

Thème & Objectifs	Cycle frigorifique - Optimiser un cycle, comprendre l'influence de différents paramètres du cycle
Matériel	Logiciel Libre <i>Coolpack</i>

TABLE DES MATIERES

I - PARTIE THÉORIQUE ----- 1 -

 I.1 - Cycle frigorifique simple : étude générale « à la main » ----- 1 -

 I.2 - Zoom sur l'évaporateur ----- 2 -

II - COOLPACK----- 2 -

 II.1 - *Refrigerant utilities* : diagramme des frigorisites et paramétrage d'un cycle ----- 2 -

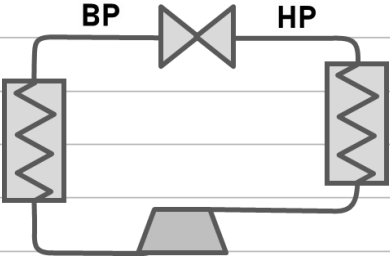
 II.2 - Influence de divers paramètres du cycle ----- 3 -

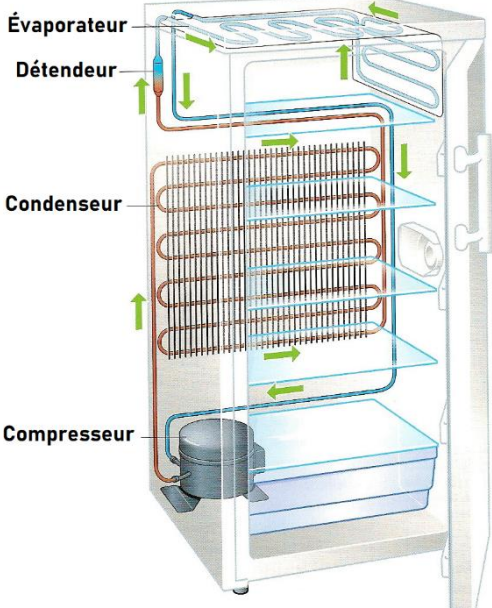
 II.3 - Élaboration d'un cycle optimal ----- 3 -

I - PARTIE THÉORIQUE

I.1 - Cycle frigorifique simple : étude générale « à la main »

Document 1 : Schéma industriel du cycle frigorifique - On s'intéresse à un réfrigérateur domestique qui contient un compresseur, un détendeur, et deux échangeurs simple flux (l'évaporateur et le condenseur).





Ce réfrigérateur est conçu pour fonctionner dans une cuisine à température $T_c \simeq 20^\circ\text{C}$, en maintenant une température intérieure $T_f \simeq 5^\circ\text{C}$. On souhaite atteindre une puissance thermique de refroidissement \mathcal{P}_f de 1 kW (c'est la puissance extraite de la source froide vers le fluide).

1. Sur le schéma ci-dessus, identifier les différents composants du réfrigérateur et leurs propriétés. En déduire le sens dans lequel le fluide les parcourt, et lesquels de ces composants sont au contact de l'intérieur du frigo ou de l'air de la cuisine.
2. Définir l'efficacité frigorifique ou COP du réfrigérateur, puis, en vous appuyant sur les températures des sources froide et chaude, calculer sa valeur maximale théorique.

Pour la suite, on impose une **température d'évaporation du R134a de $T_{\text{evap}} = -20^\circ\text{C}$** et une **température de condensation du fluide de $T_{\text{cond}} = 40^\circ\text{C}$** .

- En entrée du compresseur, le fluide est dans l'état 1 de vapeur saturante sèche à la température d'évaporation ;
 - Une compression isentropique amène le fluide dans l'état 2 en entrée du condenseur ;
 - Le fluide se refroidit puis se liquéfie totalement de manière isobare et sort du condenseur dans l'état 3 de liquide saturant ;
 - Il traverse alors le détendeur isenthalpique pour retrouver dans l'état 4 la pression d'évaporation ;
 - Le passage du fluide dans l'évaporateur isobare le ramène à l'état 1.
3. Tracer le cycle sur les diagrammes (P, h) et (T, s) du fluide R134a fournis en annexe. Indiquer les points 1, 2, 3 et 4, ainsi que les composants correspondant aux transformations.
 4. En appliquant le 1^{er} principe à l'évaporateur, exprimer le débit massique de fluide dans le circuit réfrigérant en fonction de Φ_0 (puissance reçue par le fluide dans l'évaporateur), h_1 et h_4 (enthalpie massique du fluide en 1 et 4). Calculer numériquement.

I.2 – Zoom sur l'évaporateur

Document 2 : Échanges thermiques dans l'évaporateur – Les échanges thermiques dans un échangeur simple flux peuvent être décrits par la loi de Newton des transferts conducto-convectifs : le flux thermique élémentaire reçu par le fluide s'écrit $d\phi = h(T_s - T) dS$, avec T_s la température de la source de chaleur, T la température du fluide, dS la surface d'échange infinitésimale et h un coefficient d'échange dépendant des caractéristiques de l'échangeur (géométrie, matériaux, etc.) et de l'état du fluide (liquide, vapeur ou diphasé). Pour un échangeur de réfrigérateur, on peut considérer $h \sim 500 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ (en o.d.g.)

On modélise l'évaporateur dans le réfrigérateur comme une conduite cylindrique de rayon $R = 2 \text{ mm}$, d'une longueur d'environ de $L = 10 \text{ m}$ (le serpentin à l'intérieur du frigo, en contact avec la source froide). On suppose que seul un **changement d'état isotherme** a lieu dans l'évaporateur : le fluide y entre à l'état diphasé et en sort à l'état de vapeur saturante sèche.

- En utilisant la loi de Newton (ou loi conducto-convective), exprimer la puissance ϕ transmise au fluide dans l'évaporateur.
- Calculer alors la température minimale du fluide dans l'évaporateur permettant d'imposer un flux thermique $\mathcal{P}_f = 1 \text{ kW}$ (pour une température froide, dans le frigo, de $T_f = 5^\circ\text{C}$). Que penser de la température de -20°C imposée précédemment ?

II – COOLPACK

CoolPack est un logiciel libre qui regroupe de nombreuses fonctionnalités en lien avec les cycles thermodynamiques, en s'appuyant sur les tables et diagrammes thermodynamiques des fluides frigorigènes les plus courants. Beaucoup de sous-programmes plus ou moins complexes sont accessibles dans le panneau de gauche, par double-clic. On utilisera le premier : « *refrigerant utilities* ».

II.1 – Refrigerant utilities : diagramme des frigoristes et paramétrage d'un cycle

Document 3 : Coolpack – Cliquer sur l'icône correspondant au diagrammes ($\log(p)$, h), puis choisir le réfrigérant dont on souhaite afficher le diagramme. Une fois celui-ci à l'écran, la valeur des variables d'état du fluide à la position du curseur sont affichées en bas à droite.

Pour définir et représenter un cycle, cliquer sur « input cycle » dans l'onglet « options ». Il est alors possible de nommer un cycle frigorifique, d'en définir les paramètres, puis de la visualiser (image ci-dessous). On peut refaire cette procédure pour ajouter un nouveau cycle, ou modifier un cycle existant.

Une fois ce cycle affiché, on accède à des paramètres (COP, etc.) en cliquant sur « **show cycle info** » dans l'onglet « options ». Au début, le cycle ne contient aucune information : c'est qu'il faut imposer un paramètre afin de déterminer tous les autres (car le cycle tracé sur le diagramme ne renseigne pas sur le débit massique dans le circuit).

Pour tous les cycles étudiés dans cette partie, on imposera la puissance prélevée dans l'évaporateur à $\mathcal{P}_f = 1 \text{ kW}$. Pour chaque modification du cycle réalisée, on relèvera le COP, la puissance fournie au compresseur et le débit massique de fluide dans la machine. **Pour ne pas surcharger l'affichage, il est préférable d'éditer un cycle que d'en créer des nouveaux.**

7. Définir le cycle que vous avez déjà étudié dans la première partie du TP. Vous noterez vos résultats dans la première ligne du tableau fourni en annexe.

II.2 – Influence de divers paramètres du cycle

Afficher le diagramme des frigorigènes du R134a, et paramétrer un cycle avec les valeurs de température de condensation et d'évaporation définies plus haut. Comparer le débit massique donné par le logiciel à celui calculé précédemment.

7. **Surchauffe (tableau à compléter)** : Une surchauffe est une hausse de la température en sortie de l'évaporateur au-delà de la température de saturation. Étudier l'effet d'une surchauffe de 5 K. Augmente-t-elle significativement le COP ? Quel peut alors être son rôle ?
8. **Sous-refroidissement (tableau à compléter)** : Un sous-refroidissement est une diminution de la température en sortie du condenseur en deçà de la température de saturation. Étudier l'effet d'un sous-refroidissement de 10 K (en conservant la surchauffe précédente). Quel est le plus grand sous-refroidissement possible ?
9. **Compression irréversible (tableau à compléter)** : Étudier l'effet d'un rendement isentropique imparfait du compresseur, en le prenant égal à 90 %. Quel est l'effet sur le COP ? Quel est l'effet sur la température maximale atteinte par le fluide lors du cycle ?
10. **Pertes de charge (tableau à compléter)** : Étudier l'effet des pertes de charge dans l'évaporateur et le condenseur, en les prenant égales à 0,2 bar. Pourquoi ne peut-on pas paramétrer dans le logiciel de pertes de charge dans le détendeur et le compresseur ?
11. **Températures de changement d'état** : vérifier qu'un choix de températures de changement d'état plus proche de celles des sources permet d'augmenter le COP. Expliquer pourquoi.

II.3 – Élaboration d'un cycle optimal

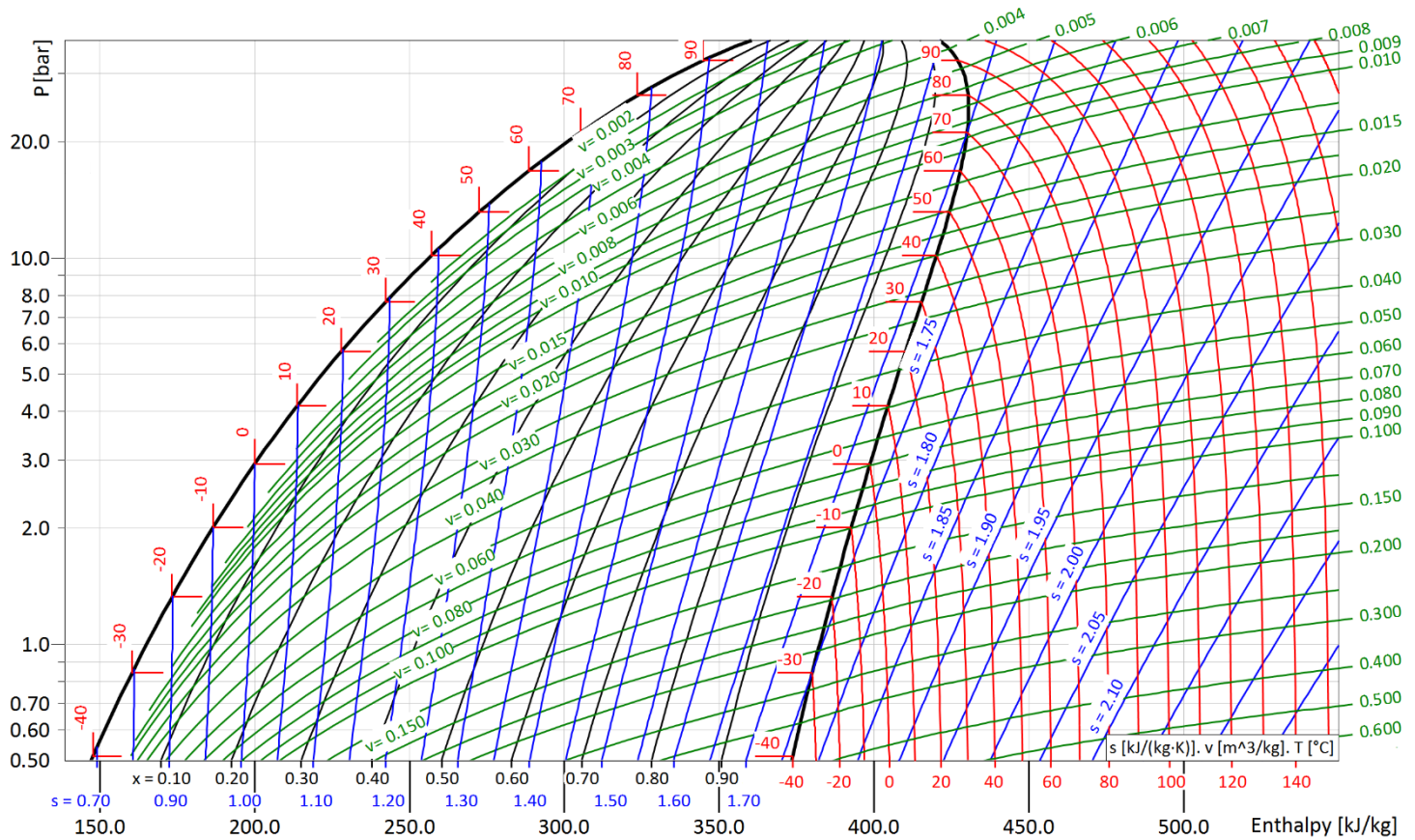
En s'appuyant sur les résultats précédents, élaborer le cycle donnant la meilleure efficacité frigorigène permettant de répondre au cahier des charges suivant :

- La puissance de refroidissement doit atteindre 2 kW ;
- Les températures d'évaporation et de condensation sont de -20°C et 40°C ;
- Le compresseur a un rendement isentropique de 80 %, et sa puissance maximale \mathcal{P}_i est de 600 W ;
- Les pertes de charge sont de 0,2 bar dans le condenseur et autant dans l'évaporateur ;
- La température du fluide ne doit jamais excéder 60°C (pour des raisons de sécurité).

Annexe - Tableau récapitulatif des différents facteurs d'influence

cycle	COP (ou efficacité)	$\mathcal{P}_{\text{meca}}$ (compresseur → fluide)	\dot{D}_m (débit mass. du fluide)	\mathcal{P}_c (puissance therm. évacuée)
simple				
+ surchauffe 5K				
+ sous-ref. 10K				
+ compress. irrev.				
+ pertes de charges				

Annexe - Diagrammes ($\log(P)$, h) du fluide R134a



Annexe - Diagramme (T , s) du fluide R134a

