

Effet annulaire dans la méthode Pression-Temps

Bernard Chaix

ancien Professeur à l'EPF-Zurich

Crêt-de Chouilly 44, CH-1242 Chouilly/Satigny

Tel: 022 753 10 37 Fax: Poste de Satigny 022 753 21 81

Résumé

Actuellement la méthode Pression-Temps livre des valeurs de débit supérieures à celles des méthodes thermodynamique et des moulinets, dans la plupart des cas, mais avec une dispersion de $\pm 1\%$. C'est l'estimation du frottement selon le Code CEI, qui est à revoir - et parfois l'hypothèse d'un écoulement établi -.

Entre le début de la fermeture de la conduite et l'arrêt complet du courant le frottement aux parois est interpolé par un calcul quasi-stationnaire, lequel ne se justifie que lors de fermeture extrêmement lente. Le plus souvent, la fermetures assez rapide pour que le gradient de pression l'emporte sur le frottement (Fig. 1b). Il en résulte des perturbations dans la zone annulaire proche de la paroi qui réduisent le frottement et en inversent même le signe (Fig. 4).

Une démonstration de "l'effet annulaire" est possible sans changer l'équipement ultrasonique, si ce n'est le rythme de lecture et l'enregistrement individuel des faisceaux. Les techniques développées pour l'étude des couches limites par les aérodynamiciens pourraient nous livrer le sens de l'écoulement proche de la paroi, et même la contrainte de cisaillement à la paroi en fonction du temps.

Summary

The annular effect during a pressure time measurement

The pressure-time method is a dynamic one. In the relevant equations in non-dimensional form two characteristic numbers appear: Reynolds number and non-dimensional closing time. We suggest building this number with the "Stopping Distance" of the flow (in analogy to cars) divided by the diameter of the conduit.

Large values of the "Dis"-number, for instance 120 (Fig. 1a), correspond to slow maneuver, where quasi-steady interpolation of wall friction - as suggested by the IEC-Code - are valid. Brisk closing like $Dis = 4$ (Fig. 1b), on the other hand, demands transient computations in order to quantify the wall-friction. Assuming that the scale of the turbulence does not change along a distance of only a few diameters, interesting velocity distributions were computed: On the way to rest, the flow near the wall changes direction - an effect similar to the annular effect (Fig. 3) -.

A qualitative comparison between transient and quasi-steady interpolation shows that traditional data processing overestimates the discharge (Fig. 4). Same overestimation is observed in most comparative tests with the current meter or the thermodynamic techniques.

A first demonstration of the annular effect is at hand with multipath ultrasonic equipments (Fig. 5a). The change of the direction of the flow along the wall could be grasp with an enlarged boundary fence (Fig. 5b). The direct measurement of the wall friction seems possible with Preston Tubes (Fig. 5c).

1. FERMETURES LENTES ET RAPIDES

La méthode pression-temps est essentiellement transitoire, à l'encontre des autres méthodes, qui déterminent les grands débits par des mesures en régime stationnaire. Pendant la fermeture de l'appareil directeur ou d'une vanne de garde, la pression différentielle $P_2 - P_1$ est enregistrée, Fig. 1a et b. L'intégration sur la durée de la manoeuvre correspond à l'impulsion qui annule la quantité de mouvement de la colonne d'eau considérée. Ce freinage est complété par le frottement aux parois de la conduite, une contribution particulièrement importante dans la Fig. 1a.

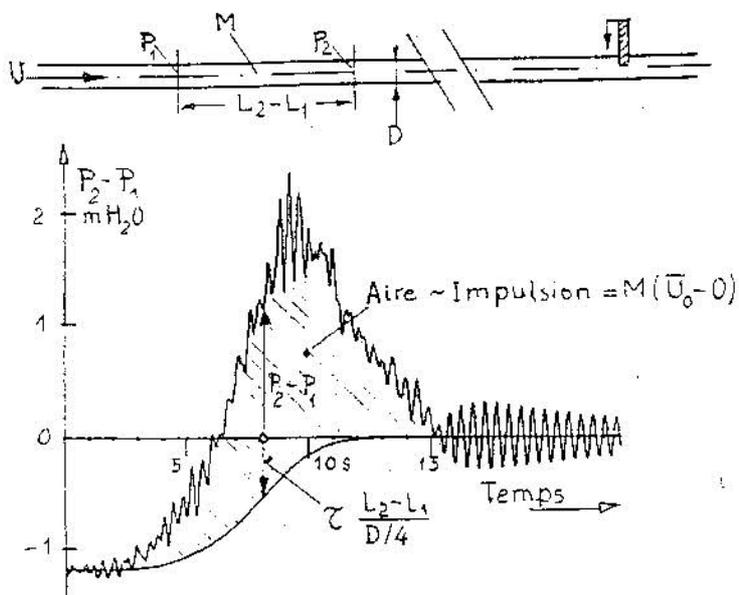


Fig. 1a

Enregistrement sur modèle réduit
Réf. 2 Dis = 120

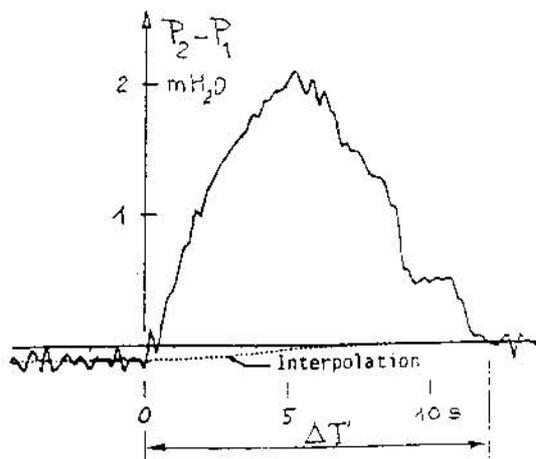


Fig. 1b

Enregistrement in situ
Réf. 3 Dis = 4

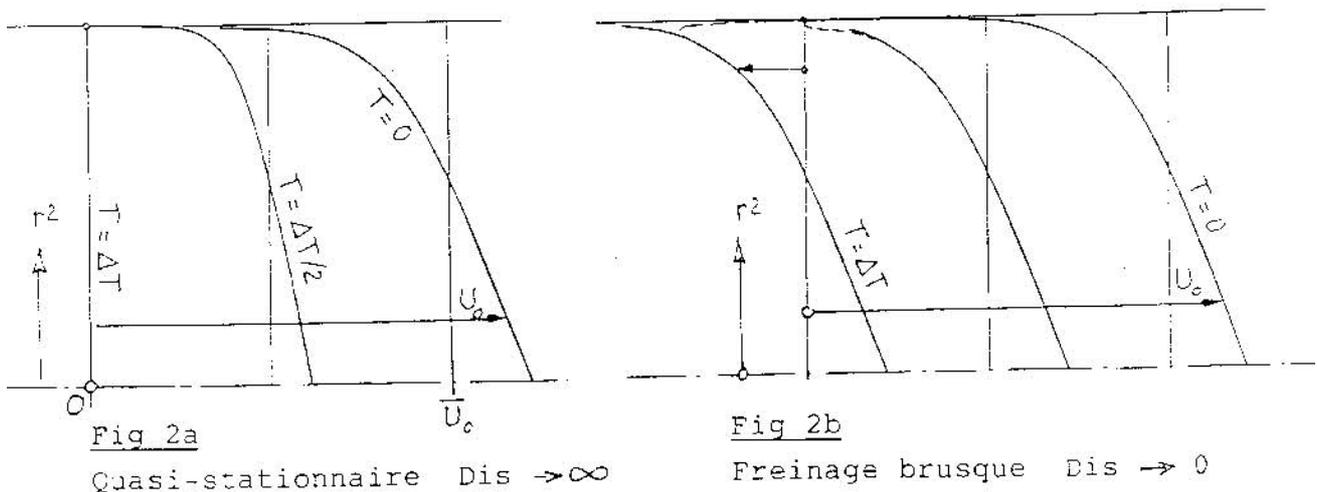
Le point faible de la méthode pression-temps est le fait que le frottement est mesuré uniquement avant la manoeuvre, par la perte de charge: $P_2 - P_1 < 0$ à gauche dans la Fig. 1a. Pendant la fermeture, à défaut de mesure directe de la contrainte de cisaillement τ_{paroi} le Code CEI (1991)^{*)} suggère un calcul quasi-stationnaire en fonction du débit.

^{*)} Voir références en dernière page.

C'est ainsi que l'interpolation dans les Fig. 1a et b est basée sur un coefficient de perte de charge λ_0 constant. On admet donc que des profils de vitesse homologues s'instaurent d'instant en instant : Fig. 2a. Cette simplification ne se justifie que si la fermeture est extrêmement lente.

A l'opposé de ce cas limite, la Fig. 2b illustre une fermeture brutale, où le gradient de pression l'emporte sur le frottement, provoquant un déplacement parallèle des profils de vitesse. A la fin de la manoeuvre, lorsque le débit est nul, l'écoulement au centre de la conduite n'est pas complètement stoppé; ce débit est compensé par un flux en retour, côté paroi.

Répartitions de vitesse dans les cas extrêmes



Comment situer les enregistrements des Fig. 1 entre les cas extrêmes des diagrammes de vitesse Fig. 2 ? C'est en établissant l'équation des quantités de mouvement sous forme adimensionnelle que deux nombres sont apparus: Reynold et la distance de freinage rapportée au diamètre de la conduite :

$$Dis = \frac{\Delta T \cdot \bar{U}_0 / 2}{D}$$

La durée ΔT de la fermeture est ainsi caractérisée par le chemin parcouru durant ce temps, en admettant une décélération constante de la vitesse débitante, de \bar{U}_0 à Zéro. La différence frappante entre les enregistrements la et lb correspond à la différence des nombres de distance: respectivement 120 et 4.

Notez que ce nombre "Dis" est proportionnel à Re/Ω^2 où $\Omega^2 = R^2 \cdot \text{Fréquence} / \text{Viscosité cinématique}$, Ω étant le critère pour les écoulements laminaires oscillants, d'où nous vient l'expression d'effet "annulaire" (Réf. 4).

2. UN CALCUL APPROXIMATIF DE L'ÉCOULEMENT TRANSITOIRE

Pour des conditions proches de l'enregistrement 1b, l'évolution des profils de vitesse a été calculée en se basant sur les longueurs d'échange de Prandtl, Fig.3. Pour simplifier, nous avons admis que ces longueurs restaient constantes pendant la fermeture. En effet, durant ce temps l'écoulement parcourt un chemin égal à quelques diamètres seulement. L'effet annulaire se manifeste par le changement de signe du frottement exercé par la paroi.

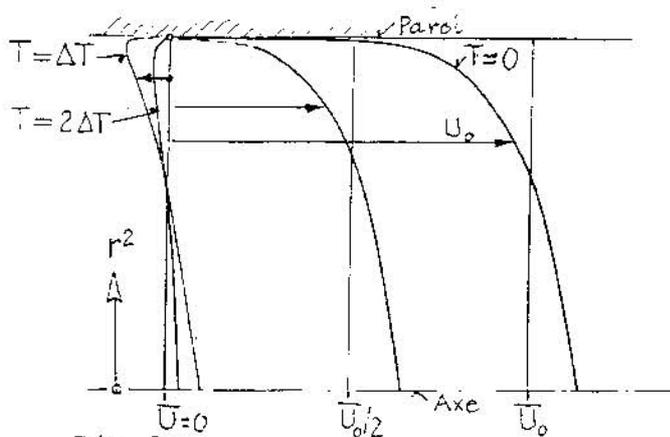


Fig 3

Répartition de vitesse calculée
Ref. 8 Dis = 5

Les valeurs de la contrainte τ n'étant pas suffisamment assurées, nous nous sommes bornés à une indication qualitative, Fig.4. A l'interpolation quasi stationnaire, nous avons ajouté un tracé inspiré du calcul transitoire. La comparaison

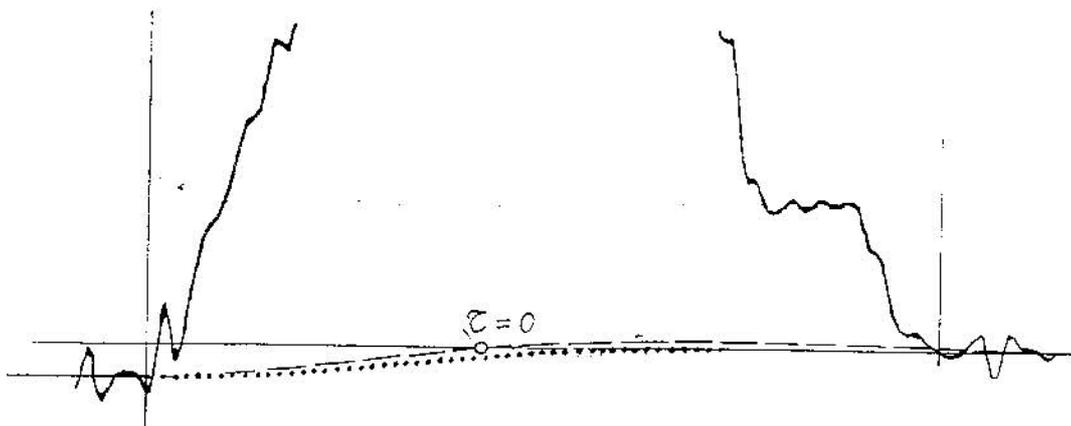


Fig 4

Comparaison qualitative entre deux calculs d'interpolation

En pointillé le tracé selon Code, Fig. 1b

En dessus, le tracé inspiré du calcul dynamique, Fig. 3.

Dis = 4 ÷ 5

des deux tracés, Fig. 1b + 3, montre que la surface à planimétrer est réduite par la nouvelle interpolation. C'est dire que la mise en valeur selon Code surestime le débit.

3. RESULTATS DE MESURES COMPARATIVES

Les mesures présentées à l'ICMG en 1993 par J.M. Lévesque (Réf. 5) sont caractérisées par une fermeture très rapide : Dis = 1 et un débit d'environ 0,8 % supérieur au débit mesuré avec les moulinets.

Des comparaisons dans de meilleures conditions que l'installation basse chute ci-dessus nous ont été communiquées l'année passée par M. Fritsch (Réf. 6). Par rapport au débit basé sur la méthode thermodynamique, la méthode pression-temps surestimait le débit dans 7 installation, en moyenne de 1,3 %. par contre, dans 2 installations, le débit était sousestimé : -0,2 et - 0,6 %.

Il vaudrait la peine d'ordonner les résultats des installations en fonction du critère Dis, éventuellement de Reynolds. C'est bien ce que Graeser et Gretsche avaient fait en variant la distance de freinage et comparant les débits selon le Code avec un débitmètre électromagnétique étalonné au laboratoire de l'EPF-L :

entre Dis-120, fig.1a, et Dis = 8, l'écart passait de $0 \pm 1\%$ à plusieurs pourcents.

4. SUGGESTIONS EN VUE D'UNE RÉVISION DU CODE

4.1. POSSIBILITÉS DE CONTRÔLES PARTIELS

- a) Mesurer par ultrasons, en fonction du temps, le développement de la zone annulaire où s'instaure un contre-courant : Fig. 5a.
- b) Détecter l'instant où le frottement à la paroi s'inverse : Point $\zeta = 0$ dans l'interpolation Fig. 4b. Le détecteur (Réf.7) est une barrière pour sub-couche laminaire, Fig. 5b. Sur l'installation industrielle, on choisira une barrière plus haute que l'épaisseur de la couche laminaire pour provoquer des signaux faciles à détecter - quitte à ce qu'ils soient en retard sur l'évolution de ζ_{paroi} dans temps

4.4. Effets d'un alignement droit insuffisant.

Des équations qui ne seraient pas simplifiées par la condition d'un écoulement établi permettraient de traiter un écoulement en transition le long de la conduite. Si, par exemple, le profil de vitesse amont était anormalement "pointu", la section 1 importerait plus de quantité de mouvement par seconde que n'en exporte la section aval 2. L'intégration sur la durée de la fermeture diminuerait le freinage, livrant un débit supérieur au calcul simplifié. Effectivement, une telle erreur par défaut a été constatée par Graeser et Gretsich lors de fermetures lentes.

CONCLUSIONS

Pour améliorer la méthode pression-temps, il serait judicieux de mener de front les travaux des paragraphes 3 et 4. Expérience faite, le Code pourrait être revu.

Références

- 1 Commission élettrotechnique internationale (CEI):
"Code international pour les essais hydrauliques de réception sur place de turbines hydrauliques, pompes d'accumulation, et pompes-turbines" (1991)
- 2 J.E. Graeser et P. Gretschi:
Recherches sur la méthode pression-temps en laboratoire à l'Institut de machines hydrauliques de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPF-L) (1991)
- 3 S. Mollicone, Hydro-Québec:
"Latest Developments of the Pressure-Time Method" American Power Conference, Chicago (avril 1983)
- 4 Denis J. Doorly, Imperial College, London:
"Unsteady Fluid Dynamics: Investigations of Boundary Layers, Wakes and Arteries"
Exposé à l'Ecole polytechnique fédérale de Zurich (18.5.1994). Cite le "Richardson's Annular Effect".
- 5 Jean-Marc Lévesque, Hydro-Québec:
"Méthodes Moulinets et Pression-Temps à Beauharnois" Communication présentée à la 21ème réunion ICMG (1993)
- 6 André Fritsch, EdF Grenoble:
Note adressée à B. Chaix (1995)
- 7 Gasser, H. Thomann, Dengel:
"Experiments in Fluids" Volume 15 (1993)
- 8 Hans Rudolf Graf:
"Umkehr der Wandreibung bei der Druck-Zeit-Durchflussmessmethode" Travail de semestre - démonstrations et calculs - Ecole polytechnique fédérale de Zurich (1984)