

Etude thermique d'armoire de télécommunication : expérimentation et modélisation.

S. LE MASSON¹, H. LOUAHLIA-GUALOUS*, B. MECHERI, D. NORTERSHAUSER¹

¹France Télécom, 2, Avenue Pierre Marzin - 22307 – Lannion.

Université de Caen Basse Normandie, LUSAC, IUT Cherbourg-Manche, 120 rue de l'exode, 50000 Saint Lô.

*(Hasna Louahlia-Gualous : hasna.gualous@unicaen.fr)

Résumé – Cet article présente des résultats d'essais sur le refroidissement d'une armoire de télécommunication en utilisant une boucle thermosiphon. Un modèle numérique est mis au point pour calculer la répartition de la température de l'air dans l'armoire. La modélisation est développée en régime transitoire et en tridimensionnel. Les résultats de la modélisation sont validés par ceux issus des expériences. Des résultats d'essais expérimentaux sont présentés pour mettre en évidence les performances thermiques du refroidissement par boucle thermosiphon.

1. Introduction

France Télécom possède des armoires de télécommunication dont la puissance est limitée à cause de la dissipation thermique des équipements actifs qui entraîne une augmentation de la température interne des armoires. La puissance des équipements limite le nombre de clients qu'il est possible de connecter aux services des réseaux à hauts débits. En plus de cette contrainte, les armoires sont soumises à des variations climatiques sévères et non maîtrisées (ensoleillement). Ceci nécessite l'intégration d'un système de refroidissement permettant de maintenir la température des composants en dessous de la limite imposée (55°C) et de réduire cette contrainte thermique de fonctionnement à haut débit. Pour lever ce verrou, la dissipation thermique au sein d'un prototype armoire de télécommunication est étudiée dans le but de concevoir un système de refroidissement d'air performant en respectant la norme ETSI [1].

Nous avons dans un premier temps développé un modèle numérique d'armoire de télécommunication dans le but de prédire la répartition de la température de l'armoire exposée à un rayonnement solaire. La modélisation est effectuée en régime transitoire et en tridimensionnel. L'avantage de cette modélisation est de déterminer la température des équipements actifs à des puissances dépassant la puissance limite des armoires et sans avoir recours à effectuer des expériences sur des armoires. Les résultats de modélisation sont validés par ceux issus d'une étude expérimentale menée dans la plateforme 'Climat' chez France Télécom. Une boucle de refroidissement par évaporation est développée à l'issue de cette étude numérique permettant le maintien de la température de l'armoire à une limite de fonctionnement imposée par la réglementation.

Le refroidissement par changement de phase a fait ses preuves dans plusieurs applications industrielles car il permet d'assurer une dissipation thermique d'importantes puissances tout en assurant une très faible variation de la température du système et en utilisant une très faible quantité de fluide caloporteur. En plus de ces avantages, on relève dans la littérature plusieurs études expérimentales et théoriques sur les boucles de refroidissement passives qui offrent l'avantage de fonctionner sans aucune pompe mécanique, sans bruit et à faible quantité de fluide caloporteur [2-5].

Cet article présente les résultats expérimentaux d'une étude sur le refroidissement d'un prototype d'armoire de télécommunication en utilisant une boucle thermosiphon. Des essais

sont effectués sur la boucle intégrée dans l'armoire de télécommunication afin de caractériser son fonctionnement et de déterminer ses performances énergétiques. Un modèle numérique est développé afin d'estimer les températures de l'air à l'entrée des équipements de télécommunication en absence de système de refroidissement diphasique. En effet, lorsque la puissance des cartes de télécommunication dépasse 220W, la température de l'air à l'entrée des équipements dépasse la valeur limite imposée par la norme ETSI et les essais ne peuvent être réalisés dans l'armoire sans la boucle thermosiphon.

2. Dispositif expérimental

Le problème de refroidissement des cartes de télécommunication réside dans le confinement de l'air à l'intérieur de l'armoire (figure 1). En effet, le refroidissement des équipements actifs à l'intérieur de l'armoire de télécommunication est fait par convection forcée d'air à l'aide des ventilateurs disposés à l'entrée ou à la sortie des équipements. Le problème rencontré par France Télécom est l'augmentation de la température de l'air à cause de la puissance thermique dissipée en continu par les équipements actifs. La chaleur dégagée reste en effet emmagasinée à l'intérieur de l'armoire au cours de son fonctionnement car les échanges au travers des parois de l'armoire ne sont pas suffisants pour évacuer la chaleur. Le développement d'un système de refroidissement qui permet de rejeter la puissance thermique dissipée dans l'air à l'extérieur de l'armoire de télécommunication paraît primordial. La figure 2 présente la configuration du système de refroidissement adopté utilisant une boucle fluide avec un évaporateur placé à l'intérieur de l'armoire et un condenseur à l'extérieur de l'armoire. Le placement du dissipateur dans l'armoire de télécommunication est choisi en se basant sur des résultats de modélisation qui montrent la répartition de la température dans l'armoire sans la présence de dissipateur. La zone chaude de l'armoire est localisée sur la partie supérieure située au dessus des équipements actifs. Le dissipateur doit donc être placé dans cette zone et doit occuper au maximum un espace de $100 \times 50 \times 50 \text{mm}^3$.

Le prototype d'armoire utilisé est équipé de deux modules qui dissipent une puissance thermique allant jusqu'à 450W. L'évaporateur est placé dans la partie supérieure de l'armoire où les points chauds ont été localisés. Il permet de dissiper les calories contenues dans l'air chaud. La vapeur produite par changement de phase est envoyée vers le condenseur afin d'être liquéfiée. Le condenseur est placé à l'extérieur de l'armoire à une hauteur de 30 cm approximativement. L'entrée et la sortie du condenseur sont raccordées à la sortie et à l'entrée de l'évaporateur respectivement par des tuyaux de raccordement en cuivre isolés thermiquement. L'évaporateur dans l'armoire est équipé d'ailettes fines d'épaisseur 0.3mm, de profondeur 10mm et espacées de 2mm. Il est constitué d'un bloc central qui contient des minicanaux de circulation de la vapeur produite dans la chambre liquide. Ces minicanaux sont disposés sous forme de quatre lignes, chacune d'elle contient 26 minicanaux de 1,5mm de diamètre et de 24 mm de longueur. Deux chambres pour le liquide et la vapeur sont placées de part et d'autre du bloc central de l'évaporateur où sont localisés les minicanaux. Le réservoir liquide permet d'assurer une réserve en continu de liquide pour alimenter la boucle afin d'éviter les problèmes d'assèchement de la surface. La chambre de la vapeur est connectée à l'entrée du condenseur par un tuyau transparent en PTFE de 90 cm de longueur. La chambre liquide est raccordée à la sortie du condenseur par un tuyau du même type et de 95 cm de longueur. Le condenseur utilisé dans la boucle d'essais, est un échangeur à tubes ailettés. Des thermocouples sont placés à l'entrée et à la sortie du condenseur et de l'évaporateur pour mesurer les températures du fluide caloporteur.



Figure 1. Armoire réelle de télécommunication.

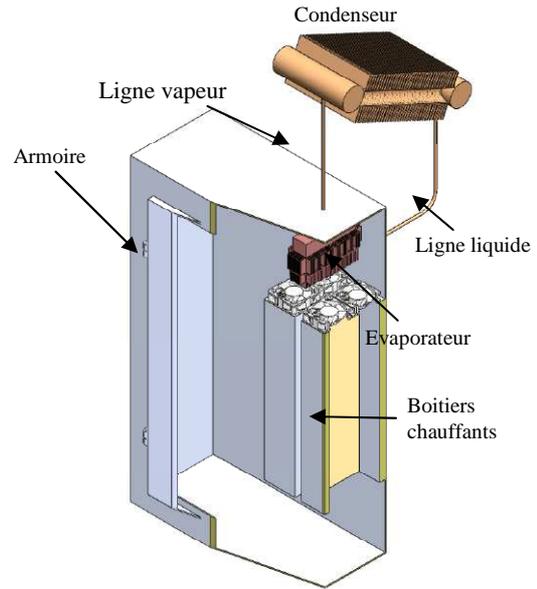


Figure 2. Schéma de l'armoire en coupe de la boucle de refroidissement.

Avant de commencer les essais, nous avons utilisé une pompe à vide pour mettre la boucle sous vide. Ensuite, nous avons effectué les essais sur la boucle de refroidissement en utilisant le n-pentane comme fluide caloporteur. La puissance du bloc chauffant la chambre liquide de l'évaporateur est variable grâce à un variateur de tension d'alimentation des boitiers chauffants. Un wattmètre est utilisé pour contrôler la puissance imposée au niveau de ce bloc. Les températures et les pressions en différents points de mesure dans la boucle sont enregistrées avec une fréquence d'une mesure/seconde grâce à un système d'acquisition Labview géré par un ordinateur. Les essais sont effectués à différentes valeurs de puissance imposées par les boitiers chauffants. Chaque puissance est contrôlée par un régulateur de tension d'alimentation qui est variable de 0 à 220V. Des thermocouples sont placés à l'intérieur de l'armoire pour mesurer les températures de l'air au sein de l'armoire pour chaque puissance dissipée. Ces thermocouples sont constitués par des fils de diamètre $75\mu\text{m}$ et ont une précision de mesure de $\pm 0,1^\circ\text{C}$.

3. Résultats et discussions

3.1. Modélisation par réseau nodal

Nous avons développé un modèle numérique pour calculer la répartition de la température de l'air dans l'armoire et surtout celle à l'entrée des boitiers chauffants. Cette dernière température représente une référence pour assurer le fonctionnement des équipements de l'armoire de télécommunication. Elle doit être comprise entre 5 et 55°C . Le modèle est basé sur la résolution numérique de l'équation de la chaleur en adoptant des conditions aux limites imposées au niveau des surfaces de l'armoire. Les conditions d'entrée du modèle sont la température ambiante, la puissance des boitiers chauffants et le flux solaire. L'orientation de l'armoire par rapport au rayonnement solaire est également prise en compte pour définir les surfaces exposées au soleil.

Nous avons privilégié la modélisation par réseau nodal car le traitement numérique de l'armoire doit être fait en régime transitoire et en tridimensionnel. L'utilisation de la modélisation par réseau nodal permet une réponse rapide du système comparée à celle

effectuée par éléments finis. Cette méthode a fait ses preuves dans de nombreuses applications et reste très souple d'utilisation [5]. Elle est basée sur l'analogie thermique/électrique et est particulièrement adaptée à l'analyse de systèmes complexes [6-7]. La modélisation par réseau nodal d'un système donné consiste à établir un ensemble de nœuds, de sources et de conductances (figure 3). Les équations, qui relient les variables, s'organisent en systèmes d'équations dont la résolution est effectuée par la méthode implicite à directions alternées ADI (Alternating Direction Implicit). La température de chaque nœud de calcul indiquée par (i, j, k) dépend des valeurs des six résistances thermiques R_{th} (ou conductance G), de la capacité thermique C_{th} et de la source du flux de chaleur $\Phi_{i,j,k}$ (figure 4). Dans cet article, nous ne présentons pas en détail l'ensemble des équations et des conditions utilisées pour modéliser le rayonnement solaire. Nous présentons uniquement des exemples de résultats de calcul.

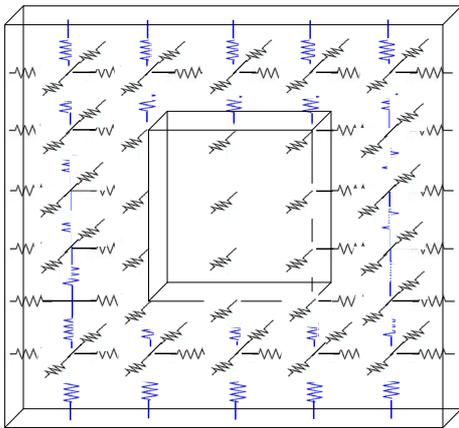


Figure 3. Schéma électrique équivalent pour un plan de calcul.

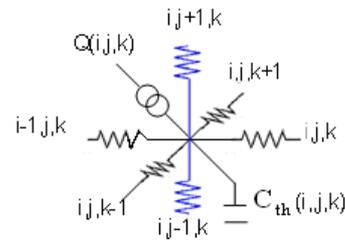


Figure 4. Schéma de principe

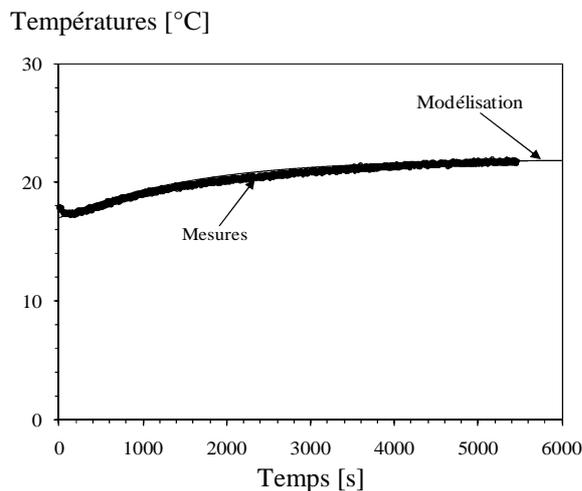


Figure 5. Résultats obtenus à $P= 72W$.

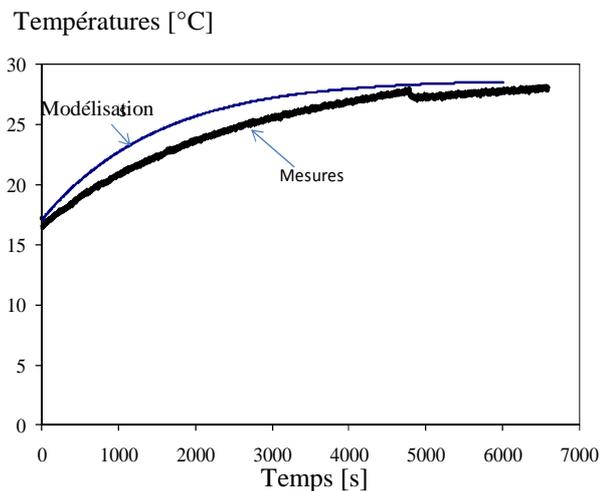


Figure 6. Résultats obtenus à $P= 172W$

Les figures 5 et 6 comparent les résultats des mesures et de modélisation pour le cas d'une armoire de télécommunication dont la dissipation des cartes de télécommunication est de 72 ou 172W. L'étude est faite sans flux solaire. La température ambiante est supposée constante au cours du temps car les essais sont effectués sans flux solaire. La comparaison est effectuée pour les températures mesurées par les thermocouples placés en dessous des boîtiers chauffants (considérée comme température de référence). Les résultats des températures

calculées à l'entrée des éléments chauffants sont confondues car le système est pratiquement symétrique. La température mesurée à l'entrée des boîtiers chauffants représente la moyenne de celles mesurées par les thermocouples placés à l'entrée des ces boîtiers. Pour les deux puissances électriques testées, le modèle développé donne des résultats satisfaisants comparés à ceux des mesures.

3.2. Résultats d'essais sur le refroidissement de l'armoire

Nous avons effectué des essais à différentes valeurs de puissances imposées par les boîtiers chauffants sous forme d'escalier. Le but de ces essais est de mettre en évidence les performances thermiques de la boucle de refroidissement dans des conditions de fonctionnement réelles. Deux modes de refroidissement sont testés : le premier est celui actuellement employé par France Télécom où le refroidissement est effectué par ventilation forcée de l'air à l'intérieur des boîtiers chauffants. Le second mode de refroidissement utilise le changement de phase du n-pentane en circulation dans une boucle thermosiphon développée au cours de cette étude. La figure 7 montre la différence entre les températures mesurées à l'entrée des boîtiers chauffants en utilisant ces deux modes de refroidissement. La température à l'entrée des boîtiers représente celle de fonctionnement des cartes de télécommunication. Elle est mesurée en régime permanent. Pour le cas du refroidissement par l'air en convection forcée, cette température est importante et peut atteindre des valeurs dépassant celle imposée par la norme ETSI (55°C) lorsque la puissance dans l'armoire dépasse 220W. La figure 7 montre qu'avec le refroidissement par la boucle thermosiphon, la température de fonctionnement est réduite de 16°C à une puissance de 450 W.

Ce résultat confirme que ce système de refroidissement est très attractif au point de vue pratique. La température de fonctionnement mesurée pour toutes les puissances testées est inférieure à 55°C. Le temps de réponse est défini à 63% de la variation de la température de la vapeur entre sa valeur atteinte en régime permanent et sa valeur minimale de début de la montée en température, et ceci pour chaque palier de puissance imposée. La figure 8 montre que le temps de réponse diminue en augmentant la puissance dissipée car la masse évaporée augmente et l'inertie du système est réduite. Pour des puissances supérieures à 160W, le temps de réponse de la boucle diphasique est de moins d'une minute.

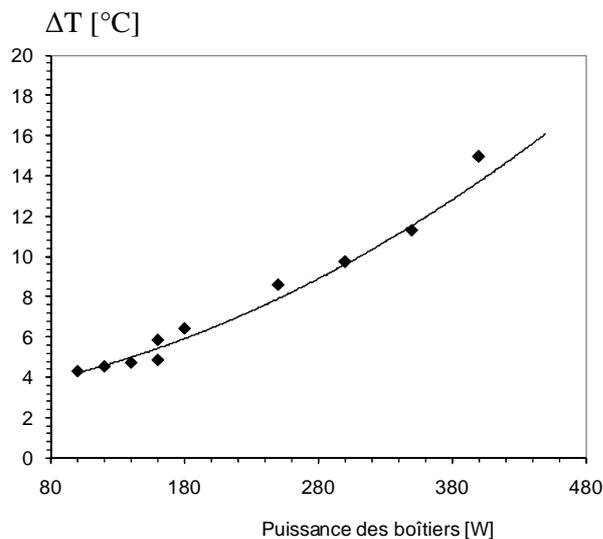


Figure 7. Performance du refroidissement par la boucle thermosiphon.

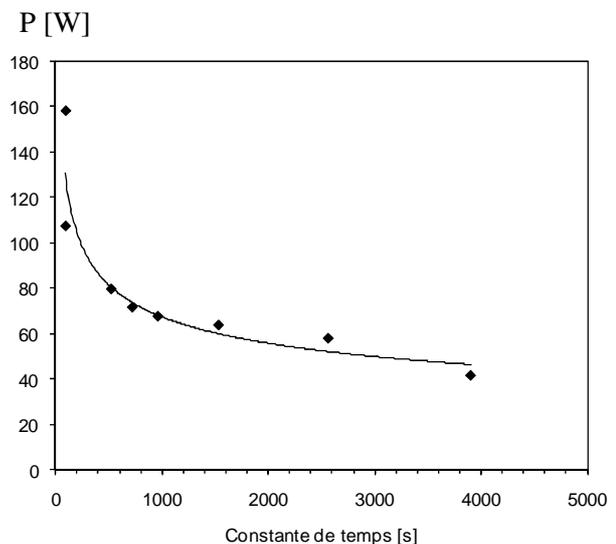


Figure 8. Temps de réponse de la boucle

La température de l'air circulant à gauche et à droite des boîtiers chauffants est uniforme (figure 9). Elle a atteint une valeur stable de 52°C en régime permanent à 350W. Cette uniforme distribution de la température de l'air dans l'armoire de télécommunication confirme l'intérêt d'utiliser des systèmes de refroidissement utilisant un fluide à changement de phase. Les températures de l'air à l'intérieur de l'armoire mesurées en dessous des boîtiers avec les thermocouples T_5 , T_6 , et T_7 sont approximativement uniformes. Au dessus des boîtiers chauffants, la température de sortie de l'air ventilé mesurée par les thermocouples T_8 et T_9 est également uniforme. C'est la raison pour laquelle l'évaporateur a été placé dans cette zone de l'armoire.

Température [°C]

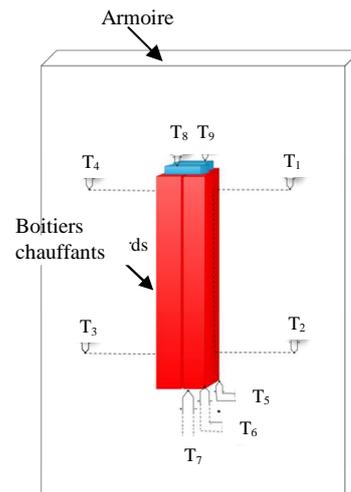
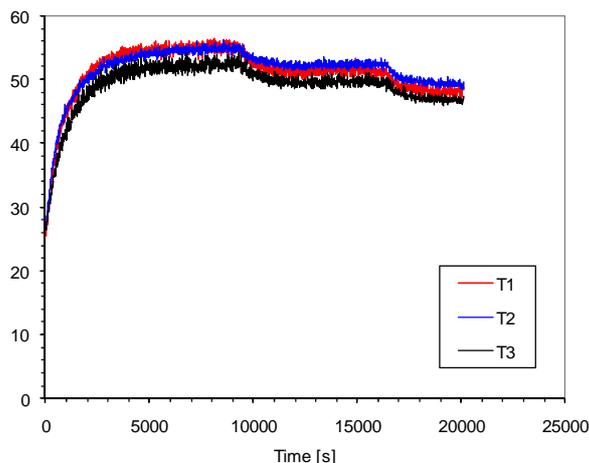


Figure 9. Température de l'air dans l'armoire de télécommunication pour une puissance dissipée de 350 W.

4. Conclusion

Cet article présente les résultats d'une étude expérimentale sur une boucle thermosiphon conçue pour assurer le refroidissement d'équipements de télécommunication. Les résultats expérimentaux présentés mettent en évidence les performances thermiques obtenues en utilisant un mode de refroidissement par boucle diphasique contrairement aux systèmes classiques basés sur la convection forcée par circulation d'air. Le modèle développé pour l'armoire de télécommunication soumise à un flux solaire sera complété en y intégrant une modélisation de la boucle de refroidissement diphasique.

Références

- [1] ETSI EN 300 019-1-3, Environnemental conditions and environmental tests for telecommunications equipment; Part 1-3: European Telecommunication Standard Institute.
- [2] R. Greif, Natural circulation loops, ASME J. Heat Transfer, vol. 110, pp. 1243– 1258, 1988.
- [3] K. E. Torrance and V. W. C. Chan, Heat transfer by a free convection loop embedded in a heat-conducting solid, Int. J. Heat Mass Transfer, vol. 23, pp. 1091–1097, 1980.
- [4] H. H. Bau and K. E. Torrance, On the stability and flow reversal of an asymmetrically heated open convection loop, Journal of Fluid Mechanics, vol. 106, pp. 417–433, 1981.
- [5] Lagonotte, P., Broussely M., Bertin Y., Saulnier J.B., Petiteau S., La théorie des réseaux appliquée à la réduction de modèle thermique des machines thermiques. EF'99, Lille (1999).
- [6] Saulnier J.B., La méthode nodale : ses progrès et ses limites. Journées d'études GUT-SFT (1989).
- [7] Saulnier J.B., Alexandre A., Martinet J., L'utilisation des logiciels en modélisation thermique : deux exemples d'application. Revue générale de thermique, n° 230, p. 97-109 (1981).