

Recherche énergétique	Programme de recherche énergétique Chaleur ambiante, rejets thermiques, installations chaleur-force	sur mandat de l'Office fédéral de l'énergie OFEN
-----------------------	---	--

Rapport annuel 2002, 06 décembre 2002

# Migration d'huile dans les pompes à chaleur

Auteur et coauteurs	Michele Zehnder, Prof. Daniel Favrat
Institution mandatée	Laboratoire d'Energétique Industrielle, EPFL
Adresse	1015 Lausanne
Téléphone, e-mail, site Internet	021 / 693 25 11 (35 06), daniel.favrat@epfl.ch , michele.zehnder@epfl.ch <a href="http://leniwww.epfl.ch/research/Show?record_id=8">http://leniwww.epfl.ch/research/Show?record_id=8</a>
N° OFEN	Projet 133683 contrat 73580
Durée prévue du projet	Du 1 août 1999 au 30 mars 2003

## RÉSUMÉ

Ce projet de recherche est un parmi d'autres menés au Laboratoire d'Energétique Industrielle sous le mandat par l'Office Fédérale de l'Energie visant un développement de pompes à chaleur air-eau à haute performance susceptibles à remplacer des chaudières dans les villas. Les concepts les plus prometteurs parmi les solutions étudiées sont les cycles à deux étages de compression, les cycles biétagés. Plusieurs approches biétagées ont été étudiées et testées sur des machines prototypes en laboratoire [1,2,3].

L'expérience a montré que la mise en œuvre des concepts biétagés classiques souffre du problème potentiel de défauts de lubrification des compresseurs causé par la migration d'huile à travers le système. En plus cette huile provoque une baisse des performances du cycle [4], ceci surtout au niveau du transfert de chaleur dans l'évaporateur.

L'analyse approfondie de la **migration d'huile dans les pompes à chaleur air-eau mono- et biétagées** comporte la mise en place d'une méthode très sensible de mesure en ligne de concentration d'huile par un spectromètre infrarouge ainsi que la proposition de concepts stables pour la lubrification des compresseurs montés en série. L'influence de séquence de dégivrage est également étudiée sur la distribution de l'huile dans les éléments principaux de la pompe à chaleur.

La méthode de mesure de concentration d'huile par un spectromètre infrarouge montre une haute sensibilité et l'alternative qui est un densimètre à effet Coriolis ne peut pas être appliquée pour toute la gamme de conditions thermodynamiques. L'étalonnage et les outils d'analyse ont pu être finalisés permettant d'intégrer les instruments de mesure dans la pompe à chaleur.

Des essais en régime permanent de la pompe à chaleur chargée avec du R-134a ont été effectués en vue d'identifier des problèmes de l'équilibrage du niveau d'huile. Plusieurs régimes de fonctionnement ont été testés afin d'évaluer les performances de la machine en fonctionnement bi- et monoétagé.

## 1. Buts du projet pour 2002

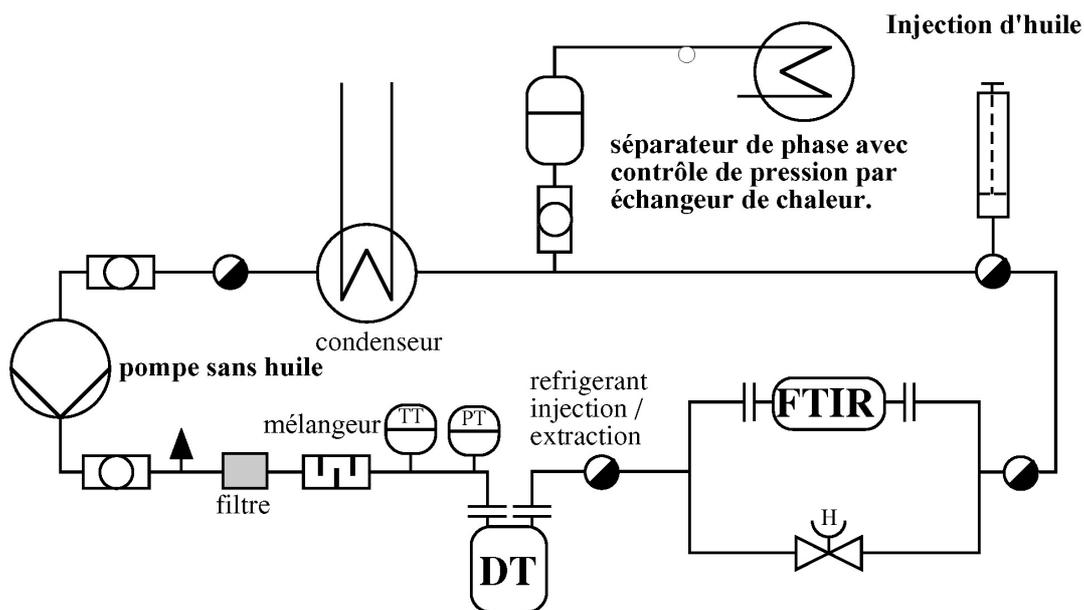
Le projet de recherche vise à caractériser expérimentalement et théoriquement la **migration d'huile** dans les circuits de pompe à chaleur mono- et biétagées sans ou avec dégivrage par inversion de cycle. La génération d'une base de données expérimentale originale permettra d'établir des lignes directrices pour le design de concepts plus performants et à fiabilité accrue, notamment pour les cycles biétagés des pompes à chaleur en substitution de chaudière.

Les buts pour 2002 ont été: a) **Mesure de concentration** d'huile sur un régime stabilisé dans une boucle d'étalonnage au R-134a et avec le mélange R-407C et comparaison entre les méthodes de mesure choisies (FTIR, densimètre et prise d'échantillons). b) **Déplacement de la pompe à chaleur vers le stand d'essais air-eau** afin de tester et améliorer les derniers défauts et de mener la campagne de mesure complète. Des tests avec d'abord le réfrigérant R-134a et ensuite le mélange R-407C avec les capteurs de mesures ont été planifiés.

## 2. Travaux effectués et résultats acquis en 2002

### 2.1 Essais de concentration

La boucle permettant la calibration des capteurs avec lesquels on va déterminer la concentration d'huile est montrée à la [figure 1](#) ci-dessous.



**Fig. 1:** Boucle pour l'étalonnage de la mesure de concentration d'huile.

Les tests menés sur cette boucle comportent:

- 1) Analyse des grandeurs caractéristiques du réfrigérant et du mélange réfrigérant-huile pour des conditions thermodynamiques variables.
- 2) Tests à différentes concentrations d'huile (contrôlée par l'injection d'huile depuis une seringue) avec R-407C et l'huile polyol ester (EAL Arctic 22 CC) et avec le mélange R-134a - huile. Traitement intensif des résultats pour le spectromètre FTIR et pour le densimètre.
- 3) Répétitions des tests à des conditions identiques afin de vérifier la reproductibilité de la mesure pour un régime donné.

### Propriétés des constituants à température variable

Comme déjà évoqué, pour la sélection de cette méthode, la précision de mesure pour la concentration d'huile par le **spectromètre infrarouge à transformée de Fourier (FTIR)** atteint une sensibilité très élevée (env. 0.1% huile). L'application de cette méthode à des liquides sous des conditions thermodynamiques aussi variables que celle auxquelles on est confronté dans un circuit frigorifique, pose des problèmes majeurs à l'utilisation des logiciels standard de quantification de substances. Alors, les modules de traitement de données ont dû être programmés en entier (avec Matlab), ce qui a pris un temps considérable.

La figure ci-dessous montre l'évolution avec la température de l'intensité relative des pics d'absorption les plus importants du mélange R-407C. L'écart type trouvé sur les points de mesures répétés est très faible montrant bien l'influence de la température sur la mesure des spectres d'absorption infrarouge. Des essais de même type en pression variable n'ont pas montré un changement significatif. Par l'enregistrement du spectre du réfrigérant sans huile à différentes conditions, il sera possible de vérifier la composition du réfrigérant en cours d'essais en pompe à chaleur.

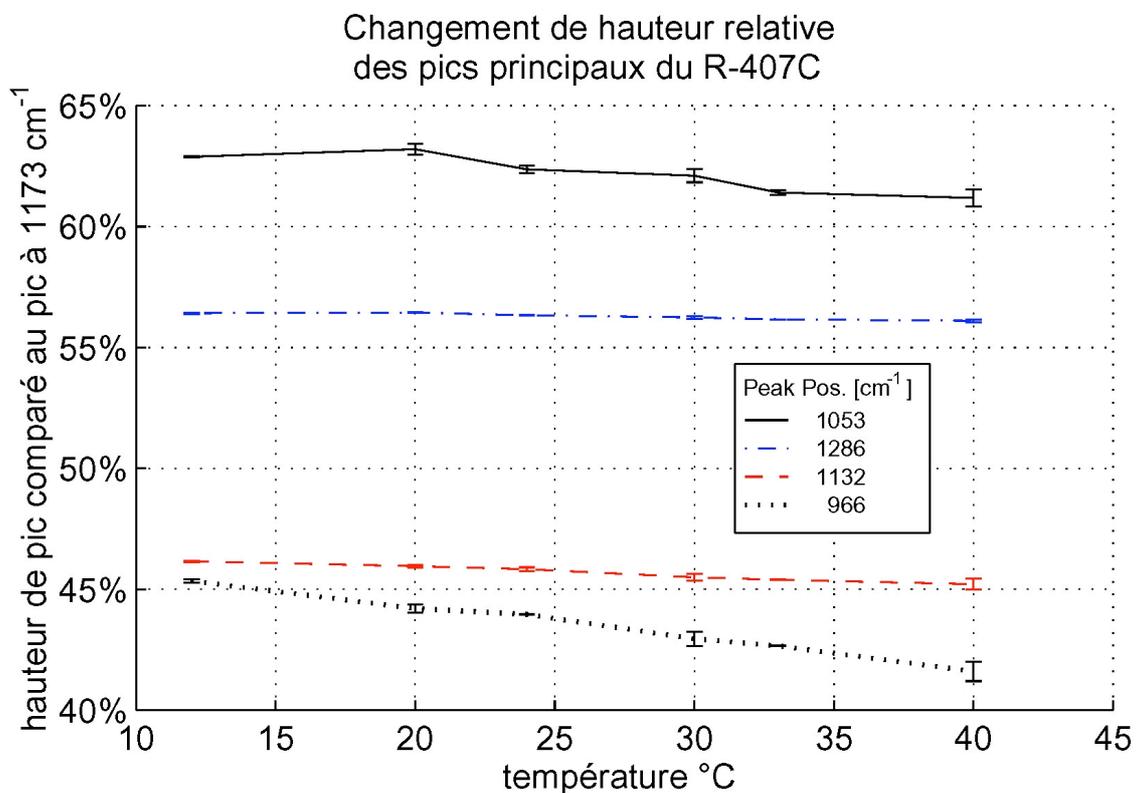
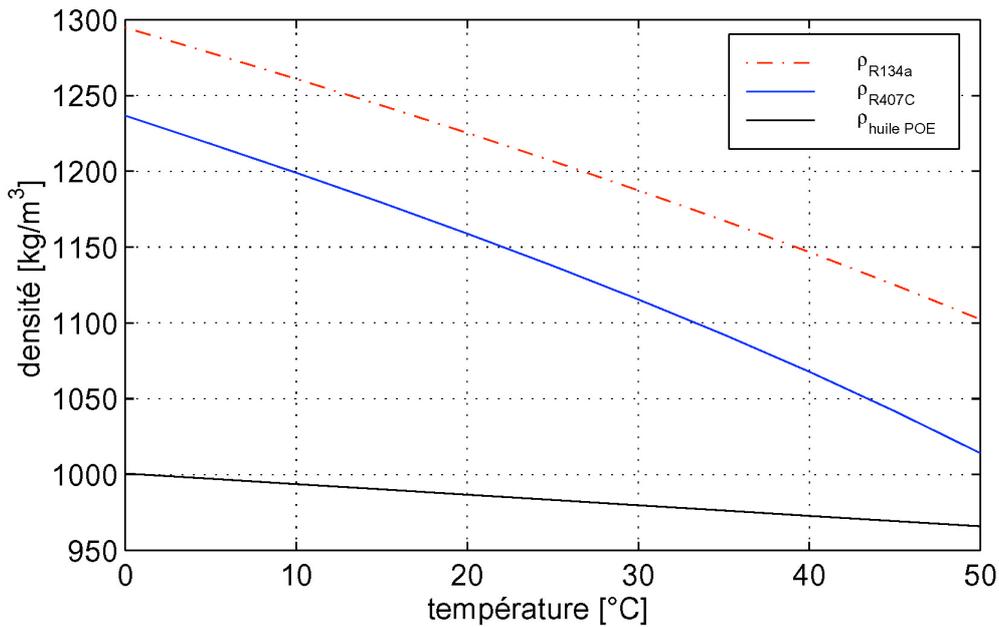


Fig. 2: Boucle pour l'étalonnage de la mesure de concentration d'huile.

Vu l'évolution de la densité des constituants en fonction de la température (voir [figure 3](#)) la prédiction de la concentration d'huile par la mesure de la densité de mélange devient très difficile pour les températures élevées. La densité mesurée du réfrigérant pur est très proche de la valeur calculée par Refprop pour le réfrigérant R-134a (erreur relative de max. 0.2% pour toutes les températures) et un offset significatif en résulte pour le mélange R-407C (erreur relative de 0.5% à 0.95% à 10°C – 50°C). Ceci montre d'une part la qualité de l'appareil de mesure et d'autre part il faudra bien faire attention d'utiliser la valeur mesurée comme point de départ pour la composition du modèle de mélange.

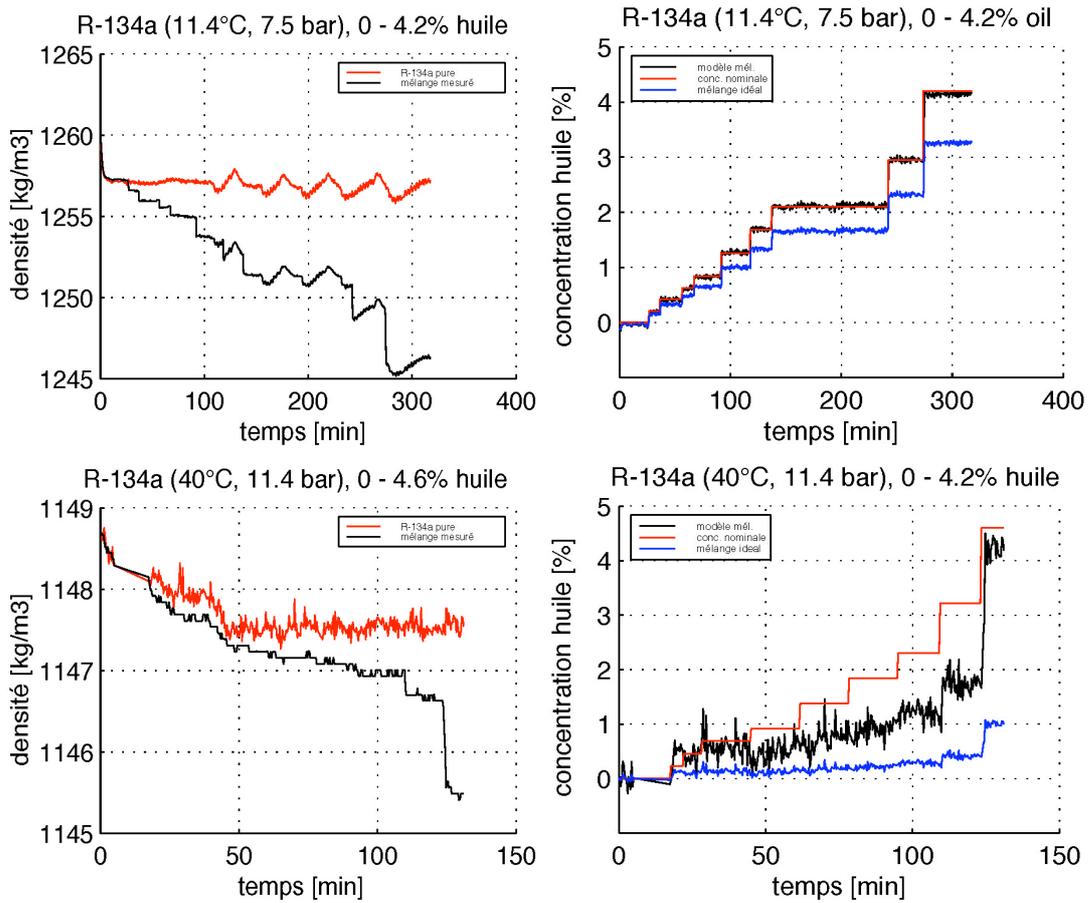


**Fig. 3:** Comparaison de la densité liquide (calculée par Refprop) pour les réfrigérants R-407C et R-134a et l'huile polyol ester EAL Arctic 22 CC (tableau de données).

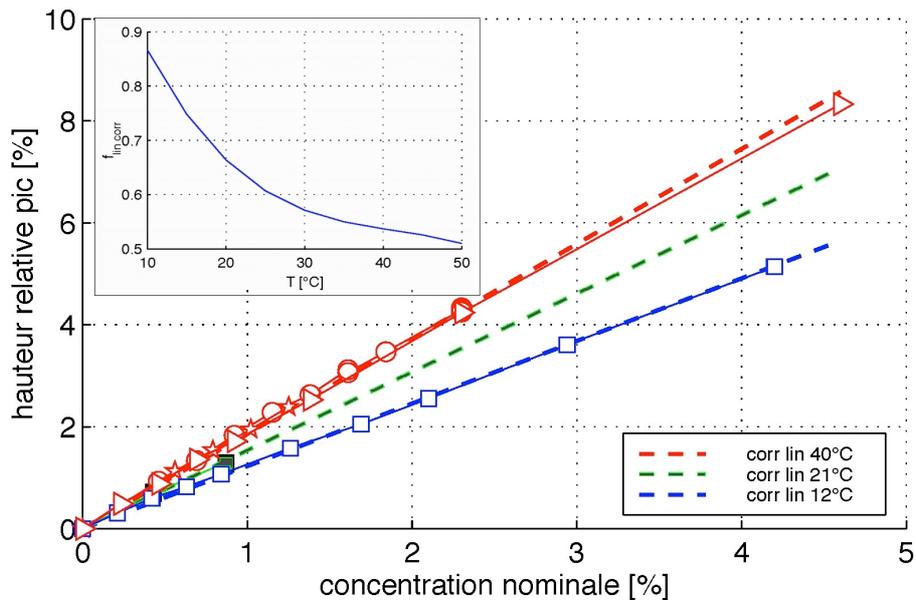
### Mélanges déterminés, séries avec évolution

Les effets non linéaires de mélanges réels diminuent de manière importante la résolution de la mesure de concentration par la densité. Pour l'exemple montré à la [figure 4](#) une évolution de 0% à 4% d'huile dans le R-134a montre, à la température de 40°C l'impossibilité d'une prédiction de la concentration. En effet jusqu'à une concentration nominale de 2% la densité mesurée varie dans l'ordre de la résolution de l'appareil de mesure. De même cette incertitude a été observée pour les essais de mélanges R-407C et huile.

Les mesures avec le spectromètre ne souffrent pas de ce phénomène de saturation. La répétitivité de mesures par spectromètre a pu être montrée par des mesures complémentaires (exprimée en hauteur relative du pic d'absorption le plus important du réfrigérant R-134a et celui de l'huile, [figure 5](#)). Il reste néanmoins le problème de rétention d'huile, si la boucle est à l'arrêt pour un certain espace de temps. Une baisse de la concentration nominale de 4.6% à une concentration effective mesurée par échantillon après que la pompe ait été arrêtée pendant la nuit à 4.03% a été observée et confirmée par le densimètre et par le spectromètre.



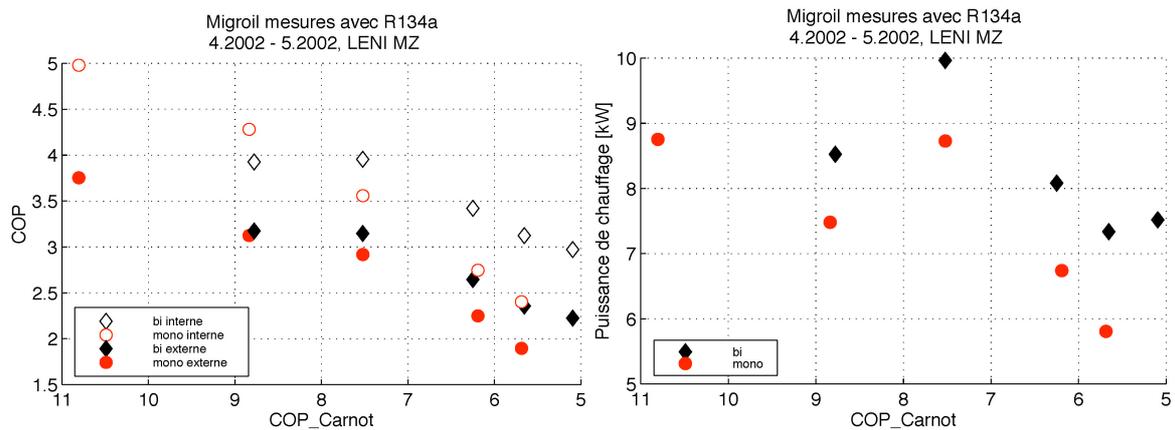
**Fig. 4:** Régimes de fonctionnement à 11.4°C et 40°C, évolution des densités pour le mélange R-134a et 0 à 4.2% d'huile et 4.6% respectivement.



**Fig. 5:** Evolution de la concentration d'huile déterminée par FTIR à plusieurs niveaux de températures pour le mélange R-134a - huile. Indication du coefficient de corrélation linéaire pour la prédiction de concentration.

## 2.2 Mesures pompe à chaleur

Avant d'avoir pu terminer les mesures de concentration sur la boucle décrite plus haut nous avons profité d'un arrêt de mesures de pompe à chaleur sur le projet de collaboration entre EDF, Satag AG et l'OFEN pour mettre en place pour une première fois cette pompe à chaleur biétagée dans le stand d'essais air-eau du laboratoire. Le but de ces essais était d'observer le comportement du cycle en fonctionnement continu. Malheureusement le concept d'équilibrage du niveau d'huile dans les carters des compresseurs s'est montré instable et l'emplacement de la pompe de circulation a dû être modifié. Des essais au réfrigérant R-134a uniquement ont été effectués et les résultats des performances obtenues pour des régimes de fonctionnement sans dégivrage sont résumés ci-dessous (figure 6). L'analyse des mesures sera effectuée par un programme spécialisé à la validation d'essais [5] et des modèles de pertes de chaleur seront ainsi inclus dans le futur.



**Fig. 6:** Performances mesurées pour la pompe à chaleur biétagée avec le réfrigérant R-134a en régime permanent.

## 3. Évaluation de l'année 2002 et perspectives pour 2003

La méthode de mesure de concentration par le spectromètre infrarouge a pu être finalisée et les capacités limitées pour le densimètre ont été démontrées. En parallèle des séries de tests avec le réfrigérant R-134a ont été menés sur le stand de mesure qui montraient des problèmes d'équilibrage d'huile. Malheureusement les tests ont dû être interrompus afin de remettre en place la pompe à chaleur du projet [2] de PAC haute température. A cette double utilisation du stand d'essais s'ajoutaient des problèmes avec la boucle de climatisation. Le groupe froid était aussi employé par un autre groupe de recherche.

Pendant les derniers mois de cette année tous les efforts ont été mis dans le projet OFEN 'PAC haute température' [2] afin de le mener à terme (avec des résultats très satisfaisants) avant la fin de l'année. Ceci explique le grand manque de données expérimentales avec des mesures de concentration sur le cycle frigorifique de la pompe à chaleur biétagée, et ceci ne permettait pas de terminer le projet pour la fin de cette année.

La mise en service de l'installation complète est en cours de route et encore avant la fin de l'année des résultats concluants sont attendus. L'exploitation des résultats de mesures comporte alors la poursuite de la modélisation des phénomènes de migration ainsi que la validation du modèle de transfert de chaleur à l'évaporation proposé par Kattan-Thome-Favrat [6] et modifié par Zürcher [7].

## 4. Collaboration nationale et internationale

Le projet de migration d'huile s'inscrit dans une série de projets mandatés par l'Office Fédéral de l'Energie visant le développement d'une pompe à chaleur pour le marché de retrofit (chaudières à mazout ou gaz à remplacer). Dans le cadre de ces projets de collaborations se sont établies notamment avec Satag AG (Arbon), OFTTEch SA, Electricité de France (Centre de Recherche), Copeland (Sydney, Ohio) et Air Conditioning and Refrigeration Center à l'Université d'Illinois.

## 5. Références

- [1] E. Nidegger, D. Favrat et al.: ***Pompe à chaleur bi-étagée à haute performance***, Rapport final, Office Fédéral de l'Energie, Lausanne LENI-EPFL, juin 1997.
- [2] M. Zehnder, F. Maréchal, S. Guex, D. Favrat: ***Pompe à chaleur à haute température, phase 2***, Rapport final, Office Fédéral de l'Energie, Lausanne LENI-EPFL, novembre 2002.
- [3] J. Schiffmann: ***Compresseur radial pour pompe à chaleur biétagée***, Rapport final, Office Fédéral de l'Energie, Lausanne OFTTECH SA, novembre 2002.
- [4] J.T. McMullan, D.W. Hughes and R. Morgan, ***Influence of Lubricating Oil on Heat Pump Performance***, New University of Ulster, N. Ireland, 1983.
- [5] Belsim - ***Vali III***, v10 User Guide, Belsim s.a., Rue Georges Berotte, 29A, B-4470 Saint-Georges-sur-Meuse (Belgium), <http://www.belsim.com>, 2001.
- [6] N.Kattan, ***Contribution to the Heat Transfer Analysis of Substitute Refrigerants in Evaporator Tubes with Smooth or Enhanced Tube Surfaces***, LENI-EPFL, 1996.
- [7] O. Zürcher, ***Contribution to the Heat Transfer Analysis of Natural and Substitute Refrigerants Evaporated in a Smooth Horizontal Tube***, LENI-EPFL, 2000.