

Durée : 2 h - Documents autorisés : notes personnelles manuscrites, documents papier remis pendant les cours et les 2 polycopiés de l'UV.

Recommandations :

- Pour la clarté des copies, merci d'identifier les questions et d'encadrer les résultats.
- Ecrire les formules littérales avant l'application numérique.
- Donner les résultats numériques avec 4 chiffres significatifs maximum.
- Numéroter les feuilles (1 feuille = 4 pages) en indiquant le nombre total de feuilles (Exemple : 1/3, 2/3, 3/3).

1. Introduction à l'énergie nucléaire (4 points).

Remplir le QCM remis séparément (partie 1) et le rendre avec votre copie.

2. Centrales nucléaires - Sécurité (3 points).

Remplir le QCM remis séparément (partie 2) et le rendre avec votre copie.

3. Déroulement d'un projet de centrale électrique (3 points)

Remplir le QCM remis séparément (partie 3) et le rendre avec votre copie.

4. Turboalternateurs (3 points)

Dans le rotor d'un turboalternateur, les éléments du bobinage susceptibles de se déplacer dans leur logement sont situés à 200 mm de l'axe de rotation, au minimum.

La vitesse de virage est la vitesse de rotation réduite à laquelle une ligne d'arbre doit être maintenue pendant un certain temps avant et après les phases de production d'énergie.

4.1. Quel est le risque si cette vitesse de virage est trop faible ?

4.2. Connaissant la valeur de l'accélération de la pesanteur ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$), déterminer la vitesse de virage minimale pour éviter ce risque.

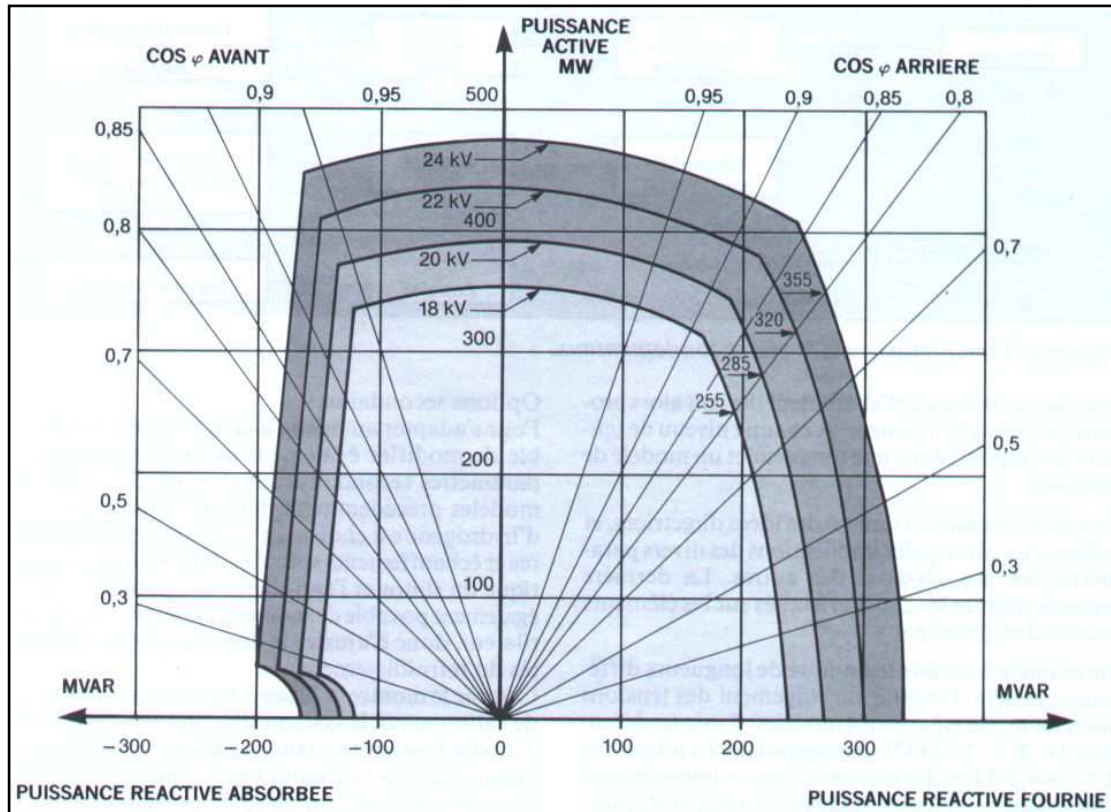


Fig. 1 : Diagramme des puissances actives et réactives d'une ancienne gamme de turboalternateurs Alstom (JM. Guillard, R. Damiron, Revue Alstom N  7 - 1987).

- 4.3. Dans le diagramme puissance active - puissance réactive d'un turboalternateur, tel que celui de la Fig. 1 ci-dessus, quels sont les 3 phénomènes physiques qui imposent les limites de fonctionnement ?
- 4.4. Quel est le paramètre qui permet d'agir sur la production ou la consommation de puissance réactive ?
- 4.5. Quelle est l'action qui permet d'augmenter la puissance réactive fournie au réseau ?

La Fig. 1 donne les possibilités de 4 turboalternateurs semblables, dont les circuits magnétiques ont des longueurs différentes, ce qui implique des tensions différentes aux bornes.

Un client souhaite pouvoir fournir simultanément à son réseau une puissance active de 400 MW et une puissance réactive de 200 MVAR.

- 4.6. Lequel des 4 alternateurs (18, 20, 22 ou 24 kV) faudra-t-il lui proposer ?
- 4.7. Quelle sera la puissance active maximale que cet alternateur pourra fournir ?

5. Turbines à gaz (4 points)

Les questions 5.1, 5.2, 5.3 et 5.4 sont liées, la question 5.5 peut être traitée indépendamment.

Données :

- Chaleur massique du fluide : $c_p = 1 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$
- Rapport des chaleurs spécifiques (gamma) : $\gamma = 1,4$
- Conditions de référence : $17,3^\circ\text{C}$ et 1 bar

- 5.1. Quel est le taux de compression d'un compresseur si la température en fin de compression est de 360°C , avec un rendement isentropique de 88,75% ?
- 5.2. Quelle est la puissance absorbée par ce compresseur si son débit est de 127 kg/s ?
- 5.3. L'air issu du compresseur pénètre dans une chambre de combustion et est mélangé avec 2,1 kg/s de gaz composé majoritairement de méthane (CH_4) dont le PCI est 49580 kJ/kg.
Quelle est la puissance introduite dans le cycle ?
Quel est le débit massique en sortie chambre ?
Quelle est la température du mélange final ?
- 5.4. Quelle est approximativement la puissance de la turbine de détente ?
Quelle est alors la puissance du cycle si la puissance des auxiliaires est de 400 kW ?
En déduire son rendement et le Heat Rate.
- 5.5. Un constructeur de turbine à gaz a vendu à un client la garantie suivante sur la puissance : 135 MW pour une température ambiante de 25°C .
Les tests de performances sont réalisés à $17,4^\circ\text{C}$ et permettent d'afficher une puissance de 148 MW.
En utilisant la courbe de correction de la Fig. 2 ci-dessous, pouvez-vous dire si la puissance vendue est respectée ?

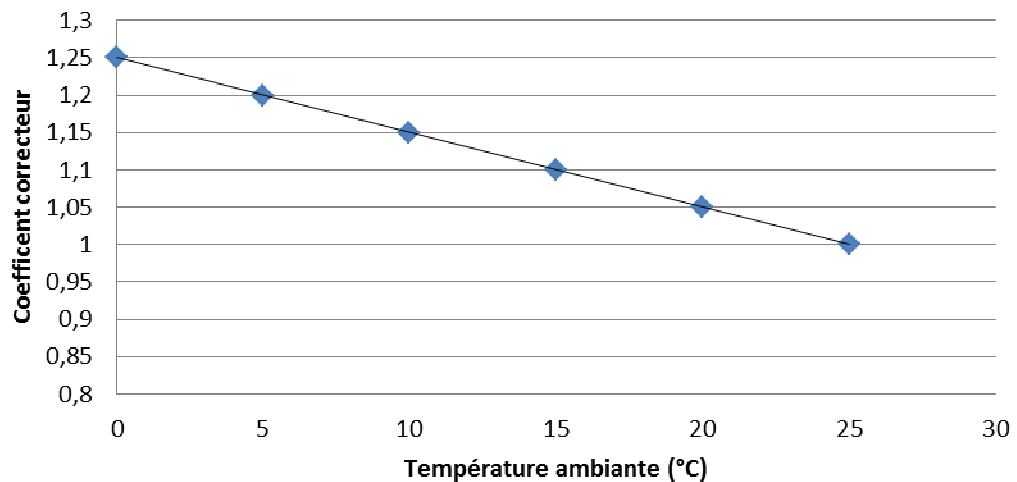


Fig. 2 : Coefficient correcteur sur la puissance.

6. Turbines à gaz – Auxiliaires (4 points)

- 6.1. Une turbine à gaz fonctionne au méthane ($PCI = 35800 \text{ kJ/Nm}^3$, densité = 0,554).
Le gaz est modifié par l'ajout de 10% en volume de CO ($PCI = 12600 \text{ kJ/Nm}^3$, densité = 0,967).
Quel est l'impact sur l'indice de Wobbe ?
Comment doit évoluer le débit gaz afin que la même puissance soit conservée.
- 6.2. Un ventilateur est dimensionné pour aspirer de l'air atmosphérique à 15°C.
En hiver, la température descend à -20°C.
Quelle est l'influence de cette modification de température, en pourcentage, sur les débits volumique et massique, sur la variation de pression totale et sur la puissance absorbée par le moteur entraînant le ventilateur ?
- 6.3. Imaginez un circuit du premier ordre en boucle ouverte.
La constante de temps vaut 1 seconde.
On rajoute 1,5 seconde de retard.
Au bout de combien de temps atteint-on 63,2% de la réponse à un échelon unitaire ?
Une augmentation du gain va-t-elle changer la constante de temps ?
- 6.4. Calculez le gain en dB qu'apporte une division par 4 de la puissance acoustique d'une source de bruit.
- 6.5. Calculez le niveau sonore pondéré, en dBA, résultant du cumul de trois sources sonores de 80 dB, respectivement à 250 Hz, 500 Hz et 1000 Hz.

7. Cycles combinés (4 points)

On considère un cycle combiné à 1 niveau de pression, constitué de 2 turbines à gaz associées à 2 chaudières de récupération (une par turbine à gaz) et une seule turbine à vapeur (Fig. 3).

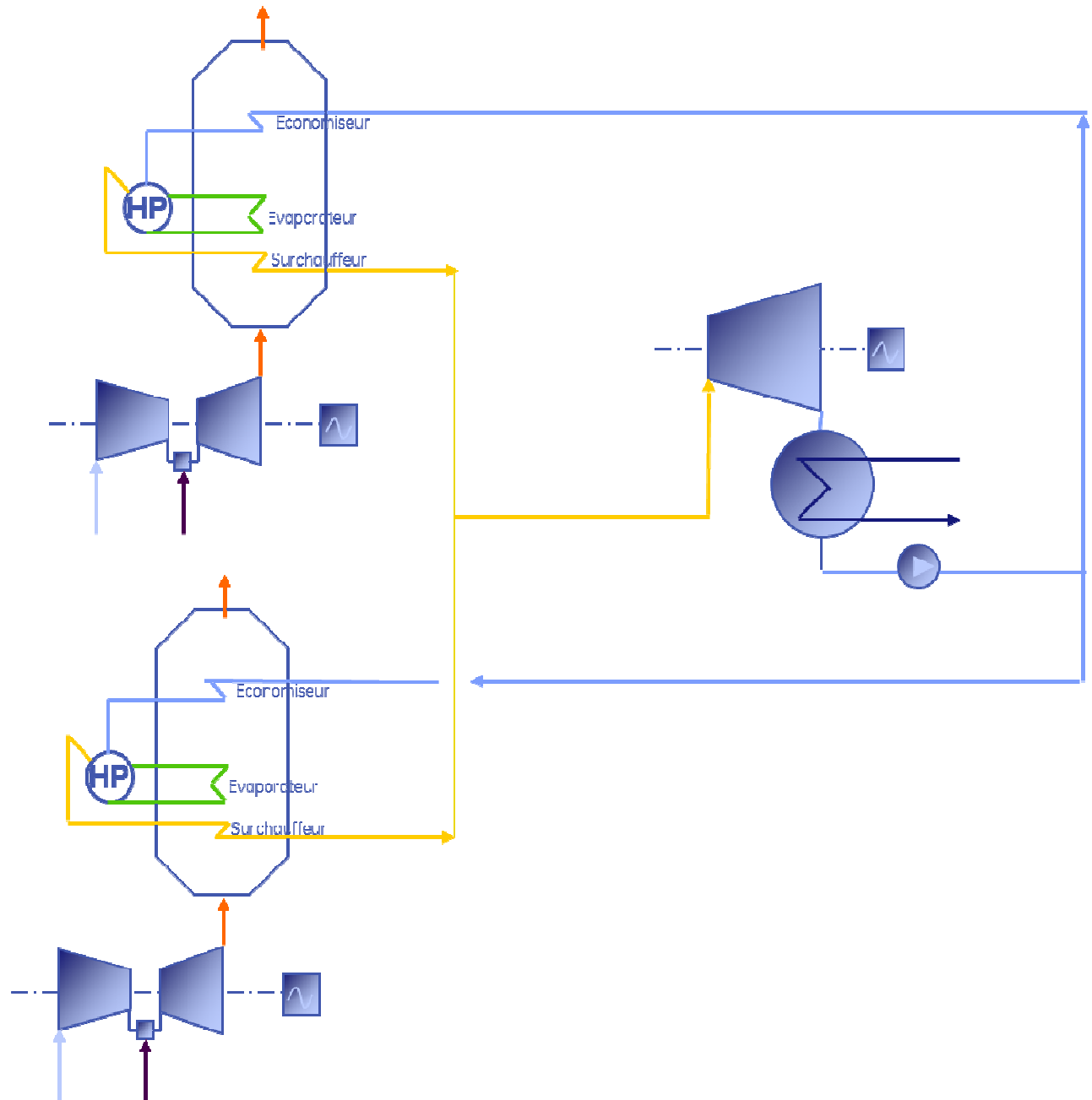


Fig. 3 : Arrangement du cycle combiné.

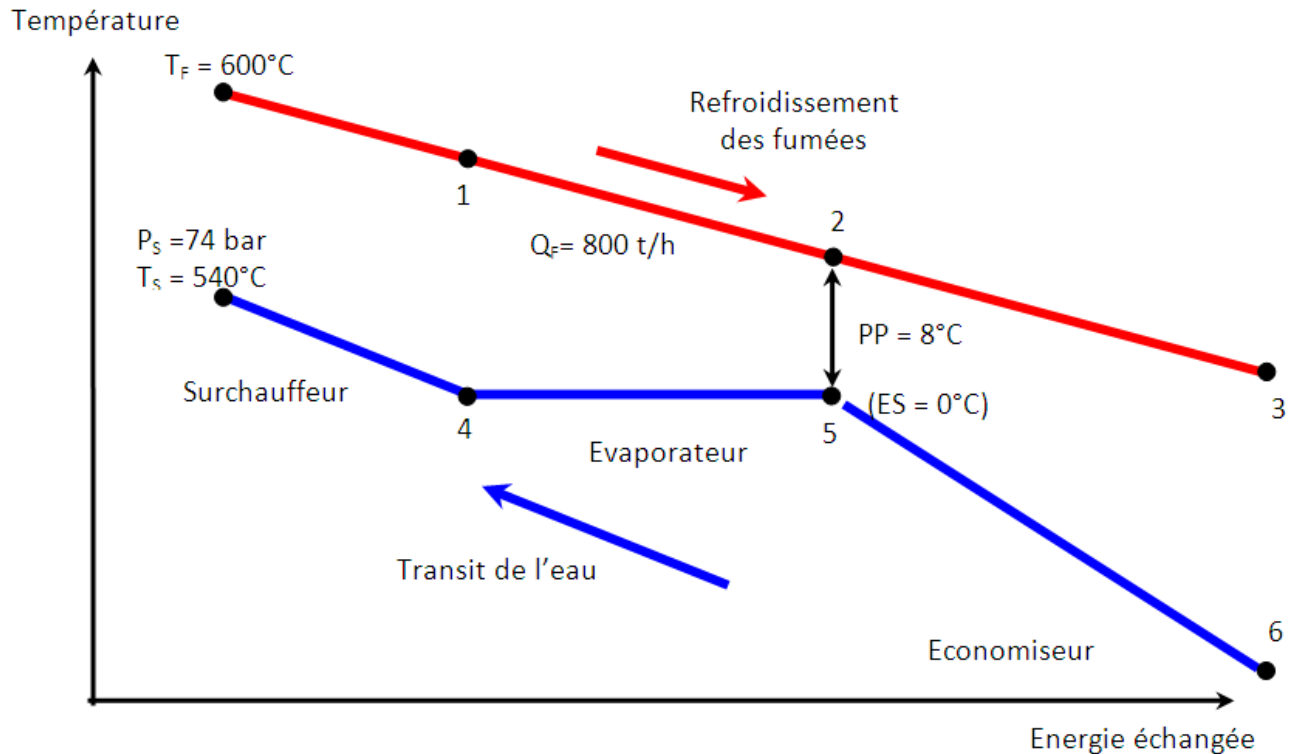


Fig. 4 : Données concernant chacune des 2 chaudières.

Données :

- Capacité calorifique des fumées : $C_{PF} = 1,1 \text{ kJ/kg.K}$
- Rendement des échangeurs : 0,99
- Perte de charge dans le surchauffeur : 2 bar

7.1. Quelle est la pression de saturation dans le ballon HP ?

7.2. Quelle est la température de l'eau à l'entrée du ballon HP (point 5) ?

7.3. Quelle est l'enthalpie de l'eau à l'entrée du ballon HP (point 5) ?

7.4. Quelle est la température de la vapeur à l'entrée du surchauffeur (point 4) ?

7.5. Quelle est l'enthalpie de la vapeur à l'entrée du surchauffeur (point 4) ?

7.6. Quelle est l'enthalpie de la vapeur à la sortie du surchauffeur ?

7.7. Quelle est la quantité de chaleur perdue par les fumées entre leur entrée dans la chaudière et leur sortie de l'évaporateur (point 2) ?

7.8. Quel est le débit de vapeur envoyé à la turbine à vapeur ?