

HYDRODYNAMIQUE D'UNE COLONNE PULSEE D'EXTRACTION LIQUIDE-LIQUIDE A GARNISSAGE DISQUES-TRONQUES

H. BRACOU, A. HANSSENS

<> CEA MARCOULE DPR/SEMP/SGC
B.P. n° 171
30207 BAGNOLS SUR CEZE

C. GOURDON, G. CASAMATTA

<> ENSIGC
18, Chemin de la Loge
31078 TOULOUSE

RESUME

L'installation expérimentale est équipée d'un garnissage disques-tronqués en inox avec 25 % de transparence axiale, 25 mm d'espacement entre plateaux et 50 mm de diamètre (DT 25/25/50 inox). Le système de phases employé au cours de ces essais est le Tétrahydrofur / Eau (phase dispersée) / Eau (phase continue) en fonctionnement aqueux continu " mode FAC". L'objet de ce travail est de rassembler l'ensemble des données nécessaires à l'étape de modélisation fondée sur l'extrapolation d'un outil mathématique, type bilan de population (1), avec un double objectif :

- fournir l'information de base utile au modèle
- établir une base de données expérimentales pour la validation du modèle

I. INTRODUCTION

Dans l'industrie nucléaire, les colonnes d'extraction liquide-liquide sont le plus souvent de forme annulaire garnie de disques et couronnes. A l'échelle pilote il est difficile de concevoir de telles colonnes avec des faibles diamètres; une alternative consiste alors à opérer avec un garnissage constitué de disques-tronqués qui reproduit fidèlement les conditions de cheminement des phases rencontrées dans les colonnes annulaires.

II. AMPLITUDE DE PULSATION

Le dispositif de pulsation pneumatique est constitué d'une jambe latérale (remplie en grande partie par la phase organique) reliée à une vanne pneumatique et mise en communication de façon périodique, tantôt avec la pression atmosphérique tantôt avec une capacité d'air à pression constante "Pre" dite pression de pulsation. Il se crée un mouvement de va-et-vient de la masse fluide caractérisé par son amplitude "a" et sa fréquence "f". Nous obtenons, après étalonnage en régime monophasique aqueux :

$$a_{aq} = 0,035 \text{ Pre}^{0,845} f^{-1,307}$$

(a en cm; Pre en mbar; f en s⁻¹)

En pulsation pneumatique il existe une interaction directe entre l'amplitude générée et le taux de présence de la phase dispersée (rétention). Dans un travail précédent (2) il a été montré que si a_{aq} et ρ_{aq} sont respectivement l'amplitude et la masse volumique en régime monophasique aqueux, alors il existe une relation simple pour a_{col} et ρ_{col} propre au milieu diphasique présent dans la colonne :

$$a_{col} \rho_{col}^{1/2} = a_{aq} \rho_{aq}^{1/2}$$

III. ENERGIE DE DISSIPATION TURBULENTE

III.1 Généralités

Tous les essais ont été réalisés en régime monophasique aqueux. En considérant le fluide incompressible et la température constante, les propriétés physico-chimiques du fluide peuvent être considérées constantes en tous points. Partant de cette hypothèse, le calcul de l'énergie de dissipation turbulente par unité de masse " ϵ " s'exprime à partir des pertes de charge " ΔP " et de la vitesse du fluide " U " tel que :

$$\epsilon = \left(\frac{\Delta P}{L} \right) \frac{U}{\rho}$$

Le diamètre du fût est constant et les mesures sont effectuées à l'aide d'un capteur différentiel à chambre noyée (on s'affranchit du terme hydrostatique " $\rho \cdot g \cdot \Delta z$ " par la liaison entre le point de mesure et la chambre remplie de solution); l'application du théorème fondamental de la dynamique des fluides entre deux sections droites du fût de colonne s'écrit :

$$\left(\frac{\Delta P}{L} \right) = \text{terme inertiel} + \text{terme frottement} = \rho \gamma + dP \quad \text{avec} \quad dP = CF \rho U |U|$$

" γ " est l'accélération du liquide et l'écoulement est considéré purement turbulent. Le terme en valeur absolue est là afin de tenir compte des éventuelles vitesses négatives au cours d'un cycle de pulsation. Nous supposons intrinsèquement que CF est indépendant des propriétés du fluide, en particulier de la viscosité. En théorie (2) une telle approximation paraît inconcevable. Toutefois, en considérant le garnissage comme une succession d'élargissement et de rétrécissement, cette dernière relation constitue une base de travail acceptable. Toutes les grandeurs (amplitude, vitesse, pression ...) sont considérées comme périodiques de même période T que la pulsation. Il s'ensuit que seul le terme représentant les pertes de charge par frottement intervient dans le calcul de l'énergie moyenne dissipée qui s'écrit:

$$\bar{\epsilon} = \frac{1}{T} \int_0^T \epsilon \, dt = \frac{1}{T} \int_0^T dP \frac{U}{\rho} \, dt = \frac{CF}{T} \int_0^T |U|^3 \, dt$$

III.2. Ecoulement non pulsé

L'accélération étant nulle, si nous représentons l'évolution du coefficient global de frottement en fonction du nombre de Reynolds (figure 1), nous pouvons distinguer le régime turbulent du régime laminaire et constater que la zone correspondant au régime laminaire est très restreinte. Nous obtenons en moyenne un coefficient global de frottement $CF = 392 \text{ m}^{-1}$.

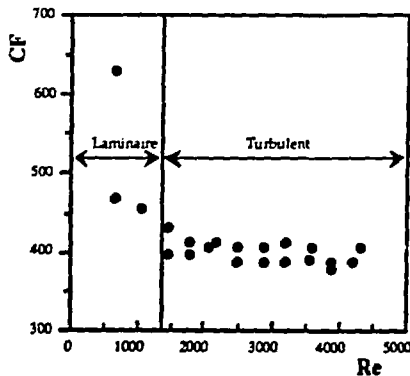


Figure 1: Coefficient de frottement en fonction du nombre de Reynolds.

III.3. Ecoulement pulsé

La vitesse du fluide se décompose en deux termes U_p , la composante périodique caractéristique de la pulsation et U_0 , la composante continue caractéristique de l'écoulement :

$$U = U_0 + U_p \quad \text{avec} \quad U_p = \frac{\partial \text{amp}}{\partial t} \quad \text{et} \quad U_0 = \frac{Q_v}{S}$$

Pour simplifier, nous travaillerons en écoulement oscillant ($U_0 = 0$). Nous disposons d'une mesure du signal de pression au cours d'un cycle de pulsation. Dans un premier temps, nous avons successivement considéré trois hypothèses simples : amplitude triangulaire, amplitude sinusoïdale, accélération constante. Aucune de ces trois hypothèses conduit à un signal de pression conforme au signal expérimental. Au cours de récents travaux sur les pertes de charges (3) le modèle développé introduit un facteur d'inertie dont la signification n'a pas été clairement définie et qui ne nous paraît pas satisfaisant. On peut modéliser la circulation du fluide sur un cycle de pulsation par la succession d'un mouvement à vitesse constante (hypothèse n°1) et d'un mouvement à accélération constante (hypothèse n°3) sur un temps "dt".

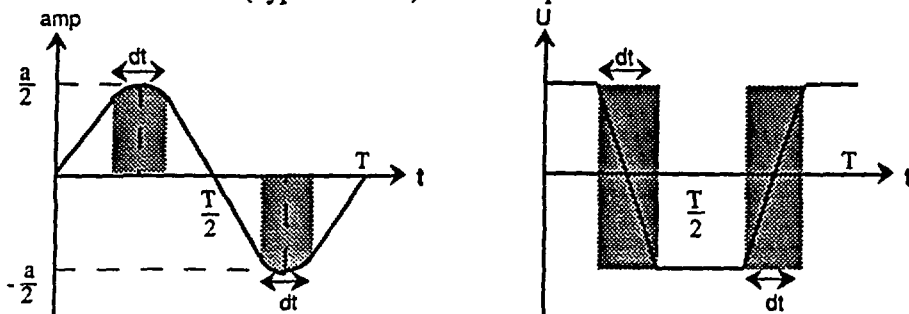


Figure 2 : Signal d'amplitude dans une colonne à pulse pneumatique

Par identification avec le signal expérimental de pertes de charge (figure 3) nous obtenons finalement $dt = T/4$ s et l'expression de l'énergie moyenne de dissipation turbulente suivante :

$$\bar{\epsilon} = 2,81 \text{ CF} \left(\frac{2a}{T}\right)^3$$

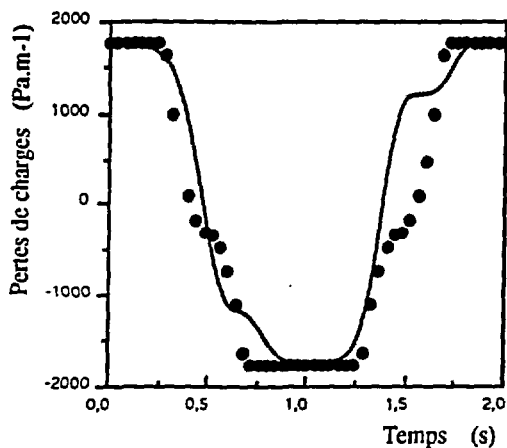


Figure 3 : Signaux de pression

— Expérimental
• modèle

IV. DISPERSION AXIALE

Le coefficient de dispersion axiale que nous allons déterminer regroupe l'ensemble des termes de non-idéalité de l'écoulement dans la colonne à garnissage disques tronqués. Il apparaît donc clairement que ce coefficient de diffusion axiale va dépendre des conditions opératoires et géométriques. Nous avons procédé à une technique de traçage de la phase continue avec des injections de $2 \text{ cm}^3 \text{ HNO}_3 \text{ 1N}$. Les données sont traitées conformément à une représentation piston-dispersion, avec une injection assimilée à une impulsion de DIRAC. Les paramètres d'étude sont le débit spécifique total "DST", le rapport débit aqueux sur débit organique "A/O" et les conditions de pulse "a" et "f". A l'aide d'un programme d'analyse des données expérimentales par la méthode de convolution des signaux, suivi d'un traitement des résultats, nous obtenons :

$$Dx = 2,73 \text{ DSC}^{0,037} a^{0,797} f^{0,665} \quad \text{Régime monophasique}$$

$$Dx = 2,51 \text{ DSC}^{0,026} a^{1,034} f^{0,992} \quad \text{Régime diphasique}$$

(Dx en $\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$; DST en $\text{l} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$; a en cm; f en s^{-1})

Les résultats sont semblables à ceux précédemment obtenus sur des colonnes à garnissage disques-couronnes (4) avec un rôle légèrement supérieur de l'amplitude par rapport à la fréquence de pulsation, à savoir :

- très faible influence du débit spécifique total
- pas d'influence du rapport des débits A/O
- peu d'influence de la présence de phase dispersée

V. DISTRIBUTION DES TAILLES DE GOUTTES (5, 6, 7)

Nous utilisons une technique développée à l'Université de Clausthal par prélèvement en capillaire sur lequel sont montées des cellules photoélectriques qui réagissent à la différence d'indice de réfraction des deux phases. La mesure est dite à atténuation. Nous mesurons l'intensité lumineuse transmise à travers l'émulsion vers des phototransistors. A vitesse d'aspiration contrôlée, les temps de passage devant les cellules renseignent directement sur les tailles respectives des gouttes prélevées. Nous avons ainsi accès aux distributions en tailles de gouttes et aux paramètres moyens de la population en fonction des conditions opératoires. Après un étalonnage préalable, les résultats aboutissent à une corrélation entre le diamètre de Sauter d_{32} et les conditions de fonctionnement tel que :

$$d_{32} = 5,49 af^{-0,81} DST^{-0,05}$$

(d_{32} en mm; af en cm.s^{-1} ; DST en $\text{l.h}^{-1}.\text{cm}^{-2}$)

VI. RÉTENTION EN PHASE DISPERSÉE

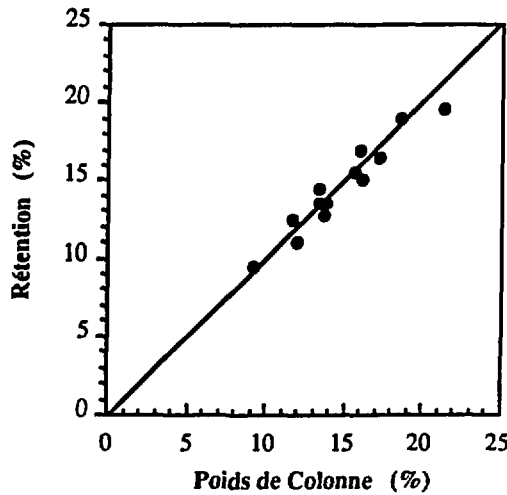


Figure 4 ; Evolution comparative de la rétention

Simultanément aux mesures de taille de gouttes, nous avons effectué des mesures de rétention en phase dispersée suivant deux méthodes, l'une par prélèvement l'autre par mesure du "poids de colonne" (ou différence de pression hydrostatique). Sur la figure 4 nous pouvons constater qu'il y a une bonne correspondance entre les deux techniques de mesure. La méthode du poids de colonne présente l'avantage de ne pas perturber le fonctionnement hydrodynamique de la colonne. L'ensemble de nos résultats peut se présenter sous la forme de la relation de BELL & BABB tel que (8) :

$$\phi = DSD \left[4,86 + (0,74 + 4,25 DSC)(af - 0,67)^2 \right]$$

(ϕ en %; DSD & DSC en $\text{l.h}^{-1}.\text{cm}^{-2}$; af en cm.s^{-1})

VII. CONCLUSION

Nous sommes en mesure de procéder à l'identification des résultats par le modèle de population de gouttes (1, 2). Fondé sur le calcul de la densité de probabilité de présence de gouttes de classe d à un niveau z quelconque de la colonne, le modèle fournit les profils de distributions en tailles des gouttes et de rétention dans la colonne. La comparaison avec les profils expérimentaux doit permettre de valider les lois de rupture, de coalescence et de transport caractéristiques du système diphasique dans une colonne d'extraction. Ce travail doit faire l'objet d'une prochaine publication.

VIII. REFERENCES

- (1) CASAMATTA G., Thèse d'état INP Toulouse (1981)
- (2) MILOT J.F., Thèse de docteur ingénieur INP Toulouse (1990)
- (3) LEROY P., Thèse de docteur ingénieur INPL Nancy (1991)
- (4) BURATTI M.F., Thèse de docteur ingénieur, INPL Nancy (1990)
- (5) "Système de mesure et d'exploitation de valeurs hydrodynamiques d'une colonne d'extraction", Note technique, Institut de Génie Chimique, Clausthal (1988)
- (6) GOLDHAGEN A., Mémoire de fin d'études, Institut de Génie Chimique, Clausthal (1989)
- (7) GENEUGER B., LOHRENGEL B., LORENZ M. & VOGELPOHL A., "Version élargie du discours de B. LOHRENGEL lors de la session de la commission d'experts GVC", Institut de Génie Chimique, Clausthal
- (8) BELL R.L., BABB A.L., I.E.C. Process Des. Develop., 8, n°3, 392-400 (1969)
- (9) GOURDON C., Thèse d'état INP Toulouse (1989)

IX. NOMENCLATURE

a	amplitude crête à crête (m)
af	produit amplitude fréquence (m.s ⁻¹)
amp	signal d'amplitude en fonction du temps (m)
A/O	rapport des débits aqueux sur organique
CF	coefficient de frottement (m ⁻¹)
d32	diamètre de Sauter (m)
dP	pertes de charge par frottement et par unité de longueur (Kg.m ⁻² .s ⁻²)
DSC	débit spécifique de la phase continue (m ³ .s ⁻¹ .m ⁻²)
DSD	débit spécifique de la phase dispersée (m ³ .s ⁻¹ .m ⁻²)
DST	débit spécifique total (m ³ .s ⁻¹ .m ⁻²)
Dx	coefficient de diffusion axiale (m ² .s ⁻¹)
f	fréquence de pulsation (s ⁻¹)
L	longueur (m)
P	pression (Kg.m ⁻¹ .s ⁻²)
Pre	pression de pulsation (m ⁻² .s ⁻³)
Qv	débit volumique (m ³ .s ⁻¹)
S	section (m ²)
t	temps (s)
T	période (s)
U	vitesse (m.s ⁻¹)

alphabet grec

ε	dissipation d'énergie turbulente (m ² .s ⁻³)
φ	rétenion en phase dispersée (%)
γ	accélération (m.s ⁻²) : $\partial^2 \text{amp} / \partial t^2$
ρ	masse volumique (Kg.m ⁻³)