

Elias Kinab, Dominique Marchio, Philippe Rivière
Ecole des Mines de Paris
Centre Energétique et Procédés de Paris
Eric Auzenet, Sandrine Amblard
CIAT

Objectifs

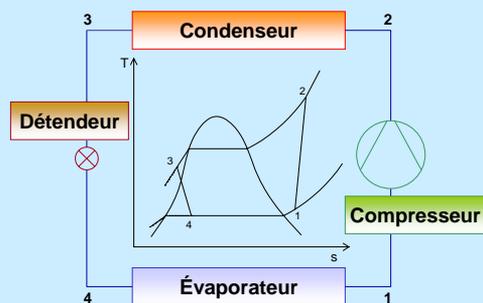
- Modélisation détaillée d'une pompe à chaleur air/eau réversible pour le secteur tertiaire
- Amélioration des performances énergétiques saisonnières en re-concevant les différents composants : échangeurs, compresseur, détendeur, charge, moto ventilateur, accessoires

Description modèle

Le modèle détaille les différentes étapes du cycle thermodynamique

- 1 — 2 Compression
- 2 — 3 Condensation
- 3 — 4 Détente
- 4 — 1 Évaporation

- ☐ calcule les propriétés thermodynamiques (température, enthalpie, pression...) du fluide pour chaque état
- ☐ calcule le point de fonctionnement en convergeant vers une valeur définie de sous-refroidissement et en égalisant les débits massiques au compresseur et au détendeur



Modèle compresseur

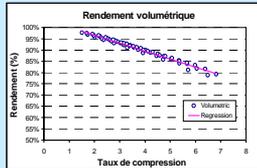
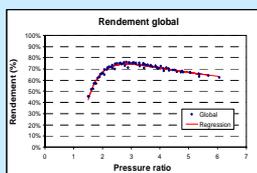
Équations caractéristiques : puissance et débit par essais constructeur

Entrées :

- Température d'évaporation
- Température de condensation
- Surchauffe

Sorties :

- Puissance absorbée
- Débit compresseur
- État du fluide à la sortie
- Rendement global et volumétrique



Modèle détendeur

Équation caractéristique reliant débit détendeur et surchauffe

Entrées :

- Pression d'évaporation
- Pression de condensation
- Enthalpie du fluide entrée
- Surchauffe

Sorties :

- Débit détendeur
- État du fluide à la sortie



Entrées

Choisir mode chaud ou froid
Choisir charge totale ou partielle
Air: Température ambiante, débit
Eau: température, débit
Géométrie échangeurs

Modèle compresseur

Modèle condenseur

Modèle détendeur

Modèle évaporateur

Ajustement
Pression condensation
Pression évaporation

Tests convergence

Sous refroidissement
Débit fluide

Sorties

COP ou EER
Pcalorique ou Pfrigorifique
Pabsorbée
Propriétés thermodynamiques du cycle

Modèle condenseur

En mode chaud: échangeur à plaques (réfrigérant/eau)
En mode froid: batterie à air (réfrigérant /air)

Modélisation de **type zonale** :

- Zone désurchauffe titre vapeur $x = 1$
- Zone condensation divisée en N éléments allant de $x = 1$ à $x = 0$
- Zone sous refroidissement $x = 0$

Corrélations d'échange thermique et de perte de charge différentes pour chaque zone interne + corrélations côté eau ou air

Entrées :

- État fluide sortie compresseur
- Caractéristiques de l'eau ou de l'air selon le mode de fonctionnement

Sorties :

- Puissance calorifique
- Sous refroidissement
- État du fluide à la sortie



Modèle évaporateur

En mode chaud: batterie à air (réfrigérant /air)

En mode froid: échangeur à plaques (réfrigérant /eau)

Modélisation de **type zonale** :

- Zone évaporation divisée en N éléments allant de x entrée à $x = 0$
- Zone surchauffe $x = 1$

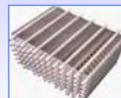
+ corrélations côté eau ou air

Entrées :

- État fluide sortie détendeur
- Caractéristiques de l'eau ou de l'air selon le mode de fonctionnement

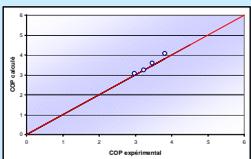
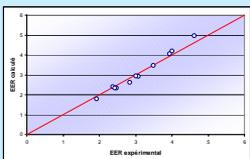
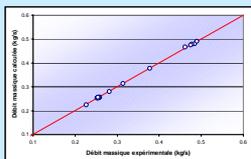
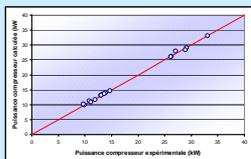
Sorties :

- Puissance frigorifique
- Surchauffe
- État du fluide à la sortie



Validation du modèle

Résultats de simulations comparés aux essais d'une machine de référence



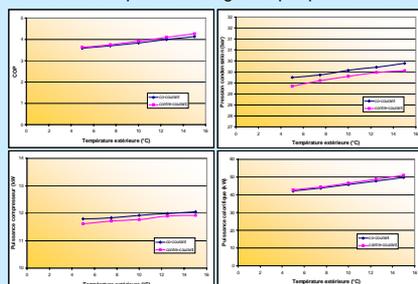
Résultats : Tests d'amélioration de la PAC

Amélioration diverses

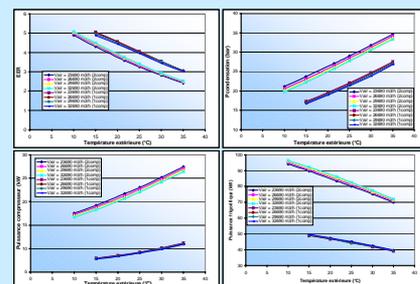
- Amélioration des échangeurs (batterie à ailettes persiennes, design échangeurs à plaques ...)
- Fonctionnement à contre-courant dans les deux modes pour les deux échangeurs
- Augmentation débit d'air
- Amélioration ventilateur + moteur ventilateur
- etc...

Exemples de résultats de simulation

- Cas de comparaison entre fonctionnement à co-courant et contre courant pour l'échangeur à plaques en mode chaud



- Cas d'augmentation du débit d'air côté batterie à air en mode froid



Perspectives

Étude de toutes les options d'amélioration en fonction de leur intérêt énergétique et économique

Calculer les conditions de fonctionnement pour différents scénarios thermiques (bâtiment neuf ou existant simulé sous différents climats) en vue d'une optimisation saisonnière

Réalisation d'un prototype et essais