

# Boucle diphasique à minicanaux pour le refroidissement de cartes de télécommunication.

Stephane LE MASSON<sup>1</sup>, Boubakeur MECHERI<sup>2</sup>, Hasna LOUAHLIA-GUALOUS<sup>2\*</sup>, David NORTERSHAUSER<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>France Télécom, 2, Avenue Pierre Marzin - 22307 – Lannion

<sup>2</sup>Institut FEMTO ST-MN2S, CNRS UMR 6174, UTBM,

Batiment F, rue Thiery Mieg, 90010 Belfort.

\* (Hasna Louahlia-Gualous : hasna.gualous@femto-st.fr)

\* (Stephane Le Masson : stephane.lemasson@orange-ftgroup.com)

**Résumé** – Cet article présente des résultats d'essais sur le refroidissement d'une armoire de télécommunication en utilisant une boucle diphasique à minicanaux. Deux bancs d'essais sont conçus dans le cadre de cette étude : le premier est équipé de capteurs de pression et de température afin d'étudier les performances thermiques de la boucle seule en la soumettant à des puissances thermiques contrôlées par un bloc chauffant. Le second banc d'essais est utilisé pour mettre en évidence les performances thermiques du refroidissement par boucle de thermosiphon installée dans un prototype d'armoire de télécommunication.

## 1. Introduction

Dans certaines applications, les équipements électroniques peuvent atteindre des niveaux de puissance et de température où le refroidissement par circulation d'air en convection forcée n'est pas assez performant pour maintenir la température du système à une valeur optimale de fonctionnement. Ce problème est rencontré par France Télécom dans le cas des armoires de télécommunication contenant des équipements actifs (appelés DSLAM ou xDSL). Actuellement, la puissance maximale de ces armoires est assez limitée afin de respecter les normes d'environnement climatique de matériels actifs. Cette limite conditionne malheureusement le nombre de clients qu'il est possible de connecter aux services du haut débit. Pour lever ce verrou, la dissipation thermique au sein d'une armoire de télécommunication est étudiée dans le but de concevoir un système de refroidissement d'air performant en respectant la norme ETSI [1]. Cette dernière impose une température de l'air à l'entrée des châssis contenant les cartes de télécommunications à l'intérieur des armoires soit maintenue entre 5°C et 55°C.

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 aucun circulateur 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 diphasique à minicanaux. Des essais sont effectués sur la boucle seule afin de caractériser son fonctionnement et de déterminer ses performances énergétiques. D'autres essais sont faits lors de l'installation de la boucle de refroidissement dans l'armoire de télécommunication. Le but de ces essais est de mettre en évidence les performances thermiques du refroidissement par une boucle diphasique en le comparant au refroidissement par convection forcée.

## 2. Dispositifs expérimentaux

### 2.1. Dispositif de tests sur la boucle diphasique

Le dispositif expérimental conçu pour cette étude est représenté sur la figure 1a. Il se compose de deux sources : un évaporateur et un condenseur. L'évaporateur est disposé généralement en contact direct ou indirect avec le système à refroidir afin de dissiper ses calories. La vapeur produite par changement de phase est envoyée vers le condenseur afin d'être liquéfiée. Le condenseur et l'évaporateur sont raccordés par des tubes pour le transport de la vapeur de l'évaporateur vers l'entrée du condenseur (la ligne vapeur) et pour le retour du condensat du condenseur vers l'entrée de l'évaporateur (la ligne liquide). L'évaporateur 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 (voir figure 1 b). 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 longueur 90cm. La chambre liquide est raccordée à la sortie du condenseur par un tuyau du même type et de longueur 95 cm. Le condenseur utilisé dans la boucle d'essais, est un échangeur à tubes coaxiaux refroidi par une circulation d'eau de refroidissement à contre courant par rapport à la vapeur du fluide caloporteur. Le débit d'eau de refroidissement ainsi que sa température d'entrée et de sortie sont mesurés afin d'évaluer la puissance utile pour condenser la vapeur. La boucle est équipée de quatre capteurs de pression placés à l'entrée et à la sortie de l'évaporateur et du condenseur. Des thermocouples sont placés à l'entrée et à la sortie du condenseur et de l'évaporateur pour mesurer les températures du fluide caloporteur.

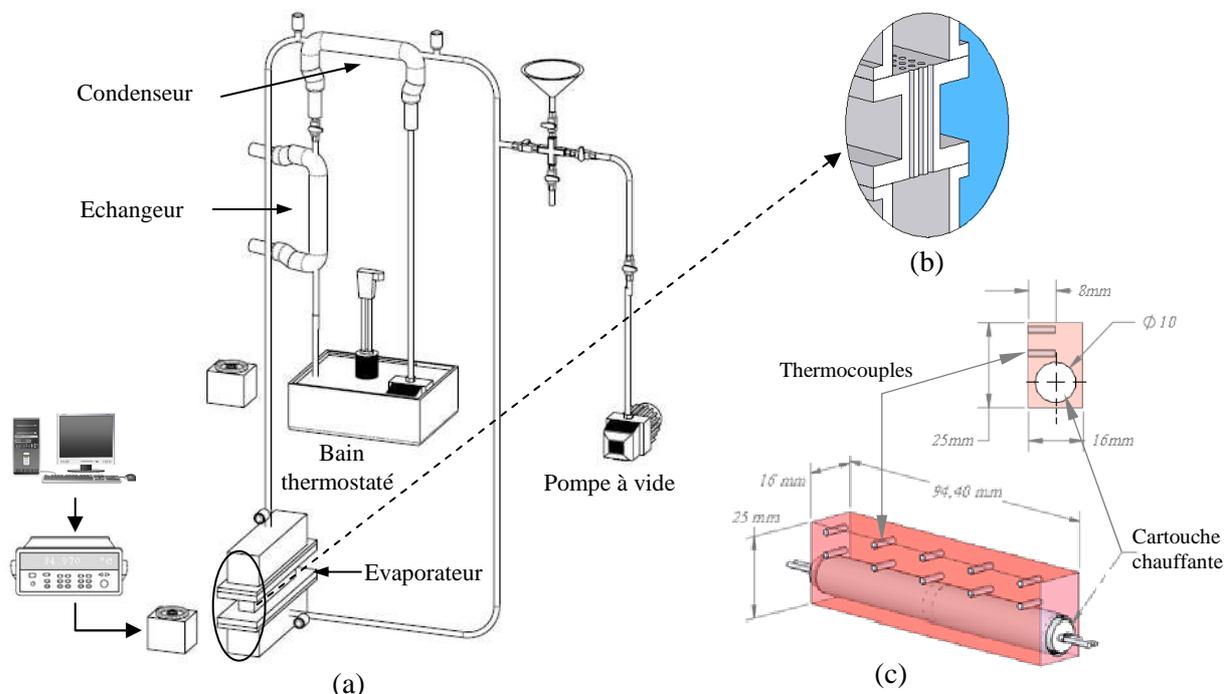


Figure 1 : Schéma de principe : (a) banc d'essais, (b) section d'essais, (c) bloc chauffant.

La base de la chambre liquide est en contact direct avec un bloc chauffant en cuivre contenant deux cartouches cylindriques de diamètre 10 mm et d'une puissance maximale de

400 W chacune (figure 1c). L'ensemble bloc chauffant et évaporateur est isolé thermiquement pour éviter toute dissipation thermique vers le milieu ambiant. Des thermocouples chromel-alumel de 75µm de diamètre sont insérés dans le bloc chauffant. Ils sont placés sur deux niveaux à 2 mm et à 9 mm par rapport à la surface de contact entre le bloc chauffant et le réservoir liquide. Les premiers thermocouples sont placés à 7 mm du bord du bloc chauffant. Un espacement de 20 mm est utilisé entre tous les thermocouples. Pour assurer un meilleur contact entre la soudure des thermocouples et le bloc en cuivre, les thermocouples sont insérés dans des trous remplis par de l'étain.

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 cartouches chauffantes. 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.

## 2.2. Installation de la boucle dans l'armoire de télécommunication

La boucle de refroidissement est installée dans un prototype d'armoire de télécommunication de France Télécom comme le montre la figure 2.

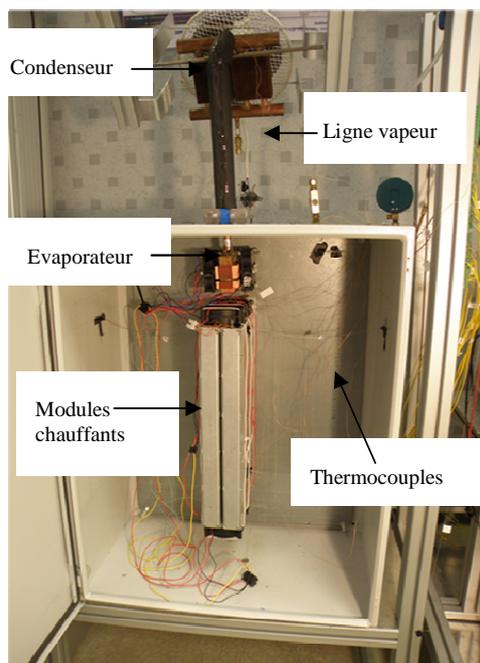


Figure 2 : Photo d'une armoire de télécommunication équipée d'une boucle diphasique.

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 en effectuant des mesures de températures dans l'armoire sans le dissipateur (évaporateur). 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. Les essais sont effectués à différentes valeurs de puissance imposées par les blocs chauffants. Chaque puissance est mesurée par un wattmètre et 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.

## 3. Résultats et discussions

### 3.1. Résultats d'essais sur la boucle de refroidissement

Nous avons effectué des essais sur la boucle diphasique en imposant une puissance des cartouches chauffantes allant de 100 W à 350 W. Le créneau de puissances imposées est sous forme d'escalier comme le montre la figure 3. Sur cette même figure on a représenté les

températures de la paroi du bloc chauffant. Au cours de cette série d'essais, le débit d'eau de refroidissement du condenseur ainsi que sa température d'entrée sont maintenus constants. L'écoulement du fluide de refroidissement et celui du condensat sont à contre courant. La répartition de la température de la paroi n'est pas uniforme ; elle est plus importante à proximité de l'entrée de l'évaporateur à cause du retour du n-pentane liquide. Pour  $x=7$  et  $27$  mm, la température de la paroi est plus basse car dans cette zone le fluide caloporteur doit être stagnant et le processus de changement de phase liquide-vapeur est meilleur que vers la zone du retour du condensat qui est à proximité de  $x=87$ mm. Cette répartition de la température de paroi montre que la dissipation locale du flux thermique à la base de la chambre liquide est forcément non uniforme et qu'elle est influencée par les emplacements de l'entrée du fluide caloporteur de l'évaporateur. Ceci est confirmé par les résultats des densités de flux présentés par la figure 3b à différentes locations. La densité de flux thermique est calculée, en utilisant la loi de Fourier, à partir des températures de paroi mesurées à  $2$  ( $y=23$ mm) et à  $9$ mm ( $y=16$ mm) de la base de la chambre liquide.

$$q_{p,x} = \lambda_p \left( \frac{T_{p,x,(y=16\text{mm})} - T_{p,x,(y=23\text{mm})}}{\Delta y} \right) \quad (1)$$

$\lambda_p$  est la conductivité thermique du cuivre ( $389\text{W/m}^{-1}\text{K}^{-1}$ ),  $\Delta y$  représente l'espacement mesuré suivant la verticale à la surface d'échange et qui sépare deux thermocouples placés à la même abscisse  $x$ .

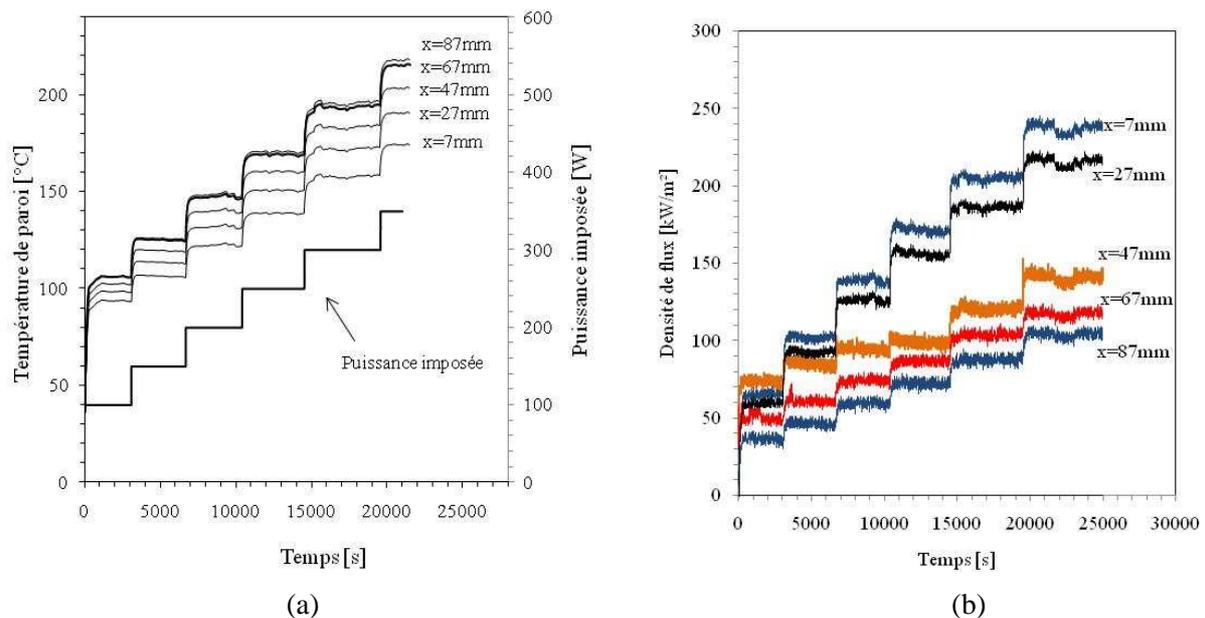


Figure 3 : Valeurs temporelles mesurées (a) puissance imposée et températures de paroi mesurées, (b) densité de flux thermique.

On remarque que la densité de flux thermique dissipée diminue au fur et à mesure qu'on s'approche de l'entrée de l'évaporateur (figure 3b). Dans cette zone, le fluide caloporteur présente une température plus froide que dans les autres zones après son passage dans le condenseur. La résistance thermique est donc augmentée dans cette zone.

Les évolutions temporelles des températures du fluide caloporteur à l'entrée et à la sortie de l'évaporateur et du condenseur sont représentées dans les figures 4a et 4b. La montée de la température à l'entrée du condenseur indique l'arrivée de la vapeur dans cette zone et le déclenchement de la boucle. La température de la vapeur mesurée à l'entrée du condenseur s'est stabilisée en moins d'une minute. La figure 4b montre que la montée en température à

l'entrée du condenseur est pratiquement verticale au démarrage. Ceci montre que le temps de démarrage de la boucle est extrêmement rapide. En général, les températures à l'entrée et à la sortie de l'évaporateur et du condenseur augmentent avec la puissance imposée.

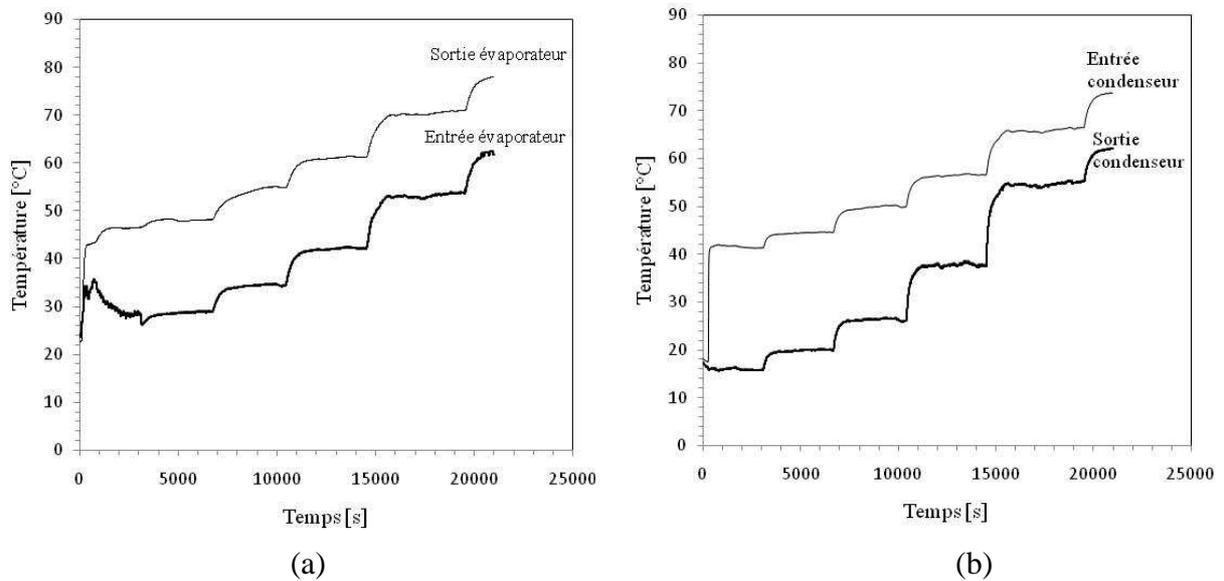


Figure 4 : Evolutions temporelles des températures du n-pentane :(a) évaporateur, (b) condenseur.

A partir des résultats d'essais (figure 4a et b), on constate que l'écart entre les températures mesurées à l'entrée et à la sortie de l'évaporateur diminue très faiblement en augmentant la puissance imposée. On note qu'en augmentant la puissance de 150 à 350W, cet écart de températures chute d'environ 3°C seulement contrairement à celui relevé entre les températures d'entrée et de sortie du condenseur qui baisse d'environ 11°C. En effet, l'augmentation de la puissance imposée s'accompagne par une augmentation du débit massique évaporé dans la boucle et une diminution de la résistance thermique de la boucle (comme la montre la figure 5). Cette résistance est calculée par le rapport entre l'écart entre les températures d'entrée de l'évaporateur et du condenseur et la densité du flux thermique imposée. Sachant que l'eau de refroidissement au condenseur est maintenue à une température d'entrée et un débit constants, le sous refroidissement du n-pentane condensé à la sortie du condenseur est, par conséquent, réduit lorsque le débit de la vapeur produite augmente. Au niveau de l'évaporateur, aucune surchauffe ne peut être obtenue tant qu'une masse liquide est présente dans la chambre liquide. La figure 6 présente la perte de pression mesurée au niveau de chaque composant de la boucle. Le maximum est enregistré au niveau de l'évaporateur dans lequel l'écoulement de la vapeur s'effectue dans des minicanaux de 1,5mm de diamètre.

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

La figure 7 compare la température de fonctionnement de l'armoire mesurée en utilisant deux modes de refroidissement. Le premier est par convection forcée où les températures de fonctionnement sont importantes et atteignent des températures dépassant celle imposée par la norme ETSI (53°C) lorsque la puissance dans l'armoire dépasse 220W. Le second mode de refroidissement utilise la boucle thermosiphon décrite dans le paragraphe 2. La figure 7 montre qu'avec ce dernier mode de refroidissement la température de fonctionnement est réduite et tend à se stabiliser à hautes puissances. La température maximale atteinte est d'environ 50°C pour une puissance de 450W.

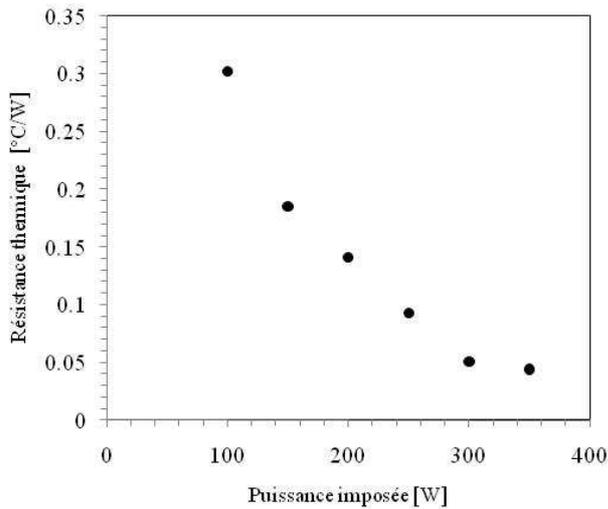


Figure 5 : Résistance thermique de la boucle.

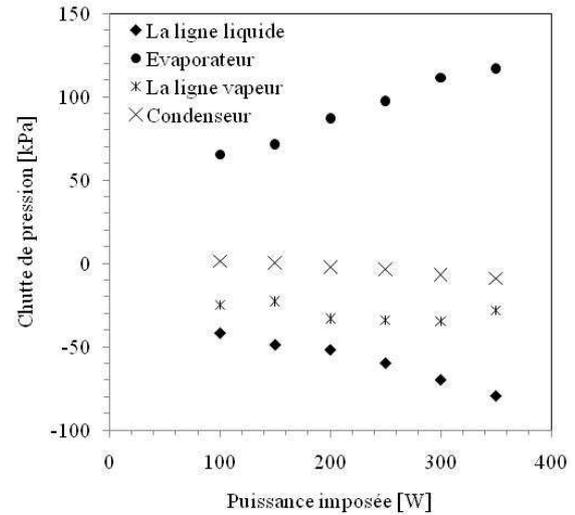


Figure 6 : Chute de pression.

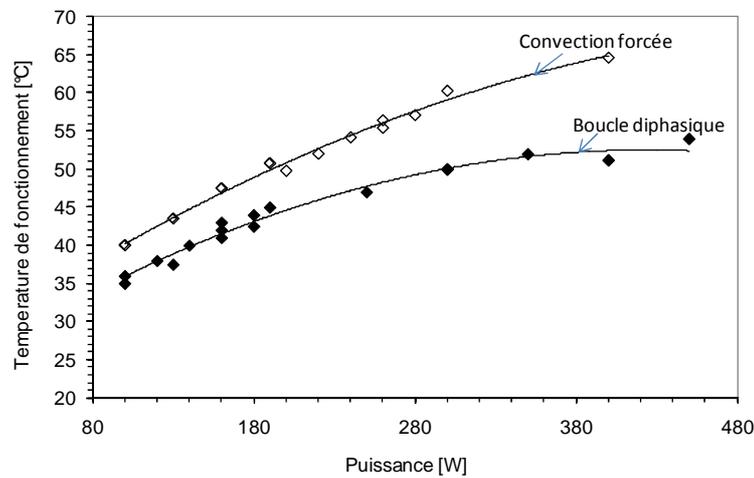


Figure 7 : Température de fonctionnement de l'armoire

## 4. Conclusion

Dans cet article, nous avons présenté les résultats d'une étude expérimentale sur une boucle diphasique destinée au refroidissement des équipements de télécommunication. Les résultats expérimentaux présentés dans cet article montrent les performances obtenues en utilisant un mode de refroidissement en boucle diphasique. Ces performances semblent intéressantes pour un refroidissement passif de matériels déployés dans un réseau de télécommunication. En effet, le fait de pouvoir utiliser un système de conditionnement d'air autonome et ne nécessitant aucune énergie est à promouvoir dans un cadre de réduction de consommation énergétique global.

## Références

- [1] ETSI EN 300 019-1-3, Environmental 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.