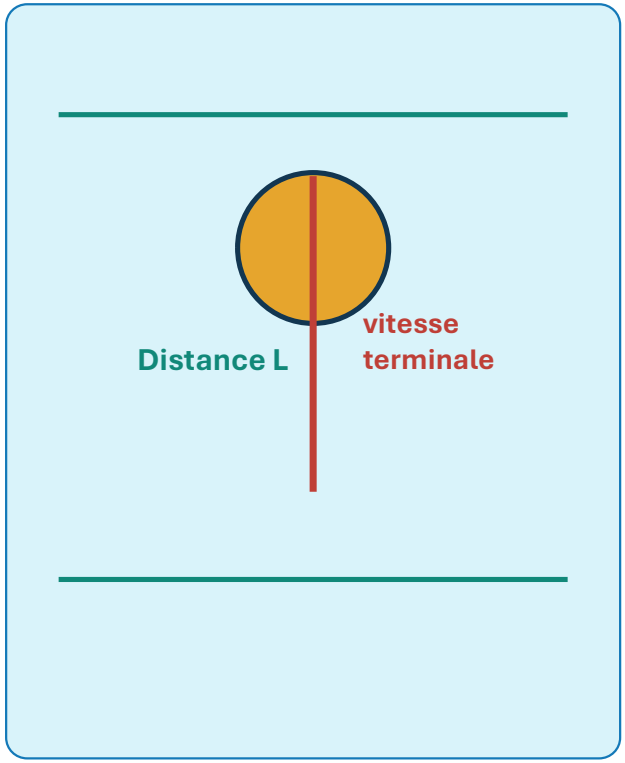

**Mesurer le temps d’écoulement entre les deux repères**

$$v = K \cdot t$$

K : constante du capillaire  t : temps d’écoulement

- Thermostater le bain et attendre l’équilibre.
- Éviter les bulles et nettoyer soigneusement le capillaire.
- Répéter la mesure jusqu’à obtenir des temps concordants.
- Convertir en viscosité dynamique avec $\mu = \rho v$.

# Chute de bille : l’équilibre des forces donne la viscosité




$$\mu = 2\, r^2\, g\, (\rho b - \rho f) / (9\, v)$$

Forme idéale issue de la loi de Stokes

### Conditions

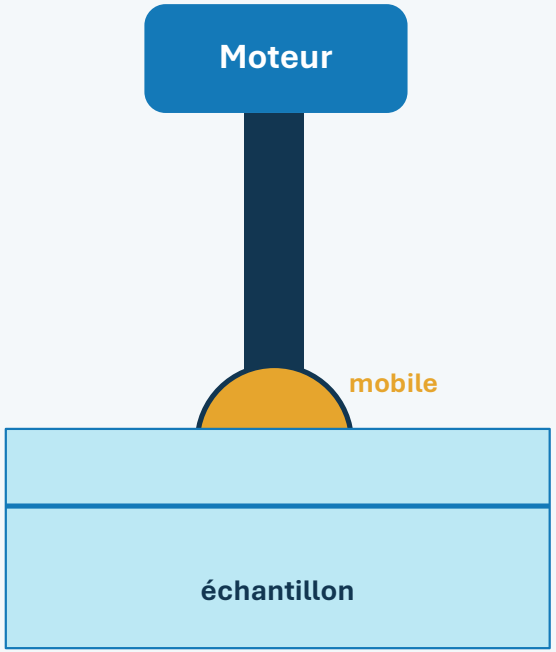
Écoulement laminaire
Bille centrée
Fluide homogène
Correction de paroi si nécessaire

### Mesures

Diamètre et densité de la bille
Densité du fluide
Distance parcourue
Temps de chute

**La méthode convient surtout aux liquides transparents et newtoniens.**

# Viscosimètre rotatif : le couple décrit la rhéologie




## Grandeurs imposées et mesurées

L'appareil impose une vitesse de rotation ou une contrainte. Il mesure le couple résistant transmis au mobile.

## Résultat

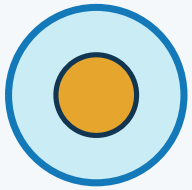
La géométrie convertit vitesse et couple en vitesse de cisaillement $\dot{\gamma}$ et contrainte $\tau$. Le rapport $\tau/\dot{\gamma}$ donne la viscosité apparente.

## Atout principal

Un balayage de cisaillement permet d'identifier un seuil, une rhéofluidification ou une thixotropie.

# Géométries rotatives : adapter le mobile à l'échantillon

### Cylindres coaxiaux



Liquides peu visqueux
Bon contrôle thermique

### Cône-plan



Faible volume
Cisaillement uniforme

### Plan-plan



Pâtes et suspensions
Entrefer réglable

### Mobile à ailettes



Produits structurés
Limite le glissement

**La géométrie influence directement la plage de couple, le volume requis et la qualité du cisaillement.**

# Le protocole de mesure conditionne la reproductibilité

**1 Prélever**

Échantillon représentatif, sans séparation de phases

**2 Conditionner**

Température stabilisée et historique maîtrisé

**3 Charger**

Volume correct, sans bulle ni débordement

**4 Mesurer**

Temps, vitesse ou cisaillement définis

**5 Contrôler**

Répétitions et étalon de viscosité

**6 Rapporter**

Valeur, température, méthode et incertitude

# Les erreurs fréquentes

| Cause | Effet observé | Action corrective |
|---|---|---|
| **Température instable** | Dérive lente de la valeur | Thermostater et attendre l'équilibre |
| **Bulles d'air** | Valeur faible ou irrégulière | Charger lentement, dégazer si possible |
| **Mauvais mobile** | Couple hors plage | Choisir taille et vitesse adaptées |
| **Glissement à la paroi** | Viscosité sous-estimée | Employer une surface rugueuse ou des ailettes |
| **Historique de cisaillement** | Répétitions non concordantes | Définir pré-cisaillement et temps de repos |
| **Contamination** | Décalage constant | Nettoyer, sécher et vérifier un étalon |

# Étude de cas : contrôler une huile avec un viscosimètre rotatif

### Objectif

Vérifier qu'une huile de procédé respecte 180 à 220 mPa·s à 25 °C.

### Conditions

Mobile cylindrique n° 3
Vitesse : 60 tr/min
Volume : 250 mL
Stabilisation : 10 min
Trois répétitions

## Mesures

| Essai | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|
| μ (mPa·s) | 204 | 199 | 202 |

**Moyenne = 201,7 mPa·s**

**Écart-type ≈ 2,5 mPa·s  CV ≈ 1,2 %**

**CONFORME**

La moyenne se situe dans la plage spécifiée et les répétitions sont cohérentes.

# Exemple de calcul par chute de bille

## Données

Rayon de la bille $r = 1{,}0$ mm
Densité bille $\rho b = 7\,800$ kg/m$^3$
Densité fluide $\rho f = 900$ kg/m$^3$
Vitesse terminale $v = 0{,}050$ m/s

$$\mu = 2r^2 g(\rho b - \rho f)/(9v)$$

$$\mu = \frac{2 \times (0{,}001)^2 \times 9{,}81 \times (7\,800 - 900)}{9 \times 0{,}050}$$

$$\mu \approx 0{,}301 \text{ Pa·s} = 301 \text{ mPa·s}$$

**Avant validation, vérifier le régime de Stokes et appliquer les corrections liées aux parois du tube.**

# Bien présenter un résultat de viscosité

**μ = 201,7 ± 5,0 mPa·s à 25,0 °C**

Viscosimètre rotatif, mobile n° 3, 60 tr/min, moyenne de 3 essais

**Valeur et unité**
Pa·s, mPa·s, $mm^2/s$ ou cSt sans ambiguïté

**Température**
Valeur mesurée et tolérance de régulation

**Méthode**
Type d'appareil, mobile ou constante du capillaire

**Conditions**
Vitesse, cisaillement, temps de repos et répétitions

**Qualité**
Étalonnage, dispersion et incertitude estimée

**Échantillon**
Identification, lot, préparation et date