



Effet des nanoparticules du Cu sur l'amélioration des performances d'une unité de stockage thermique par chaleur latente

Abdelghani Laouer^{1*}, Mohamed Teggart²

¹ Lab.PMCN, Université de Jijel, Jijel, 18000, Algérie.

² LMe, Université de Laghouat, Laghouat, 03000, Algérie.

* Correspondant: Tel.: 0660569998; E-mail address: a_laouer@univ-jijel.dz

DOI: <https://doi.org/10.58452/jpcr.v2i1.146>

Article history

Received April 6, 2023

Accepted for publication May 3, 2023

Résumé

Dans cet article, la méthode de Boltzmann sur réseau est utilisée pour étudier le processus de fusion de matériaux à changement de phase contenant des nanoparticules (NeMCP) dans une enceinte rectangulaire horizontale. L'enceinte est remplie d'un mélange nano (Cu-glace) et soumise à une distribution de température sinusoïdale à partir de la paroi gauche chaude. La méthode de Boltzmann sur réseau basée sur l'enthalpie est utilisée pour résoudre les équations de transfert de chaleur et de changement de phase. Le modèle numérique est validé en le comparant avec des données expérimentales et numériques provenant d'études antérieures. L'effet de la fraction volumique de nanoparticules ($\phi = 0\%$, 2% , 4% et 6%) sur les champs de l'écoulement, de température, fraction liquide pendant le processus de fusion et le temps nécessaire à la fusion complète du nano-MCP est étudié à différentes valeurs du nombre de Rayleigh basé sur le MCP de base ($Ra = 10^4$, 10^5 et 10^6). Les résultats montrent qu'une augmentation du nombre de Rayleigh diminue les temps de fusion et de charge. De plus, une augmentation de la fraction volumique de nanoparticules réduit le temps de fusion jusqu'à 10% .

Mots-clés : Fusion, matériau à changement de phase, méthode de Boltzmann sur réseau, stockage thermique.

1. Introduction

La fusion ou la solidification des matériaux à changement de phase (MCPs) avec le processus de transfert de chaleur sont des facteurs importants dans diverses applications d'ingénierie, notamment les systèmes de stockage d'énergie thermique, la solidification des métaux dans la fonderie, les matériaux de construction et le soudage [1-3].

La conductivité thermique des MCPs est faible, ce qui peut ralentir les processus de charge et de décharge à cause du taux de transfert de chaleur réduit. Pour résoudre ce problème et améliorer les caractéristiques thermiques des MCPs pendant le changement de phase, diverses techniques ont été utilisées, telles que l'utilisation d'ailettes métalliques [4,5], de mousse métallique [6-8] et de nanoparticules [9-11]. Cependant, l'ajout de nanoparticules peut non seulement améliorer la conductivité thermique du MCP, mais également réduire l'effet de sous-refroidissement. Les performances de différents types de nanoparticules dans les nanofluides à base d'eau ont été étudiées, tels que Al_2O_3 -eau [12], CuO -eau [13] et CNT-eau [14].

De nombreuses études ont examiné l'impact de la dispersion de nanoparticules dans les matériaux à changement de phase sur les processus de fusion et de solidification. Ranjbar et al. [15] ont étudié la solidification d'un nanofluide Cu -eau dans une cavité rectangulaire à l'aide de simulations numériques. La cavité a été chauffée de manière différentielle à une température constante à partir des parois latérales, tandis que les parois supérieure et inférieure étaient thermiquement isolées. Les auteurs ont constaté que l'ajout de nanoparticules améliorait le taux de transfert de chaleur, en particulier à des fractions volumiques plus élevées de nanoparticules. Fan et Khodadadi [16] ont mené une étude théorique sur la solidification de NeMCP (nanoparticules d'oxyde de cuivre dispersées dans un matériau à changement de phase de cyclohexane). Dans leur étude, une paroi latérale était refroidie à une température constante tandis que l'autre paroi était thermiquement isolée. Les résultats ont montré que l'incorporation de nanoparticules entraînait une réduction considérable du temps de solidification. Bondareva et al. [17] ont mené une étude numérique sur la fusion de NeMCP dans un dissipateur de chaleur avec des ailettes. Les chercheurs ont observé que l'incorporation de nanoparticules accélère le processus de fusion au début, car le transfert de chaleur par conduction joue un rôle dominant. Cependant, à mesure que le temps passe, le mécanisme de transfert de chaleur par convection devient plus important. L'étude a également illustré que lorsque la conduction de la chaleur l'emporte sur le mode de convection, l'ajout de nanoparticules entraîne une augmentation du taux de fusion. Alomair et al. [18] ont mené des études numériques et

expérimentales pour examiner comment les nanoparticules affectent le processus de fusion dans un système de stockage d'énergie thermique cylindrique concentrique qui utilise de la chaleur latente. Les résultats de l'étude ont indiqué que l'ajout de nanoparticules a conduit à une amélioration des performances de stockage d'énergie thermique à chaleur latente. Faraji et al. [19] ont mené une étude numérique sur l'utilisation de nanoparticules pour améliorer le refroidissement d'une source de chaleur montée sur un substrat lors du processus de fusion de NePCM dans une cavité rectangulaire. L'étude a démontré que l'ajout de nanoparticules à des concentrations variables améliorait la dissipation de chaleur. Thalib et al. [20] ont étudié l'ajout de nanoparticules de Graphene avec de la paraffine pour augmenter la productivité en eau douce dans la désalinisation solaire. Les résultats ont montré que l'utilisation de PCM nano-renforcé et de PCM a amélioré la production d'eau de 83,7% et de 39,5%, respectivement. Parsazadeh et Duan [21] ont effectué une analyse expérimentale pour observer l'effet des nanoparticules Al_2O_3 sur le processus de fusion de NeMCP en présence de convection de Rayleigh-Bénard. L'étude a illustré que les nanoparticules améliorent le taux de fusion à différentes températures de paroi inférieure, mais aucune amélioration significative n'est observée à une température de paroi de 55°C. Cependant, si 0,12 % et 0,25 % en poids de nanoparticules sont ajoutés à une température de paroi de 40°C, le taux de fusion est amélioré. Elarem et al. [22] ont mené une étude expérimentale sur la dispersion de nanoparticules de cuivre (Cu) et d'aluminium (Al) dans de la cire de paraffine à différentes fractions massiques (0,1, 0,3, 0,6, 1, 2,5 et 5 %) pour créer des matériaux à changement de phase renforcés par des nano-composites NeMCP. Les résultats ont montré que l'ajout de nanoparticules d'aluminium et de cuivre a diminué la température de fusion et augmenté la température de solidification du MCP.

La littérature disponible indique que lorsqu'on introduit des nanoparticules dans un matériau de base, cela peut améliorer la capacité du matériau à conduire efficacement la chaleur. Cependant, cette addition peut également entraîner une augmentation de la viscosité du fluide, ce qui ralentit le mouvement du fluide et affaiblit la convection naturelle de la chaleur.

Dans le présent travail, l'effet des nanoparticules de Cu dispersées dans un matériau de stockage d'énergie à base de glace sur le processus de fusion avec convection naturelle à l'intérieur d'une enceinte horizontale soumise à des fluctuations de température est étudié. L'impact du nombre de Rayleigh et de la concentration de nanoparticules sur l'écoulement du fluide, la fusion, l'évolution temporelle de l'interface de fusion ainsi que la fraction liquide et le temps de fusion complète ont été étudiés.

2. Méthodologie

2.1 Modèle physique et formulation mathématique

La Figure 1 illustre la configuration étudiée, qui se compose d'une cavité rectangulaire horizontale remplie d'un solide NeMCP. La paroi verticale gauche a une température sinusoïdale ($T=(T_c-T_f)\sin(\pi x/H)+T_f$), tandis que la paroi droite est maintenue à une température froide (T_f), et les parois supérieure et inférieure sont thermiquement isolées. Les propriétés thermophysiques du NePCM sont illustrées dans le tableau 1.

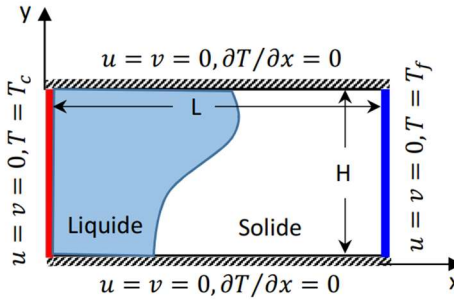


Figure 1. Schéma du modèle physique

Table 1. Propriétés thermophysiques du NeMCP [23].

	ρ (kg m ⁻³)	C_p (J/kg.K)	k (W/m.K)	β (K ⁻¹)	μ (Pa s)
Eau	997.1	4179	0.613	21×10^{-5}	$8.9 \cdot 10^{-4}$
Cu	8954	383	400	1.67×10^{-5}	-

L'écoulement de la phase liquide est supposé laminaire, incompressible et newtonien. Les propriétés thermophysiques du nanofluide sont considérées comme constantes à l'exception de la densité, où l'approximation de Boussinesq est utilisée. La conservation de la masse, de la quantité de mouvement et de l'énergie peut être exprimée par les équations différentielles suivantes

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = \frac{1}{\rho_{nf}} \left(-\frac{\partial p}{\partial x} + \mu_{nf} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \right) \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = \frac{1}{\rho_{nf}} \left(-\frac{\partial p}{\partial y} + \mu_{nf} \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \right) + (\rho\beta)_{nf} g \Delta T \quad (3)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \frac{k_{nf}}{(\rho C_p)_{nf}} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) - \frac{L_{nf}}{(\rho C_p)_{nf}} \frac{\partial f_l}{\partial t} \quad (4)$$

Les relations suivantes sont utilisées pour déterminer les propriétés thermophysiques de NeMCP dans ses formes solides et liquides [24, 25].

$$(\rho\beta)_{nf} = (1-\phi)(\rho\beta)_f + \phi(\rho\beta)_p \quad (5)$$

$$(\rho C_p)_{nf} = (1-\phi)(\rho C_p)_f + \phi(\rho C_p)_p \quad (6)$$

$$\rho_{nf} = (1-\phi)\rho_f + \phi\rho_p \quad (7)$$

$$\mu_{nf} = \frac{\mu_f}{(1-\phi)^{2.5}} \quad (8)$$

$$k_{nf} = \frac{k_p + 2k_f - 2(k_f - k_p)\phi}{k_p + 2k_f + (k_f - k_p)\phi} k_f \quad (9)$$

$$h = (C_p)_{nf} T + f_l L_{nf} \quad (10)$$

2.2 Simulation par Lattice Boltzmann Method (LBM)

2.2.1 LBM pour les champs de vitesse et de température

Dans la présente étude, le modèle Lattice Bhatnagar-Gross-Krook (LBGK) est adopté. Les équations d'évolution des fonctions de distribution de densité et de température f_i et g_i sont [26]:

$$f_i(x + e_i \Delta t, t + \Delta t) - f_i(x, t) = -\frac{1}{\tau_f} [f_i(x, t) - f_i^{eq}(x, t)] + \Delta t F \quad (11)$$

$$g_i(x + e_i \Delta t, t + \Delta t) - g_i(x, t) = -\frac{1}{\tau_g} [g_i(x, t) - g_i^{eq}(x, t)] \quad (12)$$

Le symbole e_i désigne la vitesse des particules microscopiques dans la direction i , tandis que t et Δt représentent respectivement le temps et son intervalle. La force externe agissant dans la direction i est décrite par la variable F ($F = \tau_f g \beta (T - T_m) / \rho \Delta T$). De plus, τ_f et τ_g représentent les temps de relaxation adimensionnels pour les champs de vitesse et de température, respectivement.

$$\tau_f = 3\nu + 0.5; \quad \tau_g = 3\alpha + 0.5 \quad (13)$$

$$\text{avec:} \quad \nu = \left[\tau_f - \frac{1}{2} \right] e_s^2 \Delta t; \quad \alpha = \left[\tau_g - \frac{1}{2} \right] e_s^2 \Delta t \quad (14)$$

Ici, e_s est la vitesse du son ($e_s = e / \sqrt{3}$)

f_i^{eq} et g_i^{eq} sont les fonctions de distribution d'équilibre local pour les champs de vitesse et de température qui peuvent être données par :

$$f_i^{eq}(x, t) = \omega_i \rho \left[1 + \frac{e_i \cdot u}{e_s^2} + \frac{1}{2} \frac{(e_i \cdot u)^2}{e_s^4} - \frac{1}{2} \frac{u \cdot u}{e_s^2} \right] \quad (15)$$

$$g_i^{eq}(x, t) = \omega_i T \left[1 + \frac{e_i \cdot u}{e_s^2} \right] \quad (16)$$

Dans la présente étude, le modèle D2Q9 est utilisé. La magnitude des facteurs de pondération est attribuée comme suit :

$$\omega_i = \begin{cases} 4/9 & i = 0 \\ 1/9 & i = 1, 2, 3, 4 \\ 1/36 & i = 5, 6, 7, 8 \end{cases} \quad (17)$$

Et la vitesse discrète des particules e_i est définie comme suit :

$$e_i = \begin{cases} (0, 0) & i = 0 \\ \left(\cos\left[(i-1)\frac{\pi}{2}\right], \sin\left[(i-1)\frac{\pi}{2}\right] \right) & i = 1, 2, 3, 4 \\ \sqrt{2} \left(\cos\left[(i-1)\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{4}\right], \sin\left[(i-1)\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{4}\right] \right) & i = 5, 6, 7, 8 \end{cases} \quad (18)$$

Enfin, les grandeurs macroscopiques sont calculées comme suit :

$$\rho(x, t) = \sum_i f_i(x, t) \quad (19)$$

$$\rho u(x, t) = \sum_i f_i(x, t) e_i \quad (20)$$

$$T = \sum_i g_i(x, t) \quad (21)$$

2.2.2 Traitement de changement de phase par LBM

La présente étude utilise la technique basée sur l'enthalpie pour simuler la transition entre les phases solide et liquide. Cette approche présente l'avantage d'éliminer le besoin de satisfaire aux conditions au front de changement de phase. Pour déterminer les enthalpies globales à l'itération k et à l'étape de temps n , la formule suivante est utilisée :

$$En^{n,k} = C_p T^{n,k} + L_f f_i^{n,k-1} \quad (22)$$

La fraction liquide au niveau d'itération actuel est supposée comme suit :

$$f_i^{n,k} = \begin{cases} 0 & \text{if } En^{n,k} < En_s \\ \frac{En^{n,k} - En_s}{En_l - En_s} & \text{if } En_s \leq En^{n,k} \leq En_l \\ 1 & \text{if } En^{n,k} > En_l \end{cases} \quad (23)$$

2.2.3 Conditions aux limites

Pour résoudre le champ d'écoulement, la condition de non-glissement est mise en œuvre en utilisant le schéma de bounce-back. À titre d'illustration, les valeurs des fonctions de distribution sur la frontière gauche, qui sont inconnues, sont calculées comme suit :

$$f_{8,n} = f_{6,n}, \quad f_{5,n} = f_{7,n}, \quad f_{1,n} = f_{3,n} \quad (24)$$

Où n est la maille de la frontière.

Le schéma de bounce-back est utilisé pour imposer la condition de frontière adiabatique dans le champ de température.

D'autre part, pour la température sur la paroi gauche, les fonctions de distribution inconnues sont évaluées comme suit :

$$\begin{aligned} g_1 &= T_n(Y)(\omega_1 + \omega_3) - g_3 \\ g_5 &= T_n(Y)(\omega_5 + \omega_7) - g_7 \\ g_8 &= T_n(Y)(\omega_8 + \omega_6) - g_6 \end{aligned} \quad (25)$$

2.3 Effet du maillage

Pour s'assurer que les résultats ne dépendent pas de la taille du maillage, cinq tailles différentes (60×30 , 80×40 , 100×50 , 120×60 et 140×70) ont été testées pour $Ra=10^5$ et $\phi=2\%$. La Figure 2 montre l'impact des différentes tailles du maillage sur la durée de fusion complète. Les résultats indiquent qu'une taille de 120×60 donne des prévisions numériques suffisamment précises en un temps réduit.

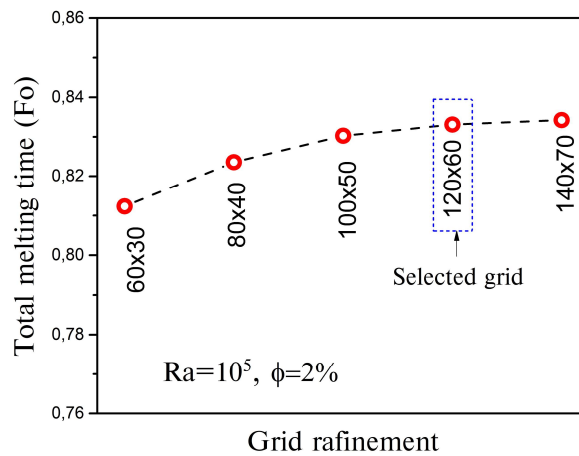


Figure 2. Effet de raffinement du maillage sur la durée de fusion

2.3 Validation du code de calcul

Pour confirmer la précision du code de calcul développé, les fronts de fusion obtenus à différents instants ont été comparés aux résultats expérimentaux de Gau et Viskanta [27] et aux résultats numériques de Brent et al. [28]. Le comportement de la fusion du gallium pur a été étudié dans une cavité rectangulaire chauffée différemment pour $Pr = 0,021$, $Ra = 2,2 \times 10^5$ et $Ste = 0,042$, avec les parois droite et gauche maintenues à des températures uniformes de 301,45 K et 311,15 K respectivement, et les parois supérieure et inférieure étant thermiquement isolées. Les résultats, présentés dans la figure 3, démontrent une bonne concordance.

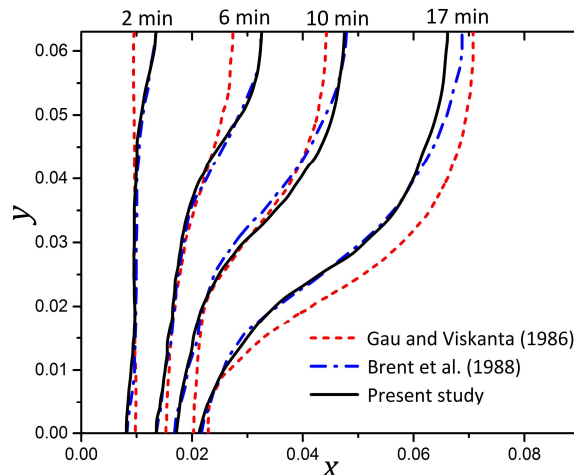


Figure 3. Comparaison des positions de l'interface de fusion avec celles obtenues dans des études expérimentales et numériques antérieures

3. Résultats et discussion

On étudie le comportement du mélange Cu-eau en tant que matériau à changement de phase amélioré par des nanoparticules (NeMCP) dans une enceinte horizontale bidimensionnelle. Des calculs numériques sont effectués pour différents nombres de Rayleigh ($Ra = 10^4$, 10^5 et 10^6) et différentes concentrations volumiques de nanoparticules ($\phi = 0, 2, 4$ et 6 vol. %).

Les figures 4 et 5 montrent la position de l'interface de fusion, les lignes de courant et les lignes isothermes pour de l'eau pure ($\phi = 0$ %) à différents temps adimensionnels ($Fo = 0,2, 0,3, 0,4$ et $0,5$) et différents nombres de Rayleigh.

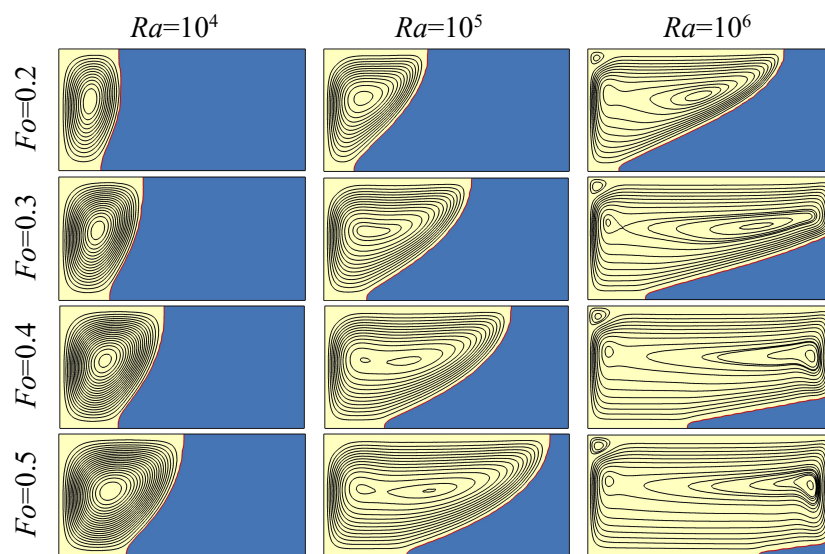


Figure 4. Position de l'interface de fusion et lignes de courant au fil du temps pour différents nombres de Rayleigh.

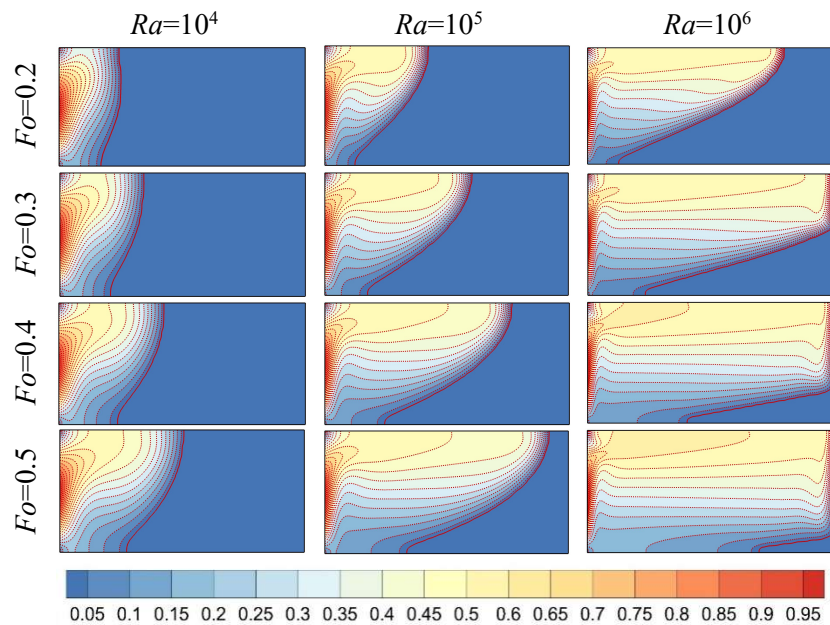


Figure 5. Position de l'interface de fusion et lignes isothermes au cours du temps pour différents nombres de Rayleigh.

On observe qu'une partie importante de la glace fond dans la partie supérieure de l'enceinte, ce qui devient de plus en plus prononcé au fil du temps. Cela est dû aux courants de convection naturelle plus intenses, qui améliorent le taux de transfert de chaleur et, par conséquent, augmentent le taux de fusion. De plus, à mesure que le fluide chauffé monte et circule près de la paroi supérieure en raison des forces de flottabilité, la glace dans la partie supérieure fond plus rapidement que la glace dans la partie inférieure de l'enceinte.

La figure 6 montre les lignes isothermes, les lignes de courant et la position de l'interface de fusion pour différentes fractions volumiques ($\phi=0, 2, 4$ et 6 vol.%) à $Fo=0,4$. Il est évident que la fraction volumique des nanoparticules n'affecte pas de manière significative la forme de l'interface à l'instant choisi. Cependant, lorsqu'on considère l'ensemble du processus de fusion, l'ajout de nanoparticules a un effet notable sur la durée de fusion.

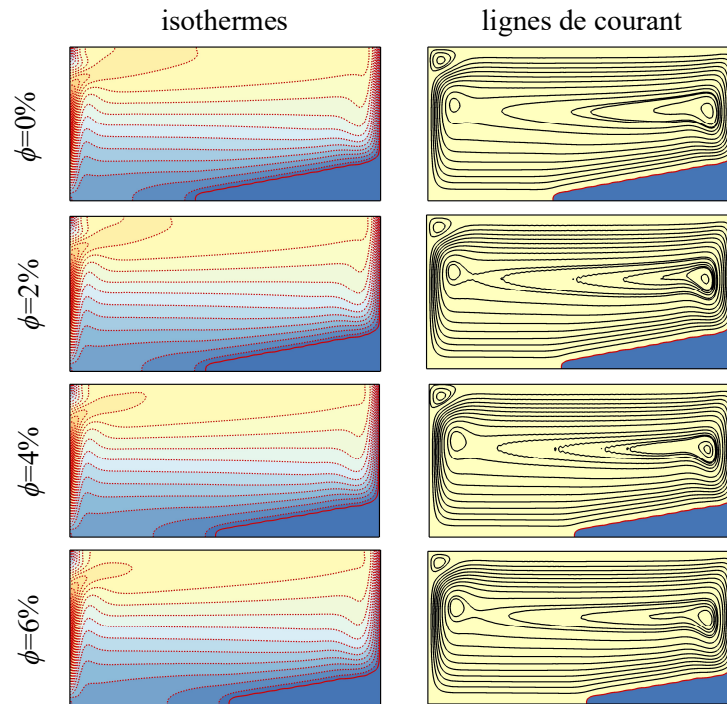


Figure 6. Les isothermes, lignes de courant et position de l'interface de fusion pour différentes fractions volumiques à $Fo=0.4$ et $Ra=10^6$.

Figure 7 illustre l'évolution de la fraction liquide en fonction des différentes concentrations de nanoparticules de Cu à différents nombres de Rayleigh au cours du temps. Au début du processus de fusion ($Fo < 0,2$), ni la concentration de nanoparticules ni le nombre de Rayleigh n'affectent significativement la fraction liquide car le mécanisme de transfert de chaleur par conduction est dominant. Cependant, à mesure que le processus se poursuit ($Fo > 0,2$), une augmentation du nombre de Rayleigh entraîne une diminution notable de la fraction liquide pour toutes les concentrations de nanoparticules.

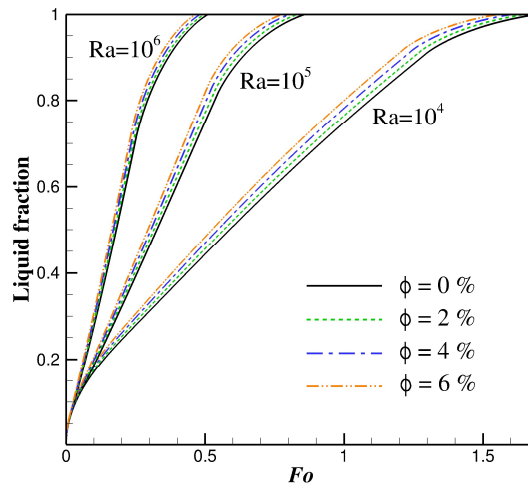


Figure 7. Évolutions temporelles de la fraction liquide pour différents nombres de Rayleigh à diverses fractions volumiques.

Dans les applications de l'ingénierie, la durée de fusion complète est essentielle car il représente la durée de charge pour le stockage d'énergie thermique. La Figure 8 compare la durée de fusion pour différents nombres de Rayleigh et fractions volumiques. Les résultats indiquent qu'augmenter la fraction volumique de nanoparticules tend à réduire la durée de fusion. Par exemple, pour un MCP pure ($\phi = 0\%$) l'état de fusion complète est atteint à $Fo = 1,693$ pour $Ra = 10^4$, ce qui est réduit à $Fo=1,552$ (taux de réduction de 8,3%) en augmentant la fraction volumique de nanoparticules à $\phi=6\%$. De plus, pour $Ra=10^6$, augmenter la fraction volumique de nanoparticules à $\phi=2\%$, 4% et 6% conduit à une réduction du temps de fusion de 2,5%, 5,6% et 8,8% respectivement, par rapport à la glace pure (c'est-à-dire $\phi=0\%$).

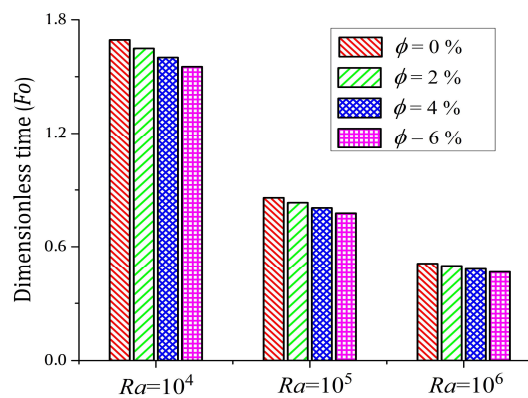


Figure 8. Durée de fusion complète du NeMCP pour diverses fractions volumiques.

5. Conclusion

Dans cette étude, une simulation numérique basée sur la méthode de Boltzmann sur réseau a été utilisée pour étudier l'impact de la convection naturelle et des nanoparticules (Cu) sur le processus de fusion du MCP (eau) dans une enceinte rectangulaire. Les effets du nombre de Rayleigh et de la fraction volumique de nanoparticules du Cu sur l'écoulement du fluide, le transfert de chaleur et les caractéristiques de changement de phase ont été examinés. Les conclusions obtenues sont résumées comme suit :

- Le temps de chargement diminue avec une augmentation du nombre de Rayleigh, ou la force de flottabilité devient plus importante.
- La dispersion de nanoparticules à l'intérieur du MCP améliore les performances de changement de phase en améliorant les propriétés thermophysiques.
- Pour un nombre de Rayleigh plus élevé ($Ra=10^6$), l'augmentation de la fraction volumique de nanoparticules à $\phi=2\text{vol}\%$, $4\text{vol}\%$ et $6\text{vol}\%$ conduit à une réduction de la durée de fusion complète de 2,5%, 5,6% et 8,8%, respectivement, par rapport à la glace pure (c'est-à-dire $\phi=0\text{vol}\%$).

References

- [1] E. Oro, A. De Garcia, A. Castell, M.M. Farid, L.F. Cabeza, Appl. Energy. **99**, 281-290 (2012).
- [2] X. Yan, Q. Xu, G. Tian, Q. Liu, J. Hou, B. Liu. J. Mater. Sci. Technol. **67** (20), 36-49 (2021).
- [3] A. Seeboo, Journal of Cleaner Production. **332**, 130006 (2022).
- [4] D. Groulx, P.H. Biwolé, M. Bhourri. Int. J. Therm. Sci. **151**, 106260 (2020).
- [5] N. Boulaktout, E. Mezaache, A. Laouer. Ann. Chim. Sci. Mat. **45** (2), 141-151 (2021).
- [6] A. Parida, A. Bhattacharya, P. Rath. J. Energy Storage **32**, 101804 (2020).
- [7] K. Venkateshwar, S.H. Tasnim, H. Simha, S. Mahmud. Appl. Therm. Eng. **180**, 115874 (2020).
- [8] K. Nedjem, A. Laouer, M. Tegggar, E. Mezaache, M. Arıcı, K.A. Ismail. Int. Commun. Heat Mass Transf. **139**, 106437 (2022).
- [9] M. Ghalambaz, A.J. Chamkha, D. Wen. Int. J. Heat Mass Transf. **138**, 738-749 (2019).
- [10] M. Benbrika, M. Tegggar, M. Arıcı, K.A.R. Ismail, S. Bouabdallah, E. Mezaache. Sustain. Energy Technol. Assess. **45**, 101242 (2021).
- [11] A. Laouer, K. Al-Farhany. Heat Transfer. **51**(6), 5952-5970 (2022).
- [12] A.A. Altohamy, M.F. AbdRabbo, R.Y. Sakr, A.A.A. Attia. App. Therm. Eng. **84**, 331-338 (2015).
- [13] H. Bashirpour-Bonab. Case Stud. Therm. Eng. **28**, 101643 (2021).
- [14] F. Selimefendigil, H.F. Oztop. Int. J. Heat Mass Transfer **129**, 265-277.

- (2019)
- [15] A.A. Ranjbar, S. Kashani, S.F. Hosseinizadeh, M. Ghanbarpour. *Therm. Sci.* **15**, 169-181 (2011).
- [16] L. Fan, JM. Khodadadi. *J Heat Trans-T ASME.* **134**(092301), 1-9 (2012)
- [17] N.S. Bondareva, B. Buonomo, O. Manca, M.A. Sheremet. *Appl. Therm. Eng.* **144**, 972–981 (2018)
- [18] M. Alomair, Y. Alomair, S. Tasnim, S. Mahmud, H. Abdullah. *J. Energy Storage.* **20**, 380–394 (2018).
- [19] H. Faraji, M. Faraji, M. El Alami. *Heat Trans. Eng.* 1–22 (2019).
- [20] M.M. Thalib, A.M. Manokar, F.A. Essa, N. Vasimalai, R. Sathyamurthy, F.P. Garcia Marquez. *Energies.* **13**, 3989 (2020).
- [21] M. Parsazadeh, X. Duan. *Int. J. Heat and Mass Transf.* **156**, 119831 (2020).
- [22] Elarem et al. *Alex. Eng. J.* **61**(9), 7037-7044 (2022)
- [23] A. Laouer, M. Arıcı, M. Tegggar, B. Bouabdallah, C. Yıldız, K.A.R. Ismail, S.S. Mousavi Ajarostaghi, E. Mezaache. *J Energy Storage.* **36**, 102421 (2021).
- [24] W. Chelia, A. Laouer E. Mezaache, M. Tegggar, M. Arıcı, K.A.R. Ismail. *Journal of Nanofluids.* **12** (4), 889-903 (2023).
- [25] J. M. Mahdi, E. C. Nsofor. *App. Therm. Eng.* **108**, 596–604 (2016).
- [26] A. Laouer, N. Boulaktout, E. H. Mezaache, S. Laouar. *Defect Diffus. Forum.* **406**, 3–11 (2021).
- [27] C. Gau, R. Viskanta. *ASME J. Heat Transfer* **108**, 174–181 (1986).
- [28] A.D. Brent, V.R. Voller, K.J Reid. *Numerical Heat Transfer.* **13**, 297–318 (1988).