

Élaboration d'un système de mise en circulation de frigoporteur diphasique

Olivier Bros¹, Stéphane Le Person², Pierre Mercier¹

⁽¹⁾ GREThE, CEA, 17 rue des Martyrs, 38054 Grenoble Cedex 9, France

⁽²⁾ Laboratoire des Écoulements Géophysiques et Industriels, Équipe Transferts de Chaleur et de Matière, 1025 rue de la piscine, BP 53, 38041 Grenoble Cedex 9, France

Résumé - Ce travail porte sur l'étude d'un procédé de mise en circulation d'un frigoporteur diphasique solide-liquide. La problématique d'un tel travail est d'éviter toute détérioration des particules solides intrinsèques au frigoporteur en circulation dans son système de mise en circulation. Il est décrit dans cet article les conditions de fonctionnement du procédé ainsi mis en place ainsi qu'une évaluation de son rendement sur le plan de l'énergie hydraulique de l'ordre des 20%.

Nomenclature

Q débit massique, $kg.s^{-1}$
 Q_v débit volumique, $m^3.s^{-1}$
 P pression, Pa
 v vitesse, $m.s^{-1}$

S section de conduite, m^2
 g accélération gravitaire, $m.s^{-2}$
 ρ masse volumique, $kg.m^{-3}$

1. Introduction

Le domaine de la production de froid est nanti de contraintes environnementales qui nécessitent le développement de systèmes novateurs dans ce domaine. En effet, le protocole de Montréal (1992) prévoit l'interdiction au plan mondial de l'utilisation et la fabrication des CFC et HCFC. Son application aux CFC est effective depuis le 1^{er} janvier 2001, alors que celle des HCFC est prévue à terme pour 2015. Les fluides qui ne font actuellement l'objet d'aucune restriction pour leur utilisation sont l'ammoniac, les hydrocarbures et les HFC. Cependant l'ammoniac et les hydrocarbures sont limités par leur dangerosité et leur utilisation n'est autorisée que sous certaines conditions. Afin de pallier les problèmes rencontrés dans l'utilisation directe des fluides frigorigènes précités, des systèmes reposant sur la dissociation de la zone de production et la zone d'utilisation de froid sont actuellement développés.

Ces derniers dits 'système à froid indirect' sont composés d'un circuit générateur de froid contenant le fluide frigorigène et d'un circuit de transport de froid contenant le fluide frigoporteur (figure 1). Celui-ci permet d'emmagasiner l'énergie produite par le circuit primaire et de véhiculer cette dernière. L'énergie thermique est ensuite transmise aux circuits secondaires.

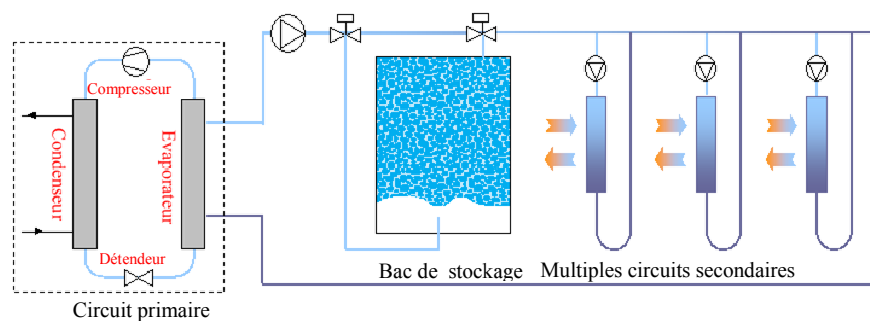


Figure 1 : Système à froid indirect

La réduction de la charge en fluide, l'éloignement géographique de l'unité de production de froid des postes d'utilisation et le confinement de ces installations conduisent à un respect des réglementations en vigueur et constituent les principaux avantages de ce mode de distribution de froid.

Les fluides frigopORTEURS utilisés dans ces systèmes à froid indirect sont des fluides diphasiques liquide-vapeur ou liquide-solide. Dans cette dernière catégorie, nous trouvons les gels qui forment un couple fluide+particules en suspension en mélange indirect, et qui ont été choisis pour cette étude.

2. Le fluide frigopORTEUR utilisé

Le fluide frigopORTEUR est sélectionné pour une application en climatisation (domaine d'utilisation autour de 7°C). Il comprend des particules solides contenant le MCP (Matériau à Changement de Phase) et le fluide porteur (eau) qui permet de les mettre en circulation.

Les particules solides sont constituées de deux composants principaux. Le premier est un réseau polymérique qui leur donne leur rigidité. Le second est le MCP, dont le changement d'état solide-liquide sera utilisé pour accumuler le froid par chaleur latente. Sa nature est une paraffine non miscible avec l'eau. Ce dernier est maintenu dans les volumes formés entre les fibres polymériques.

A température ambiante, l'aspect final (figure 2) des particules correspond à un broyat d'un bloc de gel, afin de leur donner une taille suffisamment petite pour permettre leur passage dans les ventilo-convecteurs présents dans les installations de climatisation.

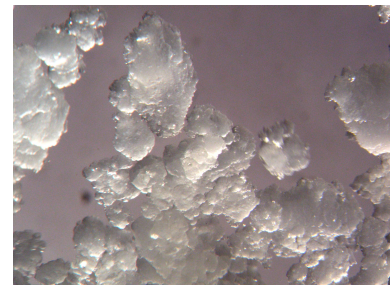


Figure 2 : Aspect du coulis au microscope optique (grossissement facteur 10)

3. Le dispositif expérimental

Une problématique est associée à la mise en circulation d'un tel frigopORTEUR. En effet, la littérature [1] dans ce domaine met en évidence un problème de vieillissement par détérioration mécanique des particules de gel après passage répété dans une pompe. De plus, un certain nombre d'études [2] indique aussi que des dimensions de particules trop faibles créent un phénomène de surfusion qui devient non négligeable sur leurs performances.

Afin de pallier à ces différents problèmes, nous envisageons un procédé de mise en circulation des particules à l'aide d'un éjecteur se substituant à l'utilisation d'une pompe. L'éjecteur est un modèle du commerce distribué par la société SAPELEMTM sous le nom « éjecteur bleu » dont le diamètre de buse fait 5 mm.

Le principe de l'éjecteur est basé sur l'effet venturi. La réduction de section de passage du fluide d'alimentation, l'eau dans notre cas, crée une dépression localisée dans la chambre de succion (figure 4). Cette chambre peut être reliée à un réservoir de stockage (figure 3) de particules solides et ainsi les injecter dans le réseau d'eau initial.

L'objectif du dispositif expérimental (figure 3) développé est de mettre les particules de gel en circulation sans les faire passer dans une pompe afin de contourner le problème du vieillissement. Il est instrumenté de telle sorte qu'il soit possible de connaître son coût énergétique (mesures de pressions et débits).

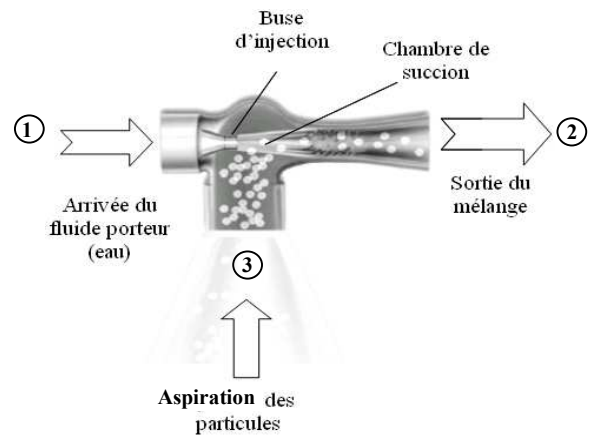
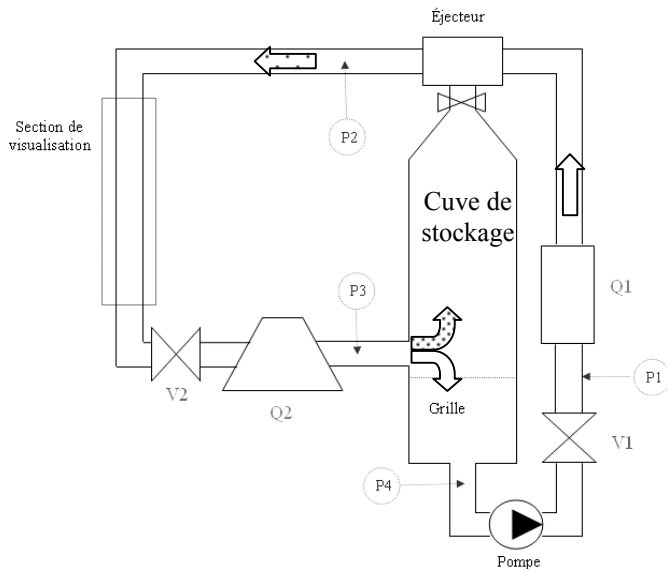


Figure 4 : Schéma interne de l'éjecteur

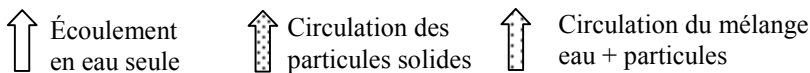


Figure 3 : Schéma du dispositif expérimental

La boucle fonctionne de la manière suivante :

- 1 – Les particules plus légères que l'eau migrent en partie haute de la cuve de stockage. L'eau quant à elle est aspirée en partie basse.
- 2 – Le circuit d'eau alimente la buse de l'éjecteur en partie haute de la boucle. La bouche d'aspiration de l'éjecteur étant reliée en partie haute de la colonne, les particules sont aspirées dans la chambre de succion (figure 4).
- 3 – La bouche de sortie de l'éjecteur va ainsi voir sortir un mélange eau + particules. Ce mélange va passer dans une section de visualisation verticale puis dans le débitmètre Coriolis. Le coulis sera enfin libéré dans la cuve, et le cycle pourra se répéter.

4. Résultats expérimentaux

L'éjecteur utilisé est à vocation pneumatique. Son fonctionnement hydraulique n'est donc pas connu. Nous avons donc caractérisé son fonctionnement en identifiant les phénomènes physiques qui le conditionnent. Un diagramme de fonctionnement de cet appareil et ses performances énergétiques seront ainsi proposés.

4.1 Perte de pression

La figure 5 représente l'évolution de la différence entre la pression d'entrée du fluide porteur (point ①) et la pression de sortie de mélange (point ②) en fonction du débit d'alimentation de l'éjecteur en eau seule.

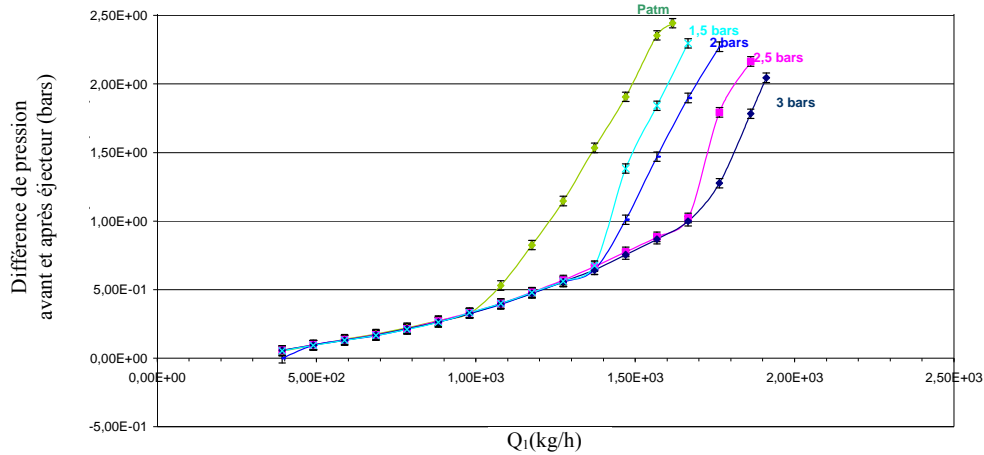


Figure 5 : Différence de pression aux bornes de l'éjecteur en fonction du débit d'entrée et de la pression statique imposés à ce dernier

Pour les plus bas débits, l'évolution de la perte de pression se comporte comme une loi classique d'un écoulement face à un obstacle. Après la cassure de pente, nous assistons à une augmentation rapide de différence de pression. Le phénomène de cavitation lié à la forte chute de pression locale dans la buse de l'éjecteur serait à l'origine de cette cassure.

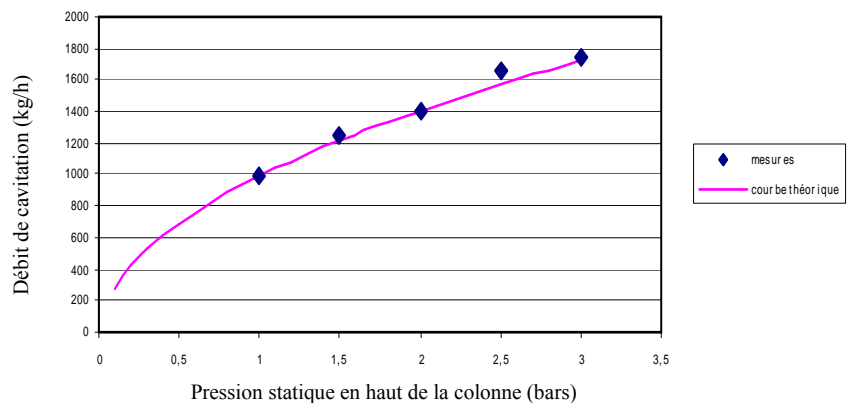
Cette hypothèse peut être validée en estimant de façon théorique l'évolution du point de rupture de pente en fonction de la pression statique imposée en partie haute de la boucle :

Le théorème de Bernoulli entre l'entrée de l'éjecteur (point 1) et au niveau de la buse conduit à l'équation (1) : $P_1 + \rho g v_1^2 = P_{buse} + \rho g v_{buse}^2 + \Delta P$ (1)

Au point de rupture de pente, on a $P_2 = P_{sat}$, à la pression considérée, d'où

$$Q_{sat} = \sqrt{(P_1 - P_{sat}) \cdot 2\rho \left(\frac{1}{S_{buse}^2} - \frac{1}{S_1^2} \right)} \quad (2)$$

Figure 6 : Comparaison entre le débit de cavitation calculé de façon théorique avec les débits de rupture de régime de fonctionnement de l'éjecteur



La figure 6 peut être perçue comme étant le débit maximal d'utilisation de l'éjecteur en fonction de la pression de l'installation avant que la consommation du procédé se mette à augmenter rapidement à cause du phénomène de cavitation.

4.2 Diagramme de fonctionnement

Il existe certains régimes de fonctionnement pour lesquels l'éjecteur peut refouler le fluide moteur dans le réservoir au lieu d'aspirer dans ce dernier. La figure 7 montre cette limite de fonctionnement. Ce graphe précise les conditions de fonctionnement de l'éjecteur en présentant l'évolution des débits circulants dans l'éjecteur en fonction du débit désiré en sortie.

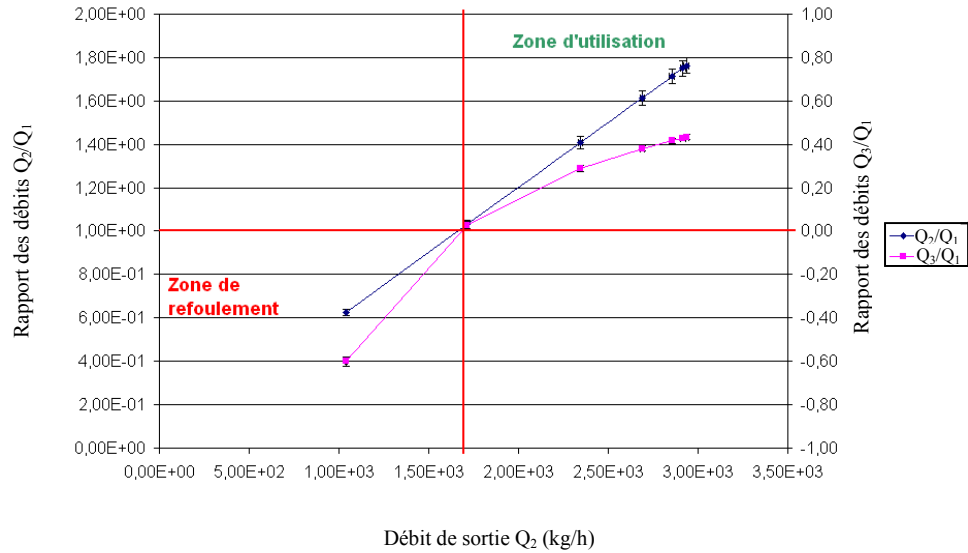


Figure 7 : Tracé du débit masse d'eau aspirée dans la colonne, en l'absence de particules.

Ce tracé a été effectué dans des conditions de mesures fixes, soit un débit en amont de l'éjecteur Q_1 de 1700 kg/h, la pression étant imposée dans le réservoir de stockage sous 3 bars. Une telle représentation en débit donne une information pertinente sur le comportement de l'éjecteur. En effet, la complexité des écoulements près de la chambre de succion et la trop forte influence de la géométrie ont empêché l'élaboration précise d'une cartographie en mesure de pression.

4.3 Rendement du procédé

Nous allons nous intéresser ici aux performances énergétiques de ce procédé. Ces performances sont évaluées en comparant la puissance hydraulique sortant avec la puissance hydraulique fournie par les pompes le mettant circulation.

Le rendement est donc défini de la façon suivante :

$$\eta = \frac{Puissance_{23}}{Puissance_{14}} \cdot 100 = \frac{\rho g Q_{v1} (P_2 - P_3)}{\rho g Q_{v2} (P_1 - P_4)} \cdot 100 \quad (3)$$

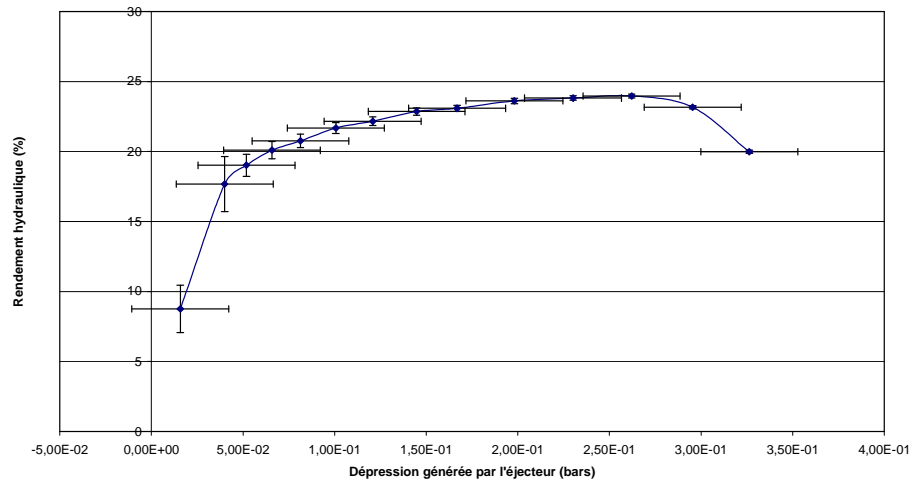


Figure 8 : Tracé du rendement en fonction de la dépression entre les points 2 et 3

Le rendement de l'installation (figure 8) est situé en majorité entre 20 % et 25 %. Ce dernier pourrait être amélioré en testant un éjecteur dimensionné plus spécifiquement pour fonctionner avec de l'eau et non avec de l'air.

5. Conclusion

Ce système de mise en circulation de frigoporteur diphasique est basé sur un procédé novateur pour cette application. Il présente les intérêts majeurs de n'imposer aucune contrainte mécanique sur les particules de gel pour les mettre en circulation et de fonctionner avec une cuve de stockage. Cependant son fonctionnement impose certaines contraintes. La difficulté principale consiste à bien dimensionner le dispositif en fonction de l'installation desservie, sous peine de voir l'éjecteur souffler son fluide moteur dans la cuve.

Les chiffres de rendement rendent l'application du procédé discutable. En effet, l'ordre de grandeur de la puissance hydraulique perdue est de l'ordre de 75%. Cependant, les gains énergétiques engendrés par l'emploi du coulis dans une installation estimés à ce jour [3], diminués par le faible rendement de son système de mise en circulation par éjecteur, peuvent être suffisant pour garantir un bilan favorable à son utilisation.

Références

- [1] Jacquier D., (2004), *Distribution de froid par coulis de glace stabilisé*, Diplôme de Recherche Technologique, Université Joseph Fourier – Grenoble I, P 51.
- [2] J.P. Bedecarrats, T. Kousksou, J.P. Dumas, A. Mimmet, (2002), *Effet de la surfusion sur un stockage par chaleur latente*, Forum International sur les énergies renouvelables.
- [3] P. Haberschill, A. Lallemand, *Étude de l'intérêt technico-économique des fluides frigoporteurs diphasiques à température positive de changement de phase*, 12èmes JITH, Tanger, (Maroc), 15-17 nov. 2005, CETHIL Lyon.