

Fiche-guide de TD sur la modélisation d'un cycle combiné à air

1) Objectifs du TD

L'objectif du projet est d'étudier le fonctionnement d'un cycle combiné à air et de montrer comment on peut le modéliser de manière réaliste avec Thermoptim.

On demande aux élèves d'effectuer un premier paramétrage du modèle sur la base des valeurs fournies dans l'énoncé, puis de réaliser des études de sensibilité en jouant sur des paramètres comme le rapport de compression et la température d'entrée turbine.

Ce TD s'adresse à des élèves ayant déjà étudié les turbines à gaz. Si ce n'est pas le cas, il faut prévoir qu'ils le fassent comme activité préalable.

2) Références

Najjar Y.S.H., Zாமout M.S. Performance Analysis of Gas Turbine Air-Bottoming Combined System, Energy Conversion and Management, Vol. 37, pp. 399-403, 1996.

3) TD principale

3.1 Enoncé

Dans un cycle combiné classique, les gaz d'échappement d'une turbine à gaz à haute température sont utilisés comme source chaude pour un cycle à vapeur. Dans un cycle combiné à air (figure 1), le cycle à vapeur est remplacé par un second cycle de turbine à gaz à air fonctionnant avec un rapport de compression et un débit d'air adéquat. En anglais on parle de "air bottoming cycle".

L'intérêt d'un tel cycle est de ne pas nécessiter d'eau de refroidissement, d'être moins coûteux qu'un cycle combiné classique, et de pouvoir être envisagé si la régénération est impossible.

L'air chaud sortant du deuxième cycle à haute température peut être utilisé en cogénération.

L'objectif du travail est de modéliser un tel cycle et d'en calculer le rendement, puis d'en dresser le bilan exergétique.

3.1.1 Cycle à faible rapport de compression et à basse température

On partira de l'exemple de turbine à gaz avec combustion de la séance S22 (rapport de compression égal à 5, $T_3 = 950 \text{ °C}$), et on cherchera, pour le second cycle, le couple débit d'air/rapport de compression qui conduit aux meilleures performances, en prenant 0,95 comme efficacité de l'échangeur intermédiaire.

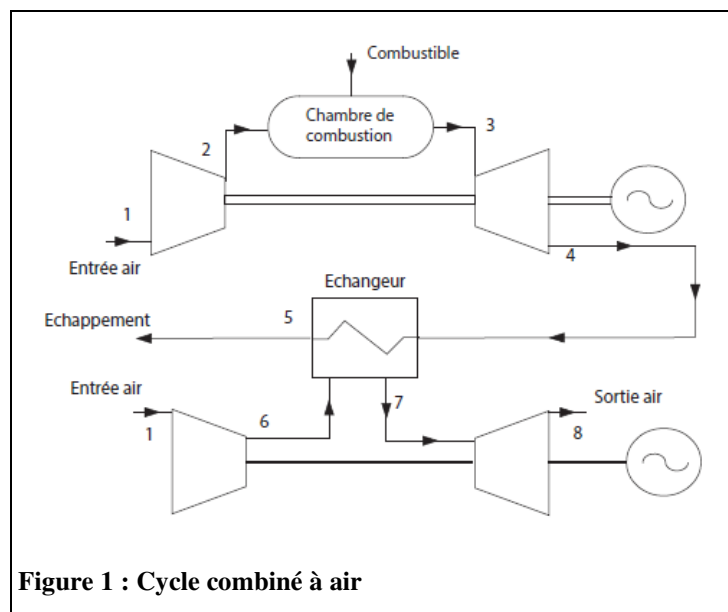


Figure 1 : Cycle combiné à air

On étudiera aussi l'influence d'un refroidissement intermédiaire, et on comparera les performances de ce cycle à celui d'un cycle combiné classique à un seul niveau de pression. On montrera que, dans ce cas précis où le rapport de compression est faible, le cycle à régénération conduit à de meilleures performances (43,2 % séance S23).

L'ensemble des autres valeurs doit être déterminé, en justifiant les hypothèses faites.

3.1.2 Cycle à fort rapport de compression et à haute température

On reparamètrera l'exemple de turbine à gaz avec combustion de la séance S22, en considérant un rapport de compression égal à 16 et $T_3 = 1150 \text{ °C}$, et on cherchera, pour le second cycle, le couple débit d'air/rapport de compression qui conduit aux meilleures performances.

On étudiera aussi l'influence d'un refroidissement intermédiaire, et on comparera les performances de ce cycle à celui du cycle à régénération pour ce nouveau rapport de compression.

3.2 Etudes de sensibilité

Une fois le modèle construit et paramétré, de nombreuses études de sensibilité peuvent être réalisées par les élèves.

3.3 Représentation dans les diagrammes thermodynamiques

Une fois les points du cycle déterminés, il est possible de les représenter dans un diagramme thermodynamique tel que le diagramme entropique en utilisant les fonctionnalités que propose Thermoptim. Une difficulté existe cependant : la représentation de ce cycle sur un diagramme thermodynamique pose problème du fait que ce n'est pas le même fluide qui traverse l'ensemble de la machine. Le changement de composition dans la chambre de combustion interdit en principe de tracer le cycle dans un seul diagramme. Sur le diagramme entropique de l'air, les points 2, 3, 4 et 5 n'apparaissent ainsi pas sur les bonnes isobares, du fait du changement de fluide.

La figure 5 montre le résultat obtenu. Une comparaison avec un cycle de Carnot peut alors être faite. La figure 6 montre le cycle dans le diagramme $(h, \ln(P))$.

3.6 Dimensionnement technologique

Une activité envisageable si les élèves disposent de suffisamment de temps est de leur demander de calculer des ordres de grandeur de dimensionnement du système (sections de passage...), d'estimer les pertes de charge dans la chambre de combustion, et de modifier le modèle en conséquence pour affiner les choses.

4) Variantes

4.1 Comparaison avec un modèle analytique

Une activité envisageable est de demander aux élèves de développer un modèle analytique des deux turbines à gaz, en faisant l'hypothèse que le fluide de travail est assimilable à de l'air parfait, les valeurs de C_p et γ différant selon les parties du cycle, et de comparer ce modèle avec celui développé sous Thermoptim.

Les résultats seront légèrement différents, mais pas trop si les valeurs de C_p et γ sont bien choisies.

4.2 Etat de l'art des technologies utilisées dans les turbines à gaz

Si l'objectif est que les élèves approfondissent leurs connaissances sur les turbines à gaz, il est possible de leur demander de réaliser un état de l'art succinct des technologies utilisées dans ces machines et des principales contraintes qui existent à ce niveau.

4.3 Bilan exergetique du cycle

Il est enfin possible de demander aux élèves de dresser les bilans exergetiques des deux cycles, s'ils disposent de suffisamment de temps, et de les comparer à celui d'un cycle combiné à un seul niveau de pression.

La séance Diapason S06¹ leur fournira si nécessaire des explications sur la manière de procéder.

-

¹ Séance S06 : <http://www.thermoptim.org/SE/seances/S06/seance.html>