

# Détermination des propriétés thermophysiques et la comparaison entre les résultats expérimentaux et les modèles théoriques pour différents nanofluides

S. LAHLOU<sup>1</sup>, M. ZAYDAN<sup>1</sup> et R. SEHAQUI<sup>1</sup>

1 Université Hassan II de Casablanca, Faculté des sciences Ain Chock, Laboratoire de Mécanique, Équipe de Modélisation en Mécanique et Énergétique, Km 8 route d'El Jadida BP 5366 Maarif, Casablanca, Maroc.

[sara.lahlou20@gmail.com](mailto:sara.lahlou20@gmail.com)

[rsehaqui@gmail.com](mailto:rsehaqui@gmail.com)

## Résumé

Un meilleur contrôle des propriétés physico-chimiques de ces nanofluides serait indispensable pour pouvoir les étudier de façon correcte et précise, ainsi comprendre et prévoir leur comportement pour des températures et des concentrations différentes. Chaque type de nanofluide se distingue par ses propres caractéristiques physico-chimiques ce qui rend la conception d'un modèle universel pour les nanofluides une tâche pratiquement irréalisable. La comparaison des différentes études expérimentales avec les modèles et les corrélations des nanofluides est une opération délicate, car chacune de ces expériences a été menée dans des conditions particulières.

**Mots clefs:** *nanofluide, propriétés thermophysique, Comportement rhéologique.*

## 1. Introduction

Le développement des nanotechnologies constitue un challenge pour les années à venir. Les nanosciences étudient la structure de la matière au niveau moléculaire donc à l'échelle nanométrique dans le but d'innover dans de nombreux domaines tels que : l'environnement, la production, le refroidissement des composants électroniques, la biologie, le diagnostic médical, le traitement de l'eau, refroidissement dans un moteur thermique (Tzeng et al [1]) et le stockage de l'énergie. Le nombre de publication sur les nanofluides est en augmentation exponentielle, pour un seul objectif qui est celui de déchiffrer les mécanismes et les énigmes régissant ces fluides.

L'amélioration du transfert de chaleur par convection est l'objet principal de plusieurs travaux, et pour se faire, un grand nombre de chercheurs ont mené une multitude d'essais théoriques, numériques et expérimentaux portant sur la description des phénomènes géant la convection,

l'effet de la nature des systèmes dans lesquels elle a lieu et les propriétés des fluides impliqués.

Dans ce travail, nous établissons, dans un premier temps, la comparaison de différents types de nanofluides et la comparaison des différentes études expérimentales avec les modèles et les corrélations des nanofluides pour certaines lois de comportement qui existent dans la littérature.

## 2. Propriétés thermophysiques des nanofluides

Dans le tableau 1 sont présentées les propriétés thermophysiques des liquides et des nanoparticules les plus utilisées dans la littérature des nanofluides avec une température moyenne de 27 à 34.7 °C.

	$C_p$ (J.Kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )	$\rho$ (Kg.m <sup>-3</sup> )	$k$ (W.K <sup>-1</sup> .m <sup>-1</sup> )	$d_p$ (nm)
Cu	385	8933	400	20
Ag	235	10500	429	18
TiO <sub>2</sub>	686.2	4250	8.9538	40
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	765	3970	40	45
CuO	535.6	6500	17.65	33
Eau	4179	997.1	0.613	
EG		1111	0.252	
Glycérol		1260.4	0.285	

Tableau 1: Propriétés thermophysiques des nanoparticules et les liquides caloporteurs

### 2.1. Fraction volumique :

$$\chi = \frac{V_s}{V_T} = \frac{V_s}{V_s + V_f} \quad (1)$$

$V_s$  : Volume de solide (nanoparticules)

$V_T$  : Volume totale (nanoparticules + fluide de base).

### 2.2. Masse volumique

La détermination de la masse volumique d'un nanofluide parfaitement homogène en fonction de la fraction volumique  $\chi$  à une température T donnée.

$$\rho_{nf} = \chi\rho_s + (1 - \chi)\rho_f \quad (2)$$

Nous présentons dans le tableau 2 les valeurs des rapports de la masse volumique des nanofluides sur la masse volumique du fluide de base pour les différents nanofluides (eau+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), (eau+CuO), (eau+TiO<sub>2</sub>), (eau+Cu), (eau+Ag) et (eau+Au) en fonction de la fraction volumique ( $\chi$ ) qui varie entre 0% et 10%.

$\rho_{nf} / \rho_f$						
	Dioxydes			Métalliques		
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CuO	TiO <sub>2</sub>	Cu	Ag	Au
0%	1	1	1	1	1	1
1%	1.0261	1.0551	1.0326	1.0795	1.0953	1.1835
2%	1.0522	1.1103	1.0652	1.1591	1.1906	1.3671
3%	1.0783	1.1655	1.0978	1.2387	1.2859	1.5506
4%	1.1044	1.2207	1.1304	1.3183	1.3812	1.7342
5%	1.1305	1.2759	1.1631	1.3979	1.4765	1.9178
6%	1.1566	1.3311	1.1957	1.4775	1.5718	2.1013
7%	1.1827	1.3863	1.2283	1.5571	1.6671	2.2849
8%	1.2088	1.4415	1.2609	1.6367	1.7624	2.4684
9%	1.2349	1.4967	1.2936	1.7163	1.8577	2.6520
10%	1.2610	1.5518	1.3262	1.7958	1.9530	2.8356

Tableau 2: Rapport des masses volumiques en fonction de la fraction volumique des nanoparticules

### 2.3. Chaleur spécifique

Pour la détermination de la chaleur spécifique d'un nanofluide, on peut citer les deux modèles suivants les plus rencontrés dans la littérature.

- **Modèle du Xuan et Roetzel :**

$$(\rho C_p)_{nf} = \chi(\rho C_p)_s + (1 - \chi)(\rho C_p)_f \quad (4)$$

Nous présentons sur les figures de (1 a) et (1 b) les valeurs du rapport  $(C_p)_{nf} / (C_p)_f$  obtenus à partir des de la relation (4) pour différents nanofluides avec l'eau et pour différents types des nanoparticules dioxydes et métalliques en fonction de la fraction volumique  $\chi$ .

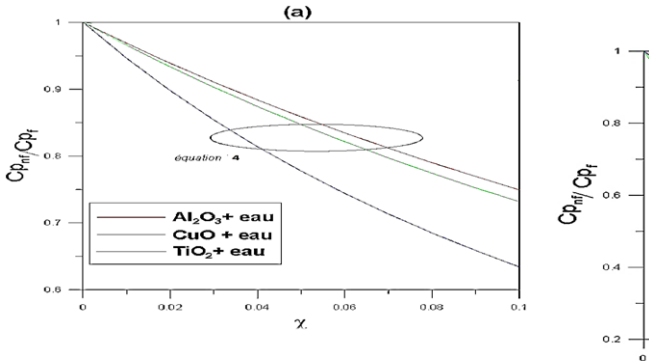


Figure 1: Les valeurs du rapport  $(C_p)_{nf} / (C_p)_f$  en fonction de  $\chi$  pour les différents nanofluides : (a) dioxydes (b) métalliques.

On remarque que le modèle de Xuan et Roetzel reflète des valeurs exactes de la chaleur spécifique en fonction de la fraction volumique selon les courbes.

### 2.4. Viscosité dynamique

La viscosité peut être définie comme étant une propriété d'un fluide pour qu'il résiste aux déformations lorsqu'il est mis en mouvement. On peut donc parler de la viscosité comme étant une mesure du frottement interne d'un fluide. Un liquide très visqueux est un liquide qui présente un frottement interne élevé.

Les différents modèles de viscosités :

- **Modèle d'Einstein[5]**

La viscosité dynamique d'un nanofluide pour un mélange contenant des suspensions diluées de particules fines rigides est donnée par la relation suivante:

$$\frac{\mu_{nf}}{\mu_f} = 1 + 2.5\chi \quad (5)$$

Cette relation est valable pour le cas de particules sphériques et pour de très faible fraction volumique  $\chi \leq 0.03$ .

- **Modèle de Brinkman**

Par contre, Brinkman[2] a généralisé la formule pour qu'elle puisse être utilisée dans une large plage de concentration de fraction volumique.

$$\frac{\mu_{nf}}{\mu_f} = \frac{1}{(1 - \chi)^{2.5}} \quad (6)$$

- **Modèle de Batchelor[6]**

Batchelor a montré que la viscosité est une fonction non linéaire de  $\chi$  avec la présence d'un terme en  $\chi^2$ :

$$\mu_{nf} = \mu_f(1 + 2.5\chi + 6.2\chi^2) \quad (7)$$

D'autres relations issues des mesures expérimentales sont citées dans la littérature, exemples:

- **Modèle de Maiga et al. [3]**

$$\mu_{nf} = \mu_f(1 + 7.3\chi + 123\chi^2) \quad (8)$$

- **Modèle de Pak et Cho[4]**

$$\mu_{nf} = \mu_f(1 + 39.11\chi + 533.9\chi^2) \quad (9)$$

$\chi$	Einstein [5]	Brinkman [2]	Batchelor [6]	Corrélations de Maiga et al [3]	Corrélations de Pack et Cho [4]
0%	1	1	1	1	1
1%	1.025	1.0254	1.0256	1.0853	1.4444
2%	1.05	1.0518	1.0524	1.1952	1.9957
3%	1.075	1.0791	1.0805	1.3297	2.6538
4%	1.1	1.1074	1.1099	1.4888	3.4186
5%	1.125	1.1368	1.1405	1.6725	4.2902
6%	1.15	1.1672	1.1723	1.8808	5.2686
7%	1.175	1.1989	1.2053	2.1137	6.3538
8%	1.2	1.2317	1.2396	2.3712	7.5457
9%	1.225	1.2658	1.2752	2.6533	8.8444
10 %	1.25	1.3013	1.312	2.96	10.25

Tableau 3: Viscosités relatives du nanofluide (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+eau) obtenus à partir des différents modèles étudiés.

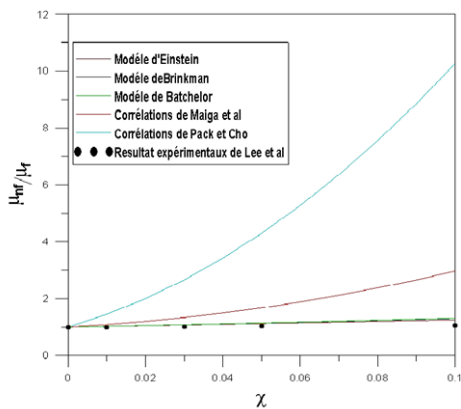


Figure 2: Comparaison entre le résultat expérimentales du nanofluide (eau+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) et ceux tirés à partir des modèles théoriques.

Les résultats expérimentaux de Lee et al sont obtenus en mesurant la chute de pression et le débit volumique dans un tube capillaire. Comme la montre la figure. 2, les résultats expérimentaux sont inférieurs à la prévision de la corrélation de Pak et Cho et Maiga et al et ils sont semblables à ceux obtenus par avec Lee et al.

## 2.5 Conductivité thermique

Une grande partie des travaux traitant des nanofluides porte sur la quantification de l'augmentation de la

conductivité thermique. Une loi empirique appelée loi des mélanges, était proposée par S.K. Das et al [7] :

$$k_{eff} = \left[ 1 + \chi \left( \left( \frac{k_s}{k_f} \right)^n - 1 \right) \right]^{1/n} \quad (10)$$

Pour n=1 cette loi devient la loi de mélange parallèle :

$$k_{eff} = \left[ 1 + \chi \left( \left( \frac{k_s}{k_f} \right) - 1 \right) \right] \quad (11)$$

Cette équation indique que la conductivité thermique effective d'un mélange est simplement une combinaison linéaire du rapport de la conductivité thermique des particules et du fluide de base.

Nous présentons sur la figure 3, le rapport conductivité thermique  $\kappa_{nf}/\kappa_f$  en fonction de la fraction volumique  $\chi$  pour le nanofluide (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+eau) obtenus à partir de différents travaux expérimentaux et nous les comparons aux résultats tirés des différents modèles mentionnés précédemment. Il ressort de cette comparaison que le modèle Hamilton-Crosser donne une meilleure estimation de la conductivité thermique du nanofluide. Les valeurs tirées à partir du modèle Yu-Choi sont situées entre celles tirées du modèle de H-C et celle de Maxwell.

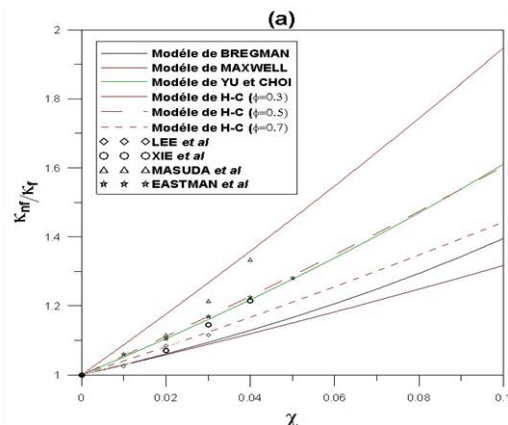


Figure 3: Comparaison entre les résultats expérimentaux pour différents nanofluides et ceux tirés à partir des modèles théoriques pour différents nanofluide (eau+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

On remarque que pour le (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+eau) ces modèles sont en grand désaccord avec les résultats expérimentaux trouvé par Massuda et al et Eastman et al par contre, ils sont en bon accord avec ceux obtenus par Xie et al et Lee et al pour les faibles valeurs de  $\chi$ .

## Références

- [1] S.-C. Tzeng, C.-W. Lin, and K. Huang, "Heat transfer enhancement of nanofluids in rotary blade coupling of four-wheel-drive vehicles," *Acta Mechanica*, vol. 179, pp. 11-23, 2005.
- [2] H. Brinkman, "The viscosity of concentrated suspensions and solutions," *The Journal of Chemical Physics*, vol. 20, pp. 571-571, 1952.
- [3] S. E. B. Maiga, S. J. Palm, C. T. Nguyen, G. Roy, and N. Galanis, "Heat transfer enhancement by using nanofluids in forced convection flows," *International Journal of Heat and Fluid Flow*, vol. 26, pp. 530-546, 2005.
- [4] B. C. Pak and Y. I. Cho, "Hydrodynamic and heat transfer study of dispersed fluids with submicron metallic oxide

- particles," *Experimental Heat Transfer an International Journal*, vol. 11, pp. 151-170, 1998.
- [5] A. Einstein, *Investigations on the Theory of the Brownian Movement*: Courier Corporation, 1956.
- [6] G. Batchelor, "Brownian diffusion of particles with hydrodynamic interaction," *Journal of Fluid Mechanics*, vol. 74, pp. 1-29, 1976.
- [7] S. K. Das, S. U. Choi, W. Yu, and T. Pradeep, *Nanofluids: science and technology*: John Wiley & Sons, 2007.