

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR

CONSTRUCTION NAVALE

ÉPREUVE : SCIENCES PHYSIQUES

Durée : **2 heures**

IMPORTANT :

Ce sujet comporte 5 pages numérotées de 1 à 5.

Assurez-vous qu'il est complet.

- *Conformément aux dispositions de la circulaire n° 99-Q18 du 01/02/1999, l'usage de la calculatrice est autorisé.*
- *Ce sujet propose une étude simplifiée d'une microcentrale hydroélectrique. Le premier problème (**dynamique des fluides / 12 points**) s'intéresse au calcul de la puissance du circuit hydraulique. Le second problème (**électricité / 8 points**) s'intéresse à la compensation d'énergie réactive de l'installation électrique. **Pour chacun de ces problèmes, un grand nombre de questions sont indépendantes.***
- *La **clarté des raisonnements** et la **qualité de la rédaction** interviendront pour une part non négligeable dans l'appréciation des copies.*

Partie 1 : Étude hydraulique

Les principales caractéristiques du circuit hydraulique de la microcentrale ainsi que les principales lois de l'hydraulique sont données dans l'annexe n°1. Ce circuit comporte deux conduits H (horizontal) et V (vertical) ainsi qu'une cheminée d'équilibre E. La perte de charge du circuit comprend, d'une part la perte de charge par frottement de l'eau sur les parois internes des conduits (coefficients de perte de charge régulière λ_H et λ_V), et d'autre part les résistances à l'écoulement (coefficients de perte de charge singulière ξ_1 , ξ_2 , ξ_3 et ξ_4) provoquées par les accidents de parcours (filtre, rétrécissement et coudes).

Le volume de retenue du barrage étant très grand, on admettra que l'altitude Z_B de la surface libre du lac est constante et on négligera la vitesse de l'écoulement de l'eau à cette altitude ($C_B = 0$). La sortie de l'écoulement au niveau de la turbine est à la pression atmosphérique ($P_A = P_B$).

- 1.1 Calculer le débit volumique d'eau Q du circuit hydraulique.
- 1.2 Expliquer succinctement ce qui distingue un écoulement turbulent d'un écoulement laminaire. Calculer les nombres de Reynolds R_H et R_V des deux conduits et en déduire les régimes d'écoulement.
- 1.3 Calculer la perte de charge totale J_H dans le conduit H (en tenant compte de la grille d'entrée et du rétrécissement) en J/kg d'eau. En déduire l'altitude Z_E du niveau dans la cheminée E.
- 1.4 Calculer la perte de charge totale J_V dans le conduit V (en tenant compte des deux coudes) en J/kg d'eau. En déduire les pertes de charge totales $J_T = J_H + J_V$ du circuit hydraulique en J/kg d'eau puis en mètre de colonne d'eau.

Pour la suite du problème, on posera : $J_T = 33 \text{ J/kg}$ et $Q = 0,085 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

- 1.5 Calculer le travail W_T fourni à la turbine par un kg d'eau. En déduire la puissance utile P_U de la turbine sachant que son rendement hydraulique η est de 0,82.

Partie 2 : Étude de l'installation électrique

La production d'énergie électrique de la microcentrale est assurée par une génératrice asynchrone. Celle-ci est entraînée par la turbine par l'intermédiaire d'un multiplicateur de vitesse et est raccordée sur le réseau public EDF 400V, 50Hz (400V étant la tension composée du réseau triphasé).

On supposera, pour l'ensemble des questions posées, un fonctionnement nominal de la génératrice. L'étude se fera en triphasé.

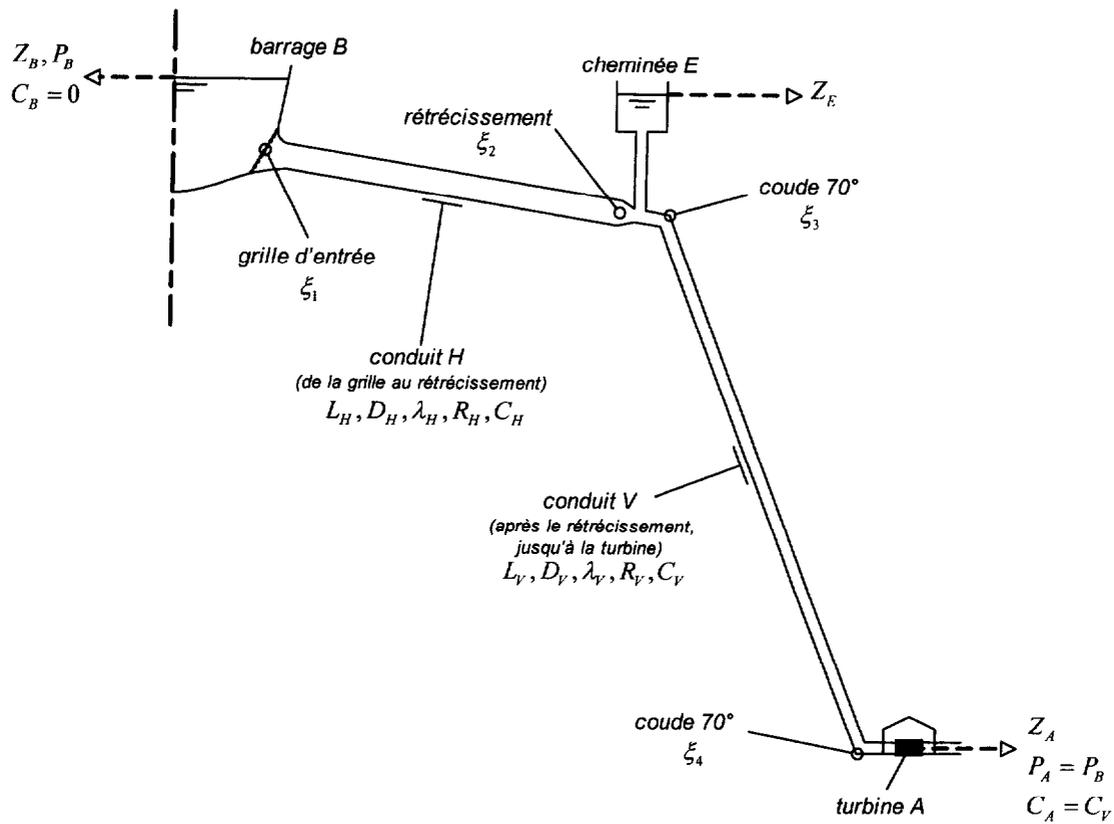
À partir des données fournies par l'annexe n°2 :

- 2.1 Déterminer le couplage du stator de la génératrice en fonctionnement normal.
- 2.2 Calculer la vitesse de rotation nominale n_N de son rotor en $\text{tr} \cdot \text{min}^{-1}$.
- 2.3 Calculer la puissance active nominale P_N fournie par la génératrice puis la puissance réactive Q_N absorbée sur le réseau public.

Afin de respecter les conditions techniques de raccordement au réseau public (lire l'extrait de l'arrêté reproduit dans l'annexe n°2), l'installation est munie d'une batterie de condensateurs. On se placera dans les conditions prévues par l'arrêté.

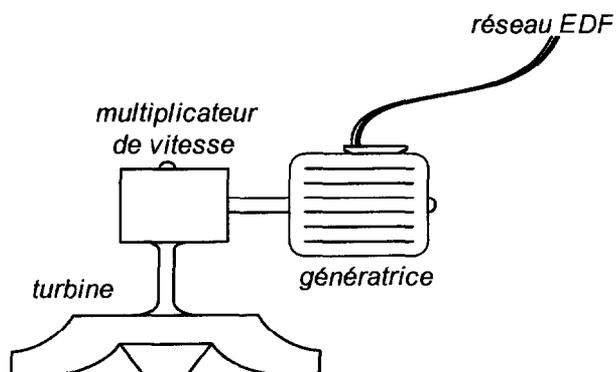
- 2.4 Déterminer la valeur C des capacités de la batterie de condensateurs qui permet le raccordement de la génératrice au réseau public.
- 2.5 Calculer la nouvelle valeur de l'intensité I_N du courant en ligne lorsque la batterie de condensateurs est connectée sur le réseau.
- 2.6 Expliquer pourquoi EDF doit limiter la consommation d'énergie réactive sur le réseau public.

ANNEXE n°1



| | conduit H | conduit V |
|--|---|--|
| Longueur | $L_H = 59,8 \text{ m}$ | $L_V = 87,4 \text{ m}$ |
| Diamètre intérieur | $D_H = 0,30 \text{ m}$ | $D_V = 0,20 \text{ m}$ |
| Vitesse d'écoulement | $C_H = 1,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ | $C_V = 2,7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ |
| Coefficient de perte de charge régulière | $\lambda_H = 15 \cdot 10^{-3}$ | $\lambda_V = 16 \cdot 10^{-3}$ |
| Calcul des pertes de charge régulière | $J_R = \frac{\lambda \cdot C^2}{2 \cdot D} \cdot L \text{ en J/kg}$ | |
| Coefficients de perte de charge singulière | grille : $\xi_1 = 1,75$ rétrécissement : $\xi_2 = 0,4$ | coude 60° : $\xi_3 = 0,47$ coude 70° : $\xi_4 = 0,55$ |
| Calcul des pertes de charge singulière | $J_S = \xi \cdot \frac{C^2}{2} \text{ en J/kg}$ | |
| Débit volumique de l'eau | $Q = \dots \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ | |
| Viscosité cinématique de l'eau | $\nu = 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ | |
| Nombre de Reynolds | $R = \frac{C \cdot D}{\nu}$ écoulement laminaire pour $R \leq 2000$ et turbulent pour $R > 2000$ | |
| Altitudes | Barrage : $Z_B = 790,4 \text{ m}$ | Turbine : $Z_A = 701,5 \text{ m}$ |
| Masse volumique de l'eau | $\rho = 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ | |
| Accélération de la pesanteur | $g = 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ | |
| Équation de Bernoulli pour 1 kg de fluide | $W_{12} + J_{12} = \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \frac{1}{2}(C_2^2 - C_1^2) + g \cdot (Z_2 - Z_1)$ | |

ANNEXE n°2



Plaque signalétique de la génératrice :
400V / 690V 50Hz 6 pôles

Essai en charge de la génératrice pour un fonctionnement nominal :

- Tensions composées :
 $U_N = 400V$
- Intensité du courant en ligne :
 $I_N = 120A$
- Facteur de puissance :
 $\cos \varphi = 0,65$
- Glissement :
 $g = - 0,05$

Pour cet essai, la batterie de condensateurs est déconnectée du réseau.

CONDITIONS TECHNIQUES DE RACCORDEMENT AU RÉSEAU PUBLIC DES INSTALLATIONS DE PRODUCTION AUTONOME D'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE DE MOINS D'UN MÉGAWATT

(ARRÊTÉ DU 21 JUILLET 1997)

Cet arrêté précise les obligations des producteurs d'énergie électrique quant à la fourniture d'énergie électrique nécessaire au fonctionnement des générateurs.

- Il fait obligation au producteur de fournir une puissance réactive nominale Q_n , telle que $Q_n = 0,4.P_n$, formule dans laquelle P_n représente la puissance active nominale de l'installation.
- Il précise que si l'installation de production comporte des génératrices asynchrones, la fourniture de puissance réactive se fera à l'aide de batteries de condensateurs, qui pourront être installées directement chez le producteur ou bien le poste source du distributeur ...

