

MESURE D'UN DEBIT VOLUMIQUE

Le diaphragme est utilisé comme instrument de mesure de débit d'un fluide circulant dans un circuit hydraulique. C'est un disque percé en son centre qui comprime l'écoulement du fluide, ce qui engendre une pression différentielle de part et d'autre de celui-ci. Il en résulte une haute pression en amont et une basse pression en aval, proportionnelle au carré de la vitesse d'écoulement. C'est le dispositif le plus simple, le moins encombrant et le moins coûteux. Il est utilisé lorsqu'on ne recherche pas une grande précision de mesure.

Dans le cadre d'une opération de maintenance d'un réseau, vous devez contrôler la performance métrologique d'un diaphragme.

Objectifs

- Exploiter l'équation de continuité lors d'un écoulement permanent afin de déterminer une vitesse du fluide.
- Relier une vitesse d'écoulement et une hauteur piézométrique.
- Comprendre l'intérêt de limiter la vitesse de circulation de l'eau dans les canalisations pour réduire les problèmes de bruits dans les réseaux de distribution d'eau ou dans les installations thermiques.

1. Quelques aspects théoriques

1.1. Équation de continuité

L'utilisation d'eau froide ou chaude dans une installation sanitaire ou de chauffage implique que l'eau se déplace à une certaine vitesse dans le tube. Pour un débit donné ( $q_v$  en  $m^3/s$ ), cette vitesse ( $v$  en  $m/s$ ) dépend uniquement de la section intérieure du tube de cuivre ( $S$  en  $m^2$ ) et par conséquent de son diamètre intérieur ( $d$  en  $m$ ) :  $v = \frac{q_v}{S} = \frac{4q_v}{\pi d^2}$ .

L'eau est un fluide incompressible. La loi de conservation de la matière lors de l'écoulement d'un fluide incompressible impose que le débit d'eau est le même à travers toutes les sections des tubes :  $q_v = Sv = c^{te}$ .

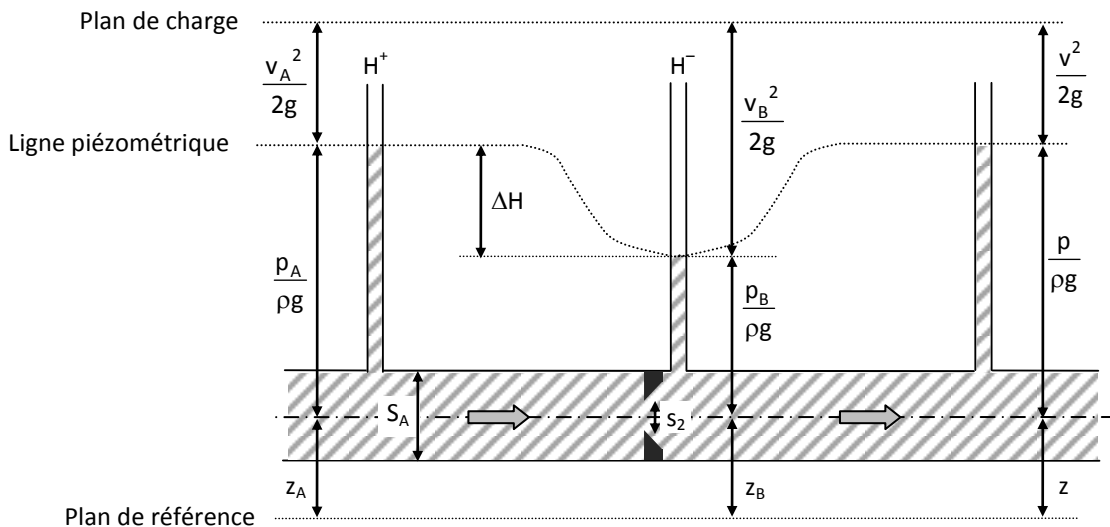
1.2. Relation de Bernoulli

Pour un fluide parfait en écoulement permanent, la relation de Bernoulli exprime la conservation de l'énergie totale :

$\frac{1}{2}mv^2 + mgz + m \frac{p}{\rho} = C^{te}$ . En divisant chaque terme de cette équation par  $mg$ , on obtient des termes homogènes à des hauteurs. Donc, pour deux points A et B d'une même ligne de courant, on peut l'écrire sous la forme :

$$\frac{v_A^2}{2g} + z_A + \frac{p_A}{\rho g} = \frac{v_B^2}{2g} + z_B + \frac{p_B}{\rho g}$$

Pour un débit constant, on observe une différence de hauteur dans les tubes piézométriques avant ( $H^+$ ) et après ( $H^-$ ) le diaphragme, notée  $\Delta H = H^+ - H^-$ . L'interprétation graphique de la relation de Bernoulli conduit au schéma suivant :



**Questions**

L'étude consiste à établir une relation entre le débit d'eau traversant le diaphragme et la différence de hauteur d'eau  $\Delta H$  dans les tubes piézométriques.

- a) Montrer que  $\Delta H$  dépend de la différence des carrés des vitesses du fluide avant et après le tube en U.
- b) Expliquer, qualitativement, pourquoi le technicien est en mesure de calculer le débit de cette conduite à partir de la mesure de la différence de hauteur.

**2. Manipulation**

L'objectif de la manipulation est de relier le débit volumique  $q_v$  à la différence de hauteurs manométriques dans le tube en U :  $\Delta H = H^+ - H^-$ .

On règle le débit du fluide avec la vanne A (voir schéma du banc hydraulique donné en annexe, page 3). On note  $\mathcal{V}$  le volume d'eau recueilli dans le réservoir,  $\Delta t$  la durée du remplissage et le débit volumique expérimental  $q_{vex} = \frac{\mathcal{V}}{\Delta t}$ .

- a) Mesurer la durée de remplissage du réservoir. Une graduation correspond à un litre.
- b) Noter les hauteurs manométriques correspondantes dans le tube en U.

$\Delta H$ (cm)								
$\mathcal{V}$ (cm <sup>3</sup> )								
$\Delta t$ (s)								
$q_{vex}$ (cm <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )								

- c) Tracer la courbe  $q_{vex} = f(\sqrt{\Delta H})$  donnant le débit expérimental en fonction de la différence de hauteurs manométriques.
- d) L'expression du débit théorique mesuré à l'aide du diaphragme est  $q_{vth} = 32,8 \sqrt{\Delta H}$  (où  $\Delta H$  est mesuré en cm). Le coefficient 32,8 est lié aux sections  $S_1$  et  $S_2$  et dépend de la forme du diaphragme.  
Tracer la courbe donnant le débit théorique en fonction de la différence de hauteurs manométriques sur le même graphe que la courbe expérimentale.
- e) Comparer les deux courbes, puis conclure.

Document annexe : le banc de dynamique des fluides

A : vanne de réglage du débit

B : diaphragme

C : coude à 90° de petit rayon

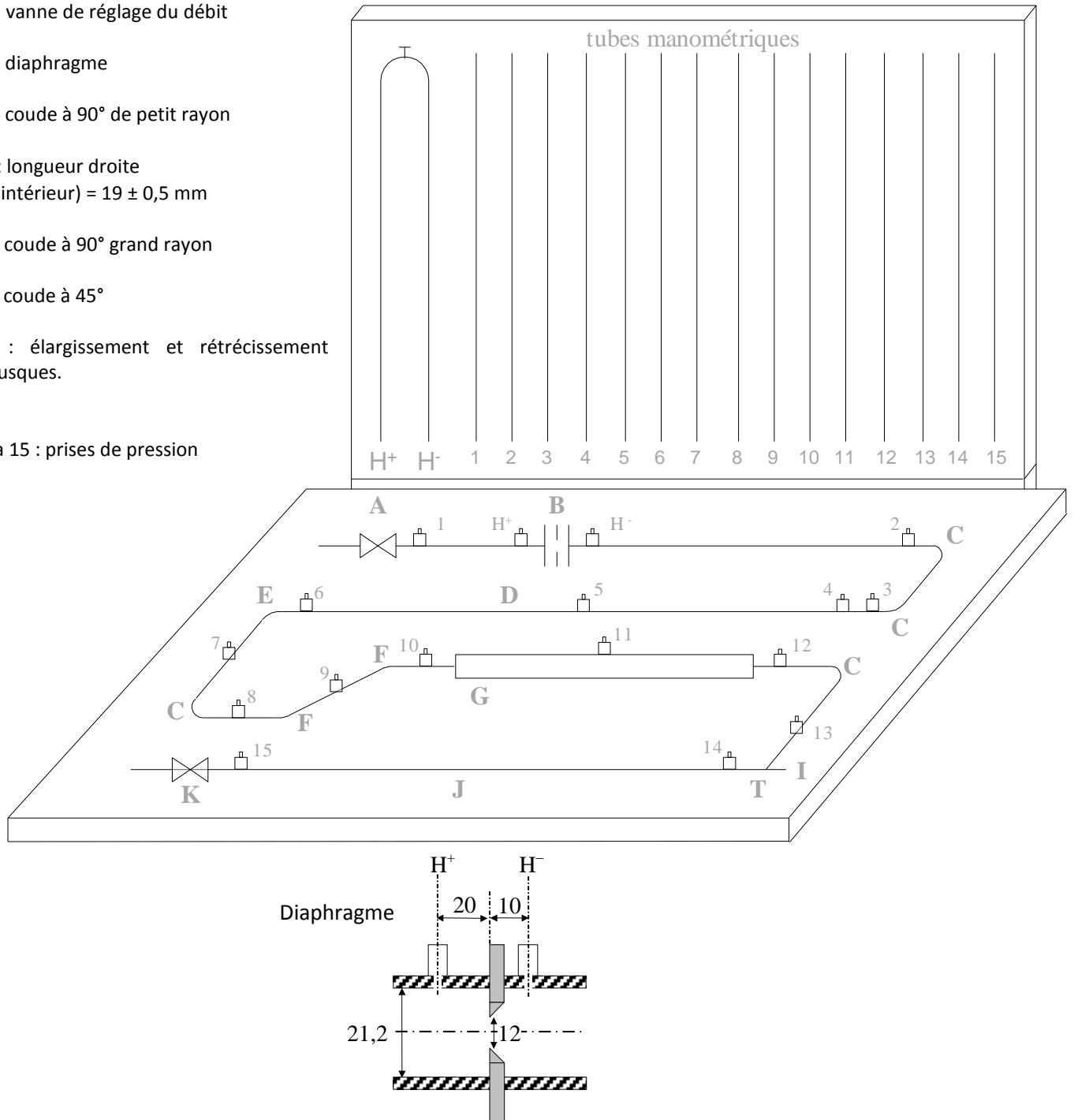
D : longueur droite  
 $\phi$  (intérieur) =  $19 \pm 0,5$  mm

E : coude à 90° grand rayon

F : coude à 45°

G : élargissement et rétrécissement brusques.

1 à 15 : prises de pression



**CENTRE D'INFORMATION DU CUIVRE LAITONS ET ALLIAGES (WWW.CUIVRE.ORG)**  
**Extrait de la lettre n° 30 - JUIN 1995**

**RÉSEAU DE CANALISATIONS : ATTENTION À L'EXCÈS DE VITESSE !**

Lors de la conception d'un réseau d'alimentation ou de chauffage, l'installateur prend en compte une grande quantité de paramètres, souvent dépendants les uns des autres, et qui ont chacun un rôle déterminant dans le bon fonctionnement de l'installation. Si les entreprises connaissent bien en général l'importance des diamètres, des pertes de charge, des déperditions calorifiques et, bien sûr, de l'équilibrage, il est un facteur dont l'importance est parfois sous-estimée, c'est celui de la vitesse de circulation de l'eau dans les canalisations. En fait, les problèmes liés à la vitesse de l'eau sont principalement dus à une vitesse excessive qui peut avoir trois conséquences : augmenter les pertes de charge, engendrer du bruit dans le réseau et, dans les cas extrêmes, provoquer une dégradation des tubes.

***AUGMENTATION DES PERTES DE CHARGE***

---

Il existe deux types de pertes de charge : les pertes de charge par frottement, relatives au contact de l'eau sur les parois des tubes et les pertes de charge singulières dues aux accidents de parcours que sont les coudes, les tés, les vannes, etc.. Ces pertes de charge sont fonction de la vitesse ; les pertes de charge singulières sont même proportionnelles au carré de la vitesse du fluide en mouvement. Dans une installation de chauffage, une vitesse excessive va donc engendrer des pertes de charge plus importantes qui vont elles-mêmes nécessiter une pompe d'une puissance supérieure et par conséquent des coûts d'exploitation plus élevés. En outre, le surdimensionnement de la pompe risque d'être la source d'une usure prématurée et inutile des différents organes de réglage.

***LES NUISANCES ACOUSTIQUES***

---

Le bruit est le deuxième inconvénient possible dû à une vitesse excessive de l'eau dans les canalisations. Pour ce facteur, on va voir que les limites sont beaucoup plus difficiles à déterminer que pour les deux autres. Le bruit engendré par l'écoulement d'un fluide dépend en effet de plusieurs paramètres et notamment de la configuration du circuit, des diamètres, et du fait que les tubes sont apparents ou incorporés en dalle. Ainsi, on n'aura pas les mêmes niveaux de bruit en chauffage traditionnel qu'en plancher chauffant.

***LES RISQUES DE CORROSION EROSION***

---

Il s'agit d'un type particulier de corrosion lié à la fois à la vitesse de circulation et à la nature de l'eau. Une trop grande vitesse du fluide, ajoutée à la présence de bulles d'air, tend à générer dans le réseau des tourbillons qui produisent un phénomène de cavitation. Il se traduit par la désintégration des bulles de gaz dissous, qui provoque un martelage et une usure de la surface du métal. Ce phénomène est amplifié par l'action mécanique de particules abrasives comme la silice, dont la présence dans l'eau circulant à vitesse élevée, provoque l'abrasion des couches passives protectrices des parois internes des tubes de cuivre. Les spécialistes reconnaissent bien cette forme particulière de corrosion qui laisse des traces sur le tube en forme de "sabot de cheval". C'est le résultat de l'entraînement des particules de cuivre qui viennent s'accumuler dans un endroit préférentiel. Parfois des obstacles, dont la présence est anormale, sont la cause d'une augmentation de la vitesse à un endroit du circuit ; ainsi, un raccord mal exécuté, provoquant un rétrécissement de la canalisation, va engendrer localement une augmentation de la vitesse et des remous qui peuvent être à l'origine de ce type de corrosion. Ce phénomène est exceptionnel en chauffage et se rencontre parfois en eau chaude sanitaire sur les canalisations de retour des circuits en boucle des grosses installations.

***LES LIMITES DE VITESSE***

---

D'une façon générale, la vitesse de l'eau dans les tubes doit être comprise entre 0,3 m/s et 1,5 m/s.

- 0,3 m/s est la vitesse considérée comme minimale pour éviter d'éventuels dépôts sur les parties inférieures des tubes susceptibles d'entraîner des phénomènes d'aération différentielle.
- 1,5 m/s est la limite haute pour ce qui concerne essentiellement le facteur de corrosion érosion qui, comme on l'a vu, dépend directement de la vitesse. Il faut cependant abaisser sensiblement cette limite supérieure de base pour tenir compte des phénomènes de bruit...

Quelques exemples de valeurs admises par les thermiciens, applicables aux tubes de cuivre :

	Circuit d'eau chaude en boucle et chauffage traditionnel				Planchers chauffants
Dimension (mm)	14 × 1	18 × 1	25 × 1	35 × 1	14 × 0,8
Vitesse (m/s)	0,50	0,60	0,80	0,90	0,80

### Questions

- a) Les installations de chauffage, de climatisation et d'eau sanitaire doivent garantir un confort élevé et une faible consommation d'énergie. Pour cela, il faut des installations avec les débits adéquats et donc réaliser des circuits équilibrés.

En quoi consiste l'équilibrage d'un réseau ?

Quels problèmes découlent d'un déséquilibre hydraulique ?

- b) Quelles sont les conséquences d'une vitesse de l'eau dans la canalisation inadaptée ?
- c) En utilisant les valeurs données dans le document, déterminer le débit de fluide qui circule dans le plancher chauffant.
- d) Faute de loi physique permettant de traduire la transformation de l'énergie mécanique du fluide en énergie sonore, les thermiciens ont construit des lois empiriques rendant compte imparfaitement de la réalité mais qui suffisent en pratique. La formule de Croquelois définit une "vitesse silencieuse" ( $v$  en m/s) en fonction du

diamètre utilisé ( $d$  en mm) :  $v = \sqrt{\frac{d}{50}}$

Calculer la valeur de la "vitesse silencieuse" d'un fluide circulant dans un tube utilisé pour alimenter un évier de diamètre intérieur  $d = 12$  mm.

En déduire que, dans ces conditions, le débit volumique est de 200 L/h.