

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

Rapport annuel 2001, 04 décembre 2001

# 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), <a href="mailto:daniel.favrat@epfl.ch">daniel.favrat@epfl.ch</a> , <a href="mailto:michele.zehnder@epfl.ch">michele.zehnder@epfl.ch</a> <a href="http://leniwww.epfl.ch/research/Show?record_id=8">http://leniwww.epfl.ch/research/Show?record_id=8</a>
N° OFEN	Projet : 33683 contrat : 73580
Durée prévue du projet	Du 1 août 1999 au 30 avril 2002

## RÉSUMÉ

Le projet vise à analyser la **migration d'huile dans les pompes à chaleur mono- et bi-étagées** avec et sans cycle de dégivrage et de contribuer ainsi à la mise au point de futurs concepts avancés basés sur des cycles bi-étagés (surtout dans la prospection d'un emploi dans le marché de rénovation).

La construction du **stand d'essais** a pu être terminée. Des premiers tests d'évaluation ont pu être menés.

De multiples séquences de mesures ont été effectuées sur la **boucle de calibration** de la mesure de concentration d'huile permettant de générer des mélanges réfrigérant-huile à faibles concentrations. Le choix original de l'utilisation d'un **spectromètre infrarouge à transformée de Fourier** pour la mesure précise de la concentration d'huile se manifeste comme une approche fiable et les limites de résolution du densimètre à effet Coriolis sont repoussées.

Un modèle préliminaire de simulation de migration d'huile a pu être établi et des premiers résultats montrent un taux d'huile supérieur en sortie du compresseur du deuxième étage par rapport à son admission. Selon la simulation, un fonctionnement instable en résulte en mode bi-étagé. Ce phénomène a déjà pu être observé dans des projets antérieurs (voir projet *Pompe à chaleur bi-étagée à haute performance [1]*) et dans les tests d'évaluation de cette unité.

## 1. Buts du projet pour 2001

Le projet de recherche vise à caractériser théoriquement et expérimentalement 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 2001 ont été: a) **Construction et mise en service** d'un stand d'essais permettant d'effectuer des mesures stabilisées en régime permanent. b) **Etalonnage** à taux d'huile déterminé du spectromètre infrarouge (FTIR) et comparaison avec le densimètre à haute précision. c) Développement d'un **modèle de migration d'huile** s'appuyant sur un modèle d'écoulement annulaire biphasique en sortie des compresseurs.

## 2. Travaux effectués et résultats acquis en 2001

### 2.1 Stand d'essais: Pompe à chaleur biétagée

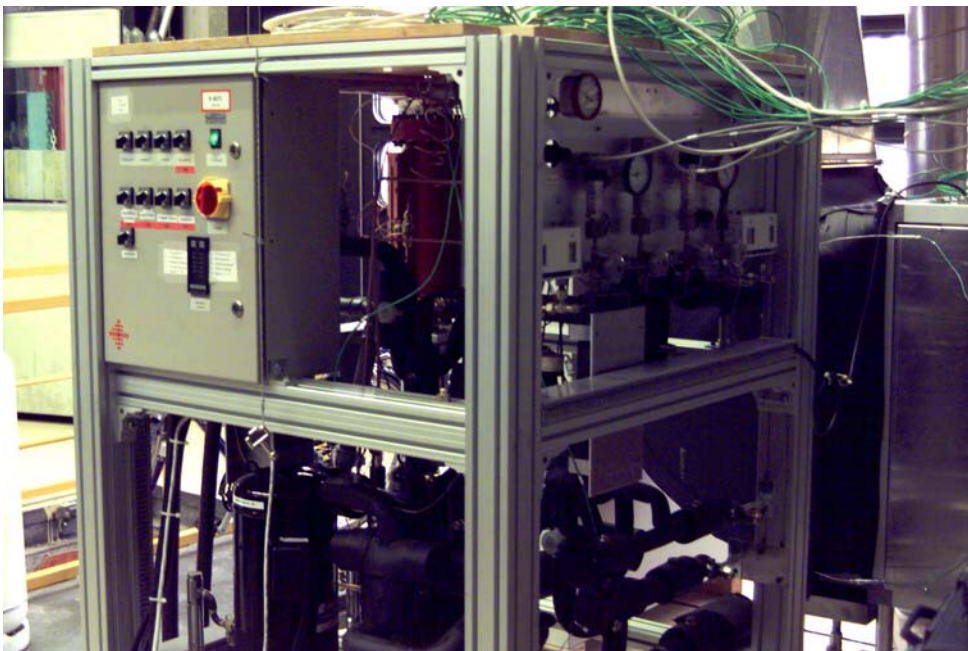


Fig. 1: Pompe à chaleur biétagée

L'image ci-dessus (voir Fig. 1) montre l'installation construite au Laboratoire d'Energétique Industrielle à l'EPFL. Ce stand d'essais permettra d'effectuer des mesures de migration d'huile en **3 modes de fonctionnement** distincts tel que:

- Chauffage en cycle monoétagé
- Chauffage en cycle biétagé (deux compresseurs en série) avec échangeur économiseur à l'étage de compression intermédiaire.
- Dégivrage avec le compresseur de base et une vanne d'inversion de cycle à 4 voies.

La pompe à chaleur est composée des **éléments principaux** comme suit :

- deux compresseurs scroll modifiés *Copeland* .
- deux vannes de détentés électroniques *Egelhof* .
- échangeurs à plaques brasés *SWEP* (économiseur) et *AlfaLaval* (condenseur).
- Évaporateur à tubes ailetés *AlfaLaval*.
- Echangeur tubulaire à contre courant *Packless*.
- Une vanne d'inversion de cycle pour le dégivrage *Ranco*.
- Une pompe d'huile *Gotec* pour l'équilibrage du niveau d'huile dans les carters des compresseurs.

Divers éléments de cette unité ont été repris d'un stand d'essais précédent (voir projet *Pompe à chaleur bi-étagée à haute performance [1]*), notamment le groupe évaporateur+ventilateur (situé en arrière plan de l'image). De même pour les vannes de détente électroniques, le condenseur et le panneau de commande. La liste détaillée des éléments composant cette nouvelle unité peut être consultée dans le rapport intermédiaire (voir *Rapport intermédiaire Migration d'huile [2]*).

Dû à l'occupation du stand d'essais de pompe à chaleur au LENI (voir *Rapport intermédiaire Pompe à chaleur air-eau à haute température [3]*) il n'était pas possible de tourner en régime permanent pendant une durée suffisamment longue et à des températures d'air en dessous de 0°C. Quelques tests avec un branchement provisoire ont montré un fonctionnement globalement correct. Des modifications mineures sont nécessaires (notamment une vérification de la pompe d'huile faisant l'équilibrage du niveau d'huile entre les deux compresseurs).

Une comparaison des mesures en fonctionnement stationnaire en mode mono- et biétagé montre les performances suivantes (voir Table 1):

<i>Mode de fonctionnement</i>	<i>COP</i>	<i>Puissance de chauffage</i>	<i>Température maximale</i>
<b>PAC monoétagée</b>	2.7	10.5 kW	110°C
<b>PAC biétagée</b>	3.2	11.9 kW	73°C

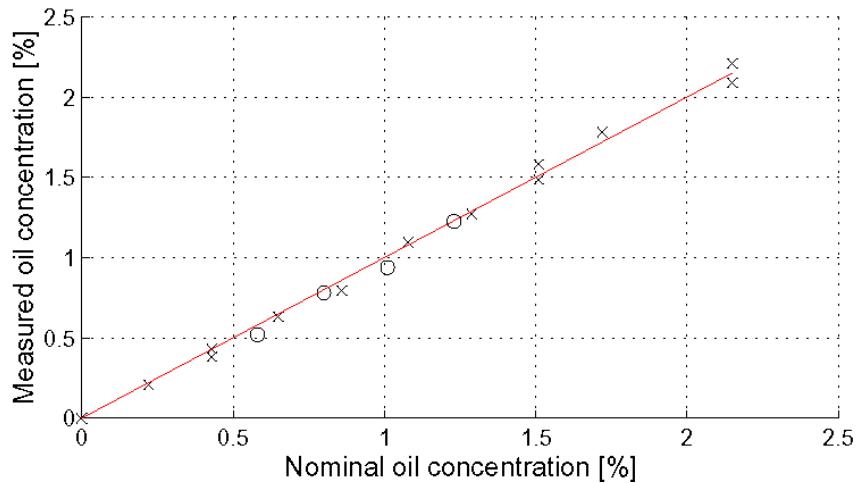
**Table 1:** Essais préliminaires A2/W50 air sec, réfrigérant R407C.

L'augmentation du COP entre le fonctionnement mono- et biétagé est remarquable déjà à ce niveau de température. Il faudra alors bien étudier en détail chaque élément du cycle pour confirmer ce résultat préliminaire.

## 2.2 Mesures de calibration de concentration d'huile

La boucle de calibration de concentration d'huile et le principe de mesure de la quantité d'huile avaient déjà été présentés (voir *Rapport intermédiaire Migration d'huile [2]*).

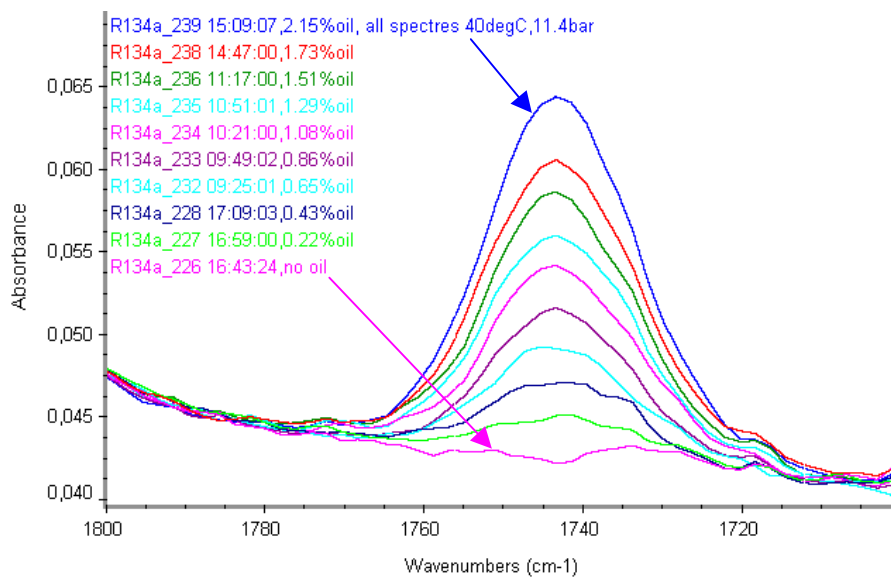
Le **spectromètre infrarouge à transformée de Fourier** (FTIR) est un appareil permettant des mesures de concentration d'huile très sensibles. La concentration d'huile mesurée et attendue se corrélient linéairement et la prise de spectres consécutifs montre une incertitude autour de  $\pm 0.1\%$ . Le seuil de détection est à env. 0.1% huile (voir Fig. 2). La concentration mesurée n'est pas sensible aux variations de pression (le mélange liquide étant incompressible, sa densité ne change que très peu). La mesure de la concentration dévie faiblement avec une variation de la température, env. 0.03% huile en valeur absolue, sur une gamme de 10 K.



**Fig. 2:** Séries de mesures de concentration d'huile (deux jours consécutifs) par FTIR, mélange R134a et huile EAL Arctic 22CC à 40°C et 11.4bar.

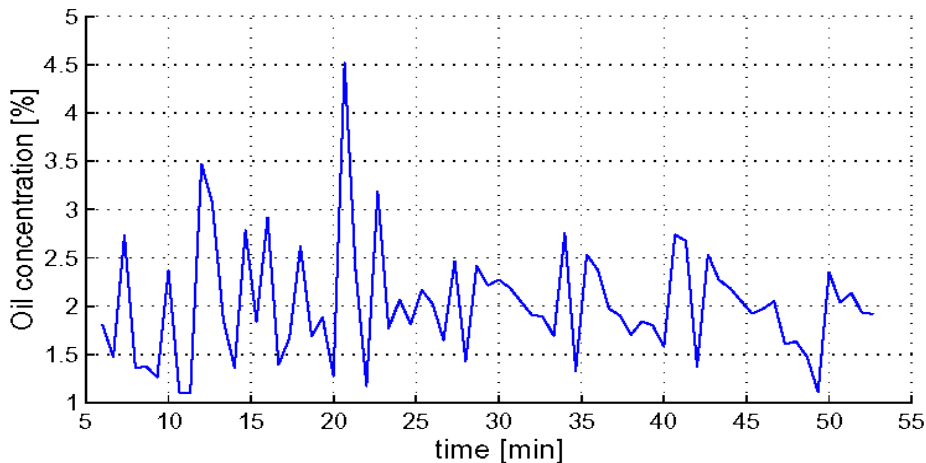
La distance par rapport au bruit de mesure est, même pour une concentration d'huile nominale de 0.22%, encore assez grande pour que le pic d'absorption propre à l'huile soit encore bien visible. La variation du pic mesuré pour une suite de mesures consécutives est illustré dans la figure suivante (voir Fig. 3).

La prise du spectre infrarouge permet une évaluation très sensible du mélange. Arrivé au stade d'effectuer des **évolutions propres** et répétitives, la prochaine étape consistera à prendre les spectres à plusieurs états thermodynamiques (variation en température) des 3 constituants purs du mélange R407C et du mélange réfrigérant-huile. Ceci permettra de contrôler à la fois la composition du mélange du réfrigérant et aussi de déterminer la quantité d'huile migrante à travers l'installation. Une telle mesure prend environ 20 secondes, ce qui permet de tracer une évolution temporelle à résolution suffisamment élevée pour la dynamique dans les cycles de pompe à chaleur (à l'exception des séquences de dégivrage).=



**Fig. 3:** Variation de l'intensité du pic d'absorption de l'huile mesurée pour une concentration de 0% à 2.15% à 40°C et 11.3bar.

Les **mesures réalisées** avec le **densimètre** montrent une augmentation de l'incertitude par rapport à la valeur fournie par le spectromètre. Les variations du signal de sortie du densimètre pour un même point de fonctionnement sont de l'ordre de  $\pm 0.1$  kg/m<sup>3</sup>. Avec la mesure de la densité, de la pression et de la température au niveau du densimètre, la concentration d'huile peut être calculée avec un modèle de mélange réel adapté. Les fluctuations sur la mesure finale sont importantes et il faudra étudier le signal de sortie du densimètre. Les **fluctuations** rencontrées en régime permanent sont illustrées à la figure suivante (voir Fig. 4). L'incertitude sur le taux de concentration est importante ( $> \pm 1\%$ ). La qualité du signal pourra éventuellement être améliorée avec l'utilisation d'une chaîne d'acquisition de meilleure qualité.

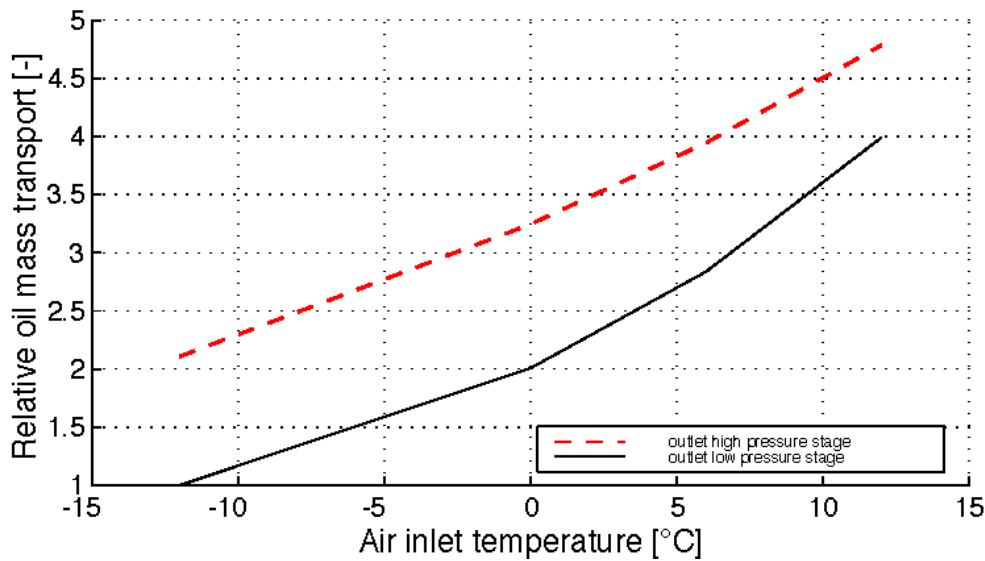


**Fig. 4:** Densimètre. Mesure de densité converti en concentration d'huile en régime permanent. R134a + EAL Arctic 22 CC, 40°C et 11.3 bar.

### 2.3 Modélisation du transport d'huile en sortie des compresseurs

Avec l'hypothèse d'un régime stationnaire à tous les points dans le circuit, le taux d'huile en migration peut être assimilé à celui qui est en sortie de chaque compresseur. Le modèle de simulation établi à ce stade présume un **écoulement annulaire biphasique** (film d'huile et vapeur de réfrigérant). Le comportement en termes d'émission d'huile des compresseurs est modélisé par une analogie de conduite simple.

En intégrant les équations de Navier-Stokes pour ce type d'écoulement et en faisant intervenir des corrélations à l'interface du film liquide, le débit de liquide est déterminé par l'équation suivante.



**Fig. 5:** Simulation du débit masse relatif d'huile entraîné par film dans un écoulement annulaire en sortie des compresseurs d'un cycle biétagé. Valeurs calculées pour un cycle biétagé allant de A-12/W60 à A12/W40.

Une première évaluation du modèle qui tient compte uniquement du transport d'huile dans le film liquide montre le déséquilibre attendu dans une pompe à chaleur à cycle biétagé (voir Fig. 5). Les autres contributions en termes d'entraînement de gouttelettes et par effet de mélange ne sont pas considérées ici. La quantité d'huile au départ du compresseur du deuxième étage excède la quantité aspirée par celui-ci.=

### 3. Évaluation de l'année 2001 et perspectives pour 2002

La construction du **stand d'essais** a demandé un effort particulier pour tous les participants. La mise en service s'est relativement bien passée. Au niveau de la régulation et la mesure du niveau d'huile il y a encore quelques problèmes à résoudre, afin de permettre le fonctionnement de l'installation en mode automatique. Le **contrôle régulier du niveau d'huile** dans les compresseurs est encore nécessaire. Dès qu'il sera possible, le stand d'essais sera déplacé et installé de manière définitive avec les instruments de mesure, tels que les débitmètres sur le circuit de réfrigérant, le densimètre et le spectromètre infrarouge.

Au niveau du **stand de calibration** pour le spectromètre infrarouge et le densimètre, plusieurs problèmes se sont manifestés engendrant un temps d'évaluation important. Les mesures avec le spectromètre sont très sensibles et demandent alors une stabilisation au niveau de la purge de 10 jours environ (ce qui était sous estimé de notre part). La constante de temps du système étant courte, a permis d'effectuer rapidement des mesures de concentration par la méthode FTIR.

Des problèmes majeurs ont été observés lors de l'**arrêt de la boucle d'étalonnage** pendant la nuit. En effet, la concentration d'huile mesurée diminue à chaque arrêt de l'installation sans revenir à sa valeur nominale. Une comparaison de spectres après une nuit de fonctionnement continu et une nuit d'arrêt montre que la diminution mesurée est vraisemblablement d'origine physique. Des essais complémentaires sont planifiés pour confirmer les observations faites.

Des **mesures** de densité et d'absorption du spectre infrarouge vont ensuite être faites **pour les 3 constituants purs du mélange R407C et du mélange réfrigérant-huile**. Ceci permettra d'établir une base de données complète qui pourrait donner sujet à plusieurs publications (spectres des réfrigérants bien documentés, mesure de concentration par FTIR, modélisation de la densité de mélange réel). Ensuite cette technique pourra être intégrée pour la mesure de concentration sur le cycle de pompe à chaleur.

La **modélisation de la migration d'huile** en régime stationnaire doit être bien étudiée pour les différents cas de fonctionnement. Le degré de validité de cette approche choisie sera démontré lors des premiers essais sur le stand au laboratoire. Pour les modes de fonctionnements transitoires (startup et dégivrages) il faudra également prendre en compte la rétention d'huile dans les différents éléments pour bien pouvoir effectuer le bilan d'huile dans les éléments principaux de la pompe à chaleur. L'hypothèse d'un régime annulaire doit être vérifiée surtout pour l'écoulement à la sortie de l'évaporateur, qui est généralement le lieu critique pour assurer un retour de l'huile au compresseur.

La poursuite en parallèle de plusieurs projets de pompe à chaleur en collaboration notamment avec l'OFEN et les changements du personnel attribué à ces activités n'as pas permis de poursuivre les étapes dans les délais prévus par le contrat. Afin de pouvoir mener à terme les travaux encore prévus, une prolongation du projet jusqu'à la fin de l'année 2002, sans demande d'augmentation de fonds financiers, est souhaitée.

## 4. 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, D.Favrat: ***Oil migration on single and two stage heat pump systems***, Rapport int., Office Fédéral de l'Energie, Lausanne LENI-EPFL, décembre 2000.
- [3] J. Schiffmann, D.Favrat: ***Pompe à chaleur air-eau haute température, phase 2***, Rapport int., Office Fédéral de l'Energie, Lausanne LENI-EPFL, juillet 2001.