



01/01/2020

**RAPPORT DE LA REPUBLIQUE DU BENIN
POUR LA 11^è REUNION OMM/PNUE DES
DIRECTEURS DE RECHERCHE SUR L'OZONE.**



Ministère du Cadre de Vie et du Développement Durable

PLAN

Introduction	2
Revue de littérature	2
Matériel et méthodes	3
Resultats et discoursions	4
Information au grand public et article scientifique pertinent	6
Besoins	6
Conclusion et perspectives.....	6

1. Introduction

La production de froid occupe une place importante dans les sociétés humaines. Force est de constater qu'il n'est pas de société moderne sans équipements frigorifiques. Le froid est utilisé dans la recherche et l'innovation, le transport et la logistique, l'agriculture et l'industrie agro-alimentaire, les établissements de santé, les laboratoires pharmaceutiques, le commerce, les logements, l'aéronautique et le spatial, l'énergie, les industries etc. Le froid est présent sur toutes les chaînes de productivités artisanales et industrielles, et l'industrie, grosse utilisatrice de froid, n'échappe pas à cette règle. Apparue au milieu du XIX^e siècle, la production de froid a connu un essor rapide et continu. Les brasseries ont été parmi les premières utilisatrices, et ensuite les industries agro-alimentaires, les mines, l'industrie chimique etc. Ces derniers temps, la production de froid a beaucoup évolué. La machine à compression de vapeur a pris le dessus sur les autres technologies de production de froid. L'impact sur la couche d'ozone dans un premier temps, puis sur l'effet de serre dans un deuxième temps, a conduit à l'interdiction progressive de certaines molécules à travers les protocoles de Montréal. Depuis plus de trois décennies, l'industrie du froid a opéré d'importants changements avec le remplacement consécutif de trois générations de fluides frigorigènes. Mais ce travail n'est pas terminé. Le monde du froid doit et devra dans les prochaines années relever de nombreux défis environnementaux et concilier le développement de son utilisation et la réduction de ses impacts sur l'environnement. L'avenir du froid dépend de sa capacité à s'adapter aux exigences d'un environnement durable. Le froid devra être moins gourmand en consommation d'énergie, plus respectueux de l'environnement pour un développement à faible émission de carbone. Pour relever le défi de l'environnement et plus particulièrement des performances énergétiques, les acteurs du froid, les pouvoirs publics et les citoyens doivent connaître et comprendre les enjeux et les solutions techniques et scientifiques disponibles et envisageables. Les performances énergétiques et environnementales des réfrigérants utilisés jusqu'alors sont peu respectueux de l'environnement. Une solution alternative pour endiguer ce problème est l'utilisation de mélange de dioxyde de carbone (CO₂) et d'hydrocarbure (HC) qui serait un fluide frigorigène moins inflammable ou ininflammable, à un meilleur coefficient de performance énergétique (COP) et à faible pouvoir de réchauffement global (PRG). L'étude a permis de faire le point de l'état de l'art et d'étudier des mélanges de fluides frigorigènes CO₂ et HC condensables aux températures ambiantes de fonctionnement en milieu tropical. Les études ont été menées sur des mélanges de CO₂ et HC à différentes fractions molaires de CO₂ (0 à 100%). L'équation de Van Poolen et al a permis de prédire les coordonnées des points critiques des différents mélanges et de déterminer les mélanges potentiellement utilisables en Afrique.

2. Revue de littérature

Des mélanges à base de CO₂ ont été largement étudiés dans le contexte des procédés d'extraction, par exemple dans les procédés utilisés dans les secteurs du pétrole, des cosmétiques et de l'agro-alimentaires (Zancan et al. 2002), et surtout à des températures élevées. Toutefois, peu d'études ont porté sur des systèmes de réfrigération ou des pompes à chaleur utilisant de tels mélanges. L'utilisation de mélanges de CO₂ et propane (J. H. Kim et al. 2007; J. H. Kim, Cho, et Kim 2008; X. P. Zhang et al. 2013) a permis de montrer que l'efficacité de tels systèmes peut être améliorée par rapport à celle d'un cycle au CO₂ pur. Les mélanges de CO₂ avec des HFC ont également été étudiés dans le domaine de la climatisation automobile (Meunier, Terrier, et Toublanc 2005). Cette dernière étude a démontré une augmentation significative du COP du cycle frigorifique, par exemple en abaissant le rapport de pression du compresseur. L'amélioration expérimentale du COP constatée n'a pas été prévue, car les simulations à l'aide du logiciel REFPROP avaient tendance à être en contradiction avec les résultats expérimentaux. Par ailleurs, on ne disposait pas de mesures de la composition du mélange circulant. D'autres études plus récentes ont évalué des mélanges à base de CO₂ (Dai et al. 2014) mais s'appuient principalement sur REFPROP pour les données calorimétriques de ces mélanges encore peu courants et dont les données calorimétriques sont trop peu fournies.

3. Matériels et méthodes

3.1. Matériels

La réalisation de ce travail a besoin de plusieurs matériels dont les plus usuels sont:



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)

- a- Bouteille de mélange de dioxyde de carbone (CO₂) et hydrocarbures (HC)
- b- Bouteille de dioxyde de carbone CO₂
- c- Bouteille de R290
- d- Bouteille de R600a
- e- Manifolds 5 voies
- f- Pèse numérique
- g- Pompe à vide

L'ensemble du matériel utilisé dans le processus du mélange de mélange de CO₂ et HC.

3.2. Méthodes

L'équation de Van Poolen et al (1988), est une corrélation qui permet de représenter la ligne des points critiques. Pour cela il faut effectuer des mesures expérimentales de quelques points critiques (au moins trois points (P_c , x_c)), pour en déduire les coefficients des corrélations suivantes :

$$T_{C_{mélange}} = x_1 T_{C_1} + (1 - x_1) T_{C_2} + G_{T_1} x_1 (1 - x_1) + \sum_{i=2}^3 G_{T_i} x_i (1 - x_1) (2x_1 - 1)^2 \quad (1)$$

$$P_{C_{mélange}} = x_1 P_{C_1} + (1 - x_1) P_{C_2} + G_{P_1} x_1 (1 - x_1) + \sum_{i=2}^3 G_{P_i} x_i (1 - x_1) (2x_1 - 1)^2 \quad (2)$$

4. Résultats et discussion

L'une des caractéristiques thermodynamiques les plus importantes d'un fluide frigorigène en cycle Compression/Evaporation est le point critique.

La figure 2 montre la variation de la pression critique des mélanges en fonction des températures critiques. Lorsque la température critique du mélange CO₂ et R600a croît de 31,0°C à 135,85°C, la pression critique du mélange CO₂ et R600a décroît de 73,825bar à 38bar. En considérant un mélange CO₂ et R600a avec une fraction molaire de CO₂, $x_i=26\%$, on obtient un point critique ($T_c=100,8^\circ\text{C}$, $P_c=49,4\text{bar}$). Ce mélange pourrait remplacer le fluide frigorigène R22. Plusieurs d'autres possibilités seraient offertes selon l'application envisagée.

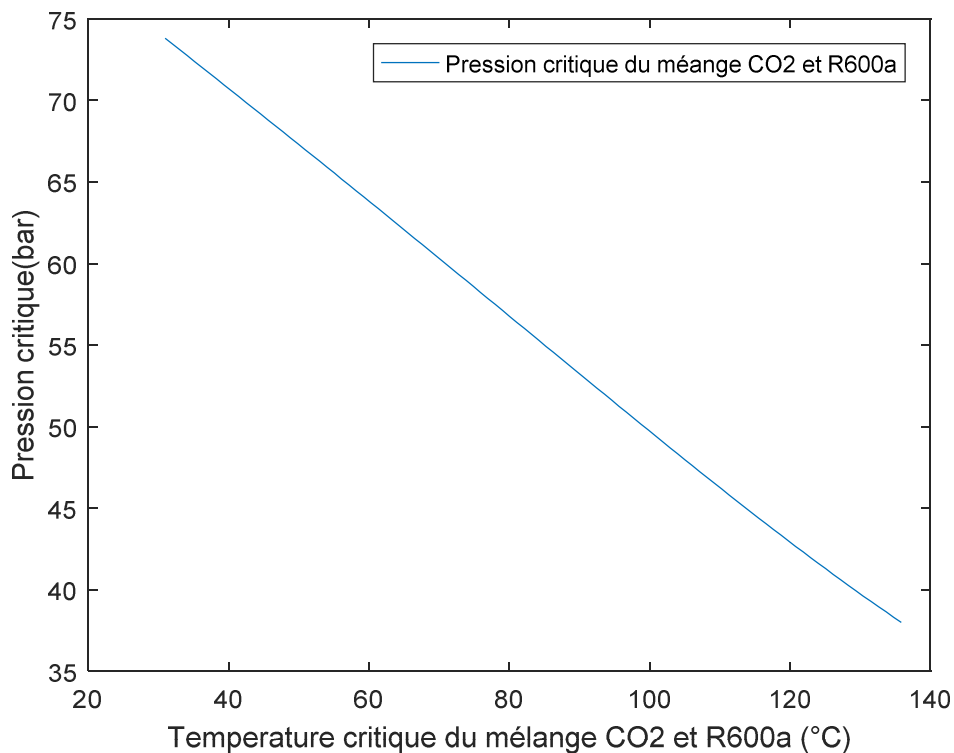


Figure 2 : Evolution de la pression critique des mélanges CO₂ et HC en fonction des températures critiques

La figure 3 montre la variation de la pression critique des mélanges en fonction des températures critiques. Lorsque la température critique du mélange CO₂ et R290 croît de 31,0°C à 97,85°C, la pression critique du mélange CO₂ et R290 décroît de 73,825 à 44bar. En considérant un mélange CO₂ et R290 avec une fraction molaire de CO₂, $x_i=21\%$, on obtient un point critique ($T_c=84,07^\circ\text{C}$, $P_c=49,554\text{bar}$). Ce mélange pourrait remplacer le fluide frigorigène R410A. Plusieurs d'autres possibilités seraient offertes selon l'application envisagée.

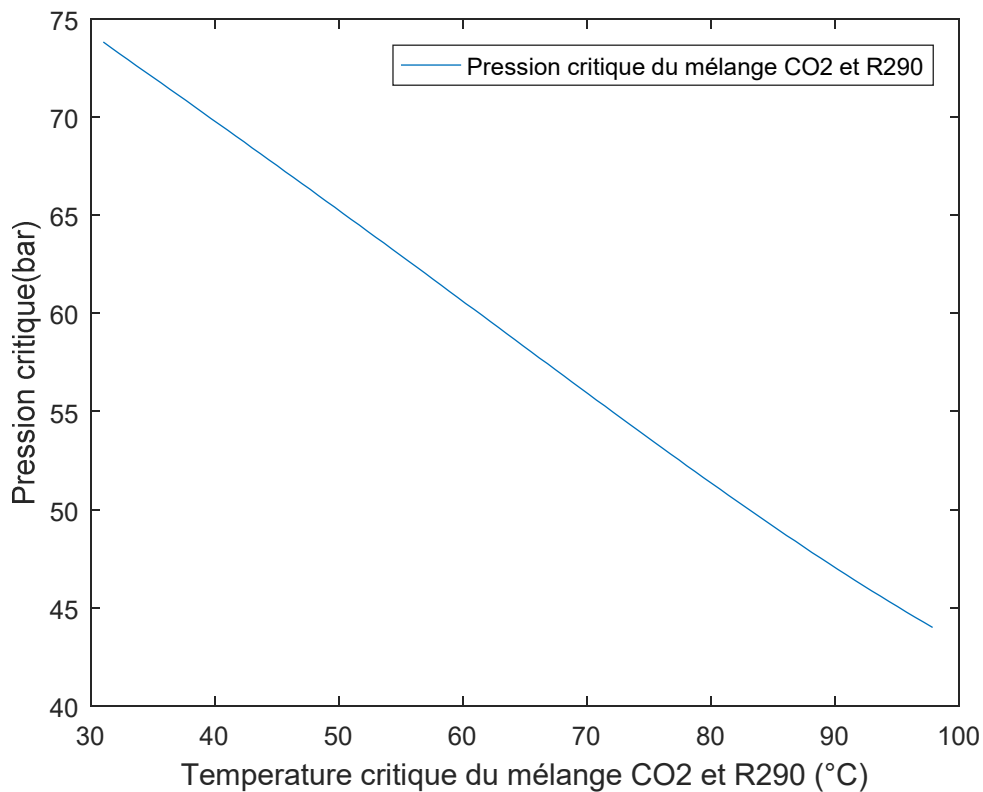


Figure 3 : Evolution de la pression critique des mélanges CO₂ et HC en fonction des températures critiques.

La figure 4 montre la variation du coefficient de performance, de la puissance frigorifique fournie, la quantité de chaleur dissipée au condenseur et la quantité d'énergie électrique consommée par le compresseur en fonction des fractions molaires de CO₂ dans le mélange CO₂/R290. Le coefficient de performance relevé est supérieur à 2,5.

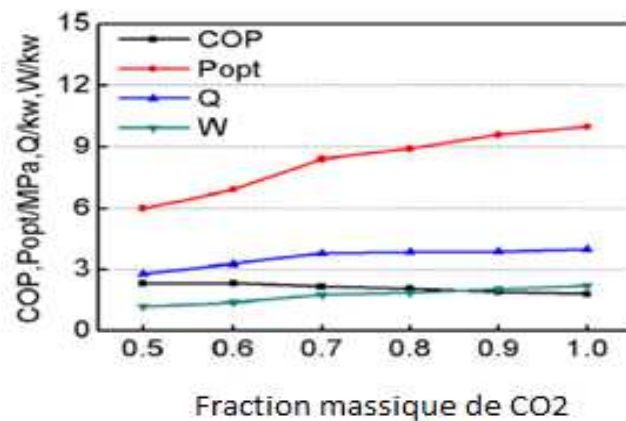


Figure 4 : Evolution de la puissance frigorifique, la puissance thermique, la consommation d'énergie électrique et du coefficient de performance d'un système de conditionnement d'air au mélange CO₂ et R290 (B. Yu, D. Wang et al. 2018)

5. Information au grand public

On a réalisé :

- une communication à la conférence de la '4^e édition des Journées Scientifiques du CAMES (Ouidah 2019) en Décembre 2019'

«Investigation sur la modélisation et simulation des performances énergétiques de l'habitacle d'un véhicule automobile climatisé au fluide frigorigène « CO₂ et HC » »: Conférence '4^e édition des Journées Scientifiques du CAMES (Ouidah 2019) en Décembre 2019.

- Une publication d'un article : « **Assessment of the Use of Natural Refrigerants and Their Mixtures for Vehicle Air Conditioning: A Review Study** »: *International Journal of Research and Review Vol.7; Issue: 1; January 2020.*

6. Besoins

Dans le cadre de ce travail on a besoin des équipements pour l'expérimentation tels que:

- Une installation complète de production de froid au CO₂
- Une installation de production de froid au HC
- Une station de mélange de CO₂/HC
- Des bombons de CO₂ et HC.
- Des logiciels: Prosim, EES etc.

Conclusion

Dans cette étude on a fait une synthèse de l'état de l'art sur les performances énergétiques du dioxyde de carbone (CO₂), des hydrocarbures (HC), les propriétés des mélanges des fluides et la prédiction des points critiques des mélanges de CO₂ et R600a puis CO₂ et R290. Il a permis de constater qu'on peut faire des mélanges CO₂ et R600a à une fraction molaire de CO₂, $x_i=26\%$ pourrait remplacer le R22. De même un mélange de CO₂ et R290 à une fraction molaire de CO₂, $x_i=21\%$ pourrait remplacer le R410A. On pourra dans la suite réaliser une étude approfondie des performances énergétiques de ces mélanges ciblés.

Référence:

- [1] J.S. Lim, J.Y. Park, J.W. Kang, B.G. Lee, *Fluid Phase Equilibria* 243 (2006) 57–63.
- [2] C. Coquelet, A. Chareton, A. Valtz, A.B. Ahmed, D. Richon, *J. Chem. Eng. Data* 48 (2003) 317–323.
- [3] C. Coquelet, A. Valtz, D. Richon, *Fluid Phase Equilibria* 232 (2005) 44–49.
- [4] A. Valtz, C. Coquelet, D. Richon, *Fluid Phase Equilibria* 258 (2007) 179–185.
- [5] D. Ramjugenath, A. Valtz, C. Coquelet, D. Richon, *J. Chem. Eng. Data* 54 (2009) 1292–1296.
- [6] A.S. Telat, J.S. Rowlinson, *Chem. Eng. Sci.* 28 (1973) 529–538.
- [7] J. Gmehling, J. Menke, J. Krafczyk, K. Fischer, *Fluid Phase Equilibria* 103 (1995) 51–76.
- [8] A.V. Trotsenko, *Fluid Phase Equilibria* 127 (1997) 123–127.
- [9] H. Segura, J. Wisniak, P.G. Toledo, A. Mejia, *Fluid Phase Equilibria* 166 (1999) 141–162.
- [10] R.M.B. Alves, F.H. Quina, C.A.O. Nascimento, *Comput. Chem. Eng.* 27 (2003) 1755–1759.
- [11] N. Aslam, A.K. Sunol, *Fluid Phase Equilibria* 224 (2004) 97–109.
- [12] S. Artemenko, V. Mazur, *Int. J. Refrig.* 30 (2007) 831–839.
- [13] X. Yingjie, Y. Jia, Y. Ping, L. Haoran, H. Shijun, Thermodynamics and chemical engineering data, *Chin. J. Chem. Eng.* 18 (2010) 455–461.
- [14] V.Z. Shahabadi, M. Lotfizadeh, A.R.A. Gandomani, M.M. Papari, *J. Mol. Liquids* 188 (2013) 222–229.
- [15] H. Madani, A. Valtz, C. Coquelet, A.H. Meniai, D. Richon, *Int. J. Refrig.* 32 (2009) 1396–1402.
- [16] H. Madani, Doctoral Thesis, University of Batna, 2010.
- [17] D.Y. Peng, D.B. Robinson, *Ind. Eng. Chem. Fundam.* 15 (1976) 59–64.
- [18] P.M. Mathias, T.W. Copeman, *Fluid Phase Equilibria* 13 (1983) 91–108.
- [19] D.S.H. Wong, S.I. Sandler, *AIChE J.* 38 (1992) 671–680.
- [20] H. Renon, J.M. Prausnitz, *AIChE J.* 14 (1968) 135–144.
- [21] Dortmund Data Bank (DDB) version 2009, DDBST Software and Separation Technology GmbH, Oldenburg. Germany.
- [22] Gbènagnon AR, Victorin CK, Aristide HC et.al. Assessment of the use of natural refrigerants and their mixtures for vehicle air conditioning: a review study. *International Journal of Research and Review.* 2020; 7(1): 27-36.