



HAL
open science

Etude d'un système de refroidissement basé sur l'utilisation d'une pompe électro-osmotique

Youcef Berrouche, Yvan Avenas, Todor Stanchev

► **To cite this version:**

Youcef Berrouche, Yvan Avenas, Todor Stanchev. Etude d'un système de refroidissement basé sur l'utilisation d'une pompe électro-osmotique. EPF 2008 XIIème colloque Electronique de Puissance du Futur, Jul 2008, Tours, France. pp.183-188. hal-00294833

HAL Id: hal-00294833

<https://hal.science/hal-00294833>

Submitted on 10 Jul 2008

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Etude d'un Système de Refroidissement Basé sur l'Utilisation d'une Pompe Electro-Osmotique

Youcef Berrouche, Yvan Avenas, Todor Stanchev
G2ELab – Grenoble Universités
BP 48 – 38402 Saint Martin d'Hères Cedex – France

Résumé : le refroidissement de l'électronique de puissance se caractérise souvent par de très hautes densités de flux de chaleur à évacuer. Il est donc nécessaire d'utiliser des solutions d'extraction de la chaleur adaptées : convection forcée liquide, caloducs, boucles à pompage capillaire... Dans le cas du refroidissement par convection forcée, un des points sensibles est la pompe. Nous proposons dans cet article d'étudier la possibilité de remplacer la pompe mécanique classique par une pompe électro-osmotique. Une pompe basée sur l'utilisation d'un milieu poreux en céramique paraît bien adaptée pour cette application. Après avoir fait quelques rappels sur le pompage par électro-osmose, nous présentons et testons un prototype fonctionnant en tension alternative qui est ensuite introduit dans un système de refroidissement.

I. INTRODUCTION

Les composants actifs de puissance tels que les IGBT ont une température maximale de fonctionnement qui varie en fonction de la technologie employée mais qui, en général, se situe autour de 150°C. Il s'en suit que le courant maximal admissible en régime permanent est en général non pas limité par des limites électriques et physiques intrinsèques aux composants mais plutôt par leur environnement et en particulier par leur système de refroidissement. Ainsi, si il est efficacement refroidi, un IGBT peut sans problème dissiper des flux de chaleur de plusieurs centaines de Watt par centimètre carré.

Dans la plupart des cas, il est illusoire de vouloir évacuer de tels niveaux de densité de flux de chaleur avec, en prime, des valeurs de pertes totales souvent de plusieurs centaines de W avec de simples dissipateurs à air. Pour cela, il est possible d'utiliser un fluide caloporteur qui a de meilleures propriétés thermiques afin d'extraire la chaleur de la zone proche des composants et de l'évacuer dans le milieu ambiant dans une zone ayant une surface d'échange plus importante (figure 1). Dans ce cas, on arrive à dissiper localement des densités de puissance de plusieurs centaines de W/cm² en utilisant des technologies à base de minicanaux ou de microcanaux avec ou sans ébullition [1] ou encore en utilisant des jets ou des sprays [2].

Il est à noter que la circulation du fluide peut être réalisée avec ou sans pompe. Le deuxième cas paraît préférable car la pompe est en général source de bruit, d'encombrement et de défaillances à cause des pièces mécaniques en mouvement. On préfère donc dès que possible s'en passer. Pour cela, il existe des systèmes totalement autonomes comme les caloducs, les caloducs pulsés et les boucles à pompage capillaire. Néanmoins les caloducs et caloducs pulsés ne permettent pas d'avoir une distance très importante entre l'électronique et le dissipateur (<1 m) et, comme les boucles à pompage capillaire, sont rapidement limités en terme de densités de flux maximales évacuables. En effet, les meilleurs résultats présentent des valeurs de l'ordre de 200 W/cm² [3].

Afin d'éliminer les différents problèmes précédemment cités, nous avons étudié la possibilité d'utiliser une pompe électrocinétique c'est-à-dire une pompe qui est actionnée

par un champ électrique. L'intérêt que nous voyons dans ce type de pompage en électronique de puissance, c'est qu'en général, il y a présence d'une tension de bus continu de plusieurs centaines de Volt, tension qui peut être réutilisée avec intérêt pour alimenter la pompe. Plus particulièrement, nous verrons par la suite l'intérêt des pompes électro-osmotiques. Nous présenterons tout d'abord leur principe puis nous aborderons la réalisation d'un prototype de pompe construite autour d'une céramique poreuse puis nous exposerons les résultats des tests et discuterons des potentialités de cette pompe pour le refroidissement des composants de puissance.

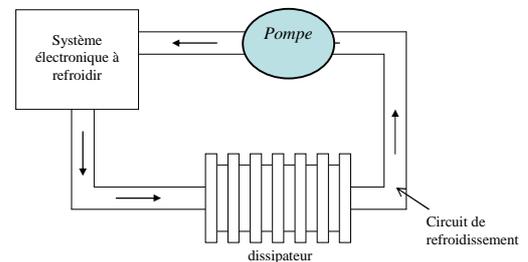


Figure 1 : Principe d'un système de refroidissement avec fluide caloporteur intermédiaire.

II. LE POMPAGE PAR ELECTRO-OSMOSE

A. Principe de l'électro-osmose

Le principe de base des applications utilisant l'électro-osmose repose sur la formation et la manipulation de la double couche électrique (figure 2) qui se crée lorsqu'un liquide est en contact avec une solide isolant hydrophile.

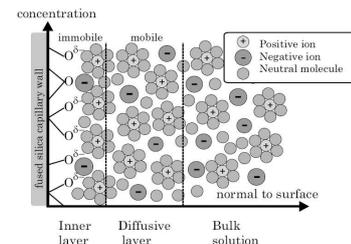


Figure 2 : Double couche électrique

En effet, dans ces conditions, la surface du solide se charge ce qui a pour effet d'attirer les ions de charge opposée contenus dans le liquide et ainsi de créer une couche chargée électriquement dite de Debye. Cette couche de Debye est constituée elle-même de deux couches : la plus proche du solide (couche de Stern) est complètement immobile à cause des forces d'attraction moléculaires importantes et la deuxième (couche diffuse) est, elle, mobile. On appellera longueur de Debye λ la longueur de cette double couche électrique. Elle peut être calculée par la relation suivante [4]

$$\lambda = \sqrt{\frac{\epsilon k_B T}{2e^2 z^2 n}} \quad (1)$$

avec ϵ la permittivité du liquide, k_B la constante de Boltzmann, T la température, e la charge de l'électron, z le nombre de valence et n la concentration ionique des contre-ions.

L'existence d'une densité de charge à la paroi engendre alors une variation du potentiel électrique. Ce potentiel appelé potentiel interne varie en général comme indiqué sur la figure 3. Le potentiel zeta ζ est le potentiel maximal dans la double couche électrique. Il est fortement dépendant du pH de la solution et du type de matériau utilisé comme le montre la figure 4. Ainsi, pour un matériau et un pH donnés, il peut y avoir présence de charges positives ou négatives, voire pas de charges du tout (point isoélectrique) dans la double couche électrique.

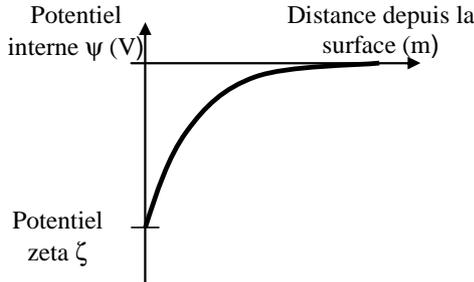


Figure 3 : Evolution du potentiel interne

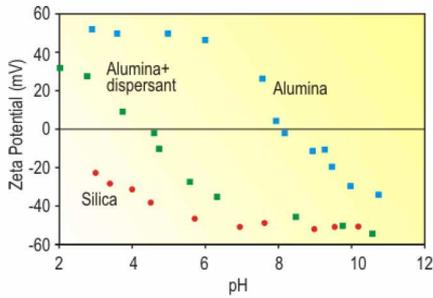


Figure 4 : Evolution du potentiel zeta en fonction du pH pour la silice et l'alumine [5]

B. Principe du pompage électro-osmotique

En présence de la double couche électrique, si on applique un champ électrique tangentiellement à la surface, des forces de Coulomb peuvent se développer et mettre en mouvement les ions de la couche diffuse. Dans le cas d'un canal de petite dimension (figure 5), les liaisons visqueuses entre les ions et les molécules du liquide vont ensuite permettre au fluide de se déplacer dans son ensemble.

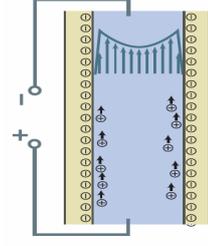


Figure 5 : Pompage dans un canal de petite dimension

Le calcul de la vitesse dans un canal circulaire a été effectué par Rice et Whitehead [6]. Ils ont obtenu la formulation suivante :

$$u(r) = \frac{-a^2}{4\mu} \frac{\Delta P}{l_c} \left(1 - \frac{r^2}{a^2}\right) - \frac{\epsilon \zeta \cdot E}{\mu} \left(1 - \frac{\psi(r)}{\zeta}\right) \quad (2)$$

où a est le rayon du canal, μ la viscosité cinématique, ΔP la pression imposée par l'extérieur du canal, l_c la longueur du canal, r la distance au centre du canal et E le champ tangentiel. Pour effectuer le calcul, les auteurs montrent qu'il est possible d'utiliser la formulation suivante pour obtenir la valeur du potentiel interne à l'intérieur du canal.

$$\psi(r) = \zeta \cdot \frac{I_0\left(\frac{r}{\lambda}\right)}{I_0\left(\frac{a}{\lambda}\right)} \quad (3)$$

avec I_0 la fonction de Bessel modifiée d'ordre 0. Ensuite, si on intègre la vitesse sur toute la section du canal, on peut obtenir la caractéristique de la pompe obtenue c'est-à-dire la relation entre le débit et la pression :

$$\Delta P = \Delta P_m \left(1 - \frac{Q}{Q_m}\right) \quad (4)$$

avec Q_m le débit maximal et ΔP_m la pression maximale définis par :

$$Q_m = -\frac{\pi a^2 \zeta \epsilon E}{\mu} \cdot \left(1 - \frac{2}{a/\lambda} \frac{I_1(a/\lambda)}{I_0(a/\lambda)}\right) \quad (5)$$

$$\Delta P_m = \frac{8\zeta \epsilon E l_c}{a^2} \cdot \left(1 - \frac{2}{a/\lambda} \frac{I_1(a/\lambda)}{I_0(a/\lambda)}\right) \quad (6)$$

III. APPLICATION EN ELECTRONIQUE DE PUISSANCE

A. Caractéristique du système de pompage

Dans cet article, nous limitons l'étude à des systèmes de puissance de quelques kW. Dans ce type d'application, les pertes sont donc inférieures au kW. En faisant un bilan énergétique, il est alors possible de calculer quel est le débit nécessaire pour refroidir le système avec un fluide donné. Dans le cas d'un refroidissement avec convection forcée monophasique, les pertes P_e peuvent être reliées au débit Q et à l'augmentation de température ΔT autorisée à l'intérieur du refroidisseur par la relation suivante :

$$P_e = \rho \cdot C_p \cdot Q \cdot \Delta T \quad (7)$$

avec ρ la masse volumique du fluide et C_p sa chaleur spécifique.

Dans le cas d'un refroidissement en convection forcée avec changement de phase et pour lequel le fluide rentre à la température de saturation et un titre massique égal à 0, les pertes peuvent être reliées au débit du liquide à l'entrée du refroidisseur par la relation suivante :

$$P_e = \rho.Q.L \quad (8)$$

avec L la chaleur latente de vaporisation.

En appliquant ces relations pour des pertes totales de 1kW et une augmentation de température maximale de 50°C, nous obtenons par exemple les débits suivants pour l'eau : Q=290ml/mn en monophasique et Q=28ml/mn en diphasique ;

Pour la pression, il est plus difficile de calculer un ordre de grandeur pour un cahier des charges aussi peu précis. Les pertes de pression dans le circuit global dépendront en effet fortement de la géométrie du circuit hydraulique et de la technologie utilisée pour réaliser le refroidissement sous les composants à refroidir et pour réaliser l'échangeur (voir figure 1). Par exemple, Hahn [7] a étudié des refroidisseurs de dimension 51*51mm² avec des microcanaux de 80µm de large et de 320µm de haut. Il obtient des pertes de pression de 1.2 bar pour 1 l/mn d'eau. Cette valeur reste très élevée de par la petite section des microcanaux. Dans le cas d'un refroidissement avec ébullition, le débit est plus faible ce qui entraîne de plus faibles pertes de pression. Meysenc [1] montre que, pour un écoulement d'eau en ébullition à 5 ml/mn et un titre thermodynamique de 0.3 à la sortie du canal de 1cm de long et 1mm de diamètre, les pertes de pression sont seulement de 2 kPa. Nous pouvons donc conclure que les pressions nécessaires à notre système de refroidissement seront comprises entre quelques kPa et une centaine de kPa (1 bar).

Maintenant que nous avons donné les ordres de grandeurs de débit et de pression, nous allons voir si les pompes électro-osmotiques peuvent être adaptées à un tel système.

B. Potentialités des pompes électro-osmotiques

Si nous appliquons les relations (5) et (6) à un canal circulaire de rayon 5µm, de longueur 4 cm rempli d'eau déionisée soumis à une différence de potentiel de part et d'autre de 1kV, nous obtenons un débit de 8.2*10⁻⁶ ml/mn et une pression de 22kPa. Nous voyons donc que la pression peut être suffisante mais que le débit est très nettement inférieur à celui requis. Pour augmenter le débit, il est possible d'augmenter le rayon du canal (relation (5)) mais malheureusement, cela a pour effet de diminuer la pression maximale (relation (6)). L'augmentation du débit doit donc passer par une mise en parallèle de pompes de très petites dimensions. Ceci permet d'augmenter la surface de fluide (donc le débit) tout en gardant une pression identique.

De nombreux auteurs ont proposé des géométries répondant à ce critère. On notera en particulier Morf et coll. [8] qui ont caractérisé des micropompes en parallèle (figure 6). Ils montrent que le débit augmente bien lorsque le nombre de pompe en parallèle augmente mais le débit obtenu pour une tension de 1kV et une solution aqueuse de 10mM de borax reste de l'ordre de 25 nl/mn.

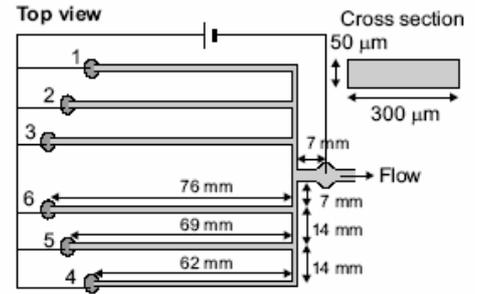


Figure 5 : Plusieurs pompes en parallèle

Afin d'obtenir des débits plus importants, Zeng et al. [9] proposent d'utiliser une structure poreuse à base de silice de 40 mm de diamètre et de 2 mm d'épaisseur (figure 6). Ils obtiennent un débit maximum de 7 ml par minute et une pression de 2.4 bar avec une tension de 200V et une solution aqueuse de 1mM de tetraborate de sodium. Cette structure, qui paraît plus adaptée à notre cahier des charges, se comporte alors comme une multitude de canaux en parallèle de rayon le rayon moyen de pore a_{eff} et de longueur $\tau * l$ avec τ la tortuosité et l l'épaisseur de la structure poreuse. Nous pouvons noter sur la figure 6 que le passage du courant va entraîner l'électrolyse de l'eau et donc une production d'hydrogène et d'oxygène. Ce problème est résolu en utilisant un catalyseur permettant de créer la réaction inverse.

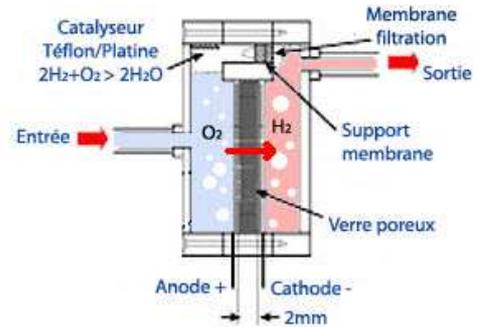


Figure 6 : Pompe proposée par Zeng et al.

En réutilisant les relations (5) et (6), nous pouvons assez simplement estimer la pression maximale et le débit maximal fourni par une pompe à base d'un matériau poreux :

$$Q_m = \frac{\Psi.A.\zeta\varepsilon V}{\mu.l.\tau} \cdot \left(1 - \frac{2}{a_{eff}/\lambda} \frac{I_1(a_{eff}/\lambda)}{I_0(a_{eff}/\lambda)}\right) \quad (9)$$

$$\Delta P_m = \frac{8\zeta\varepsilon V}{a_{eff}^2} \cdot \left(1 - \frac{2}{a_{eff}/\lambda} \frac{I_1(a_{eff}/\lambda)}{I_0(a_{eff}/\lambda)}\right) \quad (10)$$

avec Ψ la porosité et V la différence de potentiel appliquée de part et d'autre du disque de silice poreuse.

Cette dernière solution paraissant prometteuse, nous allons par la suite proposer la réalisation d'une pompe utilisant un disque de céramique poreuse en vue de la tester dans une boucle de refroidissement.

IV. REALISATION ET TEST D'UNE POMPE

A. Description du dispositif

Le prototype de pompe que nous avons réalisé est construit de manière à ce qu'il puisse être testé avec différents fluides. En particulier, nous voulons le tester avec de l'eau déionisée qui semble être assez bien adaptée pour un refroidissement avec changement de phase (pas de dépôt lors de l'évaporation). Zeng et al. [9] ont testé leur pompe avec une solution de tétraborate de sodium afin de stabiliser le pH. Afin de nous affranchir des problèmes de pH, nous avons préféré laisser la possibilité d'ajouter des membranes d'échange ionique de part et d'autre du disque poreux [4] (figure 7). Afin de ne pas introduire de bulles dans le circuit hydraulique, nous avons utilisé des électrodes en carbone recouverte d'une pellicule de platine. Ces électrodes sont alimentées avec une tension de forme carrée alternative. Ainsi, la même électrode produit consécutivement de l'hydrogène et de l'oxygène. La platine est un catalyseur pour reconstituer l'eau à partir de ces deux gaz. La tension de forme carrée implique un écoulement du fluide dans les deux sens. Nous avons donc rajouté un système de clapets anti-retour autour de la pompe afin de rendre cet écoulement unidirectionnel pour le circuit extérieur (figure 8).

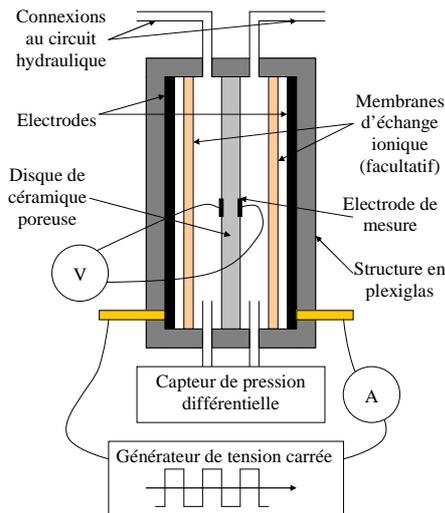


Figure 7 : Principe du prototype réalisé

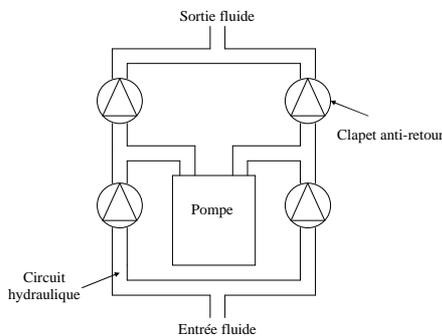


Figure 8 : Redressement de l'écoulement

Le disque de céramique poreuse que nous avons utilisé a un diamètre de 5 cm. Ce disque est constitué de silice poreuse et a une épaisseur de 3.5 mm. Il a été fabriqué par la société Robu gmbh (Allemagne). Hormis le diamètre des disques, les dimensions et les propriétés granulométriques

de ce disque poreux n'ont pas été choisies mais plutôt imposées par le fabricant. Après leur achat, nous avons mesuré la porosité ($\Psi=39\%$), la tortuosité ($\tau=1.18$) et le rayon moyen de pore ($a_{eff}=0.75$). Des premiers tests avec une tension continue et de l'eau déionisée ont permis de valider les modèles de pression et de débit. Ces résultats sont présentés dans la référence [10]. Dans ces tests, une tension de 200V a été appliquée sur les électrodes mais la tension utile sur les faces du disque était seulement de 20 V à cause de l'écartement entre les électrodes et la céramique poreuse ce qui a eu tendance à limiter le débit.

Dans les tests que nous allons présenter par la suite, nous avons utilisé une tension en créneaux avec un milieu plus conducteur afin d'augmenter la tension aux bornes du disque et donc d'augmenter le débit. Pour cela, nous utiliserons du tétraborate de sodium (conductivité $55\mu S$) afin de stabiliser le pH autour de 9. Les tests seront donc effectués sans membrane d'échange ionique.

B. Tests

Lors de ces tests, nous avons mesuré le débit maximal de la pompe. Afin de faire cette mesure, nous avons utilisé 2 bacs de liquide disposés de part et d'autre de la pompe et dont l'altitude est identique. Un des deux bacs est soutenu par une balance qui permet, après dérivation, de déterminer le débit du fluide.

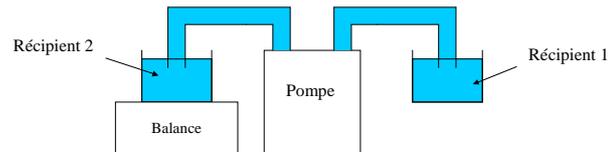


Figure 9 : Principe de mesure du débit

Mesures à fréquence 0,02 Hz

Nous avons effectué les tests avec une tension de +/- 200V. Les figures 10 et 11 représentent l'évolution du courant et du débit dans ces conditions. Nous voyons sur ces deux figures que le courant dans la pompe est proche de 60mA et que le débit vaut 20ml/mn. Néanmoins, nous pouvons observer que le débit n'est pas totalement symétrique ce qui est difficilement explicable au vu de la symétrie du dispositif. Il est également à noter que nous avons vu apparaître des bulles dans la pompe. Il est possible que la présence de ces bulles ait entraîné cette dissymétrie de fonctionnement. Afin d'éliminer l'apparition des bulles, nous avons décidé d'augmenter la fréquence d'utilisation.

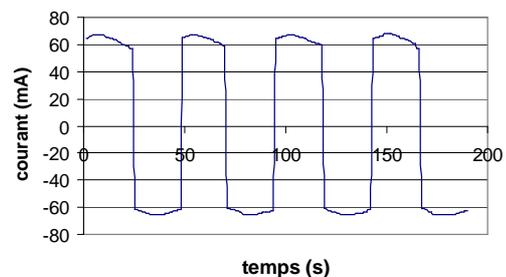


Figure 10 : Courant dans la pompe pour une fréquence de 0,02Hz et une tension de 200V

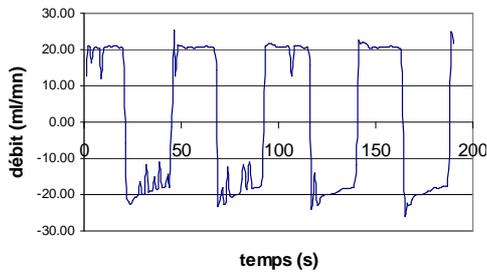


Figure 11 : Débit dans la pompe pour une fréquence de 0,02Hz et une tension de 200V

Mesures à fréquence 0,4 Hz

Les mesures que nous avons effectuées à cette fréquence nous ont permis d'obtenir des formes d'onde de courant et de débit quasiment identiques à celles présentées pour la fréquence de 0.02 Hz. Nous avons remarqué qu'aucune bulle n'est apparue lors de la première demi-heure de fonctionnement.

D. Conclusion des tests

Les tests que nous avons menés nous ont permis de mettre en évidence le fonctionnement d'une pompe électro-osmotique utilisant un milieu poreux en céramique et alimentée en courant alternatif. Le débit obtenu est proche de 20 ml/mn. Nous avons pu mettre en évidence l'influence de la fréquence de fonctionnement sur la génération de bulles. Il est probable qu'une meilleur catalyse aurait pu diminuer leur apparition. La mesure du courant nous renseigne sur la puissance dissipée par la pompe. La tension étant de 200V et le courant de 60mA, cette puissance est donc de 12W. Ceci s'est donc traduit par une température du fluide très importante au bout de plusieurs heures de test. Il est probable que cette augmentation de température soit à la source de l'apparition de petites bulles dues à l'évaporation du fluide dans le circuit hydraulique proche de la pompe. L'amélioration du rendement de cette pompe devra donc passer par la mise en œuvre d'électrodes les plus rapprochées possible de disque de céramique afin de pouvoir utiliser des fluides moins conducteurs et éviter ainsi de tels niveaux de dissipation thermique. Enfin, nous avons vu que les phénomènes ne sont pas tout à fait symétriques. Si nous voulons avoir un système qui soit totalement équilibré au niveau des réactions chimiques aux électrodes, il est probable qu'une commande en courant soit plus adaptée qu'une commande en tension.

Afin de valider le fonctionnement de la pompe avec des clapets anti-retour, nous l'avons introduite dans une boucle de refroidissement.

V. MISE EN OEUVRE DANS UN SYSTEME DE REFROIDISSEMENT

A. Présentation du système

Au vu des débits présentés dans la partie précédente et des valeurs données dans le paragraphe III.A, nous avons décidé de travailler avec un refroidisseur à convection forcée avec changement de phase. Meysenc [1] a montré que les refroidisseurs à mini-canaux (de diamètre supérieur au mm) permettaient de dissiper des densités de flux très importantes c'est-à-dire supérieures à 350 W/cm² au niveau du composant. Nous avons donc réalisé un refroidisseur de

ce type (voir figure 11). Le matériau utilisé est du cuivre. Les canaux ont été usinés par électroérosion. Ce refroidisseur a été mis en série avec le système de pompage et un réservoir (figure 12). De part et d'autre du refroidisseur, nous avons utilisé un thermocouple pour mesurer la température d'entrée T_e et la température de sortie T_s du fluide caloporteur. Un troisième thermocouple a été inséré dans le refroidisseur afin de mesurer la température de la paroi. Un débitmètre nous a permis de mesurer le débit en temps réel. La dissipation de puissance a été réalisée à l'aide d'une résistance en silicium de section 1cm².

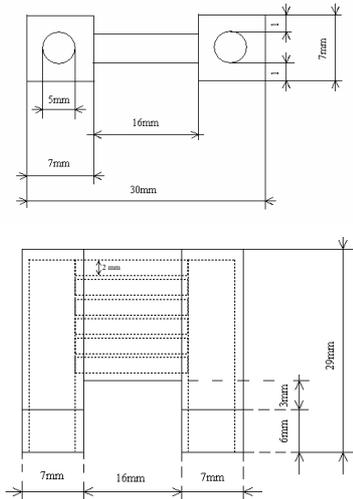


Figure 12 : Dimensions du refroidisseur

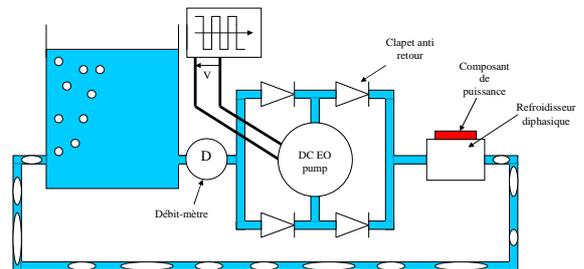


Figure 13 : Boucle de refroidissement

Le fluide caloporteur est une solution aqueuse de tétraborate de sodium. Nous avons diminué la conductivité du fluide par rapport aux tests présentés dans la partie précédente à 35 μ S afin de réduire l'échauffement de la pompe et ainsi pouvoir rallonger la durée des tests. La fréquence de la source de tension de la pompe est de 0.4 Hz et la tension égale à +/- 200V. Nous avons mesuré un débit moyen proche de 11ml/mn. Nous avons remarqué que le débit était très irrégulier du fait du changement de polarité de la source de tension. En effet, lors du changement de sens du débit, il y a une forte fluctuation de ce dernier probablement dû à la présence des clapets anti-retour qui ne commutent pas instantanément. Ainsi, pour un débit de 15ml/mn en fonctionnement de la pompe en continu, nous obtenons en alternatif une forte fluctuation du débit ce qui entraîne une valeur moyenne plus faible.

B. Résultats expérimentaux

La figure 14 présente l'évolution de la température de la paroi du refroidisseur, de la température du fluide à l'entrée de ce même refroidisseur et de la température à la sortie.

Nous avons également représenté la résistance thermique du refroidisseur définie comme la différence entre la température du refroidisseur et la température d'entrée, divisée par le flux de chaleur. Nous pouvons observer que les températures du refroidisseur et de la sortie augmentent quasiment linéairement (i.e. résistance thermique quasi constante) jusqu'à une puissance proche de 60W. A partir de cette valeur de flux, le fluide commence à s'évaporer et donc la température de sortie reste proche de 100°C c'est-à-dire proche de la température de saturation de l'eau à 1 bar. De son côté la température du refroidisseur reste assez stable puisque la résistance thermique diminue sous l'influence de la forte augmentation du coefficient d'échange due à l'ébullition.

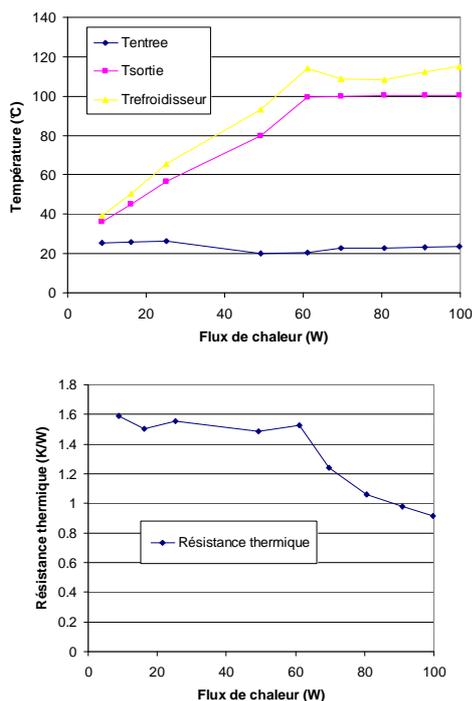


Figure 14 : Evolution des températures et de la résistance thermique du système en fonction du flux de chaleur

D. Conclusion des tests

Dans cette partie, nous avons pu mettre en évidence que la pompe électro-osmotique pouvait être utilisée pour refroidir un composant de puissance puisqu'une densité flux de 100W/cm² a été évacuée au niveau du composant dissipant. Nous aurions pu augmenter assez largement cette puissance en augmentant la tension d'entrée de la pompe ce qui aurait eu pour intérêt d'augmenter le débit. Nous avons cependant limité le niveau de tension car le courant mesuré était de l'ordre de 30mA ce qui a entraîné un échauffement assez important de la pompe et donc nous a limité sur la durée des tests. Cet échauffement a entraîné également l'apparition de bulles qu'il a fallu évacuer entre 2 batteries de tests.

VI. CONCLUSION

Dans cet article, nous avons voulu discuter sur les potentialités des pompes électro-osmotiques pour le refroidissement des composants de puissance. Pour cela, nous avons présenté une brève étude bibliographique montrant qu'il est possible d'obtenir des débits de plusieurs

ml/mn. Nous avons ensuite présenté la réalisation d'un prototype de pompe basée sur l'utilisation d'une céramique poreuse. Nous avons en particulier mis l'accent sur l'utilisation d'une source de tension alternative afin d'éviter la présence de bulles dans le circuit hydraulique. L'élimination des bulles est effectivement montrée mais le fonctionnement en alternatif implique une augmentation interne de la température de la pompe car le fluide reste confiné à l'intérieur contrairement à une utilisation en continu pour laquelle le fluide ne fait que passer. Il est donc important de limiter les pertes en « resserrant » les électrodes et en utilisant des fluides peu conducteurs.

La dernière partie est consacrée au test d'une boucle de refroidissement. L'utilisation d'un refroidisseur avec ébullition montre qu'il est possible d'évacuer des densités de puissance supérieures à 100W/cm². Néanmoins, la durée des tests est limitée par l'échauffement de la pompe. Il est possible que cette durée soit également limitée par des effets électrochimiques. Pour en être sûr, un travail avec des électrochimistes paraît nécessaire afin de valider réellement les potentialités des pompes électro-osmotiques pour le refroidissement des composants de puissance en particulier pour la caractérisation de leur durée de vie.

VII. REFERENCES

- [1] L. Meysenc, « Etude des micro-échangeurs intégrés pour le refroidissement des semi-conducteurs de puissance », Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble, février 1998.
- [2] M. Fabbri, S. Jiang, V.K. Dhir, « A Comparative Study of Cooling of High Power Density Electronics Using Sprays and Microjets », Journal of Heat Transfer, Vol. 127, Janvier 2005, pp 38-48.
- [3] J. Wang, I. Catton, « Biporous Heat Pipes for High Power Electronic Device Cooling », 17th IEEE SEMI-THERM Symposium, 2001, pp. 211-218.
- [4] A. Brask, « Electroosmotic micropumps », Phd thesis, Technical University of Denmark, 2005.
- [5] Ceram Research, "Zeta potential", azom.com
- [6] C.L. Rice, R. Whitehead, "Electrokinetic flow in a narrow capillary", J. Phys. Chem. 69 (1965) 4017.
- [7] R. Hahn, A. Kamp, A. Ginolas, "High power multichip modules employing the planar embedding technique and microchannel water heat sinks", IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology, vol. 20, Dec. 1997, pp. 432-441.
- [8] W.E. Morf, O.T. Guenat, N.F. de Rooij, "Partial electroosmotic pumping in complex capillary systems – Part 1: Principles and general theoretical approach", Sensors and Actuators B, vol. 72, 2001, pp. 266-272.
- [9] S. Zeng, C. Chen, J.C. Mikkelsen, J.G. Santiago, "Fabrication and characterization of electrokinetic micro pumps", Sensors and Actuators B, vol. 79, 2001, pp.107-114.
- [10] Y. Berrouche, Y. Avenas, C. Schaeffer, H-C.Chang, « Réalisation d'une pompe électro-osmotique pour le refroidissement de composants de puissance », 6ème Conférence de la Société Française d'Électrostatique Paris, 7, 8 et 9 Juillet 2008.