

UNIVERSITÉ POLYTECHNIQUE
DE LODZ
FACULTÉ: Internationale d'Ingénierie
SPÉCIALITÉ: Gestion et Technologie
II-ème année

**THERMODYNAMIQUE ET
MÉCANIQUE DES FLUIDES**

Travaux Pratiques

A l'Institut des Turbomachines

TRAVAIL PRATIQUE #3

LE NOMBRE DE REYNOLDS CRITIQUE Re_{cr}

Personnes responsables du programme:
Dr ing. Jaroslaw R. Blaszcak (coté polonais)
Prof. Geneviève Comte-Bellot (coté français)

LODZ / LYON 2005

1. BUTS DU TRAVAIL

Déterminer le nombre de Reynolds critique pour un écoulement dans un tuyau de section circulaire et faire une comparaison des résultats obtenus avec des résultats théoriques.

2. INTRODUCTION

L'écoulement d'un liquide visqueux se caractérise par le nombre de Reynolds Re qui pour une conduite circulaire a la forme:

$$Re = \frac{Vd}{\nu}$$

avec:

V - moyenne de la vitesse de l'écoulement dans une section donnée [m/s]

d - diamètre du tuyau [m]

ν - viscosité cinématique du liquide [m²/s]

Un écoulement est stable lorsque les petites perturbations de l'écoulement décroissent avec le temps. Les expériences montrent que cela a lieu dans le domaine des petits nombres de Reynolds.

Le facteur qui stabilise l'écoulement est la viscosité du liquide. La viscosité peut provoquer un amortissement des mouvements du liquide, si l'énergie fournie par l'extérieur est trop petite. L'écoulement est instable lorsque les petites perturbations croissent avec le temps. Cela se produit quand le nombre de Reynolds augmente. La perte de stabilité conduit à une nouvelle structure de l'écoulement: on a alors une transition de l'écoulement laminaire en écoulement turbulent.

Le nombre de Reynolds auquel on perd l'écoulement laminaire est appelé le nombre de Reynolds critique.

Le problème de la stabilité d'un écoulement de liquide visqueux exige des schémas théoriques avancés aptes à résoudre des difficultés mathématiques. Toute la science pratique est alors d'origine expérimentale. Cette science date des travaux de Reynolds (1883). Il était le premier à déterminer les conditions du passage laminaire - turbulent dans une conduite. La valeur $Re_{cr}=2320$ provient de recherches ultérieures par L. Schiller (1921) et elle concerne les valeurs moyennes pour les tuyaux très lisses. Le nombre de Reynolds critique est susceptible d'être modifié par de nombreux facteurs, comme les suivants:

- la pulsation de l'écoulement à l'entrée du tuyau
- la répartition de vitesse à l'entrée du tuyau
- la vibration des parois
- les aspérités de paroi.

Ces facteurs décident de la perte de stabilité de l'écoulement. Avec une grande prudence on peut obtenir l'écoulement laminaire jusqu'à $Re_{cr}=50000$. On retient donc deux valeurs du nombre de Reynolds:

$$Re_{cr1}=2320 \quad \text{et} \quad Re_{cr2}=50000$$

Pour $Re < 2320$, il existe un écoulement laminaire, pendant lequel toute perturbation décroît et disparaît dans le tuyau. Dans ces conditions, on ne peut pas observer d'écoulement turbulent.

Pour $2320 < Re < 50000$, il existe un mouvement métastable, instable par rapport aux perturbations d'amplitudes finies. Cette amplitude peut être aussi petite que l'on veut quand la valeur de Re est grande. En pratique, il existe toujours une petite amplitude instable, l'écoulement laminaire est impossible et la turbulence apparaît.

Pour $Re > 50000$, il existe toujours un écoulement turbulent, puisque il y a beaucoup de sources de perturbations qui conduisent à la perte de stabilité. Dans la nature et dans les installations techniques il n'existe que des écoulements turbulents.

3. SCHÉMA ET DESCRIPTION DU BANC DE MESURE

Le schéma du banc d'essais est donné sur la figure 3.1. Le premier élément fondamental du banc est le tuyau circulaire transparente (1). L'entrée du conduit est équipée d'un convergent d'alimentation (2). Un flux de colorant est introduit dans le convergent. Le débit d'eau est réglé avec une vanne (3) et l'arrivée du colorant est contrôlée par la bride de serrage (4). L'eau provient d'un réservoir (5) muni d'une vanne d'admission (6) et d'un déversoir qui assure une pression hydrostatique constante. Le colorant provient du petit réservoir (7). Un autre élément très important du banc est la chambre de tranquillisation (8) avec un ensemble de redresseurs (9) et de nids d'abeilles qui servent à supprimer les remous de l'eau.

Le conduit (10) permet d'évacuer l'air résiduel du banc d'essais. Pour mesurer le débit volumique de l'eau on se sert du rotamètre (11), et pour mesurer la température de l'eau d'alimentation on utilise le thermomètre (12).

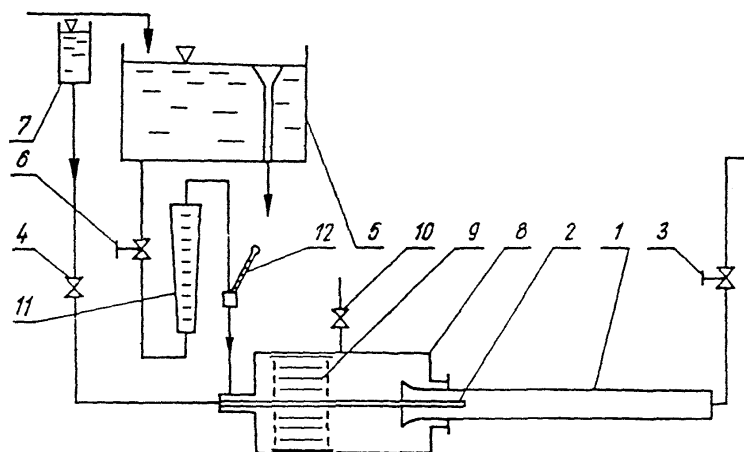


Fig. 3.1. Schéma du banc d'essais

- 1. tuyau de mesure, 2. convergent et conduit de colorant, 3. vanne régulatrice,
- 4. bride de serrage, 5. réservoir, 6. vanne d'admission, 7. réservoir de colorant,
- 8. chambre d'équilibre, 9. ensemble des dispositifs de tranquillisation, 10. conduit d'aération,
- 11. rotamètre, 12. thermomètre

4. MÉTHODES DES MESURES ET CALCULS.

Les mesures doivent fournir le débit volumique de l'eau Q_{cr} , auquel on observe le passage de l'écoulement laminaire en écoulement turbulent. Pendant l'écoulement laminaire le filet de colorant forme une ligne d'écoulement linéaire nette (Fig.3-2a). En augmentant le débit d'eau cette ligne peut montrer une légère ondulation (Fig.3-2b).

En augmentant encore le débit d'eau on observe que le filet de colorant se dissipe tout de suite après l'embouchure. Cet état correspond au débit critique Q_{cr} et au nombre de Reynolds critique Re_{cr} .

Pendant l'exécution des mesures il faut régler, une fois pour toutes, la bride de serrage (4) qui introduit le colorant. Ensuite, en réglant l'écoulement de l'eau avec la vanne (3), on détermine la position du flotteur de rotamètre hr_{cr} , qui correspond à la valeur critique Q_{cr} . On répétera 5 fois cet essai.

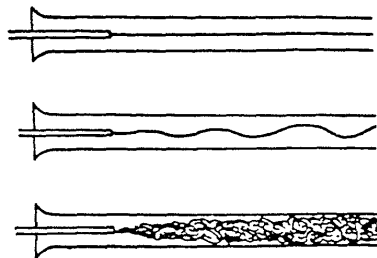


Fig.3.2. Divers types d'écoulement:
a), b) écoulement laminaire c) écoulement turbulent

ATTENTION:

La courbe $Q = f(hr)$ se trouve sur le banc d'essais.

La température de l'eau t [°C] sert à connaître le viscosité cinématique.

Les résultats sont à écrire dans le tableau donné au § 5.

Le nombre de Reynolds critique se calcule d'après l'expression:

$$Re_{cr} = \frac{V_{cr} d}{\nu} = \frac{4Q_{cr}}{\pi d \nu}$$

avec: Q_{cr} - la valeur critique du débit d'eau [m^3/s],
 $d = 30 \text{ mm} = 0,03 \text{ m}$ - le diamètre intérieur du tuyau de mesure,
 ν - la viscosité cinématique de l'eau en fonction de la température
 (la courbe $\nu = f(t)$ [m^2/s] se trouve à côté du banc d'essais)

Les résultats des calculs sont également à inscrire dans le tableau donné au §5.

5. TABLEAU DES RÉSULTATS DE MESURES ET DE CALCULS

No.	h_{cr} [divisions]	Q_{cr} [l/h]	Q_{cr} [m ³ /s]	t [C]	v [m ² /s]	Re_{cr}
1						
2						
3						
4						
5						

6. NOTES ET REMARQUES

- * Pourquoi à faibles débits d'eau V_{cr} le colorant se dissipe-t-il à l'intérieur du tuyau de mesure ?
- * Évaluer la divergence des résultats obtenus dans les 5 mesures de V_{cr} .
- * Comparer les résultats obtenus avec les données du point 2 et donner les causes de la divergence.
- * Indiquer toute autre remarque éventuelle.