

REDUCEREA PIERDERILOR EXERGETICE PRIN UTILIZAREA REGENERATORULUI DE CĂLDURĂ ÎNTRE SOLUȚII LA INSTALAȚIA FRIGORIFICĂ CU ABSORBȚIE

Prof.dr.ing. Sava PORNEALĂ, Ing. Constantin BEJU*

*UNIVERSITATEA „Dunărea de Jos” din Galați, **S.C. ARMOPAN Arad

Abstract. The purpose of the paper is to emphasize the importance of the regenerative heat exchanger between the solutions, to improve the coefficient of performance and the exergetic efficiency. In order to explain from a thermodynamic point of view the importance of regenerative heat exchange, two distinct units of the refrigerating plant were considered: thermocompressor and thermodetentor. The study was realized for different working conditions, considering certain ranges for temperatures of the three heat sources.

The paper presents the analysis of the exergetic losses reduction and their placement in the two units by introducing the regenerative heat exchanger.

1. INTRODUCERE

Sistemele cu absorbție au un număr important de avantaje în comparație cu sistemele cu compresie mecanică de vapori: nu necesită compresoare, pot fi acționate cu energie termică de potențial scăzut, consumul de energie electrică pentru antrenarea pompei este neînsemnat, au o durată mare de funcționare și o excelentă comportare în sarcină parțială, soluțiile de lucru folosite frecvent ca, bromura de litiu-apă și apă-amoniac nu distrug stratul de ozon. Sistemele cu absorbție captează atenția specialiștilor în tot mai mare măsură, în special datorită acțiunii distructive asupra ozonului din stratosferă a agenților CFC (clor-fluor-carbon) folosiți în sistemele cu comprimare mecanică. În plus, răcirea prin absorbție este mult recomandată pentru a anula vârful de sarcină electrică cerut de răcirea din sezonul cald.

Lucrarea de față își propune să prezinte un studiu detaliat asupra importanței regeneratoarelor de căldură între soluții în scopul ameliorării performanțelor instalației cu absorbție, pentru diverse condiții de funcționare.

2. DIAGRAMA EXERGETICĂ

În cazul instalației frigorifice cu absorbție cu soluție de apă-amoniac (fig. 1), ansamblul format din generatorul de vapori GV, absorbtorul Ab, regeneratorul de căldură SS, pompa P și ventilul de laminare VL este cunoscut sub denumirea de „compresor termochimic” deoarece asigură comprimarea debitului masic \dot{m}_1 de vapori, de la starea 5a la starea 2. Ansamblul format din condensatorul K, subrăcitorul Sr, ventilul de laminare VL1 și vaporizatorul V realizează destinderea de la starea 2 la starea 5a și se propune să fie denumit „detentor termic” (sau termochimic).

În fig. 2 se prezintă diagrama fluxurilor exergetice pentru instalația frigorifică cu absorbție, pentru cele două unități, CT (compresor termochimic) și DT (detentor termochimic).

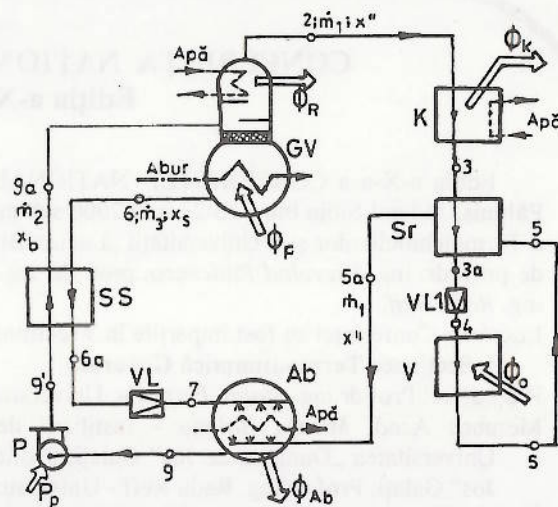


Fig.1. Schema instalației frigorifice cu absorbție.

În compresorul termochimic (CT) se introduce fluxul de exergie $\dot{E}_{x_{\Phi F}} + P_P$ cu care se acoperă pierderile exergetice $\dot{E}_{x_{P_{CT}}}$. Fluxul de exergie rămas $\dot{E}_{x_{CT}}$ este furnizat de către compresorul termochimic detentorului termic DT pentru a asigura ridicarea potențialului termic al fluxului Φ_0 (puterea frigorifică) de la temperatura T_r până la temperatura T_a , deci obținerea fluxului exergetic $|\dot{E}_{x_{\Phi_0}}|$, cât și pentru acoperirea pierderilor exergetice $\dot{E}_{x_{P_{DT}}}$ din această porțiune de instalație (fig. 2).

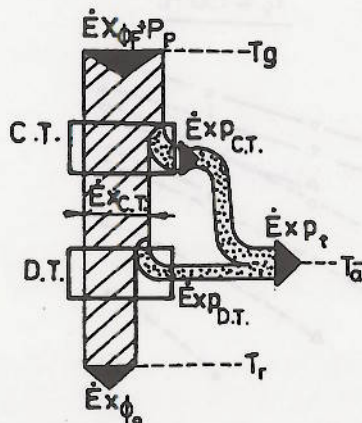


Fig. 2. Schema fluxurilor exergetice pentru instalația frigorifică cu absorbție.

Ecuția de bilanț exergetic pe întreaga instalație este:

$$\dot{E}x_{\phi_F} + P_P = |\dot{E}x_{\phi_0}| + \dot{E}x_{P_{CT}} + \dot{E}x_{P_{DT}} \quad (1)$$

$$\dot{E}x_{\phi_F} = |\dot{E}x_{\phi_0}| + \dot{E}x_{P_t} \quad (2)$$

unde $\dot{E}x_{P_t}$ reprezintă pierderile exergetice totale din instalație.

Pe baza primului principiu al termodinamicii este definită eficiența frigorifică sau *coeficientul de performanță* al instalației frigorifice COP_{IFA} , iar pe baza celui de al doilea principiu al termodinamicii se definește *randamentul exergetic* η_{exIFA} , prin relațiile:

$$COP_{IFA} = \frac{\Phi_0}{\Phi_F + P_P} \quad (3)$$

$$\eta_{exIFA} = \frac{|\dot{E}x_{\phi_0}|}{\dot{E}x_{\phi_F} + P_P} = 1 - \frac{\dot{E}x_{P_t}}{\dot{E}x_{\phi_F} + P_P} \quad (4)$$

Se pot defini randamentele exergetice pentru cele două unități componente:

$$\eta_{exCT} = \frac{\dot{E}x_{CT}}{\dot{E}x_{\phi_F} + P_P}$$

$$\eta_{exDT} = \frac{|\dot{E}x_{\phi_0}|}{\dot{E}x_{CT}} \quad (5)$$

Rezultă:

$$\eta_{exIFA} = \eta_{exCT} \cdot \eta_{exDT} \quad (6)$$

3. STUDIUL IMPORTANȚEI REGENERATORULUI DE CĂLDURĂ SS

Dacă ne imaginăm că scoatem din instalație aparatul SS, nu se modifică zona de degazare, factorul de circulație și nici debitele masice. Se modifică doar

puterile termice ale fierbătorului și absorbitorului, ambele crescând cu Φ_{SS} .

Pentru instalația fără SS, dar cu aparatul Sr, se utilizează indicele "prim" pentru mărimile care diferă față de instalația cu SS. La instalația fără SS, în locul stărilor 6a și 9a apar stările 6 și 9' (sau starea 9 dacă se neglijează saltul de entalpie în pompă). Rezultă:

$$\Phi'_{Ab} = \dot{m}_1 i_{5a} + \dot{m}_2 i_6 - \dot{m}_3 i_9$$

ec.bt.Ab $\Rightarrow \Phi'_{Ab} \quad (7)$

$$\Phi'_F - \Phi_R = \dot{m}_1 i_2 + \dot{m}_2 i_6 - \dot{m}_3 i_9$$

ec.b.t.GV $\Rightarrow \Phi'_F - \Phi_R \quad (8)$

Se observă că:

$$\Phi'_F = \Phi_F + \Phi_{SS} \quad (9)$$

$$\Phi'_{Ab} = \Phi_{Ab} + \Phi_{SS} \quad (10)$$

Puterile termice Φ_K și Φ_R nu se modifică dacă nu se utilizează aparatul SS.

La instalația fără aparatul SS, coeficientul de performanță COP' și randamentul exergetic η'_{ex} se calculează cu relațiile de la instalația cu ameliorări în care se înlocuiește Φ_F cu Φ'_F .

Este evident faptul că: $COP' < COP$ și $\eta'_{ex} < \eta_{ex}$.

Deoarece randamentul exergetic scade, iar fluxul de exergie care iese din instalație, corespunzător puterii frigorifice nu se modifică, rezultă că la instalația fără aparatul SS cresc pierderile exergetice. Folosind diagrama fluxurilor exergetice pentru cele două părți componente se poate preciza că prezența sau absența aparatului SS nu modifică fluxul de exergie $\dot{E}x_{CT}$ și nici pierderile exergetice din detentorul termic, ca urmare, pierderile exergetice suplimentare care apar când aparatul SS lipsește sunt localizate în compresorul termochimic, unde apare creșterea puterilor termice la aparatele F și Ab.

Se notează cu R raportul dintre puterile termice Φ_{SS} și Φ'_F , pentru a pune în evidență influența gradului de regenerare a căldurii asupra performanțelor instalației:

$$R = \Phi_{SS} / \Phi'_F \quad (11)$$

Rezultă:

$$COP = \frac{\Phi_0}{\Phi_F} = \frac{\Phi_0}{\Phi'_F - \Phi_{SS}} = \frac{\Phi_0}{\Phi'_F - \Phi'_F \cdot R} = \frac{\Phi_0}{\Phi'_F} \cdot \frac{1}{1-R} = COP' \cdot \frac{1}{1-R} \quad (12)$$

$$\eta_{ex} = \frac{\Phi_0 \cdot \left(\frac{T_a}{T_0} - 1 \right)}{\Phi_F \cdot \left(1 - \frac{T_a}{T_{Fm}} \right)} = \frac{\Phi_0 \cdot \eta_0}{\Phi_F \cdot \eta_F} \quad (13)$$

$$= \frac{\Phi_0 \cdot \eta_0}{\Phi'_F \cdot (1-R) \cdot \eta_F} = \eta'_{ex} \cdot \frac{1}{1-R}$$

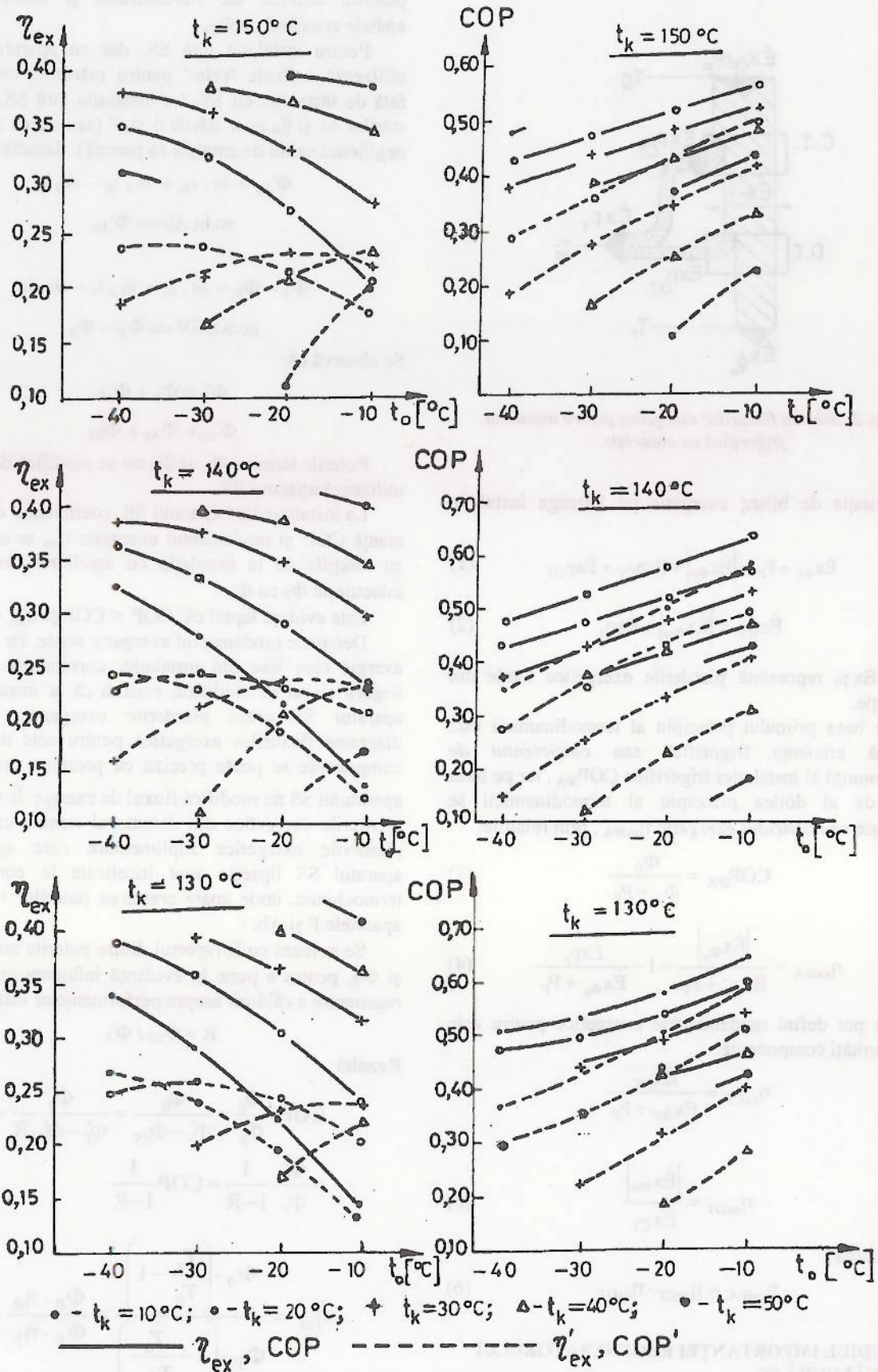


Fig. 3. Ameliorarea performanțelor instalației cu absorbție prin folosirea regeneratoarelor SS.

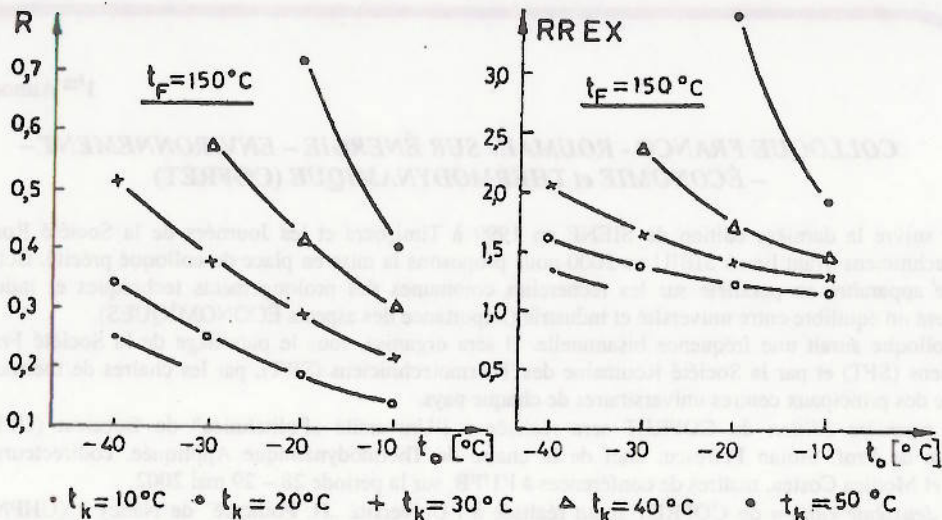
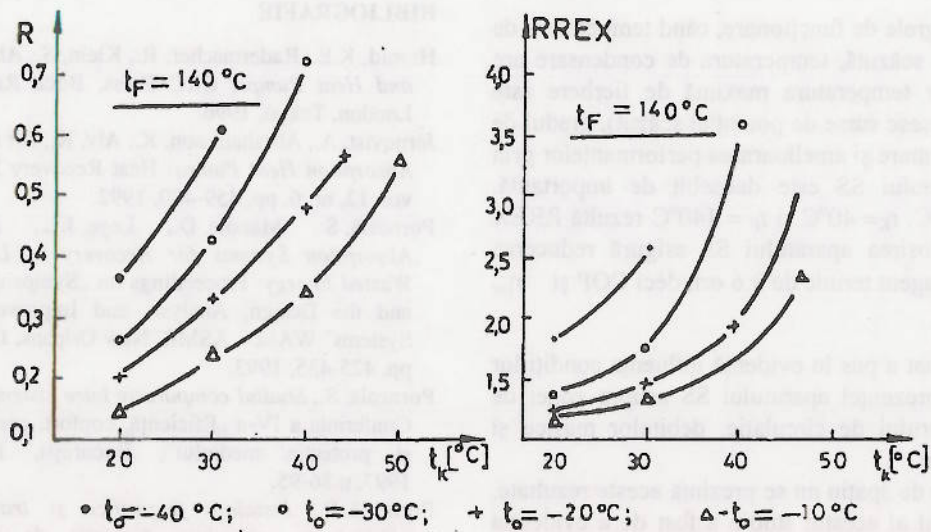


Fig. 4. Gradul de regenerare a căldurii și ameliorarea performanțelor instalației prin utilizarea aparatului SS.

$$\frac{\eta_{ex}}{\eta'_{ex}} = \frac{COP}{COP'} = \frac{1}{1-R} = RREX \quad (14)$$

Mărima RREX reprezintă creșterea randamentului exergetic și a coeficientului de performanță în cazul utilizării regeneratoarelor de căldură SS față de cazul când acest aparat nu s-ar folosi.

4. CONCLUZII

Rezultatele studiului asupra importanței aparatului SS în diferite condiții de lucru sunt prezentate în fig. 3 și 4 în două variante: cu și fără regeneratorul SS. Se constată că:

- Randamentul exergetic al instalației cu SS este mai mare decât la instalația fără acest aparat. Raportul RREX este mai mare decât 1. Gradul de regenerare a căldurii influențează în mod direct asupra raportului RREX.

- Pentru temperatura maximă de fierbere t_F menținută constantă creșterea temperaturii de condensare conduce la micșorarea coeficientului de performanță, dar randamentul exergetic crește. Această concluzie este valabilă pentru orice temperatură de vaporizare.

- Pentru $t_F = \text{ct.}$ și $t_k = \text{ct.}$, scăderea temperaturii de vaporizare conduce la micșorarea coeficientului de performanță și la creșterea randamentului exergetic, temperaturile de condensare mai scăzute având o influență mai mare.

- Creșterea temperaturii agentului termic folosit, deci și a temperaturii t_F are o influență relativ mică asupra performanțelor, înregistrându-se totuși o ușoară scădere a randamentului exergetic. Se are în vedere această concluzie în valorificarea surselor termice cu potențial scăzut, care sunt și mai ieftine.

● În condițiile grele de funcționare, când temperatura de vaporizare este scăzută, temperatura de condensare are valori mari, iar temperatura maximă de fierbere este scăzută (se folosesc surse de potențial scăzut), gradul de regenerare este mare și ameliorarea performanțelor prin folosirea aparatului SS este deosebit de importantă. Pentru $t_o = -30^\circ\text{C}$, $t_K = 40^\circ\text{C}$ și $t_F = 140^\circ\text{C}$ rezultă RREX = 3,6 deci folosirea aparatului SS asigură reducerea consumului de agent termic de 3,6 ori, deci COP și η_{ex} cresc de 3,6 ori.

● Studiul efectuat a pus în evidență influența condițiilor de lucru și a prezenței aparatului SS asupra zonei de degazare, factorului de circulație, debitelor masice și puterilor termice.

Din motive de spațiu nu se prezintă aceste rezultate. Scopul principal al acestui studiu a fost de a evidenția gradul de creștere a randamentului exergetic și a coeficientului de performanță prin introducerea regeneratoarelor de căldură SS.

BIBLIOGRAFIE

- Herold, K.E., Radermacher, R., Klein, S., *Absorption Chillers and Heat Pumps*, CRC Press, Boca Raton, New York, London, Tokyo, 1996.
- Jernqvist, A., Abrahamsson, K., Aly, K., *On the Efficiencies of Absorption Heat Pumps: Heat Recovery Systems & CHO*, vol. 12, nr. 6, pp. 459-480, 1992.
- Porneală, S., Manole, D., Lage, J.L., *Resorption and Absorption Systems for Recovery of Low Temperature Wasted Energy: Proceedings on „Symposium on Economics and the Design, Analysis and Improvement of Energy Systems” WAM – ASME*, New Orleans, Louisiana, U.S.A., pp. 425-435, 1993.
- Porneală, S., *Studiul comparativ între sistemele cu absorbție: Conferința a IV-a „Eficiență, confort, conservarea energiei și protecția mediului”*, București, 19-21 noiembrie 1997, p.86-95.
- Porneală, S., *Instalații frigorifice și transformatoare de căldură cu absorbție*, Colecție de studii personale, Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați, 1998.

1^{ère} Annonce

COLLOQUE FRANCO - ROUMAIN SUR ÉNERGIE – ENVIRONNEMENT – – ÉCONOMIE et THERMODYNAMIQUE (COFRET)

Pour suivre la dernière édition de SIENE en 1999 à Timișoara et les Journées de la Société Roumaine des Thermotechniciens ayant lieu à SIBIU en 2000 nous proposons la mise en place du colloque précité. Cette initiative doit faire apparaître en parallèle sur les recherches communes des prolongements techniques et industriels. On recherchera un équilibre entre université et industrie (importance des aspects ÉCONOMIQUES).

Le colloque aurait une fréquence bisannuelle. Il sera organisé, sous le patronage de la Société Française des Thermiciens (SFT) et par la Société Roumaine des Thermotechniciens (SRT), par les chaires de thermodynamique appliquée des principaux centres universitaires de chaque pays.

● *La première édition* du COFRET sera réalisée à l'Université „Politehnica” de Bucarest (UPB), sous la présidence de Prof. Stoian Petrescu, chef de la chaire de Thermodynamique Appliquée, codirecteurs Gheorghe Popescu et Monica Costea, maîtres de conférences à l'UPB, sur la période 28 – 29 mai 2002.

● *La deuxième édition* du COFRET serait réalisée à l'Université „H. Poincaré” de Nancy 1 (UHPN1), sous la présidence de Prof. Michel Feidt, président de la section Thermodynamique de SFT, codirecteurs Riad Benelmir et de Rahal Boussehain, maîtres de conférences à UHPN1, en 2004.

Il apparaît aussi que ce colloque permettrait de prolonger l'action actuelle de l'ADEME traduite par SIENE, renforcerait la dynamique du réseau formation recherche en cours d'émergence, ainsi que la relation université – industrie qui doit absolument être développée conjointement.

DOMAINES SCIENTIFIQUES: Moteurs et turbines (On insistera sur les systèmes énergétiques comportant des moteurs thermiques et les turbines à gaz; les moteurs d'avions et aérospatiaux ne sont pas exclus). **Machines à froid standards et cryogéniques** (Les applications au conditionnement d'air et à la climatisation des bâtiments ne sont pas exclues). **Pompes à chaleur** (Tous les développements du domaine seront considérés). **Thermodynamique** (Ce domaine est un domaine plus fondamental dans lequel on considérera plus particulièrement les développements nouveaux visant à lier les notions d'Énergie, d'Enthalpie, d'Entropie, d'Exergie, d'Effacité, d'Économie, d'Environnement).

MANIFESTATION D'INTENTION: Les personnes désirant participer (communiquer) à la 1^{ère} édition de ce colloque voudront bien adresser une lettre d'intention à l'un des organisateurs ci-après, avec un titre de la proposition soumise s'il y a.

ADRESSE POUR ENVOI:

Conf.dr.ing. G. POPESCU - Chaire de Thermotechnique, Machines Thermiques et Frigorifiques, Faculté de Génie Mécanique, Université „Politehnica” de Bucarest, Splaiul Independenței 313, sect. 6, 77206 Bucarest, ROUMANIE. E-mail: puiu@theta.termo.pub.ro

Prof. MICHEL FEIDT - LEMTA, Université „H. Poincaré” de Nancy 1, 2 avenue de la Forêt de Haye, 54504 VANDOUVRE CEDEX, FRANCE. E-mail: Michel.Feidt@ensem.inpl-nancy.fr