

UTILISATION DE THERMOPTIM

On va l'utiliser pour résoudre le problème : cycles avec surchauffe et resurchauffe. On étudiera successivement les 3 cycles correspondant aux figures 1, 2, 3.

I. PRESENTATION DU LOGICIEL

Au lancement du logiciel, il s'ouvre deux fenêtres : Thermoptim.java, avec un menu de fichiers de projets et de résultats, et l'éditeur de schémas. Commencer par ce dernier, qui est la fenêtre apparente.

A. L'éditeur de schémas :

1. Sélection du composant :

Se mettre en plein écran pour accroître la surface de travail en cliquant sur le petit rectangle en haut à droite de la barre de menus. Cliquer sur le composant choisi (par exemple, compresseur). En cliquant dans la fenêtre, on le place à l'endroit voulu. Il s'ouvre alors une fenêtre où on demande le nom du composant (par exemple : compresseur1), cliquer ensuite sur « port de sortie », et on précise le nom du point dans le schéma général (par exemple : 1), puis le nom du corps (en fait, du fluide : par exemple, air) et enfin le débit (1 par défaut, sinon entrer une valeur numérique en kg/s). Cliquer alors sur « appliquer ». On peut ensuite déplacer l'élément dans la fenêtre en cliquant sur son nom et en déplaçant avec la souris (sans relâcher le clic gauche).

Répéter l'opération pour chaque composant du système étudié (la pompe est un compresseur).

2. Liaison des composants :

Pour relier deux composants entre eux, de façon à réaliser le cycle du système : cliquer sur la sortie du premier élément (carré vert), et tirer avec la souris vers le carré bleu de l'entrée de l'élément suivant : la liaison est alors matérialisée, avec une flèche indiquant le sens du mouvement du fluide. Si un élément ne se trouve pas dans le bon sens : aller dans le menu « édition », et sélectionner « miroir vertical ». On obtient ainsi le schéma général de l'installation. Pour sauvegarder : cliquer sur « Fichier », puis « Enregistrer sous » et entrer un nom (il demande une confirmation au préalable sur l'exactitude du schéma). Il est enregistré dans le sous-répertoire « schémas » du dossier « Thermoptim ». Le chemin complet apparaît alors dans la barre de menus.

B. Entrée des données numériques :

Cliquer alors sur le menu « spécial », puis sélectionner « Interface Schéma-Simulateur ». On obtient alors une nouvelle fenêtre. Sélectionner « Mettre à jour la table des éléments », Il apparaît alors les divers éléments du schéma, puis « Mettre à jour le simulateur à partir du schéma ». Il demande alors le nom du projet : garder le même (il n'est pas sauvegardé dans le même répertoire). A l'aide de la barre des tâches en bas de l'écran, appeler la fenêtre « Thermoptim.java ». Commencer par les points, en cliquant sur le point 1, et la ligne apparaît alors en bleu. Cliquer deux fois dessus : il apparaît l'écran de calcul d'un point. Entrer les valeurs réelles de P et de T (attention ! les températures sont en °C !!) en corrigeant les valeurs proposées par défaut. Cliquer alors sur « Calculer » et il affiche les caractéristiques du fluide en ce point (u, s, v, c_p, c_v en grandeurs massiques et la valeur du γ). Cliquer ensuite sur « Sauver », et répéter l'opération pour chaque point du circuit. Fermer l'écran de calcul.

Remarques :

- Il propose par défaut le cas où P et T sont connus. Il existe deux autres choix : P et h connus ou P et s connus. On utilisera ce dernier choix pour un processus isentropique, en n'affichant ni la température ni le titre.
- Il propose également par défaut d'étudier un système ouvert (variables T, P, h). Les autres choix sont : système fermé (variables T, v, u) et mélanges humides (pas vraiment au programme).
- Le titre proposé par défaut est 0. Corriger en 1 pour une vapeur saturante.
- Pour les points sur la courbe de saturation : si on connaît la pression : décocher « P et T connus », et sélectionner « Imposer T_{sat} » ; si on connaît la température : décocher « P et T connus », et sélectionner « Imposer P_{sat} » ;
Entrez l'état du corps au point 1. On connaît sa pression (0,1 bar), et on sait qu'il se trouve à la température de saturation, à l'état liquide.
Pour trouver sa température, il suffit de sélectionner "imposer T_{sat} " (par défaut, le titre vaut 0, ce qui correspond à l'état liquide).
- Les mélangeurs ou diviseurs n'ont pas de point de sortie. Il faut donc définir indiquer le corps derrière ces éléments.
- Pour chaque branche, il faut définir de débit relatif (entre 0 et 1) : vérifier les débits au cours du cycle. Imposer éventuellement un débit pour un corps. Calcul du bilan du projet : ne pas cocher la case : débit auto.

- cas d'un mélangeur avec deux branches. On peut imposer un débit sur une branche et Thermoptim calcule le débit de l'autre branche.

- Séparateur : C'est un diviseur particulier qui permet de séparer deux phases. Thermoptim peut calculer les débits de façon à avoir deux phases..

- Pour les combustions, il est parfois nécessaire d'imposer un débit en sortie.
- Pour les échangeurs : cliquer au centre de l'échangeur, relier ce cercle bleu ou rouge au cercle de l'autre échangeur. IL faut choisir le fluide froid et le fluide chaud. Imposer $T_{ce}, mc, T_{fe}, T_{fs}, mf$ et calculer T_{cs} par exemple. Il faut parfois mettre une température provisoire pour T_{cs} pour indiquer à Thermoptim qu'il s'agit bien du fluide chaud. Vérifier que les cases « non contraint » et « dimensionnement » sont bien cochées.

Le paramétrage d'un échangeur thermique peut être délicat. **Il ne faut pas oublier que chaque température de sortie doit être comprise entre les deux températures d'entrée** (voir problème sur le cargo chapitre 5). Il faut 5 contraintes pour calculer l'échangeur.

Dans le cas d'un changement d'état entre un état 1 (liquide saturant) et état 2 (vapeur saturante) à la même pression et à la même température, il est nécessaire de mettre un très faible écart par rapport à la température de saturation.

- Pour une turbine à gaz : si le compresseur est entraîné par la turbine : pour la turbine et le compresseur : mettre énergie utile.
- Toutes les grandeurs affichées dans Thermoptim sont en kJ.kg^{-1} . Les débits en kg.s^{-1} .
- En dehors de la courbe de saturation : effacer la valeur du titre, décocher « P et T connus », et cocher « Imposer T_{sat} » si la température n'est pas celle du point de saturation (cas du point 2). Pour un fluide hypercritique, on peut conserver « P et T connus ».

Recommencer l'opération en sélectionnant les transformations sur les organes qui apparaissent (par exemple, turbine). Cliquer sur l'élément, la ligne se colore en bleu, puis cliquer deux fois : il apparaît une fenêtre « Transfo détente ». Sélectionner le type d'énergie (utile par défaut) en cliquant : dans la fenêtre choisir le type, cliquer sur la flèche et sélectionner (pour le calcul du rendement) payante, ou utile ou autre sinon si l'organe n'intervient pas dans le calcul du rendement.

Si le compresseur est entraîné par une turbine (cycle de Rankine par exemple), choisir utile pour compresseur et turbine. Payante = générateur de vapeur.

Sélectionner le type de détente (isentropique par défaut). A la fin, sélectionner « Recalculer », et il apparaît l'efficacité (ou rendement), l'énergie utile et l'énergie payante. Sauvegarder le projet (toujours sous le même nom). En revenant dans la fenêtre « Editeur de schémas », on peut alors sélectionner « Spécial », puis « Afficher les valeurs » qui apparaissent alors sur le schéma. Enregistrer avec la commande « Sauver » du menu « Fichier ». Dans le menu « Spécial » de la fenêtre « Thermoptim.java », sélectionner « Diagrammes interactifs ». Cliquer 2 fois pour choisir le diagramme : sélectionner « Vapeurs condensables ». On peut choisir le type de diagramme dans « Graphe » de la nouvelle fenêtre. Dans le menu « 3cycle », choisir « Points reliés » pour tracer le cycle.

Il est possible de connecter les points 4 et 5 par une isobare : sélectionnez les deux lignes 4 et 5 en même temps, et cliquez sur "Insérer". Un écran de sélection des différentes courbes d'iso-valeurs est proposé. Choisissez "isobare". On vous demande alors de fournir le nombre de points que vous désirez insérer. Entrez 5. Les nouveaux points sont créés dans l'éditeur de points de cycles. Cliquez sur "Valider" : le tracé suit maintenant l'isobare 12 bars.

II. CYCLES ETUDIÉS :

On veut comparer les propriétés de trois cycles moteurs à vapeur d'eau (cycle C_1 : cycle 1-2-3-4-4'-1, C_2 : cycle 1-2-3-4-5-6-6'-1, cycle C_3 : 1-2-3-4-5-6-7-8-1). Ces trois cycles sont représentés en diagramme entropique (cf figure 1).

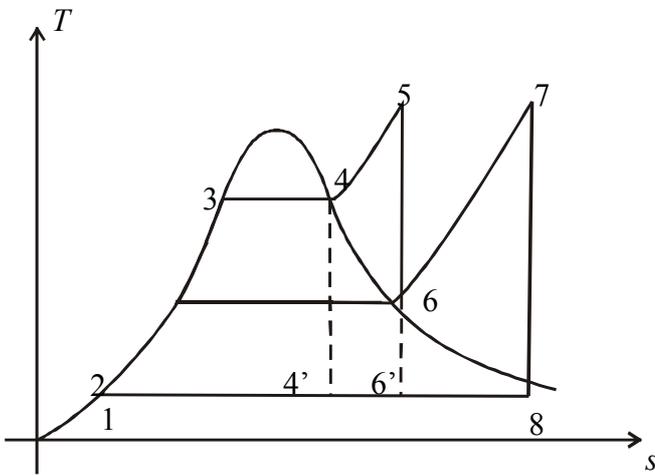


Figure 1

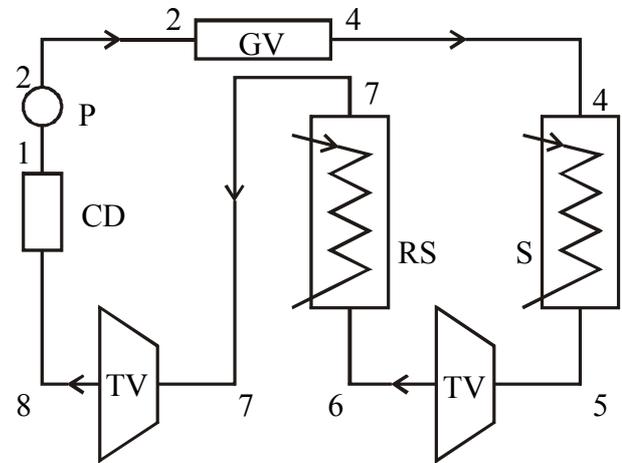


Figure 2

Pour le cycle C_3 , l'installation est représentée sur la figure 2. On a :

1-2 : compression adiabatique et réversible du liquide dans la pompe P ;

2-3-4 : échauffement et vaporisation isobares dans le générateur de vapeur GV ;
au point 4, la vapeur est saturante ;

4-5 : échauffement isobare dans le surchauffeur S par échange thermique avec un fluide auxiliaire maintenu à la température 600 °C , de façon que $t_5 = 600\text{ °C}$;

5-6 : détente adiabatique réversible dans la turbine TV_1 ;

6-7 : échauffement isobare dans le resurchauffeur RS par échange thermique avec le même fluide auxiliaire :
donc $t_7 = t_5$;

7-8 : détente adiabatique et réversible dans la turbine TV_2 ;

8-1 : condensation isobare dans le condenseur CD ;

Le cycle C_2 serait réalisé en détendant une seule fois le fluide (sans resurchauffe) et le cycle C_1 en détendant directement la vapeur saturée sèche.

Tous les transferts de fluide dans les conduites de liaison sont supposés isothermes et isobares.

Les pressions des changements de phase sont :

$$P_3 = P_4 = 100 \text{ bars}, P_1 = P_8 = P_{4'} = P_{6'} = 0,1 \text{ bar},$$

La pression dans le resurchauffeur vaut : $P_6 = P_7 = 30$ bars.

On fractionnera le générateur de vapeur en GV1 et GV2, avec point 3 intermédiaire tel que $P_3 = P_4$ et liquide saturant. Construire le cycle dans la fenêtre « Schéma ». Entrer les valeurs numériques correspondantes et déterminer les rendements de ces 3 cycles.

Bien réfléchir à la notion d'énergie utile et payante. On pourra comparer les valeurs données par le logiciel à l'extrait des tables thermodynamiques suivant :

Extrait des tables thermodynamiques : les grandeurs x' concernent le liquide saturant, et les grandeurs x'' concernent la vapeur saturante.

t (°C)	P (bar)	h' (kJ · kg ⁻¹)	s' (kJ · kg ⁻¹)	h'' (kJ · kg ⁻¹)	s'' (kJ · kg ⁻¹)
45,7	0,1	191,46	0,647	2582,56	8,147
233,8	30	1007,33	2,642	2802,69	6,157
310,9	100	1406,16	3,354	2721,09	5,606

POUR LA RÉOLUTION DE CET EXERCICE, voir problème : Cycles avec surchauffe et resurchauffe.

Pour l'utilisation du logiciel Thermoptim, on pourra également se reporter aux exercices suivants :

- Modélisation et optimisation d'une centrale nucléaire avec Thermoptim.
- Cogénération
- Optimisation d'une turbine à gaz
- Optimisation de la centrale à vapeur
- Optimisation centrale de cogénération