

PRODUCTION DE FROID PAR UN SYSTEME TRITHERME A FLUIDE UNIQUE

Thierry ALLEAU

Commissariat à l'Energie Atomique
Centre d'Etudes Nucléaires de Grenoble
85X - 38041 GRENOBLE CEDEX - FRANCE

RESUME :

Cette étude montre les performances d'un ensemble moteur-compresseur rotatif à palettes, à cycle de Rankine, et à fluide thermodynamique unique. Cet ensemble est capable de fournir 500 à 2000 frigories/heure entre 0 et -15°C, à partir de calories fournies vers 60°C par des capteurs solaires rustiques, en disposant d'une source tiède vers 30°C. Cette source de froid se caractérise par :

- un fluide thermodynamique unique et classique : R 12,
- une intégration moteur-compresseur qui supprime deux étanchéités,
- l'utilisation d'un condenseur unique pour les deux circuits,
- la production de frigories grâce à des calories à faible niveau,
- une technologie simple, donc transférable.

ABSTRACT :

This study presents the performance of a Rankine cycle rotating vane expander-compressor which uses a single thermodynamic fluid. This system is able to provide from 500 to 2000 frigories/hour between 0 and -15°C, from calories delivered about 60°C by ordinary solar collectors, provided that an intermediate source around 30°C, or lower than, is available.

Its main features are :

- a single and common thermodynamic fluid : R 12,
- an expander-compressor integration which suppresses two leak proof joints.
- a single vapor condenser for both circuits,
- a cold production from low level calories,
- a simple -therefore transferable- technology.

1. INTRODUCTION

Il existe plusieurs domaines dans lesquels le besoin de frigories s'accompagne de la disponibilité d'énergie thermique à bas niveau de température (autour de 60°C). Cette situation se rencontre, par exemple, dans certains secteurs industriels dont l'activité s'accompagne de rejets thermiques, et exige une source de froid, soit pour la conservation du produit fabriqué, soit pour la climatisation de certains locaux. Cette situation se rencontre aussi, par exemple, dans un véhicule automobile où les calories disponibles à l'échappement pourraient être utilisées pour sa climatisation.

Cette situation peut se rencontrer, enfin, dans tous les pays chauds où le besoin de

froid pourrait être satisfait par des calories solaires économiques (capteurs plans).

Produire du froid à partir d'une source thermique à ce niveau de température n'est possible qu'au travers d'un double cycle de Rankine (moteur-compresseur), les systèmes à absorption exigeant des températures plus élevées (supérieures à 90°C).

L'objectif des études qui ont été entreprises était d'étudier, réaliser et tester un prototype d'un système tritherme qui se caractérise par :

- les fonctions travail et compression dans un ensemble intégré à technologie commune (rotatif, à palettes), et à cycle de Rankine
- un fluide thermodynamique unique,
- un condenseur commun,
- des températures réalistes (60°C-30°C-

0 à -10°C).

2. LE CAPSULISME A PALETTES

Le capsulisme développé par le CEA est identique, dans son principe, pour le moteur et le compresseur, les fonctionnements étant inversés. La figure 1 en représente le schéma.

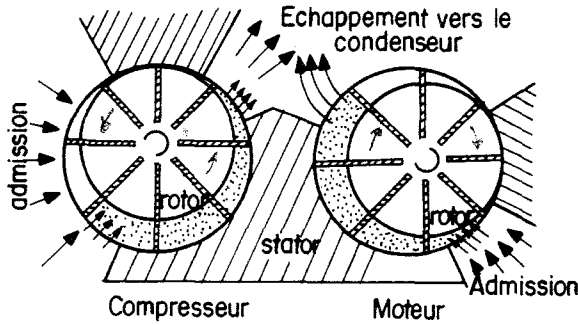


Fig.1. Principe de fonctionnement du moteur et du compresseur.

Pour un fluide déterminé, le choix des caractéristiques géométriques (en particulier les cylindrées et les taux de détente ou de compression) est dicté par le choix des températures et du débit frigorifique. Ces caractéristiques se calculent à partir de l'aire $S(\alpha)$ comprise entre deux palettes successives, d'épaisseur p :

$$S(\alpha) = \left[S(0, \alpha) - \frac{p \cdot b(\alpha)}{2} \right] - \left[S(0, \alpha - \delta) + \frac{p \cdot b(\alpha - \delta)}{2} \right]$$

avec :

$$b = R \frac{\sin \beta}{\sin \alpha} - r$$

$$S(0, \alpha) = \frac{R^2}{2} [\beta - \alpha (1 - \epsilon)^2 - \epsilon \sin \beta]$$

$$\beta = \alpha - \text{Arc sin} (\epsilon \sin \alpha)$$

$$\epsilon = e/R$$

Les autres paramètres étant définis sur la figure 2.

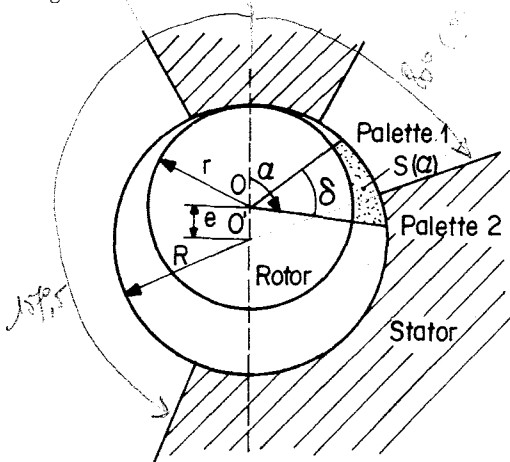


Fig. 2. Géométrie du capsulisme à palettes.

3. LE CYCLE THERMODYNAMIQUE

Le fluide qui est apparu le plus compatible avec les diverses contraintes thermique, mécanique et économique est l'hydrocarbure fluochloré R12 ($C Cl_2 F_2$). Les cycles décrits par le fluide moteur et le fluide compresseur sur un diagramme de MOLLIER, sont montrés sur la figure 3, avec les trois températures nominales suivantes : 65°C/35°C/-10°C.

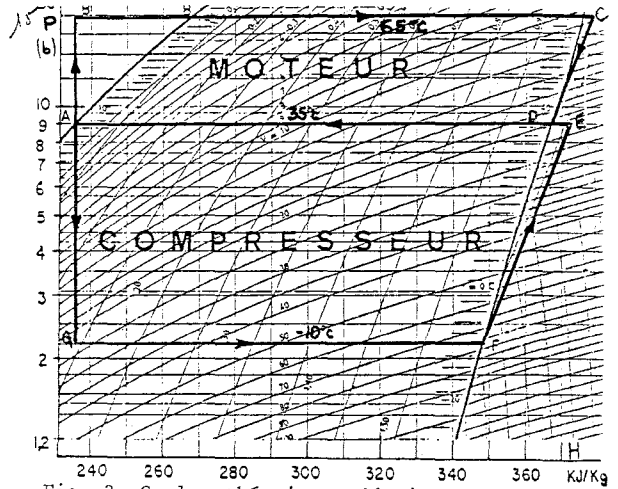


Fig. 3. Cycles théoriques décrits par le fluide

L'énergie spécifique fournie au fluide est représentée par la longueur BC ; l'énergie spécifique mécanique théoriquement récupérable est la projection horizontale du segment CD ; l'énergie spécifique consommée par le compresseur est la projection horizontale du segment EF ; enfin, l'énergie spécifique prélevée à l'évaporateur du circuit frigorifique est représentée par le segment GF.

4. LA BOUCLE D'ESSAIS

Compte tenu des températures choisies et des performances attendues, le moteur et le compresseur ont été ainsi dimensionnés (figure 4) :

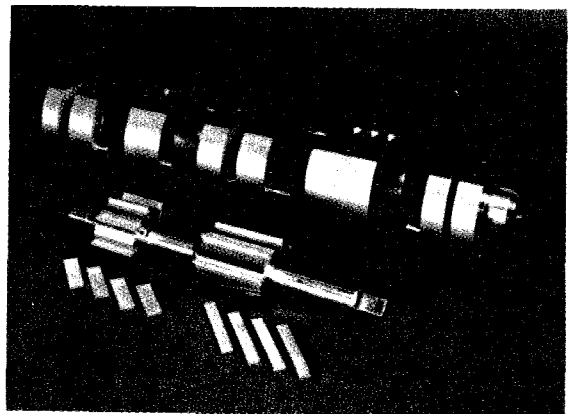


Fig. 4. L'ensemble moteur-compresseur.

Caractéristiques communes :

- nombre de palettes : 8
- diamètre du stator : 55,2 mm
- diamètre du rotor : 50 mm
- épaisseur des palettes : 2,5 mm

Moteur :

- longueur du rotor : 60 mm
- fin d'admission : 80 degrés
- volume aspiré à l'admission : $25,4 \text{ cm}^3$ / tour

Compresseur :

- longueur du rotor : 40 mm
- fin d'admission : 157,5 degrés
- volume aspiré à l'admission : $30,1 \text{ cm}^3$ / tour.

L'ensemble a été mis en place dans le circuit schématisé sur la figure 5 et montré sur la figure 6. Ce prototype moteur-compresseur a été construit avec une sortie d'arbre qui, couplée à une dynamo-moteur mise en balance, a permis de tester séparément le moteur et le compresseur.

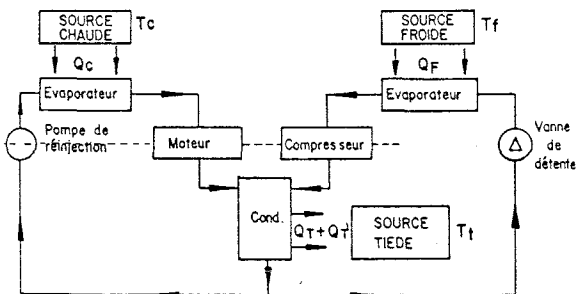


Fig. 5. Schéma du circuit d'essais.

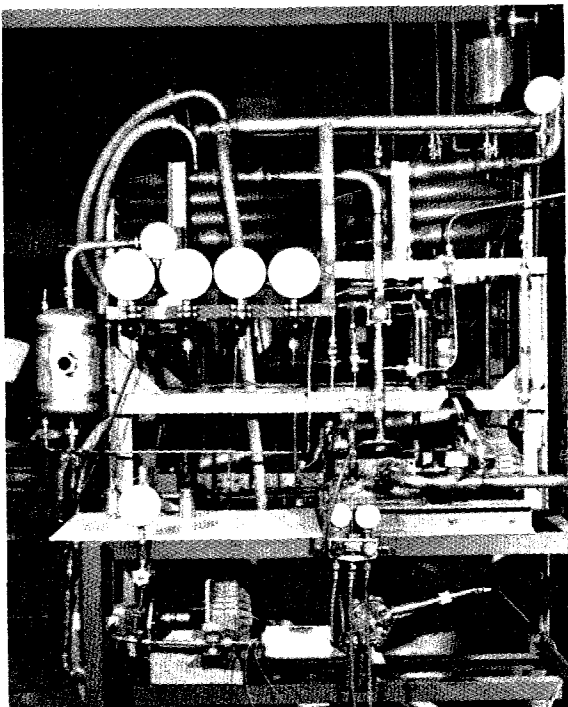


Fig. 6. Vue d'ensemble du banc d'essais.

Dans une version définitive, il serait prévu d'intégrer une pompe de réinjection à palettes au capsulisme, et de supprimer, ainsi, tout joint tournant, source de fuites à terme. La

lubrification des roulements et des palettes était assurée par de l'huile dissoute dans le R12, et prélevée à la base d'un séparateur cyclone placé en sortie de l'évaporateur chaud.

5. PERFORMANCES DU MOTEUR

Les performances du moteur seul ont été déterminées en supprimant les palettes du compresseur et en mesurant la puissance fournie à la dynamo-balance débitant sur une résistance électrique variable. Ces performances sont résumées, sur les figures 7 et 8, pour une température de condensation de 32°C (7 bars relatifs) et une température d'évaporation variant de 48 à 60°C .

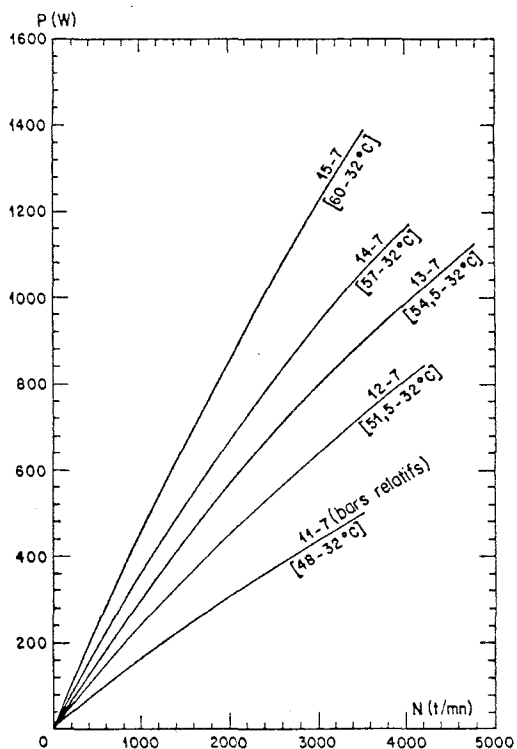


Fig. 7. Puissance du moteur à palettes.

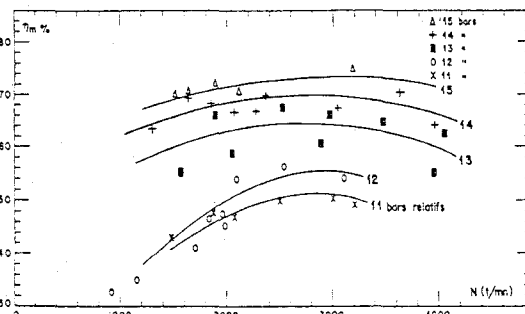


Fig. 8. Rendement du moteur à palettes.

Le rendement indiqué sur la figure 8 est le rendement du moteur, autrement dit le rapport entre la puissance effectivement fournie et la puissance que fournirait un moteur idéal (Cycle de Carnot) consommant le même débit massique de

vapeur, entre les mêmes températures d'évaporation et de condensation : il atteint 73%, entre 60 et 32°C, à une vitesse de rotation voisine de 3000 t/mn.

6. PERFORMANCES DE L'ENSEMBLE MOTEUR-COMPRESSEUR

Les performances de l'ensemble moteur-compresseur résumées sur la figure 9 ont été relevées pour des températures chaudes d'évaporation variant de 50 à 57°C et une température de condensation de 32°C.

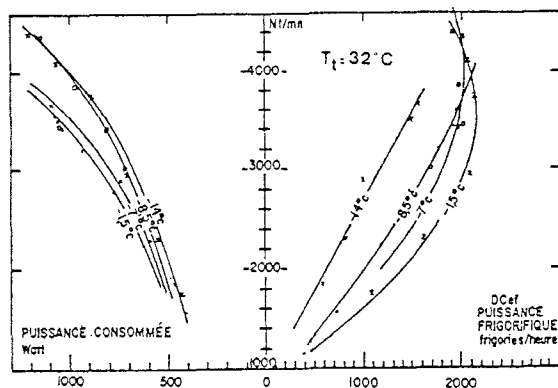


Fig. 9. Performances de l'ensemble moteur-compresseur.

Diverses conclusions peuvent être tirées de ces résultats :

- dans les conditions nominales prévues pour la température d'évaporation chaude (de l'ordre de 60°C), on obtiendrait aisément la centaine de watts supplémentaires, nécessaire pour entraîner la pompe de réinjection du circuit moteur.

- la température de source froide peut être aisément choisie dans la gamme de 0 à -15°C;
- les performances de cet ensemble pourraient être augmentées de plus de 50% en améliorant le compresseur dont le coefficient de performance s'est avéré inférieur aux performances classiques des compresseurs de cette taille, alors que le moteur a atteint les performances attendues.

7. CONCLUSIONS

Cette étude a montré la faisabilité d'un ensemble moteur-compresseur rotatif à palettes de technologie simple, produisant des frigories comprises entre 0 et -15°C, avec un fluide unique et un condenseur commun, pour une température d'évaporation chaude voisine de 60°C très inférieure aux températures nécessitées par la mise en oeuvre des réfrigérateurs à absorption. Cette conception intégrée, moteur, compresseur, pompe de réinjection, à fluide unique peut être extrapolée à d'autres technologies rotatives ou alternatives et présente l'intérêt majeur de supprimer les joints d'étanchéité tournant, source de fuites, et un échangeur dont le coût est toujours important dans ce type de système.

Remerciements

Nous tenons à remercier Messieurs D. ANDREOLETY, M. DE CACHARD, G. LEANDRE, G. MARIE R. MORACCHIOLI et C. TRABUCCO pour leur participation active aux phases d'étude et d'essais.