

# Dimensionnement d'un cycle frigorifique

## Objectifs

- ▷ Utiliser des documents ou des logiciels afin d'analyser l'amélioration d'un cycle industriel : rôle de la surchauffe, du sous-refroidissement, du choix du fluide.

## Matériel sur votre paillasse :

- ▷ Un PC portable avec le logiciel Coolpack.

Ce TP a pour objectif de concevoir un cycle thermodynamique en s'appuyant sur le logiciel libre CoolPack. Ce logiciel contient une vaste base de données thermodynamiques concernant différents fluides purs ou mélanges ainsi que des fonctionnalités de calcul de performances thermodynamiques de cycles.

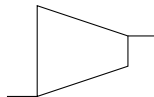
On s'intéresse à un réfrigérateur domestique qui contient un compresseur, un détendeur, et deux échangeurs simple flux : l'évaporateur et le condenseur. Ce réfrigérateur est conçu pour se trouver dans une cuisine à température  $T_c = 20^\circ\text{C}$ . L'intérieur du réfrigérateur doit être maintenu à température  $T_f = 5^\circ\text{C}$  constante. On souhaite une puissance thermique de refroidissement pouvant atteindre  $\mathcal{P}_f = 1\text{ kW}$ .

## I - Structure du réfrigérateur

1 - Rappeler le rôle des 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. Schématiser l'installation en indiquant la position des sources froide et chaude.



Détendeur



Compresseur



Échangeur simple flux

2 - À quel point du circuit la température du fluide frigorigène est-elle maximale ? minimale ? Comment ces températures  $T_{\max}$  et  $T_{\min}$  se comparent-elles à  $T_c$  et  $T_f$  ?

3 - Définir l'efficacité frigorifique ou COP du réfrigérateur. Calculer sa valeur maximale.

## II - Choix des températures de condensation et d'évaporation

### Document 1 : Températures de changement d'état dans une machine frigorifique

Un paramètre important dans le dimensionnement d'une installation frigorifique est la température à laquelle les changements d'état ont lieu dans le condenseur et l'évaporateur, car elle contraint la puissance thermique échangée avec les sources chaude et froide.

Dans un échangeur simple flux, cette puissance peut être décrite 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 domestique, on peut considérer en ordre de grandeur  $h \sim 2\text{ kW} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ .

4 - Pour pouvoir atteindre l'efficacité de Carnot, à quelles températures les changements d'état devraient-ils avoir lieu ? Est-ce possible en pratique ?

On modélise l'évaporateur comme une conduite cylindrique de rayon  $r = 2$  mm. On impose que la longueur de la conduite ne doit pas excéder 10 m. Pour estimer un ordre de grandeur, on suppose que seul un changement d'état isotherme a lieu dans l'évaporateur : le fluide y entre à l'état de vapeur saturante sèche et en sort diphasé, ou au plus à l'état de liquide juste saturant.

**5** - Estimer la température minimale à laquelle l'évaporation doit avoir lieu pour satisfaire au cahier des charges. Quelle conséquence cela a-t-il sur l'efficacité ?

Pour la suite, on impose une température d'évaporation de  $-10$  °C et une température de condensation de  $40$  °C.

**6** - Comment peut-on en pratique imposer ces températures ?

### III - Modifier le cycle pour améliorer l'efficacité

Pour tous les cycles étudiés dans cette partie, vous relèverez le COP, la puissance de pompe nécessaire pour prélever la puissance thermique voulue à la source froide, et enfin le débit massique de fluide dans la machine. Vous pouvez par exemple noter vos résultats dans un tableau. Vous devez aussi **interpréter qualitativement** les tendances observées.

**7** - Dans le logiciel Coolpack, afficher le diagramme des frigoristes du R134a et paramétrer un cycle avec les valeurs de température de condensation et d'évaporation indiquées ci-dessus. Tous les autres paramètres seront laissés à zéro. Tous les cycles ultérieurs seront comparés à ce cycle de référence. Sur ce cycle, identifier les différentes étapes en lien avec la question 1.

**8** - Vérifier avec le logiciel qu'un choix de températures de changement d'état plus proches de celles des sources permet d'augmenter le COP.

**9** - Pour le cycle de référence, comparer les trois fluides frigorigènes R134a, R290a et R410a qui peuvent tous trois être utilisés en réfrigération.

**10** - 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.

**11** - 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  $5$  K.

**12** - Étudier l'effet d'un rendement isentropique imparfait du compresseur, en le prenant égal à  $80$  %.

**13** - 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 ?

### IV - Élaboration du cycle optimal

**14** - En s'appuyant sur les résultats précédents, élaborer le cycle donnant la meilleure efficacité frigorifique.

**Cahier des charges :**

- ▷ La puissance de refroidissement doit atteindre  $1$  kW ;
- ▷ Les températures d'évaporation et de condensation sont de  $-10$  °C et  $40$  °C ;
- ▷ Le compresseur a un rendement isentropique de  $80$  % ;
- ▷ Sa puissance maximale est de  $600$  W ;
- ▷ Les pertes de charge sont de  $0,2$  bar dans le condenseur et autant dans l'évaporateur ;
- ▷ Les normes imposent que la température du fluide ne doit jamais excéder  $60$  °C.

### V - Résolution de problème : effet d'une couche de givre

Un dégivrage régulier de son réfrigérateur est nécessaire pour éviter une surconsommation électrique.

**15** - Proposer un modèle permettant une estimation numérique de cette surconsommation pour une couche de givre de  $5$  mm sur les parois du réfrigérateur dimensionné précédemment.

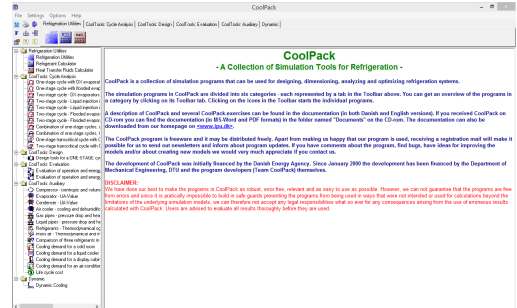
*Donnée :* conductivité thermique de la glace  $\lambda = 2$  W · m<sup>-1</sup> · K<sup>-1</sup>.


**NOTICE SIMPLIFIEE D'UTILISATION DE COOLPACK**

**1 – OUVRIR UN NOUVEAU DIAGRAMME**




A l'ouverture COOLPACK se présente comme ci-contre.

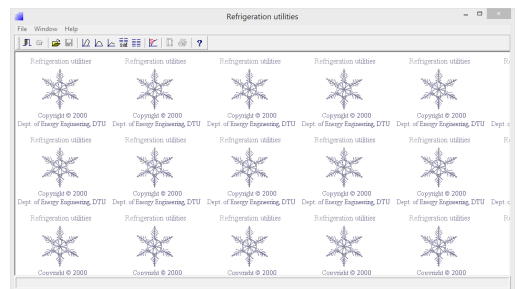
Ce logiciel présente de nombreuses fonctionnalités, nous ne nous intéresserons qu'au tracé de diagrammes et à l'analyse de cycle frigorifiques.



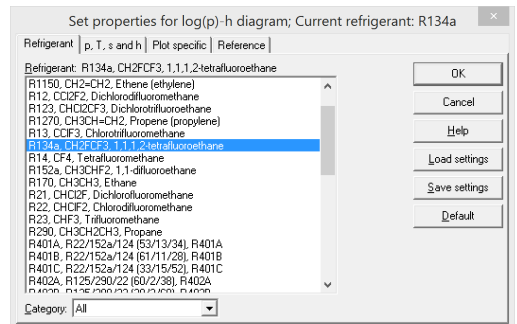
Pour ouvrir un nouveau diagramme cliquez sur l'icône:  du menu **Refrigeration Utilities**. Une nouvelle fenêtre s'ouvre.

Vous pouvez alors tracer pour divers fluides réfrigérants les diagrammes :

- Des frigoristes :  $\log P = f(h)$  → 
- Entropique :  $T = f(s)$  → 
- Enthalpique :  $h = f(s)$  → 




Pour cela, il suffit de cliquer sur l'une des icônes pour obtenir la fenêtre de dialogue ci-contre :

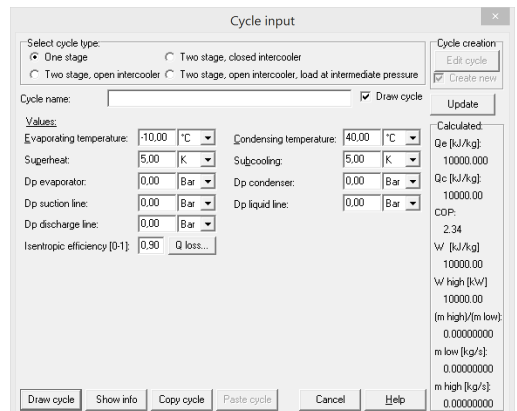


Cette fenêtre permet de choisir parmi de nombreux fluides frigorigènes. Pour valider votre sélection, il suffit de cliquer sur **OK**.

**2 – TRACER UN CYCLE FRIGORIFIQUE**

Pour tracer un cycle frigorifique simple, il suffit alors de cliquer sur l'icône **Cycle** :  et de renseigner les items suivants de la boîte de dialogue qui apparaît :

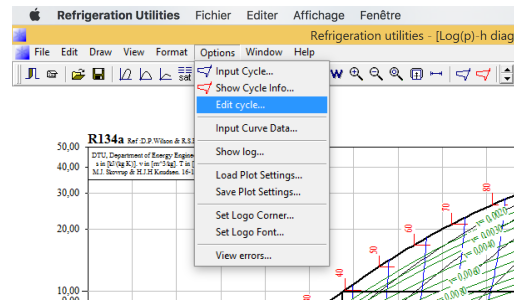
- **Evaporating temperature** : Température d'évaporation
- **Condensing temperature** : Température de condensation
- **Superheat** (option) : Surchauffe
- **Subcooling** (option) : Sous-refroidissement
- **Isentropic efficiency (θ-1)** (option) : rendement isentropique du compresseur
- **Dp evaporator** : perte de charge de l'écoulement fluide dans l'évaporateur
- **Dp condenser** : perte de charge de l'écoulement fluide dans le condenseur




Valider les données fournies en cliquant sur **Draw cycle**.

Une fois validé, le cycle renseigné apparaît dans le diagramme choisi. Ce cycle pourra ensuite être modifié, effacé ou étudié :

- modifier un cycle existant en se rendant dans le menu **Option** → **Edit cycle**
- effacer un cycle tracé dans le menu **Option** → **Show Cycle Info...** et en cliquant sur le bouton **Delete cycle** en haut à gauche



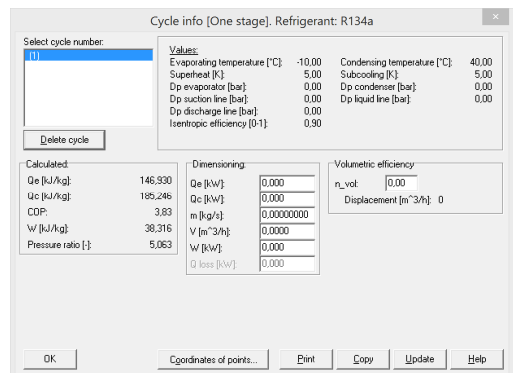
### 3 – ANALYSER LE RESULTAT

COOLPACK permet alors de mesurer graphiquement les divers  $\Delta h$  de chaque composant actif, et donne également les valeurs remarquables dans le menu **Show info** sous l'icône  (en rouge).

On y trouvera dans l'encadré **Calculated** les valeurs :

- **$Q_e$  (kJ/kg)** : Energie massique absorbée par l'évaporateur
- **$Q_c$  (kJ/kg)** : Energie massique libérée par le condenseur
- **COP** : Efficacité frigorifique
- **$W$  (kJ/kg)** : Energie massique fournie par le compresseur
- **Pressure ratio (kJ/kg)** : Rapport  $P_{HP}/P_{BP}$

On pourra également dans l'encadré **Dimensionning** renseigner une puissance thermique, une puissance de pompe, ou un débit massique ou volumique de fluide frigorigène qui permettront à COOLPACK d'aider l'utilisateur à dimensionner son système final.



Pour plus d'information sur l'utilisation de COOLPACK vous pouvez récupérer une (ancienne) notice d'utilisation sous le lien :

<http://www.chillers.ru/download/programms/CoolPackTutorial.pdf>