

**Programme de cotutelles U. Libanaise – UT INSA :  
Proposition de sujet**

**Optimisation d'un condensateur en matériau à changement de phase pour  
climatiseur mobile  
(OPTI-MAC-PCM)**

<b>Partenaires académiques</b>	<b>Direction scientifique</b>
Université de Technologie de Troyes, Laboratoire LASMIS	Pascal LAFON, Professeurs des universités. <a href="mailto:Pascal.lafon@utt.fr">Pascal.lafon@utt.fr</a>
Université Libanaise de Beyrouth, Faculté de Génie 3, Laboratoire 3M (Matériaux, Mécanique Mécatronique).	Rafic YOUNES, Professeur, Doyen de la faculté de Génie 3 <a href="mailto:ryounes@ul.edu.lb">ryounes@ul.edu.lb</a>

Contexte :

L'élévation des températures moyennes dans les toutes les zones habitables va accélérer les besoins en système de climatisation dans l'habitat individuel. Il existe à l'heure actuelle de nombreuses offres de climatiseurs individuels. Dans les applications de refroidissement, les systèmes à base de PCM existent et peuvent être classés en cinq groupes : 1) à savoir le refroidissement naturel, 2) le refroidissement solaire, 3) la climatisation, 4) le refroidissement par évaporation et par rayonnement et 5) les systèmes PCM encapsulés. De nombreuses études de recherche ont introduit différentes conceptions de systèmes de refroidissement basés sur les PCM (voir bibliographie) sans que personne, à notre connaissance, n'aborde le concept de climatiseurs portables. Cependant leur installation nécessite à minima la mise en place d'un tuyau vers l'extérieur pour évacuer des calories extraites de la pièce à climatiser.

Ce projet concerne le développement d'une unité de climatisation mobile (MAC) stockant les calories extraites dans un réservoir de stockage thermique avec un matériau à changement de phase (PCM). Avec ce réservoir intégré dans le climatiseur, cette technologie permet ainsi de proposer un appareil mobile d'une pièce à l'autre sans nécessité de prévoir une évacuation extérieure.

Un prototype virtuel de ce climatiseur est en cours d'étude et les premières modélisations montre l'intérêt du concept ainsi que sa faisabilité. Pour ce prototype, le modèle développé, s'appuie sur une discrétisation simplifiée de la géométrie du condenseur, il permet de simuler l'évolution des échanges thermiques sous des hypothèses simplifiées. Deux configurations du réservoir condenseur ont pu être évaluées grâce à ce modèle. Cette première étude montre que les performances de ce prototype devront être améliorées.

## Description du projet :

L'objectif de ce projet de thèse est d'optimiser la conception du réservoir de stockage des calories de ce prototype pour maximiser la capacité d'absorptions de calories avant la fusion complète de tout le PCM du réservoir. Cette optimisation nécessitera d'abord de raffiner le modèle développé en développant un modèle de simulation 3D du réservoir permettant d'envisager des géométries plus complexes des unités de stockage PCM dans le réservoir. Une autre piste est de travailler sur la nature du PCM en testant différents dosages dans les mélanges les plus performants actuellement utilisés.

Les principales étapes ce projet de thèse pourront s'articuler autour des points suivants :

- État de l'art des modèles de simulation 3D de transfert thermique dans les PCM.
- Étude et développement d'un modèle de simulation dans l'environnement [Fenics](#), voir par exemple [S. Sun, P. Liebersbach 2020].
- Optimisation de la géométrie des unités de stockage PCM.
- Optimisation des propriétés des PCM.
- Validation expérimentale du prototype.

## Bibliographie :

[Souayfane et al. 2016] F. Souayfane, F. Fardoun, P.H. Biwole, Phase change materials (PCM) for cooling applications in buildings: A review, *Energy and Buildings* 129 (2016) 396–431.

[Waqas 2013] A. Waqas, Z.U. Din, Phase change material (PCM) storage for free cooling of buildings-A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 18 (2013) 607–625.

[Waqas 2011] A. Waqas, S. Kumar, Thermal performance of latent heat storage for free cooling of buildings in a dry and hot climate: an experimental study, *Energy and Buildings* 43 (2011) 2621–2630.

[Waqas 2011a] A. Waqas, S. Kumar, Thermal performance of latent heat storage for freecooling of buildings in a dry and hot climate: an experimental study, *Energy and Buildings* 43 (2011) 2621–2630.

[Darzi 2013] A.A.R. Darzi, S.M. Moosania, F.L. Tan, M. Farhadi, Numerical investigation of free-cooling system using plate type PCM storage, *Int. Commun. Heat MassTransf.* 48 (2013) 155–163.

[Osterman 2015] E. Osterman, V. Butala, U. Stritih, PCM thermal storage system for 'free' heating and cooling of buildings, *Energy and Buildings* 106 (2015) 125–133.

[Takeda 2004] S. Takeda, K. Nagano, T. Mochida, K. Shimakura, Development of a ventilation system utilizing thermal energy storage for granules containing phase change material, *Solar Energy* 77 (3) (2004) 329–338.

[Arkar 2007] C. Arkar, S. Medved, Free cooling of a building using PCM heat storage integrated into the ventilation system, *Solar Energy* 81 (2007) 1078–1087.

[Arkar 2007a] C. Arkar, B. Vidrih, S. Medved, Efficiency of free cooling using latent heat storage integrated into the ventilation system of a low energy building, *International Journal of Refrigeration* 30 (2007) 134–143.

[Nagano 2006] K. Nagano, S. Takeda, T. Mochida, K. Shimakura, T. Nakamura, Study of a floor supply air conditioning system using granular phase change material to augment building mass thermal storage—heat response in small scale experiments, *Energy and Buildings* 38 (2006) 436–446.

[Yanbing 2003] K. Yanbing, J. Yi, Z. Yinping, Modeling and experimental study on an innovative passive cooling system—NVP system, *Energy and Buildings* 35 (2003) 417–25.

[Turnpenny 2000] J. Turnpenny, D. Etheridge, D. Reay, Novel ventilation cooling system for reducing air conditioning in buildings. Part I: testing and theoretical modeling, *Applied Thermal Engineering* 20 (2000) 1019–1037.

[Turnpenny 2001] J. Turnpenny, D. Etheridge, D. Reay, Novel ventilation system for reducing air conditioning in buildings. PartII: testing of prototype. *Applied Thermal Engineering* 21 (2001) 1203–1217.

- [Helm 2009] M. Helm, C. Keil, S. Hiebler, H. Mehling, C. Schweigler, Solar heating and cooling system with absorption chiller and low temperature latent heat storage: energetic performance and operational experience, *International Journal of Refrigeration* 32 (2009) 596–606.
- [Helm 2014] M. Helm, K. Hagel, W. Pfeiffer, S. Hiebler, C. Schweigler, Solar heating and cooling system with absorption chiller and latent heat storage—a research project summary, *Energy Procedia* 48 (2014) 837–849.
- [Gil 2013] A. Gil, C. Barreneche, P. Moreno, C. Solé, A. Inés Fernández, L.F. Cabeza, Thermal behaviour of d-mannitol when used as PCM: comparison of results obtained by DSC and in a thermal energy storage unit at pilot plant scale, *Applied Energy* 111 (2013) 1107–1113.
- [Gil 2014] A. Gil, E. Oró, L. Miró, G. Peiró, Á. Ruiz, J.M. Salmerón, L.F. Cabeza, Experimental analysis of hydroquinone used as phase change material (PCM) to be applied in solar cooling refrigeration, *International Journal of Refrigeration* 39 (2014) 95–103.
- [Belmonte 2014] J.F. Belmonte, M.A. Izquierdo-Barrientos, P. Eguía, A.E. Molina, J.A. Almendros-Ibáñez, PCM in the heat rejection loops of absorption chillers. A feasibility study for the residential sector in Spain, *Energy and Buildings* 80 (2014) 331–351.
- [Fang 2010] G. Fang, S. Wu, X. Liu, Experimental study on cool storage air-conditioning system with spherical capsules packed bed, *Energy and Buildings* 42 (2010) 1056–1062.
- [Bruno 2014] F. Bruno, N.H.S. Tay, M. Belusko, Minimising energy usage for domestic cooling with off-peak PCM storage, *Energy and Buildings* 76 (2014) 347–353.
- [Chaiyat 2015] N. Chaiyat, Energy and economic analysis of a building air-conditioner with a phase change material (PCM), *Energy Conversion and Management* 94 (2015) 150–158.
- [Zhao 2015] D. Zhao, G. Tan, Numerical analysis of a shell-and-tube latent heat storage unit with fins for air-conditioning application, *Applied Energy* 138 (2015) 381–392.
- [Zhang 2012] S. Zhang, J. Niu, Cooling performance of nocturnal radiative cooling combined with microencapsulated phase change material (MPCM) slurry storage, *Energy and Buildings* 54 (2012) 122–130.
- [Wang 2008] X. Wang, J. Niu, A.H.C. van Paassen, Raising evaporative cooling potentials using combined cooled ceiling and MPCM slurry storage, *Energy and Buildings* 40 (2008) 1691–1698.
- [Ansuini 2011] R. Ansuini, R. Larghetti, A. Giretti, M. Lemma, Radiant floors integrated with PCM for indoor temperature control, *Energy and Buildings* 43 (2011) 3019–3026.
- [Osterman 2012] E. Osterman, V.V. Tyagi, V. Butala, N.A. Rahim, U. Stritih, Review of PCM based cooling technologies for buildings, *Energy and Buildings* 49 (2012) 37–49.
- S. Sun, P. Liebersbach, et X. Qian, « 3D topology optimization of heat sinks for liquid cooling », *Applied Thermal Engineering*, vol. 178, p. 115540, sept. 2020, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2020.115540.