

Refroidissement passif d'un centre de données par une boucle diphasique et matériaux à changement de phase.

Passive cooling of a data center comprising two-phase loop and phase change material.

Ahmad Alamir SBAITY¹, Chayan Nadjahi¹, Hasna LOUAHLIA^{1*}, Stéphane LE MASSON²

¹Normandie Université, Université de Caen, LUSAC

Site Universitaire Bellevue, 120 rue de l'exode – 50000 Saint-Lô, France.

²Orange Labs, 2 avenue Pierre Marzin – 22307 Lannion, France

*(Auteur correspondant : hasna.louahlia@unicaen.fr)

Résumé

Cet article présente les résultats expérimentaux d'un système de refroidissement passif formé d'un évaporateur et d'un condenseur, avec des lignes vapeur et liquide. Le but est d'étudier la variation de la température de fonctionnement en régime permanent en fonction du flux de chaleur imposé. Des matériaux à changement de phase sont intégrés pour mettre en évidence leur influence sur la capacité de refroidissement tout en conservant le 0% de consommation électrique.

Abstract

This article represents the experimental results of a passive cooling model, called thermosiphon, formed by an evaporator and a condenser, with vapor and liquid lines. The goal is to know the variation of the operating temperature in steady state as a function of the imposed heat flow. Phase change materials added to define their influence on the cooling capacity while keeping the 0% of electrical consumption.

Mots-clés : centre de données, refroidissement, thermosiphon, matériaux à changement de phase.

1. Introduction

Un centre de données (ou data center), est une salle de grande surface où sont rassemblés des équipements de télécommunication (routeurs, serveurs, commutateurs, ...) placés dans des baies de stockage et de distribution de données informatiques à travers un réseau internet. Les serveurs sont rangés dans des racks de façon à faciliter les opérations de maintenance. D'une manière générale, un centre de données contient plusieurs installations/composants : des baies contenant des serveurs, une salle de contrôle, un système de lutte contre les incendies, des batteries, des générateurs Diesel en cas de panne électrique, un système d'alimentation sans interruption (UPS), une unité de distribution de la puissance (PDU) et un système de refroidissement.

La consommation d'énergie dans un centre de données est un des indicateurs qui reflète le développement d'un pays. Avec le rapide développement des centres de données, un défi concernant la réduction de sa consommation d'énergie électrique est mis en place. Ceci a mené à plusieurs travaux de recherche et développement de solutions innovantes nécessaires dans la construction de centres de données avec la moindre consommation d'énergie possible.

D'une manière générale, un centre de données doit fonctionner en répondant aux conditions thermiques de température et d'humidité, afin de garantir son fonctionnement normal sans aucune interruption. Selon les standards européens, la température maximale ne peut pas dépasser 40°C avec un fonctionnement continu du système de refroidissement (24 heures sur 24 et 7 jours sur 7) [1]. Oro et al. [2] affirment que les centres de données sont responsables de 2% de la consommation mondiale d'énergie. A peu près 40% de l'énergie électrique consommée par un centre de données est utilisée pour le refroidissement des équipements. Cette part d'énergie correspond à 0.5% de la demande d'électricité mondiale [3] comme le montre la figure 1. Cette forte consommation d'électricité liée au refroidissement des centres de données est surtout causée par l'énorme propagation des centres de données. Ceci nécessite la recherche des moyens de refroidissement qui consomment moins d'énergie, tout en prenant en compte la fiabilité économique du système.

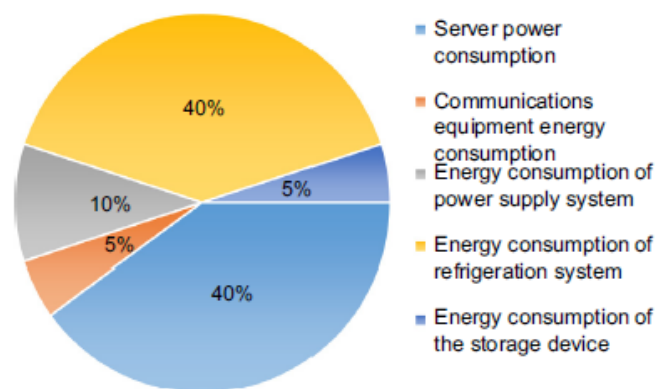


Figure 1 : Répartition de la consommation d'énergie dans un centre de données [4].

On peut classer les systèmes de refroidissement en trois groupes : le refroidissement actif, le refroidissement passif et le refroidissement hybride. Le mode de refroidissement actif utilise des climatiseurs qui aspirent l'air extérieur et soufflent de l'air froid. Ce mode fonctionne avec une séparation des écoulements d'air chaud et d'air froid (hot and cold aisle) [4]. Lu et al. [5] ont étudié le management et la distribution de l'écoulement d'air dans un centre de données.

Profiter des conditions climatiques pour refroidir naturellement un centre de données est un défi scientifique. Plusieurs paramètres entrent en considération pour que le refroidissement naturel puisse répondre aux besoins d'un centre de données. Un des plus importants est la température extérieure. Sundaram et al. [6] teste une boucle thermosiphon avec matériaux à changement de phase (MCP) durant trois jours de l'année. Leur but est d'analyser l'effet de la température extérieure sur la capacité de refroidissement du système. Cataldo et al. [7] ont analysé l'influence du débit massique sur le comportement de deux systèmes. Le premier fonctionne en convection naturelle et le second utilise la convection forcée. Plusieurs travaux de recherche portent sur la récupération de la chaleur des centres de données pour répondre aux besoins de chauffage dans le bâtiment [8] [9] [10].

Afin de maintenir des conditions de température et d'hygrométrie optimales, il est nécessaire d'utiliser un système de refroidissement performant. Cet article présente les résultats de travaux de recherche sur le développement de systèmes de refroidissement passifs qui permettra de faire baisser la consommation en énergie électrique du centre de données. La boucle thermosiphon, combinant le refroidissement par changement de phase et le free

cooling, est la méthode choisie car elle allie simplicité, fonctionnement passif et capacité à dissiper d'importants flux de chaleur.

2. Description du prototype expérimentale

Un prototype expérimental est construit en laboratoire comme la montre la figure 2. Deux salles sont considérées : une salle intérieure pour représenter le centre de donnée et une salle extérieure qui représente l'environnement extérieur. Les volumes des salles intérieure et extérieure sont de 27 m^3 et 10 m^3 respectivement. Les murs de la salle intérieure sont construits par des panneaux. L'isolation thermique est renforcée par un revêtement des murs avec un isolant mince, d'épaisseur 35mm, d'une résistance thermique de $5.25 \text{ m}^2.\text{K}.\text{W}^{-1}$, équivalent à 210mm de laine minérale ($\lambda 0,04 \text{ W}.\text{m}^{-1}.\text{K}^{-1}$). Une fenêtre coulissante à double vitrage est installée pour éviter la perte de chaleur entre la salle intérieure et le laboratoire. La résistance thermique du double vitrage est $0,913 \text{ m}^2.\text{K}.\text{W}^{-1}$. Dans la salle extérieure, des panneaux polyuréthanes sont installés pour minimiser le transfert de chaleur entre la salle intérieure et extérieure.

La figure 2 montre le banc d'essais construit au laboratoire. La salle extérieure est utilisée pour simuler les conditions climatiques extérieures. La salle intérieure est utilisée pour simuler la variation de la température dans le centre de données. La salle intérieure contient une baie formée de deux châssis de serveurs. Chaque châssis contient des résistances pour simuler la chaleur dégagée par les serveurs. Les dimensions de chaque résistance sont de 190mm x 73 mm x 45 mm. Les résistances de 100 ohms ont une puissance nominale de 800W. Chaque châssis contient 12 ventilateurs qui assurent l'évacuation de l'air chaud, la direction de l'air va du bas vers le haut. Un climatiseur est installé dans la salle extérieure pour imposer et simuler la température extérieure.

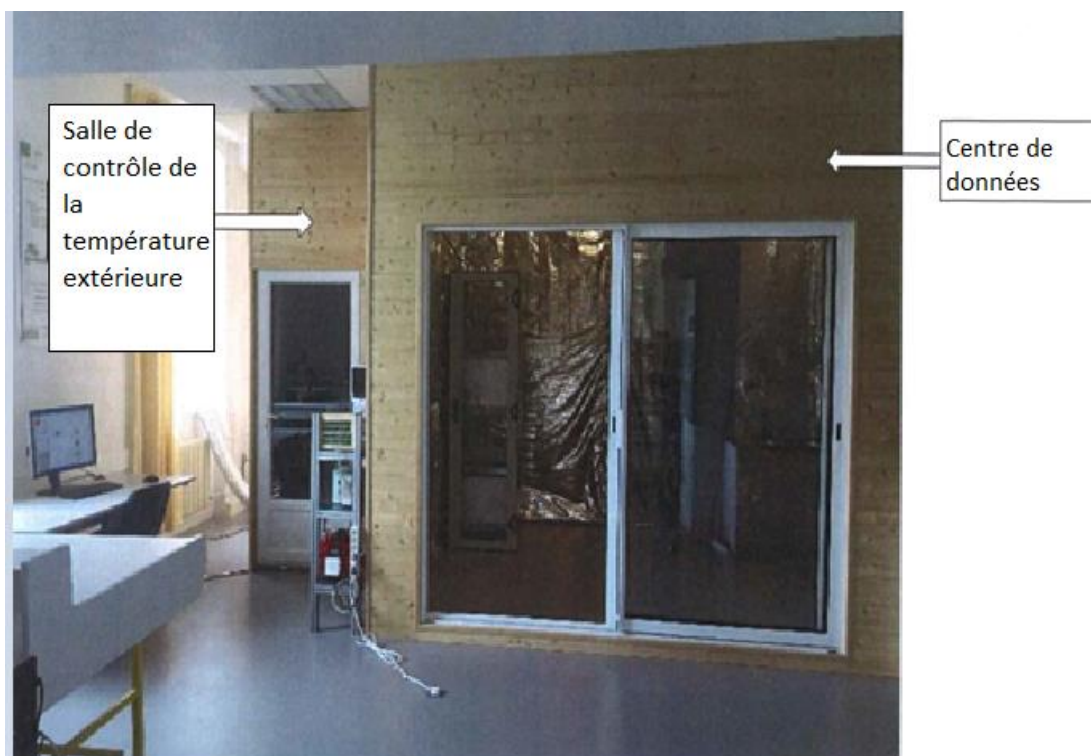


Figure 2 : Le banc d'essais utilisé pour faire les tests où apparaissent la salle représentant le centre de données et la salle de contrôle de la température extérieure.

2.1 Description de la boucle de refroidissement

La boucle de refroidissement diphasique développée dans le cadre de cette étude est formée de deux évaporateurs à mini-canaux, installés en parallèle, localisés dans l'armoire et au-dessus du châssis. Un condenseur est placé dans la salle extérieure. L'évaporateur est construit en aluminium, avec une conductivité thermique de $210 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$. Chaque évaporateur, est formé de tubes plats à mini-canaux. Ces tubes sont reliés par deux collecteurs cylindriques. L'évaporateur contient des ailettes pour améliorer le transfert de chaleur avec l'air chaud. Le condenseur est composé de 7 tubes de cuivre à ailette, et est refroidi par convection naturelle. La longueur de chaque tube est de 40 cm, et le diamètre est de 2.5 cm. La figure 3 montre l'architecture du condenseur.

Les évaporateurs et le condenseur sont connectés par deux lignes : une ligne vapeur et une ligne liquide adiabatiques. Les diamètres de la ligne vapeur et liquide sont de 15 mm et 11 mm respectivement. Le diamètre de la ligne vapeur est plus grand que celui de la ligne liquide ; ceci afin de garder la pression vapeur. Ces lignes sont isolées thermiquement pour éviter la perte de chaleur.

La chaleur générée dans l'armoire peut être enlevée en vaporisant le fluide dans l'évaporateur en captant la chaleur. La vapeur doit avoir une pression suffisante pour surmonter la perte de pression à cause de la distance entre le condenseur et l'évaporateur. Dans le condenseur, la vapeur se transforme en liquide en libérant la chaleur vers l'environnement extérieur. Comme le condenseur est placé en haut de l'évaporateur, le liquide retourne à l'évaporateur sous l'effet des forces de gravité.

Des plaques contenant des matériaux à changement de phase (MCP) sont placées sur les murs intérieurs du centre de données. En général, l'utilisation de plaques à MCP permet d'absorber la chaleur émise par les serveurs pour aider à la baisse de la température du centre de données. La température ambiante durant la journée est plus grande que celle durant le soir, pour cela, la chaleur est stockée comme une chaleur latente dans les MCP durant la journée, cette chaleur stockée est rejetée durant le soir, puisque la température ambiante diminue, ce qui aide au transfert de chaleur de l'intérieure vers l'extérieure. Les tableaux 1,2 et 3 montrent les propriétés des matériaux à changement de phase utilisés.

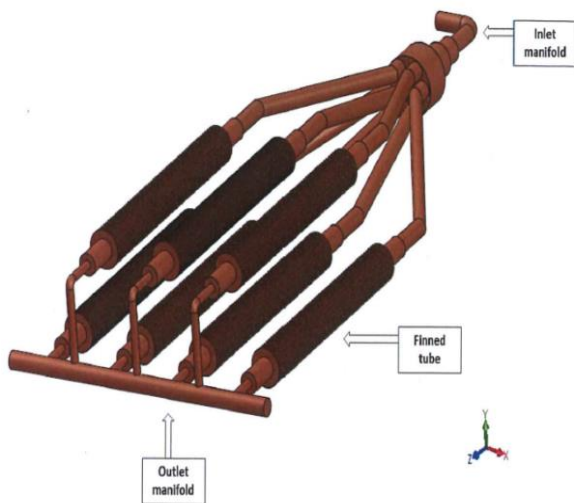


Figure 3 : *Le condenseur*



Figure 4 : *Panneau de MCP*

Chaleur latente	Teneur en paraffine	Chaleur totale	Point de fusion
kJ.kg^{-1}	%	kJ.kg^{-1}	$^{\circ}\text{C}$
>70	60	>170	21,7

Tableau 1 : *Les propriétés thermiques des matériaux à changement de phase.*

Epaisseur	Hauteur	Largeur	Masse surfacique
mm	mm	mm	Kg/m^2
5,26	1000	1198	4,5

Tableau 2 : *Les propriétés descriptives des panneaux incluant les matériaux à changement de phase.*

Conductivité solide	Conductivité liquide	Point d'inflammabilité
W/(m.k)	W/(m.k)	$^{\circ}\text{C}$
0,18	0,14	148

Tableau 3 : *Les propriétés physiques des matériaux à changement de phase.*

2.2 Instrumentation et procédure expérimentale

Des thermocouples de type K sont installés pour mesurer la température de la salle intérieure et extérieure. D'autres thermocouples de type K et des capteurs de pression sont installés à l'entrée et la sortie de l'évaporateur et du condenseur. Les thermocouples et les capteurs de pression sont calibrés pour différentes valeurs de températures et de pressions.

Les capteurs de pression et les thermocouples sont connectés à un système d'acquisition des données NI SCXI-1000. La fréquence d'acquisition est fixée à l'aide du logiciel LabVIEW à une valeur de 30s. Avant le remplissage, des tests de fuite sont faits pour que le débit d'écoulement du réfrigérant ne change pas. Le réfrigérant choisi est le n-pentane, à cause de sa température d'ébullition basse. Les tests sont réalisés pour une même puissance à vide, avec la boucle diphasique sans MCP puis avec MCP.

3. Résultats

L'objectif des tests est de déterminer la capacité du système de refroidissement, sans et avec les matériaux à changement de phase, pour définir leur influence sur le système. La figure 5 montre la variation de la température du centre de données pour une puissance de 1000 W en fonction du temps (sans thermosiphon et sans MCP). La température augmente dans un régime transitoire pour quelques heures afin d'atteindre le régime permanent.

Le volume de la boucle est de 3,45 L. Le taux de remplissage optimal est 17%. La figure 6 montre la variation de température du centre de données à vide, avec la boucle thermosiphon sans MCP, avec la boucle thermosiphon et les matériaux à changement de phase.

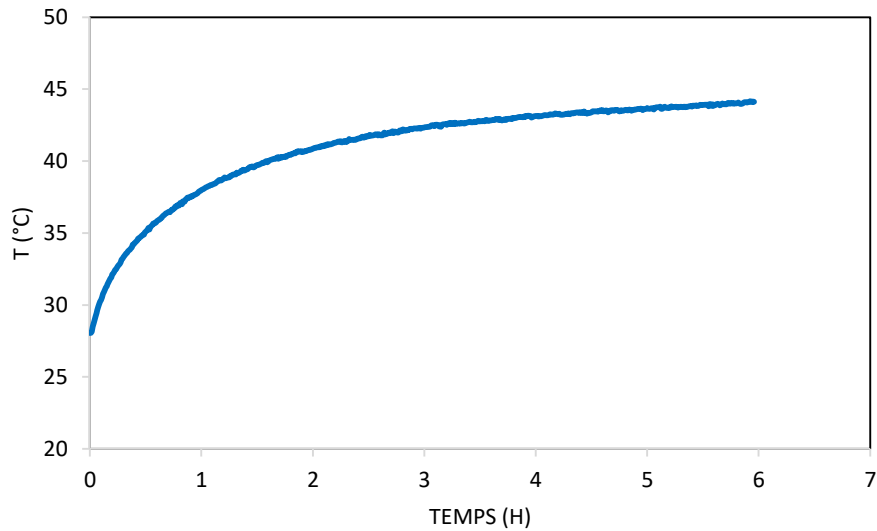


Figure 5 : Variation de la température du centre de données pour un flux de chaleur de 1000 W.

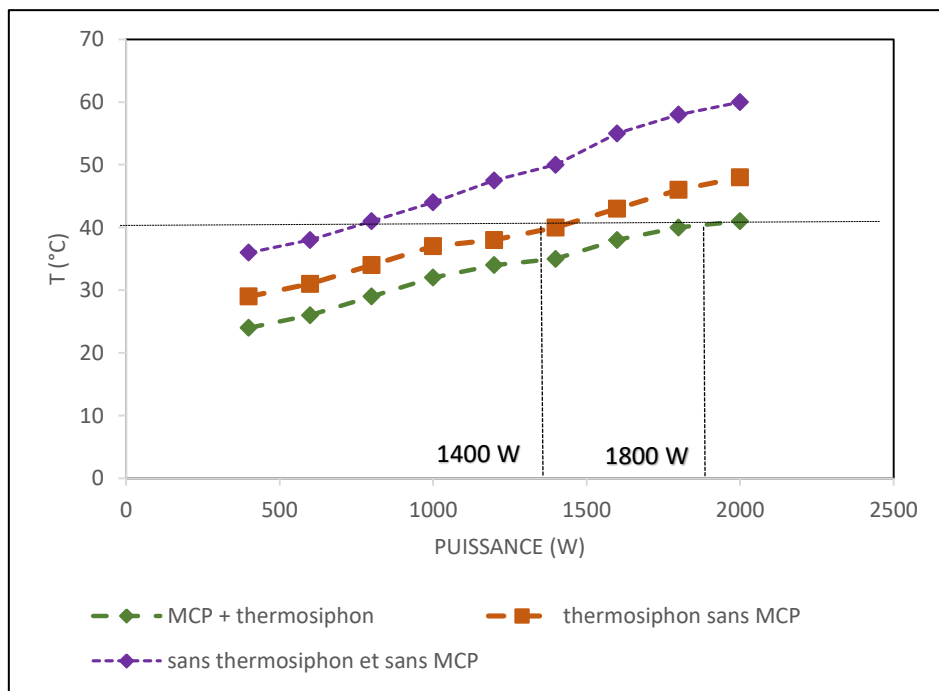


Figure 6 : Profils des températures en régime permanent en fonction de la puissance thermique.

En prenant 40°C comme une température limite suivant les normes européennes, la boucle thermosiphon peut refroidir ce centre de donnée jusqu'à une puissance 1400W. Les résultats d'essais montrent que les matériaux à changement de phase augmentent la capacité de refroidissement à 1800 W. Les matériaux à changement de phase captent la chaleur et la stocke sous forme d'énergie latente, ce qui augmente la capacité à libérer de la chaleur des serveurs. Lorsque le composé fond, la chaleur de la pièce est absorbée ; lorsqu'il se solidifie, il libère à nouveau la chaleur dans la pièce.

Les matériaux à changement de phase peuvent se décharger si la température extérieure est inférieure à la température de fusion, sinon, ces matériaux restent en charge au maximum. Ils se transforment en diode thermique, qui transfère la chaleur de l'intérieure vers l'extérieure. La baisse de température en hiver aide les MCP à suivre le régime de charge et décharge de la chaleur.

4. Conclusion

Cet article présente un modèle simulant le refroidissement d'un centre de données avec une boucle thermosiphon. Les MCP sont intégrés comme processus de refroidissement complémentaire. Les résultats en régime permanent montrent que les matériaux à changement de phase permettent d'augmenter le niveau de confort thermique, ce qui aide à économiser l'énergie. Les panneaux sont installés sur les murs du bâtiment. La paraffine fond puis se solidifie en fonction des fluctuations de la température. Les MCP constituent un ajout au système de refroidissement pour augmenter sa capacité de refroidissement de 1400W à 1800W.

Références

- [1] Deymi-Dashtebayaz, Mahdi, and Sajad Valipour-Namanlo. "Thermoeconomic and environmental feasibility of waste heat recovery of a data center using air source heat pump." *Journal of Cleaner Production* 219 (2019): 117-126.
- [2] Oró, Eduard, Paolo Taddeo, and Jaume Salom. "Waste heat recovery from urban air cooled data centres to increase energy efficiency of district heating networks." *Sustainable cities and society* 45 (2019): 522-542.
- [3] Zurmühl, David P., et al. "Hybrid geothermal heat pumps for cooling telecommunications data centers." *Energy and Buildings* 188 (2019): 120-128.
- [4] Power Emerson Network, "Five Strategies for Cutting Data Center Energy Costs Through Enhanced Cooling Efficiency", *A White Pap. From Expert. Business-Critical Contin.*, 2007.
- [5] Lu, Hongjie, Zhongbin Zhang, and Liu Yang. "A review on airflow distribution and management in data center." *Energy and Buildings* 179 (2018): 264-277.
- [6] Sundaram, A. Shanmuga, R. Velraj Seeniraj, and R. Velraj. "An experimental investigation on passive cooling system comprising phase change material and two-phase closed thermosyphon for telecom shelters in tropical and desert regions." *Energy and Buildings* 42.10 (2010): 1726-1735.
- [7] Cataldo, Filippo, and John R. Thome. "Experimental evaluation of the thermal performances of a thermosyphon cooling system rejecting heat by natural and forced convection." *Applied Thermal Engineering* 127 (2017): 1404-1415.
- [8] Yu, J., Jiang, Y., & Yan, Y. A simulation study on heat recovery of data center: A case study in Harbin, China. *Renewable energy*, 130 (2019): 154-173.
- [9] He, Zhiguang, et al. "Analysis of a district heating system using waste heat in a distributed cooling data center." *Applied Thermal Engineering* 141 (2018): 1131-1140.
- [10] Zhang, Penglei, et al. "Heat recovery from Internet data centers for space heating based on an integrated air conditioner with thermosyphon." *Renewable energy* 80 (2015): 396-406.