

Centrales à vapeur à resurchauffe

Exploration d'une centrale à vapeur à resurchauffe

Introduction

Vous avez jusqu'ici étudié le cycle simple de la centrale à vapeur. Vous allez maintenant voir comment il peut être amélioré, notre objectif étant de minimiser les irréversibilités.

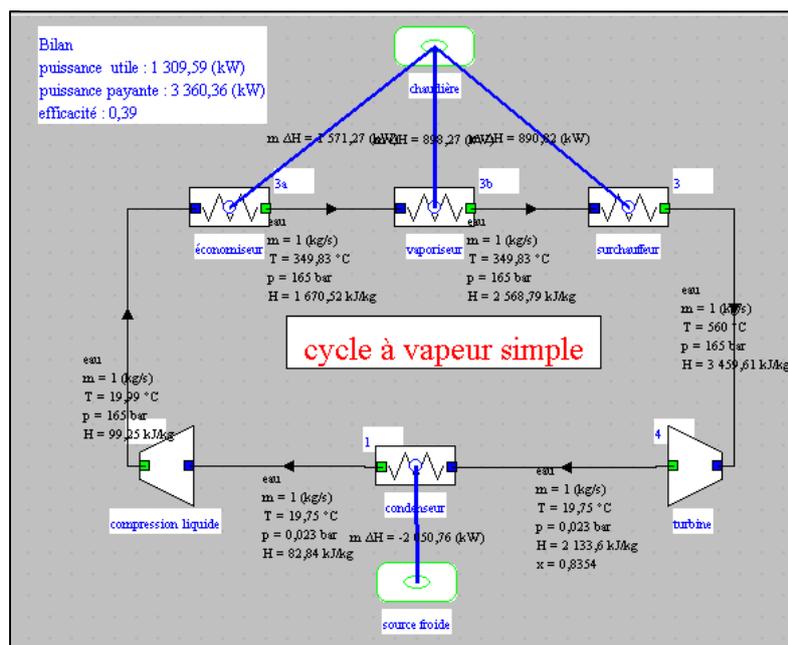
Nous avons vu que les cycles moteurs réels s'écartent sensiblement du cycle de Carnot, les différences provenant entre autres des points suivants :

- en pratique, il faut qu'il y ait une certaine différence de température entre la machine et les sources chaude et froide
- il est exceptionnel que les sources chaude et froide puissent être considérées comme isothermes : le plus souvent il s'agit d'un fluide qui échange de la chaleur entre deux niveaux de température
- lorsque la compression et la détente sont adiabatiques, elles ne sont pas réversibles du fait des irréversibilités mécaniques

En pratique, les modifications des cycles élémentaires portent essentiellement :

- d'une part sur la réduction des différences de température tant avec l'extérieur du système qu'en interne
- et d'autre part sur le fractionnement des compressions et des détentes

Cycle de référence



Le cycle de référence que nous utiliserons pour les centrales à vapeur est une variante en terme de paramétrage de celui qui a été présenté dans le MOOC CTC Modéliser et Simuler : la basse pression est fixée à 0,023 bar, la haute à 165 bar, et la température de surchauffe vaut 560 °C, comme le montre ce synoptique (fichiers de projet et de schéma : "vapeur_simple.prj" et "vapeur_simple.dia").

Calculons pour ce cycle la valeur du rendement de Carnot, avec $T_{\phi} = 15 + 273,15 = 288,15$ K et $T_{\chi} = 1000 + 273,15 = 1273,15$ K :
 $\eta = 78$ %.

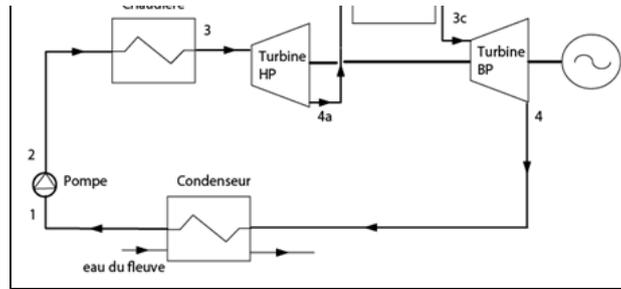
Le rendement réel est donc voisin de 50 % du rendement théorique maximal.

Cycle avec resurchauffe

Comme nous l'avons vu précédemment, il est possible d'améliorer un tel cycle en fractionnant les compressions et détentes.

Les centrales à vapeur à resurchauffe mettent en application le fractionnement de la détente.





Une première idée pour améliorer le cycle de la centrale à vapeur simple consiste ainsi à fractionner la détente en effectuant des resurchauffes (encore appelées réchauffes). Dans ce cas, on commence par détendre partiellement la vapeur, puis on le refait passer dans la chaudière, où il est réchauffé à la nouvelle pression jusqu'à la température maximale du cycle. Cette opération peut le cas échéant être répétée plusieurs fois.

Il en résulte une augmentation de la puissance et des gains de rendement de quelques pour cents, ainsi qu'une augmentation du titre en fin de détente, ce qui est toujours intéressant pour prolonger la durée de vie des aubages de turbine, pour qui les gouttelettes de liquide constituent des abrasifs redoutables.

Le prix à payer est une complexité un peu plus élevée, mais, comme la détente doit de toute manière être fractionnée, cette amélioration n'a pas d'incidence technologique majeure sur la centrale.

1. Charger le modèle

Chargement d'un modèle de cycle à resurchauffe.

Cliquez sur le lien suivant :

Ouvrir un fichier dans Thermoptim

Vous pouvez aussi ouvrir le fichier de schéma (vapeurResurch.dia) grâce au menu "Fichier/Ouvrir" du menu de l'éditeur de schémas, et le fichier de projet (vapeurResurch.prj) grâce au menu "Fichier de projet/Charger un projet" du menu du simulateur.

Tracé du cycle dans le diagramme des frigoristes de l'eau

1. Première étape : chargement du diagramme des frigoristes de l'eau

Cliquez sur ce bouton

Vous pouvez aussi ouvrir le diagramme grâce à la ligne "Diagramme Interactifs" du menu "Spécial" de l'écran du simulateur, qui ouvre une interface qui relie le simulateur et le diagramme. Double-cliquez dans le champ situé en haut à gauche de cette interface pour choisir le type de diagramme souhaité (ici "Vapeurs condensables").

Une fois le diagramme ouvert, choisissez "eau" dans le menu Corps, et sélectionnez "(h,p)" dans le menu "Graphe".

2. Deuxième étape : chargement du cycle de référence et du cycle avec resurchauffe

Cliquez sur ce bouton

Vous pouvez aussi ouvrir ce cycle de la manière suivante : dans la fenêtre du diagramme, choisissez "Charger un cycle" dans le menu Cycle, et sélectionnez "cycle_vapFrFin.txt" puis "cycle_vapRechauffeFrFin.txt" dans la liste des cycles disponibles.

Vous obtenez le tracé des cycles dans le diagramme (h, ln(P)) : le nouveau cycle en noir et le cycle simple en bleu.

On peut observer la nette augmentation du titre en fin de détente mentionnée ci-dessus.

Paramétrage du cycle avec resurchauffe

Le paramétrage du cycle avec resurchauffe est très proche de celui du cycle de référence, dont une variante a été présentée dans l'exploration dirigée S-M3-V7.

Le principal changement concerne la modélisation de la turbine. Par souci de simplicité, nous avons considéré dans le modèle de référence qu'elle a un rendement isentropique constant quelles que soient les haute et basse pressions, mais cette hypothèse peut être améliorée.

1. Notion de polytropique

Pour modéliser correctement les resurchauffes, nous allons utiliser la nouvelle notion introduite en cours, celle de rendement polytropique.

Pour une turbine, le rendement isentropique est défini comme le rapport du travail réel fourni par la turbine au travail qu'elle aurait fourni si la détente adiabatique était parfaite.

La donnée du rendement isentropique η_s ne fournit aucune indication sur la loi suivie par le fluide pendant la détente irréversible. Pour pouvoir le faire, il faut se donner des hypothèses supplémentaires.

L'une des plus courantes conduit à la notion très employée de **polytropique**, qui peut recouvrir des définitions légèrement différentes selon les auteurs.

L'hypothèse que l'on se donne ici est de considérer que les irréversibilités sont uniformément réparties tout au long de la détente, ce qui revient à supposer que, pendant toute étape infiniment petite de la transformation, le rendement isentropique garde une valeur constante, égale par définition au **rendement polytropique** η_{π} qui apparaît ainsi être un rendement isentropique infinitésimal.

Pour les machines multi-étagées à grand nombre d'étages construits de manière semblable, comme c'est le cas d'une turbine à vapeur, ce rendement a un sens physique clair : il s'agit en quelque sorte du rendement élémentaire d'un étage.

Connaissant le rendement polytropique d'un étage, il est possible de déterminer le rendement isentropique d'une machine multi-étagée, qui varie en fonction du nombre d'étages, lui-même lié au rapport de détente.

Modéliser une turbine multi-étagée selon une approche polytropique est donc plus réaliste que de supposer que son rendement isentropique est constant.

2. Passage de l'approche polytropique à l'approche isentropique

Dans Thermoptim, on peut paramétrer une compression ou une détente en choisissant une approche ou une autre, et passer de l'une à l'autre sans difficulté comme vous allez le voir.

Compte tenu de ce qui vient d'être dit, les deux turbines à haute et basse pression sont modélisées selon la référence polytropique dans le modèle du cycle à resurchauffe, leur rendement polytropique étant égal à 0,805.

Ouvrez l'écran de la turbine à haute pression pour voir comment Thermoptim permet de calculer le rendement isentropique équivalent.

Pour cela, sélectionnez les options "référence isentropique" et "Calculer le rendement, le point aval étant connu", puis cliquez sur "Calculer".

La valeur du rendement isentropique de la machine pendant la détente de 165 bar à 10 bar est ainsi déterminée : 0,8385. Vous pouvez ainsi passer d'un paramétrage à l'autre sans difficulté.

Pour la suite de cette exploration dirigée, revenez ensuite au paramétrage initial : référence polytropique, rendement polytropique égal à 0,805, et mode de calcul "Imposer le rendement et calculer la transfo".

Bilan du cycle à resurchauffe

Avec ce paramétrage et une pression intermédiaire de 10 bar, le résultat de la modélisation du cycle à resurchauffe est fourni par Thermoptim : le rendement passe de 39 % pour le cycle de référence à 41,9 %.

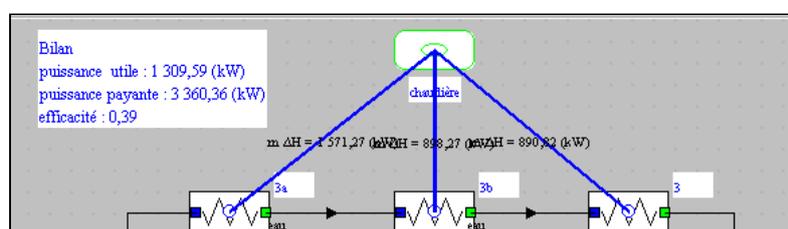
1. Bilan premier principe

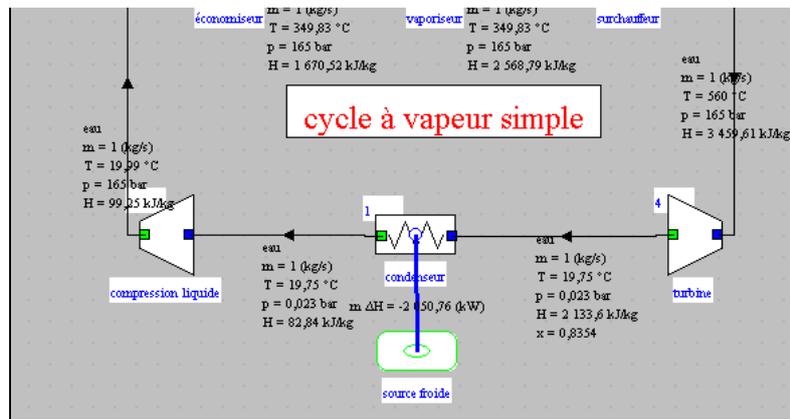
Quelle est la valeur de la puissance utile ?

Quelle est la valeur de la puissance payante ?

2. Augmentation de la puissance utile

La resurchauffe a pour effet d'augmenter la puissance utile.





À titre de comparaison, ce synoptique vous fournit les valeurs des performances de la centrale de référence.

De quelle valeur augmente la puissance utile ?

De quelle valeur augmente la puissance payante ?

Étude paramétrique du cycle à resurchauffe

Exercice : recherchez la pression intermédiaire qui conduit aux performances optimales.

Vérifiez si la pression intermédiaire de 10 bar a été bien choisie, en étudiant son influence sur les performances du cycle (rendement et puissance).

Vous avez appris que les transfos de type "échange" proposent une option, dite "isobare" qui permet de propager automatiquement la pression du point amont vers le point aval. La transfo "resurchauffeur" a été paramétrée ainsi.

Pour changer la valeur de la pression intermédiaire, ouvrez l'écran du point 4, modifiez sa pression et cliquez sur "Calculer". Recalculez ensuite plusieurs fois dans l'écran du simulateur jusqu'à ce que le bilan se stabilise.

Conclusion

Cette exploration vous a permis de voir l'intérêt du fractionnement de la détente suivi d'une resurchauffe sur les performances de la centrale.

Elle vous a aussi montré qu'il est préférable de modéliser les turbomachines multi-étagées en adoptant une approche polytropique.