

Durée : 2 h - Documents autorisés : notes personnelles manuscrites et "Aide-mémoire ..."

1. Introduction à l'énergie nucléaire (6 points).

Remplir le QCM remis séparément (1^{ère} partie) et le rendre avec votre copie.

2. Centrales nucléaires - Sûreté (4 points).

Remplir le QCM remis séparément (2^{ème} partie) et le rendre avec votre copie.

3. Centrales au charbon et auxiliaires (6 points).

Une centrale d'une puissance brute de 600 MW consomme 5300 t/jour d'un charbon dont le PCI est de 22 MJ/kg, acheté 3 €/GJ.

L'énergie électrique produite est vendue 50 €/MWh.

3.1. Déterminer le rendement de cette centrale, sachant que les pertes et la consommation des auxiliaires (incluant les pompes alimentaires) sont évaluées à 50 MW.

3.2. Considérant que, sur un an (ou 365 jours), la centrale fonctionne en moyenne à 90 % de sa capacité, calculer le coût annuel du charbon consommé.

3.3. On envisage d'installer un échangeur pour récupérer, dans les fumées, une quantité de chaleur égale à 2,5 % de l'énergie du combustible.

Si 20 % de cette chaleur sont convertis en électricité, quel est le gain annuel supplémentaire ?

3.4. L'investissement nécessaire pour la mise en place de cet échangeur est de 35 M€.

Quelle est la durée de remboursement de cet investissement et qu'en pensez-vous ?

3.5. La Fig. 1 montre un certain nombre d'éléments importants de la chaudière qui équipe cette centrale.

Donner le nom, en français ou en anglais, ou une courte description des repères A à N.

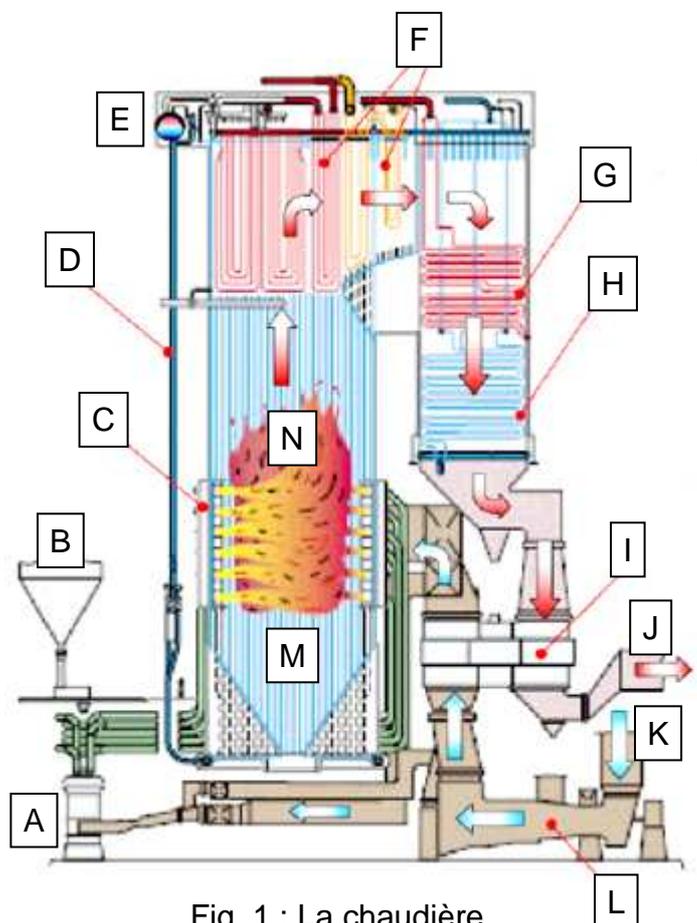


Fig. 1 : La chaudière

- 3.6. Plusieurs technologies sont disponibles pour le système de refroidissement d'une telle centrale :
- 1 : Tour de refroidissement humide à circulation naturelle.
 - 2 : Refroidissement direct par eau de mer.
 - 3 : Tour de refroidissement humide à circulation forcée.
 - 4 : Aérocondenseur.
- Classer ces 4 solutions dans l'ordre décroissant des rendements globaux de la centrale.
- 3.7. Combien de t/h de CO_2 seraient-elles émises par une centrale de la même puissance brute qui brûlerait avec le même rendement un charbon contenant 100 % de carbone, de $\text{PCI} = 32,8 \text{ MJ/kg}$?
Rappel des masses atomiques : H : 1 - C : 12 - O : 16
- 3.8. Combien de t/h de CO_2 seraient-elles émises par une centrale de la même puissance brute qui brûlerait avec le même rendement du méthane pur (CH_4), de $\text{PCI} = 50 \text{ MJ/kg}$?
- 3.9. Pour une telle centrale, serait-il intéressant d'importer, depuis un pays distant de 5000 km, du lignite, de la tourbe, du charbon bitumineux ou du bois ?

4. Turbines à vapeur (4 points).

- 4.1. Un étage d'une turbine à action supposé sans pertes transforme en travail mécanique une chute enthalpique de 50 kJ/kg .
Calculer la vitesse C_0 de la vapeur à la sortie de l'ailettage fixe.
La turbine tourne à 3000 tr/mn , le diamètre de base (à prendre en compte pour le calcul de la vitesse d'entraînement U) est de 800 mm et l'angle α_1 de sortie de l'ailettage fixe vaut 14° .
Calculer la vitesse relative W_1 de la vapeur à l'entrée de l'ailettage mobile.
Sachant de plus que l'angle de sortie de l'ailettage mobile β_2 vaut 20° , calculer le travail massique transmis au rotor (en kJ/kg) et en déduire le rendement de l'étage.
- 4.2. Quel est l'effort centrifuge exercé sur l'arbre d'un rotor de turbine basse pression, tournant à 3600 tr/min , par une ailette de masse 30 kg , longue de 860 mm et fixée sur un diamètre de 1800 mm ?
On considérera que, à partir de ce diamètre de fixation, le centre de gravité de l'ailette est situé au tiers de sa longueur.
- 4.3. La ligne d'arbres de l'EPR de Flamanville 3 est constituée d'un alternateur et d'une turbine à vapeur comprenant un corps haute et moyenne pression (de puissance 1010 MW) et 3 corps basse pression (de puissance 250 MW chacun).
La vitesse de rotation nominale du groupe est de 1500 tr/min .
Le diamètre de l'arbre de l'alternateur au niveau du palier côté turbine est supposé être de 900 mm comme pour les machines de la génération précédente.
Quelles seraient alors, sous l'effet du couple transmis, les contraintes équivalentes de Von Mises qui apparaîtraient dans cet arbre, sur son axe et à sa périphérie ?
Ces contraintes sont-elles constantes ou périodiquement variables ?
A quelle fréquence dans le 2^{ème} cas ?