



HAL
open science

Etude des déséquilibres entre phases dans un coulis de glace en écoulement dans un échangeur

Abdelmajid Jamil, Youssef Zeraouli, Tarik Kousksou, Jean-Pierre Bedecarrats,
Jean-Pierre Dumas

► **To cite this version:**

Abdelmajid Jamil, Youssef Zeraouli, Tarik Kousksou, Jean-Pierre Bedecarrats, Jean-Pierre Dumas. Etude des déséquilibres entre phases dans un coulis de glace en écoulement dans un échangeur. JITH 2007, Aug 2007, Albi, France. 5p. hal-00162891

HAL Id: hal-00162891

<https://hal.science/hal-00162891>

Submitted on 29 Aug 2007

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 DES DESEQUILIBRES ENTRE PHASES DANS UN COULIS DE GLACE EN ECOULEMENT DANS UN ECHANGEUR

Abdelmajid JAMIL^{*}, Youssef ZERAOULI^{*}, Tarik KOUSKSOU^{*}, Jean-Pierre
BEDECARRATS^{*} et Jean-Pierre DUMAS^{*}

^{*}Laboratoire de Thermique, Energétique et Procédés (LaTEP)
Université de Pau et des Pays de l'Adour - BP1155 - 64013 - Pau – France
a.jamil@etud.univ-pau.fr

Résumé : Il s'agit d'un travail expérimental mené sur un banc d'essais hydrauliques où circule un mélange de glace et d'une solution d'éthanol. Les mesures simultanées des températures et des concentrations de la phase liquide, à l'entrée et à la sortie d'un échangeur, simulant le déstockage, ont révélé l'existence d'un déséquilibre thermodynamique entre les deux phases. L'importance de ce déséquilibre dépend essentiellement des débits et des puissances de chauffe utilisés. Les résultats montrent que plus la puissance augmente ou le débit diminue, plus le déséquilibre thermodynamique est important.

1. INTRODUCTION

Les coulis de glace sont des fluides frigoporteurs diphasiques solide/liquide. Leur grand intérêt énergétique réside dans leur capacité de stocker et de transporter le froid, en particulier, grâce à la chaleur latente de fusion de la glace [1][2].

Le problème essentiel est de savoir si les différentes phases en présence dans le coulis sont en équilibre thermodynamique ou non lors du déstockage statique (cuve de stockage du coulis) ou dynamique (échangeur de déstockage). La maîtrise de ce point est essentielle pour la détermination de la quantité de glace transportée. En effet, c'est cette quantité qui va déterminer les performances énergétiques de toute installation industrielle utilisatrice des coulis de glace.

Afin d'arriver à cet objectif, un protocole expérimental a été mis au point pour permettre de confirmer ou d'infirmer l'existence d'équilibres thermodynamiques au sein d'un coulis de glace [3]. Cette méthode est basée sur la mesure de la concentration de la solution porteuse de deux manières différentes : l'une par la mesure "in situ" des températures du mélange diphasique et l'autre par la mesure directe à l'aide de l'Analyse Calorimétrique Différentielle (ACD) [4]. Si la première méthode suppose la connaissance du diagramme d'équilibre et un mélange en équilibre thermodynamique, la seconde nécessite un étalonnage préalable en température de fusion donnée par le calorimètre en fonction de la concentration.

Les deux techniques appliquées à un mélange eau-éthanol-glace issu d'une cuve de stockage de notre banc d'essais, fournissent deux fractions en glace complètement différentes. Ceci indique que l'équilibre n'est pas établi entre les phases liquides et solides au cours de la phase du déstockage statique [3][5]. Comme suite, à ces travaux nous avons entrepris une étude similaire au sein du coulis de glace en écoulement, en vérifiant la présence ou non d'équilibre thermodynamique entre phases à l'entrée et à la sortie d'un échangeur tubulaire de longueur *1m* et de diamètre intérieur *20mm*.

2. DISPOSITIFS EXPERIMENTAUX

La production du coulis est assurée par un échangeur à surface raclée (ECSR) jouant le rôle de l'évaporateur dans la machine frigorifique. Nous récupérons le mélange diphasique dans une cuve de stockage ouverte de 120 litres comme le montre la figure 1.

Le circuit d'étude est composé de 16 m de tubes isolés et d'une pompe (1) qui permet de faire circuler le fluide dans la boucle d'essais. Le débit massique du coulis de glace est mesuré grâce à un débitmètre à effet Coriolis (2). L'échangeur de chaleur est constitué d'un tube de cuivre (5) autour duquel est enroulée une résistance chauffante (6) dont la puissance est contrôlée par un régulateur (7). Des sondes de températures Pt 100 mesurent la température en entrée et en sortie de l'échangeur T_e et T_s .

La boucle est équipée de deux vannes (3), permettant la réalisation des prélèvements de la solution eau-éthanol (phase liquide) via une micro-seringue. Celle-ci est également équipée d'un thermocouple qui mesure la température à l'endroit exact du prélèvement. L'ensemble du circuit est calorifugé pour éviter les pertes thermiques et les problèmes dus à la condensation sur les tubes.

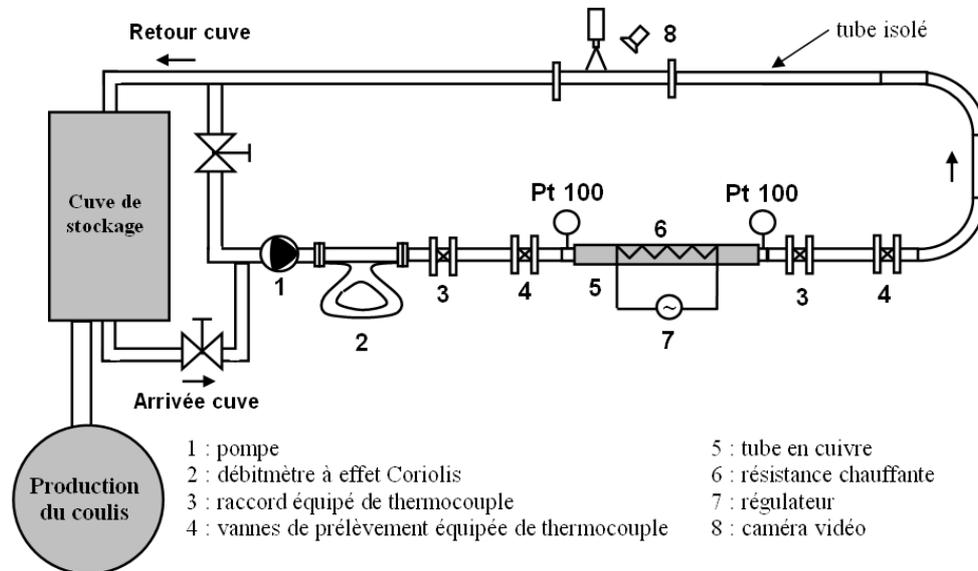


Figure 1 : Boucle d'essais de l'étude du coulis de glace

3. PROTOCOLE EXPERIMENTAL

Nous avons mis au point une procédure expérimentale pour l'ensemble de nos expériences. A partir du groupe froid nous fabriquons une solution diphasique à environ 30% de glace en pourcentage massique, avec une solution eau-éthanol de concentration initiale $w_{ai}=0,09$. Toute expérience avec des taux de glace supérieurs entraînent des phénomènes de bouchon au sein de l'écoulement. Une fois cette opération réalisée, nous fixons la puissance de la résistance chauffante et le débit du coulis désiré. Ensuite, nous effectuons des prélèvements de la solution liquide résiduelle au niveau des deux vannes (entrée et sortie de l'échangeur) par une micro-seringue. Les deux vannes sont équipées de thermocouples afin de mesurer la température locale, c'est à dire à l'endroit même du prélèvement.

Ces différents échantillons de phase liquide eau-éthanol sont ensuite analysés par une méthode calorimétrique : il s'agit de l'Analyse Calorimétrique Différentielle ACD, basée sur

un balayage en température. Toutes les expériences dans ce domaine ont été conduites au moyen du calorimètre Différentiel Pyris Diamond de Perkin Elmer.

A partir de l'analyse calorimétrique des échantillons eau-éthanol prélevés dans l'installation, nous pouvons déterminer la concentration de la solution étudiée. En effet, à l'aide de thermogrammes d'"étalonnage" obtenus par l'analyse calorimétrique d'échantillons eau-éthanol dont le titre est connu, on peut déterminer d'une manière assez pratique et précise la concentration d'échantillons prélevés dont le titre est inconnu [5]. Cette détermination permet de savoir si le mélange se trouve bien à l'équilibre thermodynamique par une simple comparaison de la concentration trouvée à partir de la température mesurée via le diagramme de phase (l'endroit du prélèvement) avec celle trouvée à l'aide de la calorimétrie.

La cinétique de fusion de la glace dans l'échangeur dépend essentiellement du débit du coulis et de la puissance de la résistance chauffante. Nous avons ainsi étudié l'influence de ces deux paramètres sur l'état thermodynamique du coulis.

4. ANALYSE DES PRELEVEMENTS EN ECOULEMENT

Nous présentons sur la figure 2, pour l'entrée de l'échangeur, la comparaison entre les concentrations réelles et celles obtenues par le diagramme qui suppose l'équilibre thermodynamique. Cette figure montre l'existence d'un déséquilibre thermodynamique entre phases car la concentration mesurée par le calorimètre est supérieure à celle donnée par le diagramme d'équilibre. Le déséquilibre est d'autant plus important que la solution est riche en éthanol, et donc un coulis plus chargé en glace. Ce déséquilibre a tendance à disparaître quand on se rapproche de l'état du mélange monophasique. Comme pour l'entrée de l'échangeur, nous remarquons sur la figure 3 qu'il y a également une nette différence entre les deux concentrations à la sortie de celui-ci.

Ce résultat peut s'expliquer à partir de la cinétique de fusion progressive de la glace dans l'écoulement. Celle-ci, à cause du mouvement du fluide, n'a pas forcément le temps d'être complète. La concentration réelle d'eau-éthanol dans les conduites est alors supérieure à celle donnée par le diagramme d'équilibre.

Sur les exemples des figures 4 et 5, nous avons tracé les erreurs relatives sur la mesure du taux de glace en fonction du temps, à l'entrée et à la sortie de l'échangeur, calculée en supposant l'équilibre thermodynamique. A ces erreurs, nous avons superposé les températures d'entrée et de sortie T_e et T_s . Nous en déduisons que malgré les faibles différences constatées dans la mesure des concentrations, l'erreur dans la mesure de la fraction de glace varie de 20% à 80% en sortie d'échangeur. Ce résultat doit tenir compte du fait que, plus on se rapproche de la zone monophasique, plus la proportion de glace diminue et plus sa détermination avec précision devient difficile.

La procédure expérimentale suivie pour le cas $\dot{m}=0,4\text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$ et $P=1400\text{ W}$, a été appliquée pour d'autres débits et puissances. Ces résultats ont les mêmes tendances et sont illustrés par les figures 6 et 7. Nous remarquons que plus la puissance augmente ou le débit diminue, plus le déséquilibre augmente. Ceci est dû au fait qu'une puissance de chauffe plus grande, favorise d'importants gradients de températures dans le coulis, des cinétiques de fusion plus rapides et des temps de diffusion beaucoup plus lents. Par contre, si les débits augmentent, le coulis a tendance à s'homogénéiser et les déséquilibres deviennent moins importants.

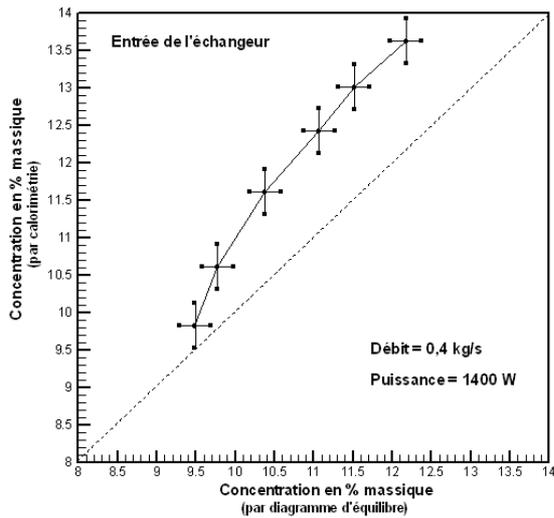


Figure 2 : Comparaison entre concentration obtenue par calorimétrie et concentration d'équilibre à l'entrée de l'échangeur

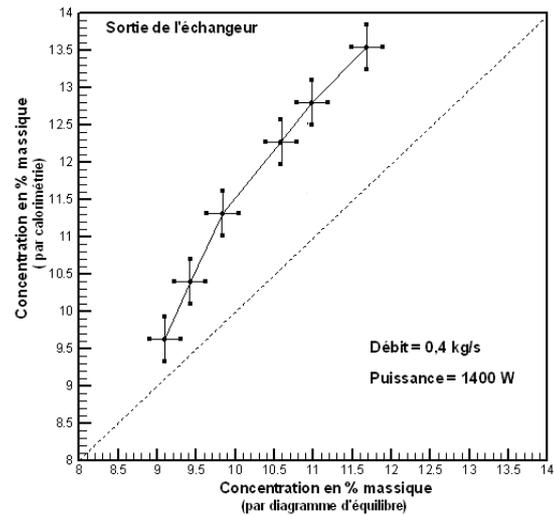


Figure 3 : Comparaison entre concentration obtenue par calorimétrie et concentration d'équilibre à la sortie de l'échangeur

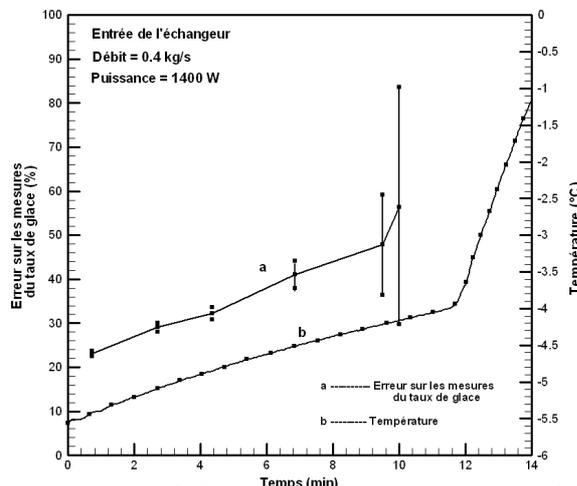


Figure 4: Différence relative entre % de glace obtenu par calorimétrie et % de glace obtenu en supposant l'équilibre, superposé à T_c

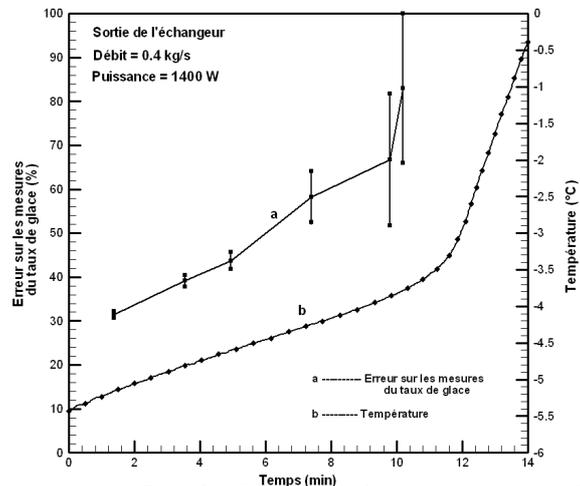
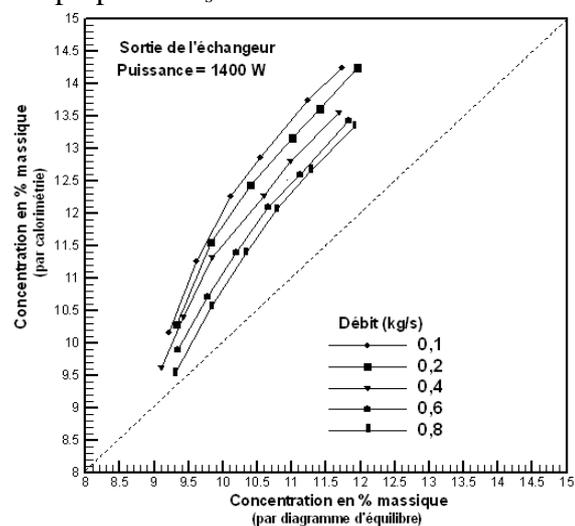
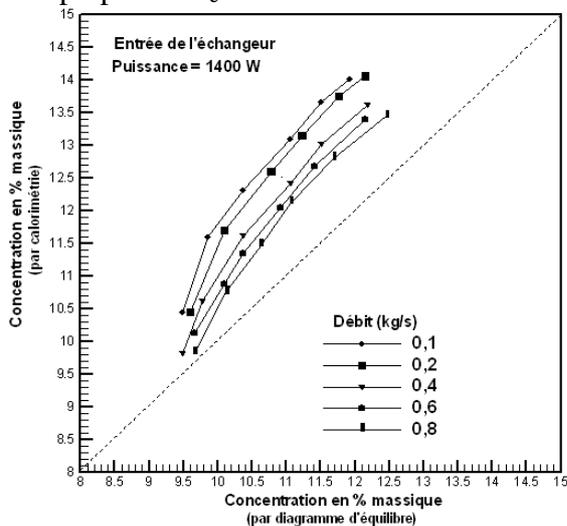
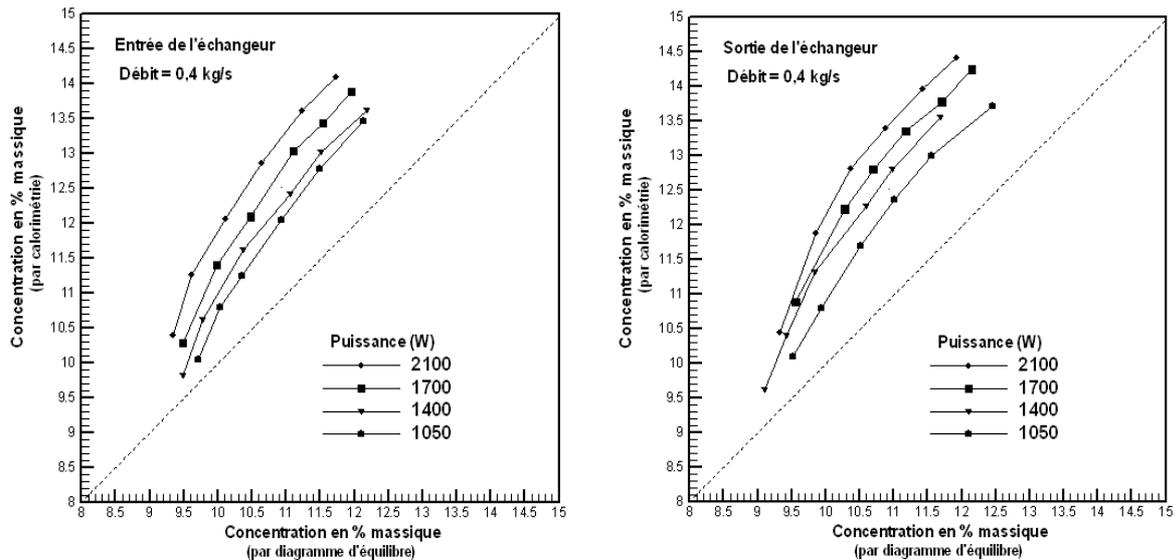


Figure 5 : Différence relative entre % de glace obtenu par calorimétrie et % de glace obtenu en supposant l'équilibre, superposé à T_s



Figures 6 : Comparaison entre concentration obtenue par calorimétrie et concentration d'équilibre pour différents débits



Figures 7 : Comparaison entre concentration obtenue par calorimétrie et concentration d'équilibre pour différentes puissances à l'entrée et sortie de l'échangeur

5. CONCLUSION

Les différentes analyses calorimétriques sur les coulis à l'entrée et à la sortie de l'échangeur du banc d'essais ont montré l'absence d'équilibre thermodynamique entre la solution et la glace en phase de déstockage. La concentration réelle de la solution est supérieure à celle qui correspondrait à l'équilibre thermodynamique. Ce déséquilibre, est dû au fait que l'écoulement ne laisse pas le temps aux glaçons de fondre. L'équilibre n'est donc pas atteint dans le circuit. La quantité d'eau est insuffisante et donc la solution reste plus concentrée. Comme nous l'avons montré, la seule mesure de la température ne peut, en aucun cas, être utilisée comme moyen de détermination de la proportion de glace qui y circule car ceci supposerait l'existence d'un équilibre thermodynamique entre les différentes phases du coulis.

Références

- [1] M. Ben Lakhdar, Comportement thermo-hydraulique d'un fluide frigoporteur diphasique : le coulis de glace. Etudes théorique et expérimentale, *Thèse de Doctorat, INSA Lyon*, 1998.
- [2] C. Peuvrel, Etude des transferts thermiques lors de la circulation dans un échangeur d'un fluide frigoporteur à changement de phase solide-liquide, *Thèse de Doctorat, Université de Pau et des Pays de l'Adour*, 2003.
- [3] A. Jamil, Y. Zeraouli et J.-P. Dumas, Etude des déséquilibres entre phases des fluides frigoporteurs diphasiques, *SFT 2005*, Reims, 30 mai - 2 juin, 2005.
- [4] Y. Zeraouli, A. J. Ehmimed and J.-P. Dumas, Heat transfers model during the melting of a dispersed binary solution, *International Journal of Thermal Sciences*, 39, n°7 (2000) 780-796
- [5] A. Jamil, Etude expérimentale et modélisation de l'analyse calorimétrique des fusions et des déséquilibres de phases dans les coulis de glace, *Thèse de Doctorat, Université de Pau et des Pays de l'Adour*, 2006.