

103673

ÉTUDE EXPÉRIMENTALE DES PERFORMANCES THERMIQUES D'UN NANOFLUIDE: EAU-ÉTHYLÈNE-GLYCOL- Al_2O_3

PAR

RĂZVAN-SILVIU LUCIU, THEODOR MATEESCU,
VICTORIA COTOROBAI et *THIERRY MARE

Une nouvelle classe de fluides composée par des nanoparticules métalliques en suspension dans un liquide, appelée nanofluide, est apparue récemment. Quelques études numériques et expérimentales ont montré que ces nouveaux fluides possèdent une puissance d'échange thermique remarquable, comparée aux liquides conventionnels. L'étude qui suit a le but de montrer par voie expérimentale les performances thermiques d'un *nanofluide* composé d'oxyde d'alumine dispersé dans de l'éthylène-glycol en différentes concentrations, allant de 0 à 2%. Le dispositif expérimental est un échangeur à tubes concentriques en inox, avec écoulement du fluide chaud dans le tube central et du fluide froid dans le tube annulaire. Les résultats obtenus montrent que la présence des nanoparticules dans le fluide de base a pour effet une augmentation considérable du transfert thermique.

1. Introduction

L'adjonction des particules métalliques dans un fluide a mis en évidence une nette amélioration des capacités thermiques de celui-ci.

Les expériences effectués sur les fluides caloporteurs avec des particules de taille micrométrique (10^{-6} m) posent des problèmes de sédimentation des particules causant des chutes de pression lors de l'écoulement.

Actuellement, il est possible de fabriquer des particules de l'ordre du nanomètre (10^{-9} m) qui éliminent ces problèmes.

Les nanofluides sont des fluides dans lesquels sont insérés des particules nanométriques. Leur étude est actuelle et intéressante car ils permettent un meilleur transfert de chaleur que les fluides traditionnels.

Des concentrations volumiques de nanoparticules inférieures à 4% peuvent produire une hausse de transfert thermique de 25% par rapport aux fluides de base [7].

Certains travaux expliquent que le rapport élevé surface/volume de la particule favorise un meilleur rendement thermique [8], [1].

L'existence d'une couche d'interface entre la particule et le fluide constitue un autre facteur qui favorise cette augmentation de transfert thermique [2], [3].

Le mouvement aléatoire des particules, ou mouvement brownien dans le nanofluide, joue également un rôle capital [9], [10].

Dans ce qui suit on a eu comme objectif d'étudier l'augmentation thermique apportée par l'utilisation d'un nanofluide dans une application particulière – l'échangeur de chaleur à tubes concentriques en inox.

Le liquide étudié est un nanofluide composé par de l'oxyde d'alumine ($\gamma\text{Al}_2\text{O}_3$) dispersé dans de l'éthylène-glycol avec une concentration qui varie de 0 à 2%.

Les mesures ont été réalisées pour différents débits et différentes fractions volumiques des nanoparticules.

Les résultats obtenus permettent à mettre en évidence les performances thermiques de ce nanofluide.

2. Installation expérimentale

L'ensemble de l'installation expérimentale est présenté dans la Fig. 1. Il s'agit d'un échangeur à tubes concentriques en inox, avec écoulement du fluide chaud dans le tube central et du fluide froid dans le tube annulaire.

Le tube intérieur a le diamètre $D_4 = 6$ mm et le diamètre extérieur $D_3 = 8$ mm, le diamètre intérieur du tube extérieur est $D_2 = 16$ mm, avec une épaisseur de 2 mm ($D_1 = 18$ mm).

La longueur de l'échangeur est de 68 cm et présente un coude à 180° . Sa surface d'échange moyenne est de $0,015 \text{ m}^2$.

Quatre sondes, à résistance de platine, couplées à des indicateurs digitaux, permettent la mesure des températures à l'entrée et à la sortie des deux fluides. La précision obtenue est de $0,1^\circ\text{C}$.

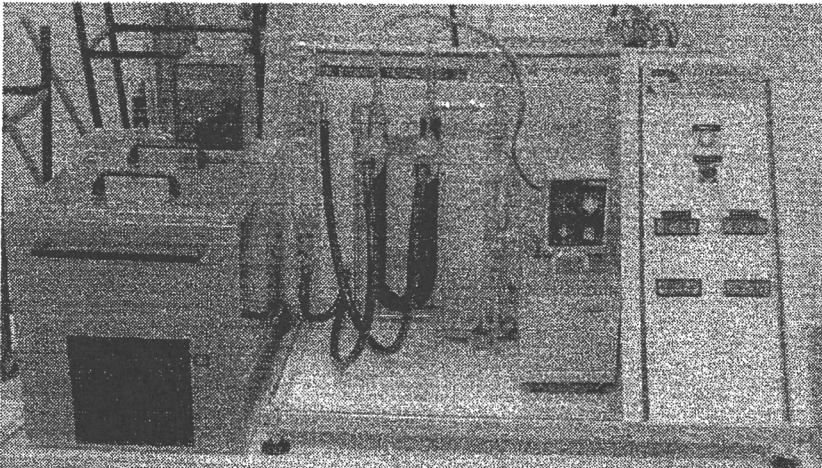


Fig. 1.- Installation expérimentale.

Deux bains thermostaté pour une plage de 50° à 100°C permettent de régler les températures de consigne. La circulation des fluides est assurée par deux pompes ayant les débits maximum de 8 l/min. , la précision étant de 1 ml/s . Ces débits sont contrôlés par des débitmètres à flotteur ($0\text{...}46\text{ l/h}$).

Enfin la surface extérieure de l'échangeur est entourée par un isolant d'une épaisseur de 4 cm et d'une conductivité thermique $k=0,04\text{ W/m.K}$, afin d'éviter les pertes de chaleur.

Le fluide froid utilisé a été l'eau à 15°C et le fluide chaud, un mélange de l'eau et éthylène-glycol en proportion de 30% dans lequel sont insérés des nanoparticules de Al_2O_3 en diverses proportions (1% , $1,5\%$ et 2%).

Les nanoparticules utilisées sont des oxydes d'alumine (Al_2O_3) ayant les caractéristiques suivantes: $\rho_m=3880\text{ kg/m}$, $C_m=0,773\text{ kJ/kg.K}$, $\lambda_m=36\text{ W/m.K}$ et le diamètre 14 nm . Elles sont introduites dans le fluide de base et mélangées par brassage.

2.1. Géométrie de l'échangeur

Les déterminations ont été effectuées pour un écoulement en co-courant et les températures caractéristiques ont été mesurées à l'entrée et à la sortie de l'échangeur (Fig. 2).

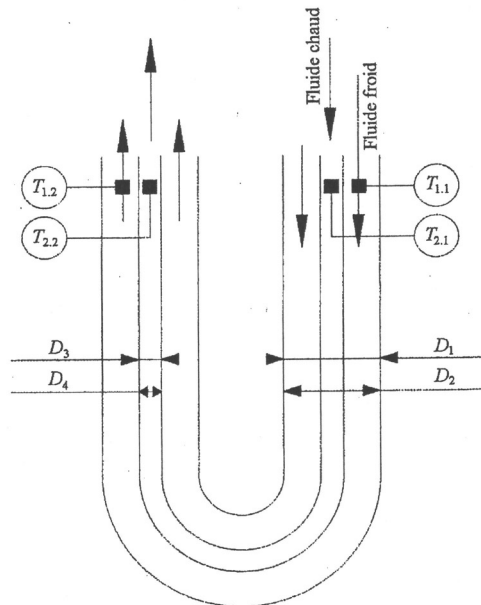


Fig. 2.- Schéma de l'échangeur; $T_{1,1}$, $T_{2,1}$ - températures en section d'entrée, $T_{1,2}$, $T_{2,2}$ - températures en section de sortie, $D_1=18\text{ mm}$, $D_2=16\text{ mm}$, $D_3=8\text{ mm}$, $D_4=6\text{ mm}$, $L=68\text{ mm}$, $S=150\text{ cm}^2$.

3. Propriétés thermo-physiques des fluides

En supposant que les particules solides sont bien dispersées à travers le fluide de base, que la concentration volumique des particules est uniforme dans tout le domaine et connaissant aussi bien les propriétés des deux constituants que leurs concentrations respectives, on peut calculer les propriétés physiques et thermiques effectives du mélange pour les nanofluides utilisés, en appliquant les relations classiques des mélanges diphasiques.

Les propriétés thermo-physiques des nanofluides ont été calculées par voie analytique avec les relations disponibles qui existent dans la littérature [4],..., [6].

Les équations et les figures qui montrent l'évolution de ces propriétés en fonction de la température sont présentées dans ce qui suit.

3.1. Masse volumique

Dans la littérature, la relation de calcul pour la masse volumique est

$$(1) \quad \rho_n = (1 - \Phi_v)\rho_0 + \Phi_v\rho_m.$$

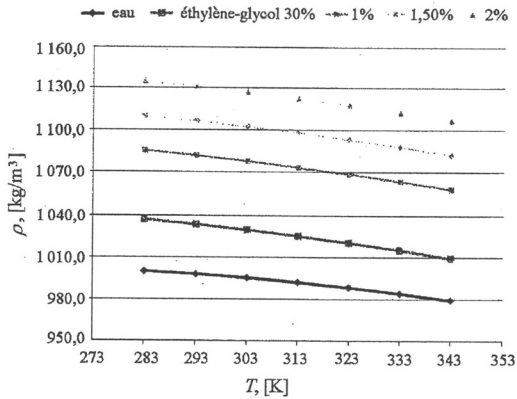


Fig. 3.- Dépendance de la masse volumique vs. la température.

On peut observer (Fig. 3) une augmentation en fonction de la concentration volumique et une diminution en fonction de la température.

3.2. Chaleur spécifique

La chaleur spécifique des nanofluides à été calculée avec la relation

$$(2) \quad C_n = (1 - \Phi_v)C_0 + \Phi_v C_m.$$

On remarque (Fig. 4) une augmentation de la chaleur spécifique en fonction de la température, et une diminution en fonction de la concentration volumique.

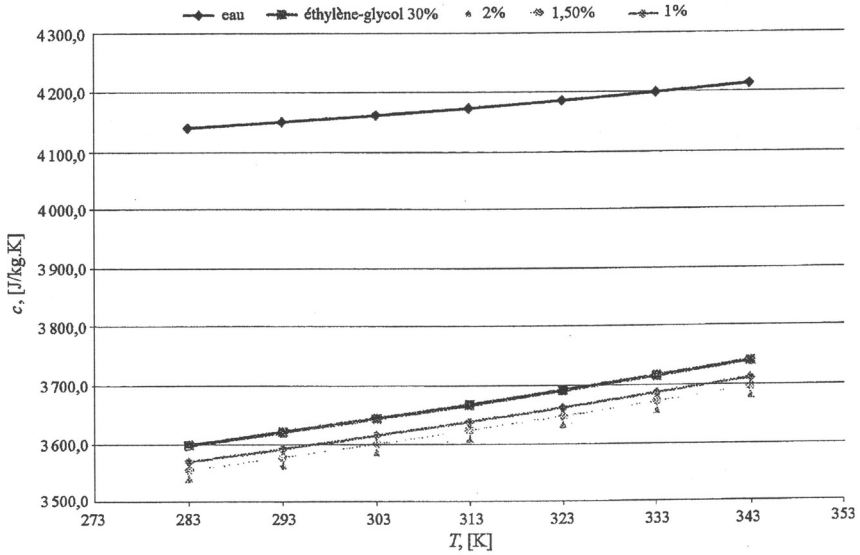


Fig. 4.- Dépendance de la chaleur spécifique vs. la température.

3.3. Viscosité dynamique

La viscosité dynamique a été déterminée en utilisant une corrélation empirique obtenue par lissage polynômial à savoir

$$(3) \quad \mu_n = (306\Phi_v^2 - 0.19\Phi_v + 1)\mu_0.$$

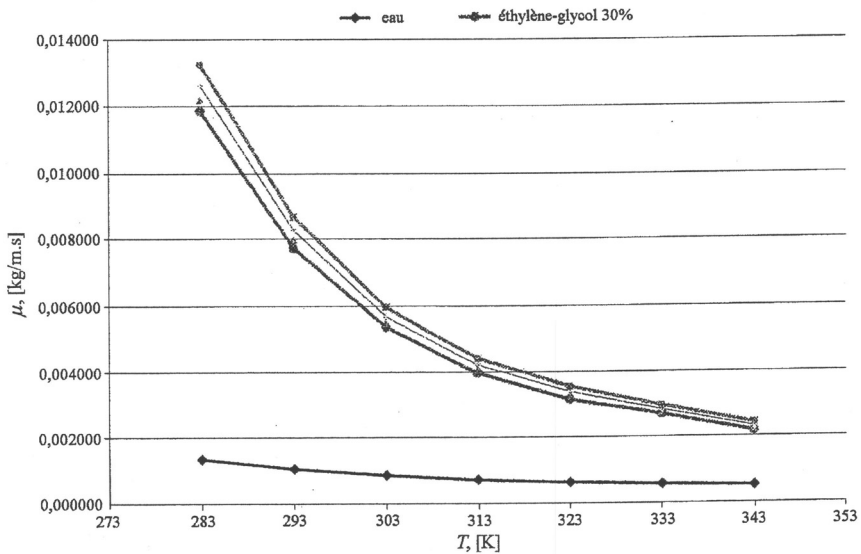


Fig. 5.- Dépendance de la viscosité vs. la température.

On peut remarquer (Fig. 5) une augmentation significative de la viscosité du nanofluide par rapport à la viscosité de l'eau.

3.4. Conductivité thermique

Pour calculer la conductivité thermique on a utilisé la relation de H a m i l t o n et C r o s s e r [6]

$$(4) \quad \frac{\mu_n}{\mu_0} = \frac{\lambda_m + 2\lambda_0 - 2\Phi_v(\lambda_0 - \lambda_m)}{\lambda_m + 2\lambda_0 + 2\Phi_v(\lambda_0 - \lambda_m)}$$

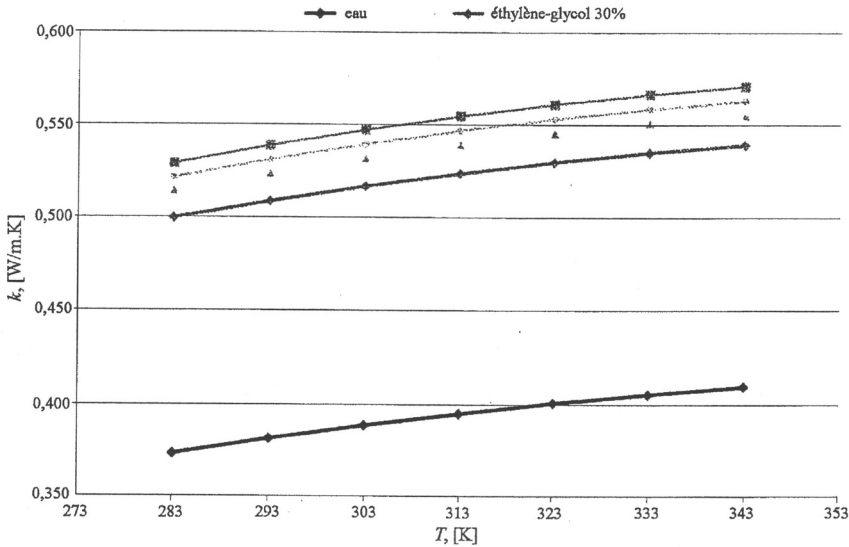


Fig. 6.- Dépendance de la conductivité thermique *vs.* la température.

On peut observer (Fig. 6) que le mélange d'éthylène-glycol et Al_2O_3 assure nettement une meilleure augmentation du transfert thermique que celui de l'eau.

4. Déterminations expérimentales

Pour le mélange du fluide de base avec les trois concentrations de nanoparticules mentionnées ci-dessus ont été effectuées des mesures expérimentales pour établir les corrélations entre les régimes d'écoulement caractérisés par le nombre Reynolds et les valeurs du coefficient de transfert convectif, h_c . Le nombre Reynolds est défini par

$$(5) \quad \text{Re} = \frac{VD\rho}{\nu}$$

À l'aide des mesures effectuées on a déterminé le flux de chaleur cédé sur toute la longueur de l'échangeur.

Utilisant la relation du coefficient global de transfert thermique par une surface cylindrique

$$(6) \quad k = \frac{1}{\frac{1}{h_c} \cdot \frac{1}{D_1} + \frac{1}{2\lambda} \ln \frac{D_2}{D_1} + \frac{1}{h_f} \cdot \frac{1}{D_2}},$$

on a calculé la valeur du coefficient de convection

$$(7) \quad h_c = \frac{1}{\frac{1}{k} - \frac{D_1}{2\lambda} \ln \frac{D_2}{D_1} + \frac{1}{h_f} \cdot \frac{1}{D_2}},$$

où toutes les valeurs géométriques et physiques sont connues.

Le coefficient global, k , a été calculé en fonction du flux thermique total, Q_c , de l'écart moyen de température, ΔT_m , mesuré, et de la surface de transfert thermique, S , avec la relation

$$(8) \quad k = \frac{Q_c}{S \Delta T_m}.$$

La Fig. 7 représente l'évolution du coefficient de convection en fonction du nombre Reynolds pour tous les types de nanofluides étudiés.

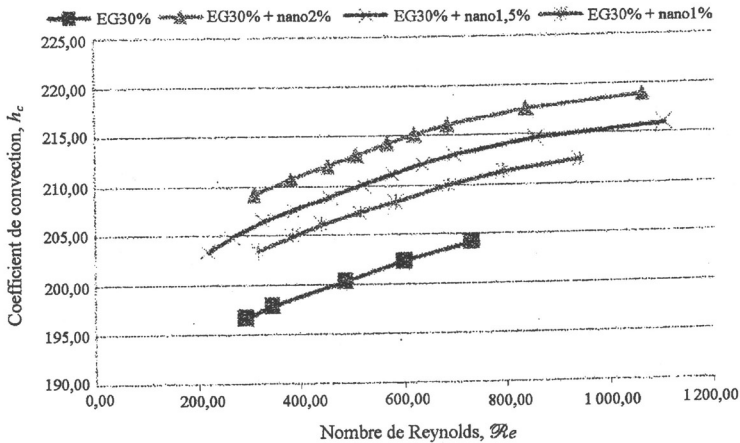


Fig. 7.- Dépendance du coefficient de convection us. le nombre de Reynolds.

De l'analyse des résultats obtenus on peut observer clairement que la présence des nanoparticules dans un fluide caloporteur a contribué à une augmentation du transfert thermique pariétal.

5. Conclusions

Les résultats obtenus ont montré que l'addition des nanoparticules apporte une amélioration du transfert thermique.

Le coefficient du transfert convective augmente avec:

- a) la concentration volumique des particules dans le fluide de base;
- b) l'intensification du régime d'écoulement turbulent.

Les résultats obtenus à l'aide d'un nombre assez restreint d'essais, relève l'opportunité des études en vue d'améliorer les performances thermiques des échangeurs de chaleur par utilisation des nanofluides.

Notations

- c – chaleur spécifique, [kJ/kg.K];
 D – diamètre, [m];
 h – coefficient de convection, [W/m².K];
 Q – flux, [W];
 k – coefficient global de transfert thermique, [W/K];
 L – longueur, [m];
 S – surface, [m²];
 T – température, [K].

Lettres grecques:

- ρ – masse volumique, [kg/m³];
 Φ – concentration, [%];
 μ – viscosité dynamique, [kg/m.s];
 λ – conductivité, [W/m.K].

Exposants:

- 1 – intérieur;
 2 – extérieur;
 c – chaud;
 f – froid;
 m – métal;
 n – nanofluides;
 0 – fluide de base;
 s – sortie;
 v – volumique.

Reçue le 28 février 2008

Université Technique „Gh.Asachi“, Jassy,
 Chaire d'Installations pour les Bâtiments
 et

* Université de Rennes I, France,
 Département de Génie
 Industriel et Procédés

BIBLIOGRAPHIE

1. Roy G., Nguyen C.T., Doucet D., Suiro S., Mare T., *Temperature Dependant Thermal Conductivity Evaluation of Alumina Based Nanofluids*. Proc. 13th IHTC, August 13-18, 2006, Sydney, Australia.
2. Maiga S.E.B., Palm S.J., Cong T.N., Roy G., Galanis N., *Heat Transfer Enhancement by Using Nanofluids in Forced Convection Flows*. Int. J. Heat Fluid Flow, **26**, 530-546 (2005).
3. Xie H., Fujit M., Zhang X., *Effect of Interfacial Nanolayer on the Effective Thermal Conductivity of Nanoparticle - Fluid Mixture*. Internat. J. of Heat Mass Transfer, **48**, 2926-2932 (2005).
4. Nguyen C.T., Roy G., Lajoie P.R., *Refroidissement des microprocesseurs à haute performance en utilisant des nanofluides*. Congrès Français de Thermique, SFT, Reims, 30 mai-2 juin 2005.
5. Pak B. C., Cho Y.I., *Hydrodynamic and Heat Transfer Study of Dispersed Fluids with Submicron Metallic Oxide Particles*. Exper. Heat Transfer, **11**, 2, 151-170 (1998).
6. Hamilton R.L., Crosser O.K., *Thermal Conductivity of Heterogeneous Two-Component Systems*. I&EC Fundam., **1**, 182-191 (1962).
7. Palm S.J., Roy G., Nguyen C.T., *Heat Transfer Enhancement with the Use of Nanofluids in Radial Flow Cooling Systems Considering Temperature-Dependant Properties*. Appl. Thermal Engng., **26**, 2209-2218 (2006).
8. Liu M.S., Lin M.C.C., Tsai C.Y., Wang C.C., *Enhancement of Thermal Conductivity with Cu for Nanofluids Using Chemical Reduction Method*. Internat. J. of Heat Mass Transfer, **49** (2006).
9. Yang B., Han Z.H., *Temperature - Dependant Thermal Conductivity of Nanorod-Based Nanofluids*. Appl. Phys. Letters, **89**, 083111 (2004).
10. Koo J., Kleinstreuer C., *A New Thermal Conductivity Model for Nanofluids*. J. of Nano Particle Res., **6**, 577-588 (1999).

STUDIUL EXPERIMENTAL AL PERFORMANTELOR
TERMICE ALE UNUI NANOFLUID: APĂ-ETIL GLICOL- Al_2O_3

(Rezumat)

O nouă clasă de fluide compuse din particule metalice în suspensie într-un lichid, numite nanofluide, a apărut recent. Câteva studii numerice și experimentale arată că această nouă clasă de fluide posedă un potențial remarcabil de transfer termic în comparație cu alte lichide convenționale. Studiul experimental efectuat indică performanțele termice ale nanofluidului utilizat, compus din particule de oxid de aluminiu și etil-glicol în diferite concentrații volumice, cuprinse între 0 și 2%. Standul experimental utilizat se compune dintr-un schimbător de căldură din tuburi concentrice din inox, având curgerea fluidului cald prin tubul interior și a celui rece prin tubul exterior. Rezultatele arată că prezența nanoparticulelor în fluidul de bază are ca efect intensificarea transferului termic.