

PARTIE MÉCANIQUE, THERMODYNAMIQUE ET CHIMIE (durée conseillée 1 h 15 min)

ÉTUDE D'UNE CENTRALE NUCLÉAIRE

Le sujet comporte 3 parties complètement indépendantes ;
la machine à calculer est autorisée.

Partie 1 : Énergie et puissance produites

En 1997, une centrale nucléaire française constituée de 4 tranches avait une production annuelle d'énergie électrique $E = 2,60 \cdot 10^{13}$ Wh, soit 6,30 % de la consommation nationale.

1.1 - Déterminer la puissance moyenne P délivrée par la centrale, puis calculer la puissance électrique moyenne P_{tr} fournie par l'une de ses tranches.

1.2 - Calculer la consommation d'énergie électrique nationale E_T en joules.

Partie 2 : Source d'énergie

La source d'énergie thermique d'une centrale nucléaire est la réaction en chaîne de fission maîtrisée, ou réaction nucléaire provoquée, au cours de laquelle un noyau lourd (noyau d'uranium) se scinde en deux noyaux plus légers sous l'impact d'un neutron.

Une réaction possible pour l'uranium 235 peut s'écrire : ${}_{92}^{235}\text{U} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{38}^{95}\text{Sr} + {}_{54}^A\text{Xe}$

Cette réaction a lieu dans le **réacteur nucléaire**.

Donnée : Célérité de la lumière $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

2.1 - Donner la composition du noyau d'uranium 235.

2.2 - Donner, en les justifiant, les valeurs de A et Z pour le xénon produit par cette réaction.

2.3 - On observe une perte de masse lors de cette réaction de fission.

2.3.1 - Sous quelle forme la retrouve-t-on ?

2.3.2 - Évaluer la perte de masse en kg correspondant à l'énergie électrique produite par la centrale pour l'année 1997.

2.3.3 - Justifier que la perte de masse réelle est supérieure à la valeur obtenue dans la question **2.3.2**.

2.4 - Il peut se former aussi par un autre processus du neptunium ${}_{93}^{239}\text{Np}$, qui est radioactif β^- . Écrire l'équation de la désintégration du neptunium radioactif β^- . Identifier le nucléide obtenu à l'aide du tableau ci-dessous (extrait de la table des nucléides) :

Élément	Z	A
Uranium (U)	92	232
		233
		234
		235
		236
		238
Neptunium (Np)	93	236
		237
		239
Plutonium (Pu)	94	236
		237

Élément	Z	A
Plutonium (Pu)	94	238
		239
		240
		241
		242
		244
Américium (Am)	95	241
		243
Curium (Cm)	96	242
Berkélium (Bk)	97	247

Partie 3 : Principe d'une centrale nucléaire

Données :

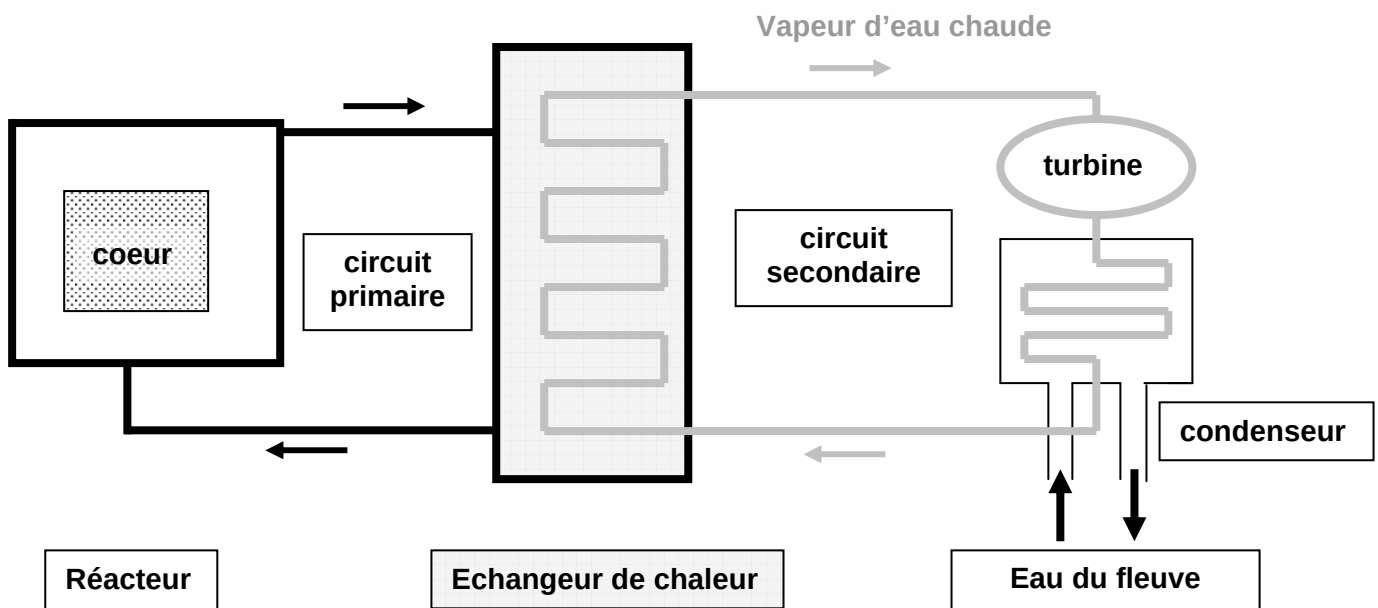
On supposera que chaque tranche de cette centrale (voir schéma) fournit une puissance électrique P_{tr} dont la valeur absolue est 740 MW.

On négligera toutes les pertes d'énergie dans les circuits et la turbine et on donne les valeurs numériques suivantes correspondant aux conditions de fonctionnement de l'installation :

- Capacités thermiques massiques de l'eau liquide :
 - $C_0 = 4180 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ aux environs de 10°C sous 1 bar.
 - $C'_0 = 5250 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ aux environs de 290°C sous 155 bars.
- Masse volumique de l'eau liquide : $\mu_L = 1000 \text{ kg.m}^{-3}$.
- Capacité thermique massique de l'eau vapeur :
 - $C_1 = 3800 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ aux environs de 270°C sous 56 bars.
- Le débit volumique de l'eau du fleuve dans le circuit de refroidissement est $D = 168 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$.

Une centrale nucléaire, simplifiée à un réacteur nucléaire, est composée de trois circuits distincts : primaire, secondaire et refroidissement.

Schéma de principe d'une centrale nucléaire simplifiée à une tranche :



- L'énergie libérée par la réaction en chaîne est extraite du cœur du réacteur par le fluide caloporteur circulant dans le circuit primaire à la température $\theta = 290^\circ\text{C}$, à la pression de 155 bars.
- Dans l'échangeur de chaleur, cette énergie, véhiculée par le fluide caloporteur, permet de transformer l'eau du circuit secondaire en vapeur d'eau, à la température $\theta_c = 270^\circ\text{C}$, sous une pression de 56 bars.
- La vapeur d'eau formée entraîne **la turbine** fournissant un travail mécanique au rotor d'un alternateur ; celui-ci produit alors l'énergie électrique.
- **A la sortie de la turbine**, grâce à l'eau du circuit de refroidissement prélevée froide à la température $\theta_F = 10^\circ\text{C}$ dans le fleuve, la vapeur d'eau du circuit secondaire est ramenée à l'état liquide à la température $\theta_F' = 20^\circ\text{C}$ dans le condenseur.

3.1 - Dans le circuit primaire, le fluide caloporteur est de l'eau liquide à la température de $\theta = 290^\circ\text{C}$, sous haute pression (155 bars).

3.1.1 - En comparant les capacités thermiques massiques de l'eau dans les états liquide et vapeur, expliquer pourquoi il est intéressant de conserver le fluide caloporteur (eau) à l'état liquide.

3.1.2 - Pourquoi la haute pression est-elle nécessaire?

Dans cette approche on ne tiendra pas compte de l'énergie apportée par les pompes.

3.2 - Indiquer, en prenant comme système l'eau du circuit secondaire, si l'énergie est transférée par chaleur ou par travail, et indiquer le signe des énergies échangées :

- ΔE_1 , entre l'eau du circuit primaire et l'eau du circuit secondaire ;
- ΔE_2 , entre la turbine et l'eau du circuit secondaire ;
- ΔE_3 , entre le circuit de refroidissement et l'eau du circuit secondaire.

3.3 - A l'aide du premier principe, effectuer le bilan d'énergie, pour un cycle de l'eau du circuit secondaire, en fonction de ΔE_1 , ΔE_2 , ΔE_3 .

3.4 - Donner l'expression du rendement r du circuit secondaire en fonction des énergies échangées. En déduire son expression en fonction des puissances P_2 cédée à la turbine, et P_3 cédée au fleuve.

Dans la suite, on considérera que $P_2 = P_{tr}$ (pertes négligées).

3.5 - Le rendement réel r est égal à $r = 0,4$.

3.5.1 - Soit la masse d'eau m_{eau} , circulant dans le circuit de refroidissement pendant l'intervalle de temps Δt . Établir la relation entre m_{eau} , Δt , le débit volumique D dans le circuit de refroidissement et la masse volumique de l'eau μ_L .

3.5.2 - Donner l'expression de l'énergie échangée ΔE_3 entre l'eau du circuit secondaire et le circuit de refroidissement, en fonction de la masse d'eau m_{eau} circulant dans le circuit de refroidissement, de l'élévation de température du fleuve $\Delta\theta_F$ et de la capacité thermique massique de l'eau de refroidissement.

3.5.3 - Déduire de 3-5-1 et 3-6-2, l'expression de la puissance P_3 échangée entre l'eau du circuit secondaire et le circuit de refroidissement, en fonction du débit D de l'eau circulant dans le circuit de refroidissement, de la masse volumique de l'eau de refroidissement, de la variation de température du fleuve $\Delta\theta_F$ et de la capacité thermique massique de l'eau de refroidissement.

3.5.4 - A l'aide de l'expression de r et de P_3 et en isolant $\Delta\theta_F$, montrer que l'on trouve :

$$\Delta\theta_F = \frac{P_{tr}}{\mu_L \times D \times C_0} \times \frac{1-r}{r}.$$

3.5.5 - Calculer l'élévation $\Delta\theta_F$ de la température du fleuve d'une centrale simplifiée à un réacteur nucléaire.

3.5.6 - Comme la centrale est constituée de 4 réacteurs ayant un circuit de refroidissement commun, sachant que l'eau de ce circuit de refroidissement peut être rejetée loin des berges à condition que sa température n'excède pas 30°C , le rejet est-il possible ?