



Home
Journals List
Statistics
Our Journals

TOP 50 Most Downloaded Articles

For Publishers
Apply for Evaluation / Free Service

Journal Search
OAJI Logo

Advertising options on OAJI

Contact Us

Recently Added Articles

[International Journal Of Engineering Research and General Science](#)

[ÁGORA: Revista do Arquivo Público do Estado de Santa Catarina & Curso de Arquivologia da Universidad](#)

[Journal of community health research](#)

[Albanian Medical Journal](#)

Register Journal

Our partners



Visitors Counter

Today	892
Yesterday	1101
This week	3065
Last week	7934
This month	25903
Last month	34024
All days	496400

Journal de la Recherche Scientifique de l'Université de Lomé

Published by [Direction de la Recherche de l'Université de Lomé](#)

Year publication 1995

Frequency 4

Article Publishing Frequency 0

Impact Factor OAJI 2012 —

Abbreviation J. Rech. Sci. Univ. Lomé

Country Togo

ISSN (print) 1727-8651

ISSN (online) 2413-354X

Journal Website <http://www.ajol.info/index.php/jrsul/issue/archive>

Editor in Chief Ampah Kodjo Christophe JOHNSON

ISI — **All articles** [1](#) **Date added to OAJI** 21 Nov 2015

Scopus — **All issues** [17](#) **Free access** 1995-2015

DOAJ — **Full text language** French/english

Journal discipline

Multidisciplinary Sciences

Journals

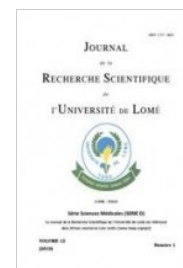
[353](#)

Journal description

Le Journal de la Recherche Scientifique de l'Université de Lomé (Togo) est un journal international et pluridisciplinaire qui publie des travaux de recherche rédigés en français ou en anglais. Le journal paraît quatre fois par an (quatre numéros par an). Il reçoit des articles originaux, des revues de la littérature, des petites communications, des commentaires et critiques d'articles et des études de cas.

Journal is indexed by

AJOL, Google scholar, ResearchBib





20 Brilliant Inventions
20 Seriously Brilliant Inventions
Which Will Change Your Life



Home Paper Archives Journal Indexing Research Conference Research Position

Google

Like 0

G+ Partager 0

Tweet

Main Menu

My Profile
My Journal
Add Journal

Searching By

Search More ...

News Notice

Your email

Subscribe

Feedburner

Ads

Ads by Google

[► Open Journ](#)
[► Sci Journal](#)

Journal de la recherche scientifique de l'Université de Lomé (ISSN: 1727-8651)

Publisher: Direction de la Recherche de l'Université de Lomé

ISSN-L: 1727-8651

ISSN: 1727-8651

E-ISSN: 2413-354X

IF(Impact Factor) : 2016 Evaluation Pending

Website: <http://www.ajol.info/index.php/jrsul/index>

Regarder TV en Ligne

Transformez Votre PC en Télévision.
Regardez avec TelevisionFanatic™!

1. Recherche et documentation - Comité de direction scientifique, Centre de documentation en sciences humaines, Université du Québec à Montréal
2. "Bulletin signalétique - Centre national de la recherche scientifique. 110, Informatique, automatique, recherche opérationnelle, gestion"
3. "Bulletin signalétique - Centre national de la recherche scientifique. 110, Analyse numérique, informatique, automatique, statistique et probabilités, recherche opérationnelle, gestion, économie"
4. [VIE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE](#)
5. [Université, recherche et développement](#)

Description

Le Journal de la Recherche Scientifique de l'Université de Lomé (Togo) est un journal international et pluridisciplinaire qui publie des travaux de recherche rédigés en français ou en anglais dans les domaines des Lettres et Sciences Humaines, des Sciences Fondamentales et Appliquées, des Sciences Juridiques, Économiques et de gestion. Le journal paraît quatre fois par an (quatre volumes par an). Le journal reçoit des articles originaux, des revues de la littérature, des petites communications, des commentaires et critiques d'articles et des études de cas

Last modified: 2015-10-13 07:56:54

Volumes

Vol.16 No.1

0 Comments

Sort by Oldest



Add a comment...

Facebook Comments Plugin

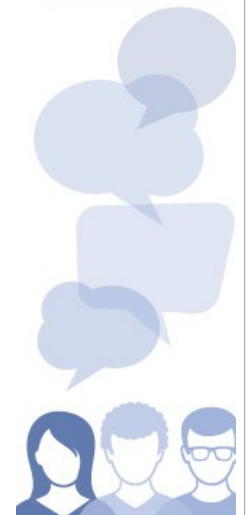
Advertisement

facebook

Créer un profil Facebook

Ses amis, sa famille et Copains de classe.
Créez un profil!

Inscrivez-Vous



About

[ResearchBib](#)
[Contact us](#)
[Advertise](#)
[Careers](#)

Resources

[Research Conference](#)
[Research Position](#)
[Journal Indexing](#)
[Paper Archives](#)

Legal

[Terms of Service](#)
[Privacy Policy](#)
[Ad Choices](#)
[Cookies](#)



ISSN 1727 - 8651

JOURNAL
de la
RECHERCHE SCIENTIFIQUE
de
L'UNIVERSITÉ DE LOMÉ



LOME - TOGO

Série "Sciences et Techniques" (série E)

Volume
TOME 7
(2005)

No
Volume 2

EDITEUR :

Direction de la Recherche, Université de Lomé ; B.P. 1515, Lomé (Togo) ;
Tél. / Fax : (228) 25 40 76 ; Fax : (228) 21. 85. 95
E-mail : dr_univ_lom@yahoo.fr

COMITE DE REDACTION :

Rédacteur en Chef :	Prof. Koffi AKPAGANA
Membres :	Baté KOLANI Yaovi AKAKPO Kouglo LAWSON-BODY
Traitement et Mise en page :	Komi AGBAVON

COMITE DE LECTURE :

ABALO Kokou (Etats-Unis),
ASSIAMOUA Kofi (Lomé, Togo),
ASSIH Toyi (Lomé, Togo),
AWANOU Norbert (Bénin),
BEDJA Koffi-Sâ (Lomé, Togo),
BOITEUX Michel (Paris, France),
GNANVO Cyprien (Cotonou, Bénin),
DUNN Flyod (Urbana, USA),
HEGRON Gérard (Nantes, France),
MOUDACHIROU Mansour (Cotonou, Bénin),
JOHNSON T. R. Ansah A. (Espagne),
KASSE Moustapha (Dakar, Sénégal),
KASSEGNE Komlan (Lomé, Togo),
NAPO Kossi (Lomé, Togo),
PORTIER Richard (Paris, France),
SIB-SIE Faustin (Burkina Faso),
TCHAKPELE Komi (Lomé, Togo).

ABREVIATION DE L'APPELLATION DE LA REVUE :

Le Journal de la Recherche Scientifique de l'Université de Lomé doit être abrégée sous la forme : J. Rech. Sci. Univ. Lomé (Togo), série E.

ETUDE EXPERIMENTALE DE L'HYDRODYNAMIQUE DE L'ÉCOULEMENT DES SUSPENSIONS NEWTONIENNES DE «GROSSES» PARTICULES DANS UNE CONDUITE HORIZONTALE

FAGLA B. F. Z.¹, GRADECK M.², BARAVIAN Ch.² et LÉBOUCHÉ M.²

1- Laboratoire d'Études et de Recherches en Techniques Industrielles (LERTI), Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi, Université d'Abomey-Calavi 01 B.P. 2009 Cotonou (Bénin)

2- Laboratoire d'Énergétique et de Mécanique Théorique et Appliquée (LEMTA) CNRS/INPL/UHP 2, avenue de la forêt de Haye, BP. 160, 54504 Vandœuvre-Lès-Nancy Cedex (France)

(Reçu le 29 octobre 2004 ; Révisé le 18 octobre 2005 ; Accepté le 14 novembre 2005)

RÉSUMÉ

Nous présentons sur ce papier les résultats d'une étude du comportement théorique et expérimental des suspensions solide-liquide en écoulement dans une conduite horizontale. Actuellement l'état des connaissances sur l'hydrodynamique des écoulements de suspensions newtoniennes ne permet pas de bien appréhender les problèmes liés aux écoulements chargés en particules dans l'industrie agro-alimentaire.

Ainsi, l'influence de la phase des particules solides sur l'écoulement n'est pas toujours très bien connue et pourtant c'est elle qui détermine la rhéologie du mélange et donc toute la thermomécanique de ces écoulements. Ce travail expérimental consiste à vérifier si les modèles rhéologiques établis pour des suspensions de particules de *structure microscopique* peuvent-ils s'appliquer à des suspensions de «grosses particules dures ($d = 4,4mm$)» et à expliquer les problèmes liés aux mécanismes de transport de suspensions dans une conduite horizontale. Les études menées, ont montré que l'utilisation du modèle de milieu effectif est efficace dans l'analyse de la perte de charge pour les fluides newtoniens chargés, en régimes laminaire et turbulent en situation isotherme [Quemada, 1998]. La migration latérale des particules vers l'axe de la conduite a contribué à la modification de la rhéologie du mélange.

Mots clés : Suspensions, mélange, solide-liquide, rhéologie, particules, sphères, hydrodynamique

ABSTRACT

We present on this paper the results of the studies of theoretical and experimental behaviour of the flowing suspensions in a horizontal conduct. Nowadays the study of the hydrodynamics of Newtonian suspensions flowing don't give thoroughly us to understand very well the problems linked to the behaviour of the fluids charged with particles in the food industries.

Thus, the hard particles suspended phase influence on a flowing is not well-known. Nevertheless, this influence determines the rheology of the mixture meaning all the thermo mechanics of these flowing.

This experimental investigation are to verify if the rheological models established for particles suspensions of *microscopic structure* can be applied to the suspensions of «large hard spheres ($d = 4,4mm$)» and to explain the problems linked to the transport mechanisms of the suspensions in a horizontal conduct. The studies led, have shown that the model of the effective medium is efficient in the analysis of pressure drops of Newtonian fluids in laminar and turbulent flowing in isothermal situation [Quemada, 1998]. The lateral migration of particles towards the axis of the conduct has contributed to the rheology of the mixture.

Keys words : Suspensions, mixture, solid-liquid, rheology, particles, spheres, hydrodynamics.

INTRODUCTION

Tous les fluides et mélanges produits par les industries agro-alimentaires présentent des propriétés rhéologiques complexes, éventuellement dépendantes du temps. La connaissance de ces

propriétés est primordiale afin de modéliser, avec précision, toutes les phases d'un procédé pendant lequel le produit va subir de multiples transformations physico-chimiques lors des phases de transport. Durand (1953) et Kyokay (1981) ont fait des observations sur les écoulements des fluides chargés.

Ayukawa (1970) a modélisé les profils de vitesse d'un mélange hétérogène de particules solides en suspension dans de l'eau en écoulement turbulent. Pour de nombreuses applications industrielles, la thermodépendance des fluides mis en mouvement est d'une importance critique.

Dans le cadre de la présente étude, nous nous intéressons à des suspensions solide-liquide en écoulement dans un tube horizontal. Nous montrons que le caractère hétérogène de la suspension peut être facilement pris en compte par une approche du type "milieu effectif". Nous analysons aussi le cas des suspensions monodisperses de sphères dures en écoulement dans un tube horizontal ($D = 0,03$ m). Une solution de sirop de glucose et l'eau (comportement newtonien), sont les fluides porteurs utilisés au cours des présentes manipulations. Nous proposons une méthode permettant de caractériser les pertes de charge des suspensions en vue de la détermination des propriétés rhéologiques des suspensions. Elles sont complexes et souvent on observe une hétérogénéité de la concentration volumique locale. L'utilisation d'un viscosimètre étant impossible dans le cas de grosses particules. Chong et al. (1971) ont mis en évidence la migration des particules de la paroi au cœur du fluide lors de mesures viscosimétriques des suspensions utilisant un dispositif de Couette. Ils notent que cette migration est d'autant plus importante que la taille des particules est élevée.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

1. Matériels

En plus de l'eau, l'autre fluide porteur utilisé est du sirop de glucose à base de blé dilué à 80%, de masse volumique égale à $1,3494 \text{ kg/m}^3$ et de conductivité thermique égale à $0,404 \text{ W/m}^\circ\text{C}$. C'est une solution qui a un comportement newtonien avec une viscosité allant jusqu'à $0,06 \text{ Pa.s}$. La phase solide est constituée de sphères dures d'alginate de diamètre moyen de l'ordre de $0,0044$ m à différentes fractions volumiques. Elles sont obtenues en faisant tomber, goutte à goutte, une solution liquide d'alginate dans un bain de chlorure de calcium où les sphères formées pendant leur chute polymérisent une fois en contact avec la solution. Les manipulations ont été effectuées sur une boucle d'essais. Elle est schématisée sur la figure (1). Le montage est composé d'un groupe motopompe, d'un échangeur tubulaire en graphite (régulation thermique du mélange), d'un bac de tranquillisation en amont de la veine de mesure pour

amortir les pulsations dues à la pompe, d'un tube en PVC (chlorure de polyvinyle) de $0,03$ m de diamètre et de $2,30$ m de longueur, pour permettre l'établissement de l'écoulement, suivi d'un tronçon de tube transparent en PMMA (polyméthacrylate de méthyle), d'une conduite de dérivation associée qui permet un réglage du débit, d'un débitmètre électromagnétique et d'un bac aval de tranquillisation qui sépare la pompe de la veine d'essai. Le groupe motopompe est suffisamment puissant pour permettre l'écoulement de produits très visqueux à des débits approchant les $12 \text{ m}^3/\text{h}$ (vitesse débitante $U_d = 4 \text{ m/s}$). C'est une pompe centrifuge à roue semi-ouverte, à rotor hélicoïdal, afin de ne pas dégrader trop vite la phase solide. La longueur droite en amont de la veine d'essais est suffisamment longue pour permettre un établissement dynamique de l'écoulement. Des prises de pression à l'entrée et à la sortie de la veine d'essais permettent la mesure des pertes de charge à l'aide d'un capteur de pression différentiel.

MÉTHODES

1.1. Caractérisation du mélange

Si on considère que le mélange diphasique se comporte comme un fluide homogène newtonien équivalent (dans le cas d'un fluide porteur newtonien), on peut déduire des relations (1) et (2) la viscosité apparente (η_a) de la suspension à partir des mesures de débit et de perte de charge (τ_p) pour un écoulement en

$$\text{conduite } \tau_p = \frac{\Delta P \cdot D}{4L} \quad (1)$$

$$\tau_p = \eta_a \left(\frac{8U_d}{D} \right) \quad (2)$$

La relation (2) suppose un écoulement laminaire. On définit alors la viscosité équivalente relative,

$$\eta_r = \frac{\eta_a}{\eta_0} \quad (3)$$

où η_0 est la viscosité du fluide porteur.

2. Analyse de l'écoulement monophasique par les pertes de charge

La figure 2 montre la courbe du coefficient de frottement pour différents régimes d'écoulement monophasique et la perte de charge longitudinale du fluide en régime établi, isotherme, laminaire et turbulent. Cette figure décrit l'évolution du coefficient

Etude expérimentale de l'hydrodynamique de l'écoulement des suspensions newtoniennes de «grosses» particules dans une conduite horizontale.

de frottement en fonction du nombre de Reynolds dans un écoulement monophasique (Re_{mono}) et isotherme d'une solution de sirop de glucose diluée à 80%. La courbe théorique est obtenue à partir des

équations suivantes : a) en régime laminaire le coefficient de frottement est donnée par la loi de

$$\text{Poiseuille : } Cf = \frac{16}{Re} \text{ avec } Re < 2000 \quad (4a)$$

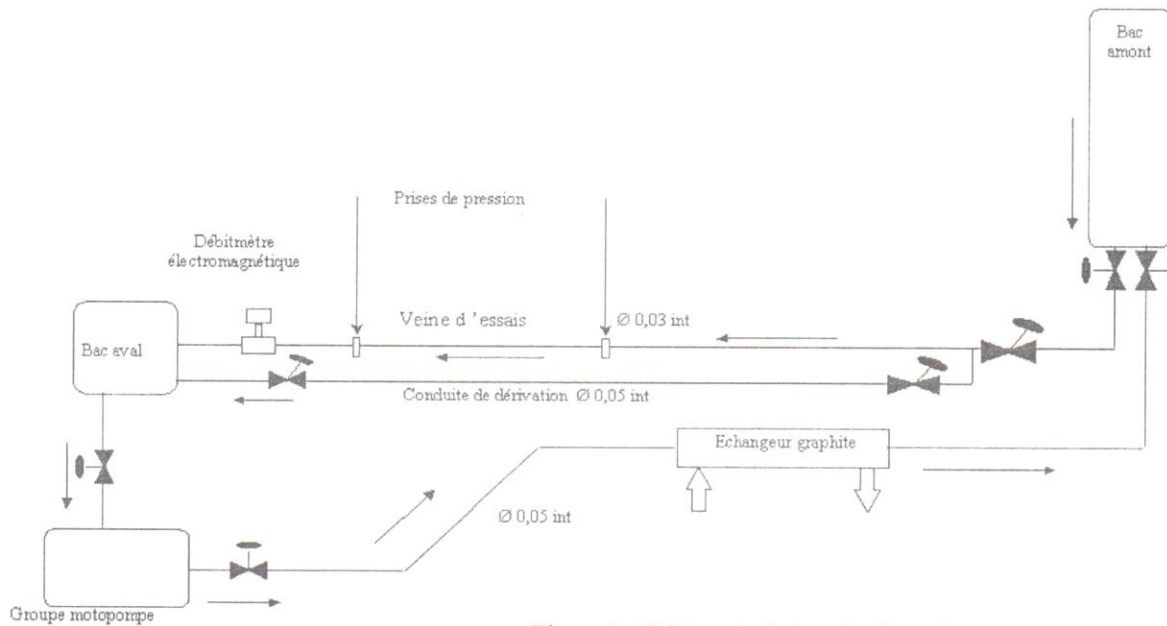


Figure 1 : Schéma de la boucle d'essais.

b) en régime turbulent, c'est la loi de Blasius que nous utilisons pour déterminer le coefficient de frottement théorique, selon la formule suivante :

$$Cf = 0,079 Re^{-0,25} \text{ avec } (Re > 3000) \quad (4b)$$

Pour $1000 \leq Re \leq 2200$, l'écoulement est laminaire et le coefficient de frottement (Cf) diminue au fur et à mesure que le nombre de Reynolds augmente. Pour un nombre de Reynolds compris entre 2200 et 2700, c'est le régime transitoire qui apparaît. Le régime turbulent est observé à un nombre de Reynolds ($Re \approx 2800$ régime turbulent non encore développé, et $Re \geq 3000$ pour un régime turbulent complètement développée). Les courbes expérimentale et théorique sont en adéquation avec des valeurs expérimentales légèrement inférieures aux valeurs théoriques en

régime laminaire. L'écart constaté, au niveau du régime laminaire, est probablement dû à une modification de la viscosité du fluide à la paroi, c'est-à-dire un échauffement causé par la dissipation visqueuse.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

1. Milieu effectif

Nous nous proposons de faire deux hypothèses (hypothèses de mélange homogène et de milieu effectif) pour étudier en régimes laminaire et turbulent les pertes de charge des suspensions de particules solides en écoulement isotherme.

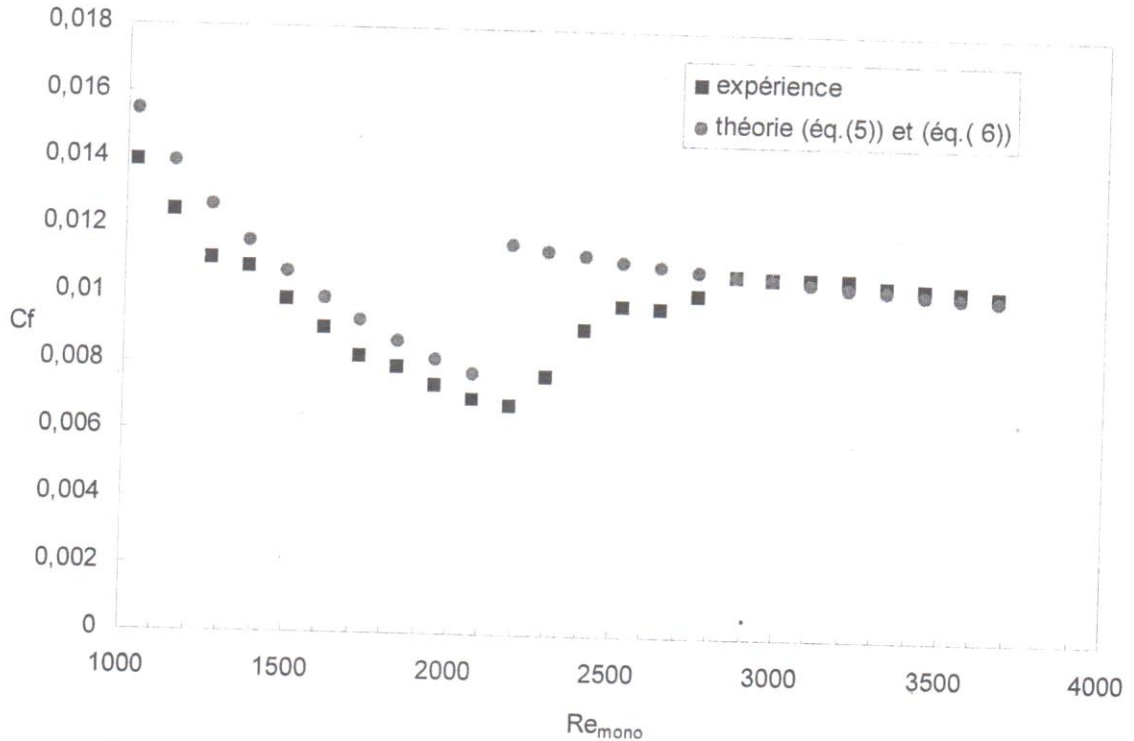


Figure 2 : Evolution du coefficient de frottement en fonction de Reynolds monophasique (Re_{mono} calculé sur la base de la viscosité du fluide porteur) dans un milieu (solution du sirop de glucose à 80%) en écoulement isotherme monophasique.

1.1 Mélange supposé homogène $\eta_a = \eta_0$

Nous supposons que le mélange est considéré comme un milieu homogène $\eta_a = \eta_0$. Dans ce cas, nous analysons l'évolution du coefficient de frottement d'une suspension de particules en écoulement isotherme en fonction du nombre de Reynolds obtenu à partir de la viscosité η_0 pour les régimes laminaire et turbulent. Nous obtenons des résultats qui mettent en évidence la non unicité des lois de frottement. (Figure 4) indépendamment du régime.

1.2 Mélange supposé milieu «effectif» $\eta_{app} = \eta_{eff}$

Nous faisons l'hypothèse que la suspension se comporte comme un fluide effectif, c'est-à-dire une suspension de sphères dures considérée comme un milieu continu. On en déduit une viscosité effective, fonction de la viscosité du fluide suspendant η_0 , de la fraction volumique en particules ϕ et de la fraction maximale d'empilement ϕ_p . En effet le modèle de sphères dures de Quemada, (1985, 1995, 1997 et 1998) prend en compte toutes les dissipations d'énergie par frottement (chocs particules-particules,

ou frottement particules-fluide lié à la rotation, et au glissement par translation). La viscosité effective est, d'après Krieger et Dougherty (1959) et Krieger (1972), de la forme suivante :

$$\eta_{eff} = \eta_0 \left(1 - \frac{\phi}{\phi_p} \right)^{-q} \quad (5)$$

où η_0 , ϕ et ϕ_p sont respectivement la viscosité du fluide suspendant, la fraction volumique en particules et la fraction volumique d'empilement maximal de particules (proche de 0,637, dans le cas de sphères dures). Selon Quemada et al, 1997 et Quemada (1998) l'exposant q de la loi (5) prend la valeur 2.

Sur la figure 3, nous avons représenté, pour une vitesse débitante $U_d = 1,3 \text{ m/s}$ maintenue constante,

l'évolution de la viscosité relative ($\eta_r = \frac{\eta_a}{\eta_0}$) en fonction de la fraction volumique de particules solides. La comparaison avec la courbe expérimentale du modèle de Quemada (1998) est tout à fait satisfaisante et semble valider l'approche du milieu effectif. Ceci confirme l'hypothèse du milieu effectif choisie (Figure 3) que nous appliquons à la suspension

de grosses particules soit $\eta_{eff.} = \eta_0 \left(1 - \frac{\phi}{\phi_P}\right)^{-2}$ (6)

Grâce à la notion de viscosité effective, nous montrons qu'il est possible de retrouver la loi générale de frottement en régime laminaire où le nombre de Reynolds effectif de l'équation (7) est calculé en tenant compte de la viscosité effective du mélange ($\eta_{eff.}$). Le coefficient de frottement est donné par la

formule $C_f = \frac{\tau_P}{\frac{1}{2} \rho U_d^2}$ avec $\tau_P = \frac{D \cdot \Delta P}{4L}$ et

$$Re_{eff} = \frac{16}{C_f} \quad (7)$$

Les résultats expérimentaux sont comparés au modèle théorique des figures 4 et 5. La cohérence des résultats est bonne cependant on remarque qu'une transition s'opère à $Re_{eff} \approx 800$ (pour toutes les concentrations à l'exception de 1%).

Il semblerait que la transition du régime laminaire au régime turbulent s'opère plus tôt pour les fluides chargés ; les particules en suspensions déstabilisent l'écoulement. Ces différents résultats montrent que l'évolution du coefficient de frottement croît avec la fraction volumique (Figure 4). Ce qui est en adéquation avec les travaux antérieurement menés par d'autres auteurs sur des suspensions à particules fines. En comparant les résultats des figures 4 et 5, nous constatons que le passage du régime laminaire au régime turbulent s'est fait de manière progressive, sans à coup. La transition n'est pas observée mais plutôt absente. Cette absence serait due aux instabilités hydrodynamiques liées à la présence des particules. Nous supposons que le mélange est considéré comme

un milieu effectif $\eta_a = \eta_{eff.}$. Cette fois-ci, nous représentons l'évolution du coefficient de frottement d'une suspension de particules en écoulement isotherme en fonction du nombre de Reynolds obtenu à partir de la viscosité $\eta_{eff.}$ pour un régime aussi bien laminaire que turbulent (Figure 5).

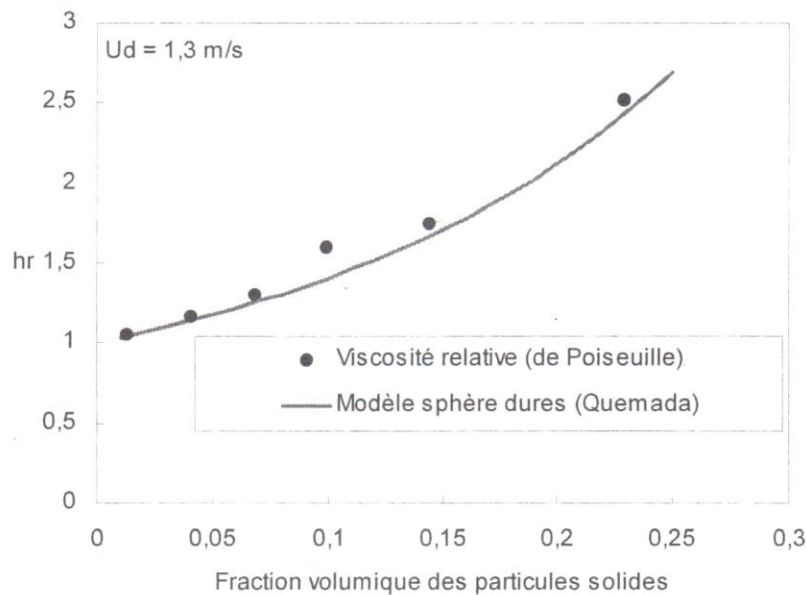


Figure 3: Mise en évidence de l'approche du milieu effectif des suspensions

Nous obtenons pratiquement une unicité de lois de frottement. L'augmentation du coefficient de frottement est proportionnelle à la fraction volumique (Figure 5). Nous remarquons qu'il y a une perte d'énergie liée au gradient de vitesse près de la paroi. Ceci est dû à l'échauffement et à la diminution de la viscosité apparente donc de la contrainte. Cette deuxième hypothèse du milieu effectif mise en évidence par la loi de Quemada des sphères dures semble valide. Toutes les lois de coefficient de frottement (quelque soit le régime) superposent la loi de Poiseuille ($\frac{16}{Re_{eff.}}$) pour le régime laminaire et la loi

de Blasius ($0,079 Re_{eff.}^{-0,25}$) pour le régime turbulent nous constatons que le coefficient de frottement est inférieur pour un milieu effectif par rapport à l'hypothèse du milieu homogène pour un nombre de Reynolds constant. Une vérification du milieu effectif avec l'eau est faite à l'aide des mêmes types de particules. Expérimentalement, il était

impossible de la réussir en régime laminaire du fait qu'une vitesse d'écoulement du mélange en dessous de 1,34 m/s pour une fraction volumique de 1% en particules et 2,1 m/s pour une fraction volumique de 15% de particules, entraînerait un bouchon dans l'installation. Nous avons dû travailler seulement en régime turbulent. Les résultats obtenus montrent que l'hypothèse du milieu effectif est confirmée aussi bien pour la solution de sirop de glucose et que pour l'eau donc le comportement du mélange semble indépendant de la nature du fluide porteur (ici newtonien) et est plutôt lié à la concentration qui se rapproche de la courbe maîtresse (figures 4 et 5). (thèse de B. F. Z. Fagla, INPL, décembre 2002). Les paramètres importants à déterminer sont uniquement la fraction volumique en particules et la viscosité du fluide porteur. La différence (non négligeable) de masse volumique entre fluide porteur et particules est un paramètre qui influe sur la fraction volumique (sédimentation dans les zones à faible vitesse).

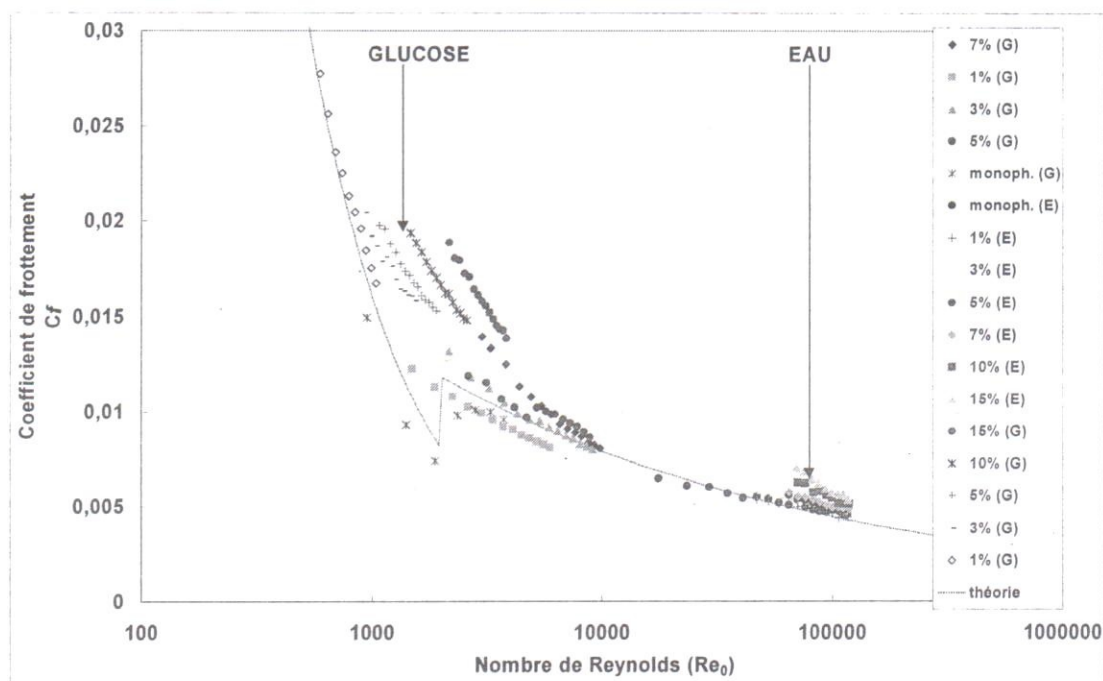


Figure 4 : Evolution du coefficient de frottement des suspensions en fonction du nombre de Reynolds monophasique (Re_0) avec (G: solution de sirop de glucose) et (E: eau).

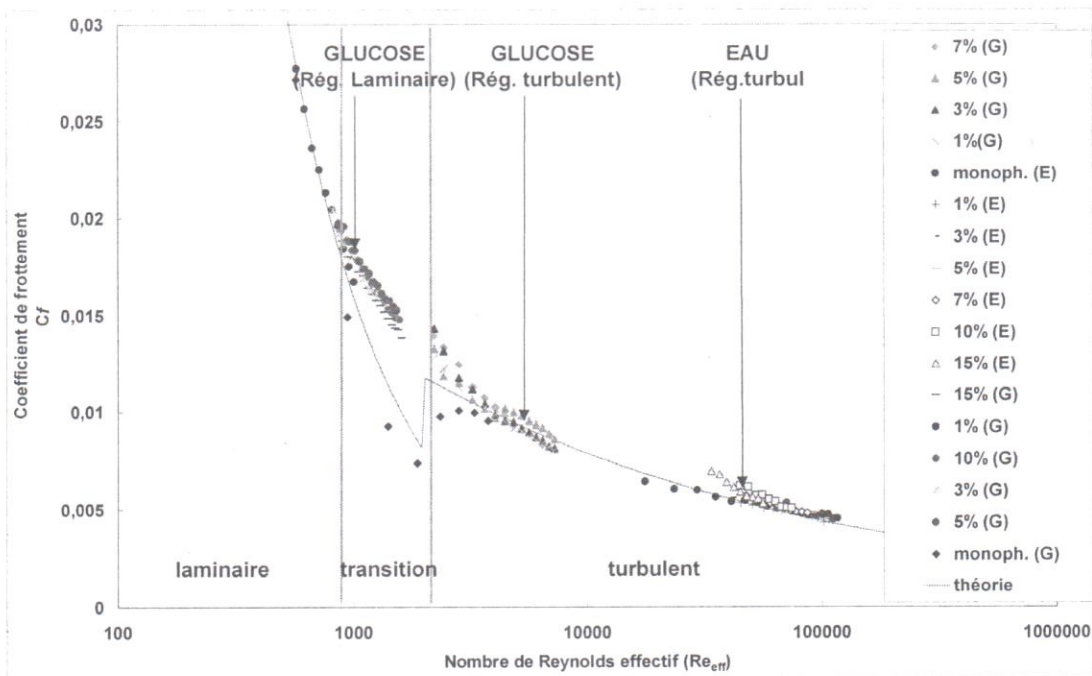


Figure 5 : Evolution du coefficient de frottement des suspensions en fonction du nombre de Reynolds Re_{eff} déterminé à l'aide de la viscosité effective η_{eff} (G: sirop de glucose) et (E : eau).

CONCLUSION

La validité du modèle de «milieu effectif» de Quemada (1998) pour l'analyse des pertes de charges dans les suspensions newtoniennes «à grosses particules» est désormais pertinente et évidente. La transition du régime laminaire au régime turbulent s'effectue de façon progressive pour le fluide porteur newtonien ; la courbe passe de la loi laminaire classique de Poiseuille à la loi de turbulence de Blasius sans passer par un régime transitoire bien marqué. La présence des particules solides déstabilise l'écoulement. Ceci est dû aux effets des interactions

hydrodynamiques particules-particules et particules-parois qui dissipent plus d'énergie; les courbes s'écartent du régime laminaire pour un nombre de Reynolds de l'ordre de 1000 et tendent continûment vers le régime turbulent sans qu'un changement brutal de régime n'apparaisse. Les paramètres déterminants sont uniquement la fraction volumique en particules et la viscosité du fluide porteur. La différence (non négligeable) de masse volumique entre fluide porteur et particules est un paramètre qui influe sur la fraction volumique (sédimentation dans les zones à faible vitesse).

NOMENCLATURE*Notations latines*

D : diamètre d'une particule (m)
 D : diamètre interne de la veine d'essais (m)
 L : longueur de la veine d'essais (m)
 U_d : vitesse débitante (m/s)

\dot{M} : débit masse (kg/s)
 Q_v : débit volumique de l'écoulement (m³/s)
 L : Longueur de la veine de mesure

Nombres adimensionnels

$Re_{mono} = \frac{\rho U_d D}{\eta_0}$: nombre de Reynolds calculé sur la base de la viscosité du fluide porteur

$Re_{eff} = \frac{\rho U_d D}{\eta_{eff}}$: nombre de Reynolds calculé sur la base de la viscosité effective des suspensions

$Cf = \frac{16}{Re_{mono}}$: coefficient de frottement en régime laminaire en milieu monophasique continu

$Cf = \frac{16}{Re_{eff}}$: coefficient de frottement en régime laminaire en milieu diphasique effectif

$Cf = 0,079 Re_{mono}^{-0,25}$: coefficient de frottement en régime turbulent en milieu monophasique continu

$Cf = 0,079 Re_{eff}^{-0,25}$: coefficient de frottement en régime turbulent en milieu diphasique milieu (effectif)

$q = [\eta] \phi_p = 2$: exposant de la formule de Quemada (1998) est le produit de ϕ_p par la viscosité intrinsèque

Notations grecques

ΔP : perte de pression (Pa)

η_a : viscosité dynamique apparente du mélange (Pa.s)

η_0 : viscosité dynamique du fluide porteur (Pa.s)

$\eta_r = \frac{\eta_a}{\eta_0}$: viscosité relative (rapport de la viscosité apparente du mélange sur la viscosité du fluide porteur)

η_m : viscosité dynamique du mélange (Pa.s)

Nombres adimensionnels

ϕ : fraction volumique de particule ($\phi = \text{volume des particules}/\text{volume total du mélange}$)

ϕ_p : fraction volumique d'encombrement aléatoire maximal ($\phi_p \approx 0,637 \# 0,64$)

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. DURAND R. D., 1953.- Minnesota Int. Hydraulics Conv., *Proc. Int. Ass. for Hydraulics Research*, 89.
2. KYOKAY O., 1981.- Trajectory and diffusion of particles in solid liquid flow slurry pipeline. *J. of Pipelines*, pp. 211-223.
3. AYUKAWA K., 1970.- *Velocity distribution and pressure drop of heterogeneously suspended flow in hydraulic transport through a horizontal pipe*. First International Conference on the hydraulic transport of solid in pipes.
4. CHONG J. S., CHRISTIANSEN E. B. et BAER A. D., 1971.- Rheology of Concentrated Suspensions. *J. of Applied Polymer Science*, 15: 2007-2021.
5. KRIEGER I. M. and DOUGHERTY T. J. 1959.- A mechanism for non-newtonian flow in suspensions of rigid spheres. *Trans. Soc. Rhéol.*, 3: 137-152.
6. FAGLA F. Z. B., GRADECK M., BARAVIAN C. et LÉBOUCHE M., 2001.- *Écoulement de suspensions solides-liquides*, «*Rhéologie*», XV^{ème} Congrès Français de Mécanique.
7. FAGLA F.Z.B., 2002.- *Etude thermomécanique de suspensions solide-liquide newtonienne et non newtonienne en écoulement dans une conduite horizontale*. Thèse INPL (France).
8. QUEMADA D., 1995.- Modélisation structurelle du comportement rhéoépaississant des fluides complexes en application aux dispersions colloïdales, 30^{ième} coll. Gr. Franç. Rheol.. *Les Cahiers de Rhéologie*, 14-1 : 1-10.
9. QUEMADA D., ILDEFONSE B., ALLAIN C. et COUSSOT P., 1997.- Rhéologie et structures des suspensions concentrées. In *Des grands écoulements naturels à la dynamique du tas de sable- introduction aux suspensions en géologie et en physique*. Ed., Antony (France).
10. QUEMADA D., 1998. «Rheological modelling of complex fluid I. The concept of effective volume fraction revisited». *Eur. Phys. J. AP*, 1: 119-127.