

Centrales à vapeur à resurchauffe et prélèvement (ou soutirage)

Exploration d'une centrale à vapeur à resurchauffe et prélèvement

Introduction

Vous avez vu que le cycle de la centrale à vapeur à resurchauffe permet, en fractionnant la détente, d'améliorer légèrement les performances du cycle simple.

Le second axe d'amélioration des cycles moteurs consiste à réduire les irréversibilités par hétérogénéité de température.

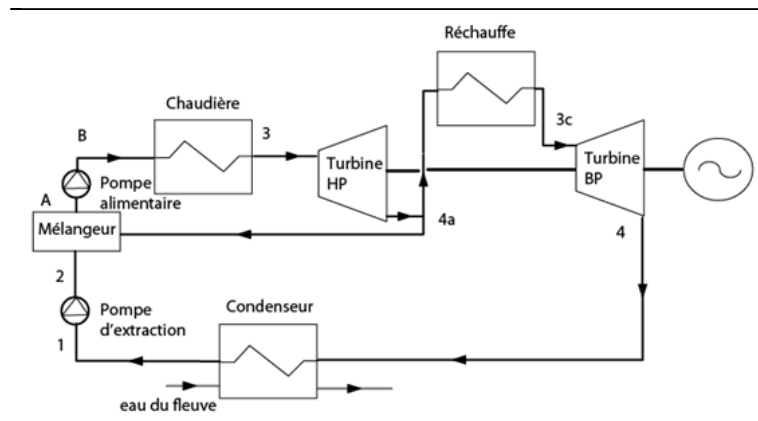
Examinons les échanges du cycle de la centrale à vapeur avec ses sources externes en vue de déterminer où se situent les irréversibilités thermiques les plus importantes.

Du côté de la source froide, la condensation isotherme permet de limiter l'écart de température entre le fluide de travail et le fluide de refroidissement, de telle sorte que les irréversibilités par hétérogénéité de température sont faibles.

Du côté de la source chaude en revanche, on brûle dans la chaudière un combustible capable de produire des fumées à plus de 2000 °C pour chauffer le fluide de travail à des températures beaucoup plus basses : dans l'économiseur l'eau sort de la pompe à quelques dizaines de degrés Celsius, tandis que la vaporisation et la surchauffe prennent place à plusieurs centaines de degrés C.

Dans tous les cas les écarts de température avec la source chaude sont très élevés, mais c'est clairement dans l'économiseur que se situe la plus grande irréversibilité par hétérogénéité de température. C'est donc à ce niveau que nous allons chercher à améliorer le cycle.

Cycle avec resurchauffe et prélèvement (ou soutirage)



Considérons un cycle avec une resurchauffe. Si l'on prélève un peu de vapeur en sortie de la première détente, au point **4a** sur la figure, sa pression reste suffisante pour qu'on puisse la condenser à une température assez élevée pour préchauffer l'eau sous pression sortant de la pompe au point **2**.

L'enthalpie de la vapeur étant très largement supérieure à celle du liquide, du fait de la chaleur latente de vaporisation, on conçoit qu'il est possible d'assurer le préchauffage du liquide grâce à un faible prélèvement de vapeur en cours de détente. On parle indifféremment de prélèvement ou de soutirage.

Bien entendu, pour que l'opération soit possible, il faut que la vapeur prélevée soit à une température supérieure à celle du liquide, ce qui fait qu'en pratique, on se contente d'un réchauffage partiel.

Remarquons que, lorsqu'il y a un prélèvement, le débit de fluide qui évolue n'est pas le même dans l'ensemble de la machine. Si on prélève une fraction ϵ de vapeur, et pour un débit masse unitaire, le débit qui transite entre les points **4a**, **3c**, **4**, **1** et **2** est égal à $(1 - \epsilon)$, et celui qui évolue entre les points **A**, **3a**, **3b**, **3** et **4a** est égal à **1**.

Le gain sur le rendement est significatif : globalement, les prélèvements peuvent contribuer à une amélioration de près de cinq points du rendement interne du cycle de Hirn. Combinés avec les resurchauffes, le gain est d'environ 7 points, soit un rendement supérieur de 20 % à celui du cycle initial.

En pratique, dans les centrales de forte capacité utilisées en production d'électricité, on a recours à plusieurs prélèvements (de 6 à 9), les différents réchauffeurs travaillant à des températures s'échelonnant de 30 à 50 °C.

1. Charger le modèle

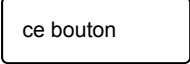
Chargement d'un modèle de cycle à resurchauffe et prélèvement.

Cliquez sur le lien suivant : [Ouvrir un fichier dans Thermoptim](#)

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

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 et prélèvement

Cliquez sur 

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_vapRechauffePrelFrFin.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.

L'interprétation du diagramme est plus difficile que précédemment, du fait que le débit varie selon les transfos.

Modélisation du prélèvement

Pour modéliser correctement dans Thermoptim le prélèvement, il faut utiliser un diviseur et un mélangeur, qui sont des nœuds introduits dans le cours. Ces nœuds permettent de modéliser les éléments du schéma où prennent place les mélanges et les divisions de fluides.

Dans un nœud, plusieurs branches de fluide représentées par des transfos sont reliées entre elles pour former une veine unique.

L'écran des nœuds comporte trois parties :

- en haut, sont indiqués le nom du projet, le nom du nœud et son type, ainsi que sa branche principale
- en bas apparaissent les branches secondaires
- à droite sont placés les boutons permettant de construire et calculer le nœud

Notez que l'état du point en sortie de mélangeur est généralement différent de ceux des points en entrée, tandis que dans un diviseur, l'état est le même en entrée et en sortie. Il faut donc que le point amont de la transfo de sortie d'un mélangeur soit différent des points aval de ses branches, alors que le même point peut apparaître en amont et en aval d'un diviseur.

1. Paramétrage des mélangeurs et des diviseurs

Le paramétrage d'un mélangeur ne pose pas de problème particulier : lorsque vous cliquez sur le bouton "Calculer", Thermoptim effectue les bilans massique et enthalpique des branches et calcule la température de sortie, et le point d'entrée de la transfo aval est recalculé.

Le paramétrage d'un diviseur est un peu plus complexe. L'écran d'un diviseur est doté d'un bouton supplémentaire intitulé "paramétrage du débit". Il sert à définir des facteurs de débit qui sont utilisés lors du calcul de la répartition du débit entre les branches. L'idée de base est la suivante : étant donné qu'un diviseur doit assurer la conservation du débit, il n'est pas toujours possible d'imposer les valeurs des débits des branches lorsque celui de la veine principale varie.

On demande donc à l'utilisateur de définir un facteur de débit qui représente la part du débit total qui passe par la branche considérée

Thermoptim somme l'ensemble des facteurs de débit des différentes branches, puis répartit le débit total proportionnellement à ceux-ci.

Une exception existe cependant : il est possible d'imposer le débit dans une transfo en sortie d'un diviseur, à condition que ce diviseur n'ait que deux branches : celle à débit imposé et une autre.

Dans ce cas, le débit de la deuxième transfo est égal au débit dans la veine principale moins celui de la branche où il est imposé, et les facteurs de débit des deux branches sont recalculés pour correspondre à cette répartition.

Dans ce cas, s'affiche en rouge, sous le nom de la veine principale, le message "débit imposé", comme dans le modèle qui est chargé.

2. Étude du diviseur

Ouvrez l'écran du diviseur dans le modèle. La veine principale est la turbine HP, et les deux branches sont le prélèvement et la resurchauffe. Leurs débits respectifs sont 0,15 kg/s et 0,85 kg/s.

Cliquez sur Calculer. Le texte "débit imposé" apparaît en rouge, indiquant que l'une des deux transfos de sortie est paramétrée de cette manière. Vous pouvez vérifier qu'il s'agit de la transfo-point prélèvement.

Le débit dans chacune des branches est mis à jour.

3. Étude du mélangeur

Ouvrez l'écran du mélangeur dans le modèle. Les deux branches sont le prélèvement et la pompe d'extraction, et la veine principale est la pompe alimentaire. Leurs débits respectifs sont 0,15 kg/s et 0,85 kg/s. Vous pouvez vérifier que l'état des deux points amont est différent, de telle sorte qu'il faut bien un troisième point en entrée de la veine principale.

Aucun paramétrage particulier n'est nécessaire, Thermoptim disposant de toutes les informations pour calculer le nœud.

Cliquez sur Calculer. L'état du point en sortie du mélangeur est déterminé, ainsi que le débit de la transfo.

Bilan du cycle à resurchauffe et prélèvement

Avec un débit de prélèvement de 15 % du débit principal et une pression intermédiaire de 10 bar, le résultat de la modélisation du cycle à resurchauffe est fourni par Thermoptim : le rendement passe de 41,9 % pour le cycle à resurchauffe à 43,2 %.

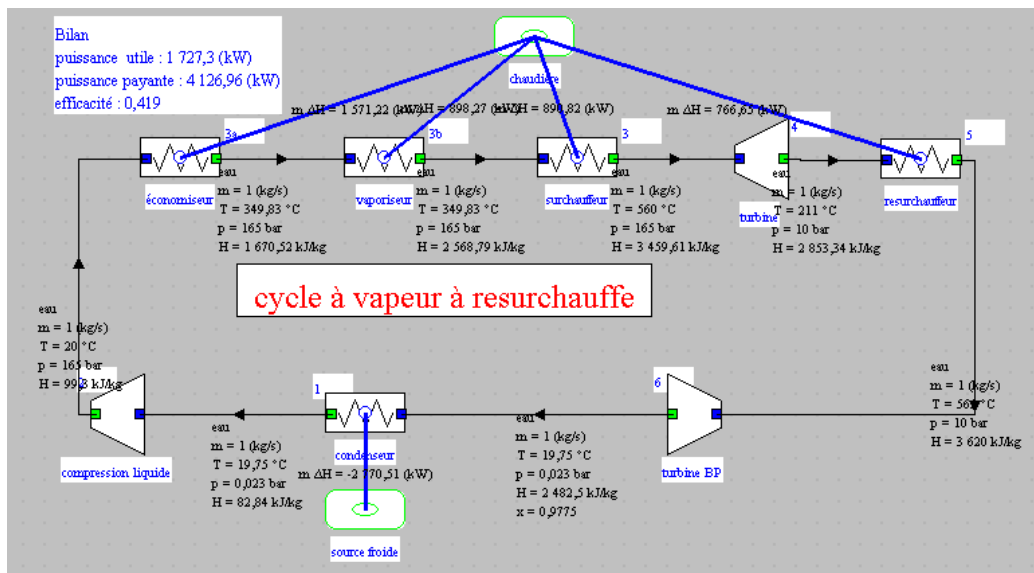
1. Bilan premier principe

Quelle est la valeur de la puissance utile ?

Quelle est la valeur de la puissance payante ?

2. Diminution de la puissance utile

Le prélèvement a pour effet de diminuer la puissance utile par rapport au cycle à resurchauffe. Ceci provient de la réduction du débit qui passe par la turbine à basse pression.



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

De quelle valeur diminue la puissance utile ?

De quelle valeur diminue la puissance payante ?

Étude paramétrique du cycle à resurchauffe et prélèvement

Exercice : recherchez le débit de prélèvement maximal.

Augmentez le débit de prélèvement jusqu'à la limite possible, qui correspond au cas où l'état du fluide en sortie de mélangeur (point A) devient diphasique, en étudiant son influence sur les performances du cycle (rendement et puissance).

Au-delà de cette limite, la compression dans la transfo "pompe alimentaire" ne peut plus être réalisée à l'état liquide, et Thermoptim affiche un message.

Pour changer la valeur du débit, ouvrez l'écran de la transfo "prélèvement", modifiez son débit 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 prélèvement sur les performances de la centrale.

Elle vous a aussi montré comment paramétrer les diviseurs.