



MINISTÈRE
DE L'ÉCONOMIE, DES FINANCES
ET DE L'EMPLOI

MINISTÈRE
DU BUDGET, DES COMPTES PUBLICS
ET DE LA FONCTION PUBLIQUE

CONCOURS EXTERNE POUR LE RECRUTEMENT DE TECHNICIENS SUPERIEURS DE L'INDUSTRIE ET DES MINES

SESSION 2008

EPREUVE ECRITE n°3 du mercredi 6 février 2008

PHYSIQUE

(Durée : 3 heures – coefficient : 2)

L'usage d'une calculatrice de poche est autorisé (standard, programmable ou alphanumérique) à condition qu'elle soit autonome et qu'elle ne comporte pas de dispositif d'impression, ni de dispositif externe de stockage d'information (cassette, bandes magnétiques, etc.)

Les notices de fonctionnement ne sont pas autorisées.

Le candidat attachera la plus grande importance à la clarté, à la précision et à la concision de la rédaction ; si un candidat est amené à repérer ce qui peut lui sembler être une erreur d'énoncé, il le signalera sur sa copie et devra poursuivre sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il a été amené à prendre.

TOUTE NOTE INFÉRIEURE A 6 SUR 20 EST ELIMINATOIRE.

Autour de l'énergie

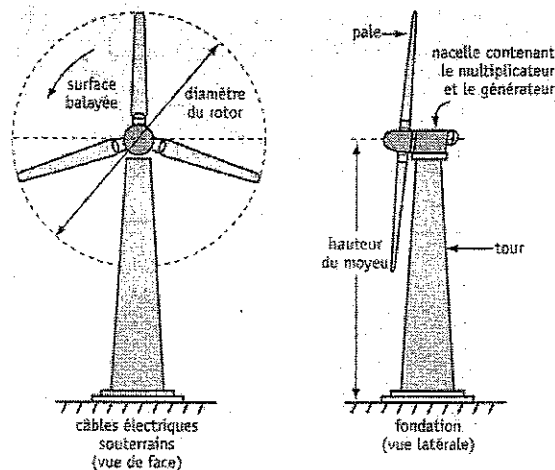
Le problème est composé de 5 parties indépendantes, à l'intérieur desquelles de nombreuses questions peuvent être traitées indépendamment les unes des autres.

Partie I : Energie éolienne

Une éolienne est constituée de trois parties :

- le rotor, « l'hélice », composé des pales et du moyeu ;
- la nacelle, la « caisse », au sommet de la tour ;
- le mât, la tour qui supporte les deux groupes précédents.

La vitesse de rotation varie évidemment selon la force du vent. Par exemple, pour un rotor de diamètre $d = 70$ m (éoliennes installées dans les Pyrénées-Orientales), la vitesse maximale de rotation des pales est de 20 tours par minute.



I.1. Calculer la fréquence f de rotation des pales. En déduire la période T de rotation.

I.2. Quelle est la vitesse angulaire ω ?

I.3. Calculer la vitesse v (en km.h^{-1}) atteinte au bout des pales.

I.4. Commenter la phrase « la lenteur apparente de rotation des pales est trompeuse... »

Partie II : Energie solaire

L'effet photovoltaïque utilisé dans les cellules solaires permet de convertir l'énergie lumineuse des rayons solaires en énergie électrique. Une cellule photovoltaïque est un générateur dont la caractéristique tension-intensité dépend de la puissance du rayonnement reçu par unité de surface. Ces cellules sont réalisées dans des plaquettes de silicium et assemblées en modules. Le module remplit plusieurs fonctions : connecter les cellules entre elles de manière à fournir la tension voulue et les protéger contre les agressions de l'environnement.

II.1. On a relevé, pour un éclairage constant de 1000 W.m^{-2} , les valeurs de la tension U et de l'intensité I d'un module photovoltaïque. Ces valeurs sont consignées dans le tableau ci-dessous :

I (A)	0	4,2	4,8	4,9	5,0	5,2	5,3
U (V)	22	20	17,7	15	12	8,5	5

II.1.a. Calculer dans chaque cas la puissance électrique P fournie par le module photovoltaïque.
Compléter le tableau en **Annexe 1** à rendre avec la copie.

II.1.b. Tracer le graphe $P = f(U)$ sur la feuille de papier millimétré fournie en annexe.

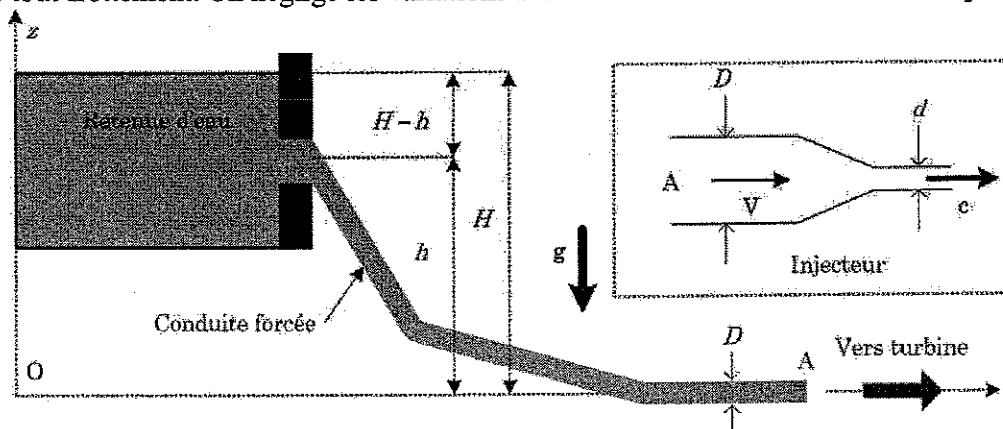
II.1.c. Déterminer la puissance maximale P_{\max} délivrée par le module.

II.2. Le module est constitué de 36 cellules photovoltaïques carrées de côté $a = 12,5$ cm.
Déterminer le rendement maximal η_{\max} du module.

Partie III : Energie hydraulique

Une centrale hydraulique est alimentée par une conduite d'eau cylindrique de diamètre constant D , dite *conduite forcée*, issue du barrage (Fig. 1). La capacité de ce barrage est suffisamment importante pour que l'on considère l'eau qu'il contient comme immobile. L'extrémité aval de la conduite, notée A, est reliée à une tubulure de section décroissante, appelée *injecteur*.

L'axe vertical repérant l'altitude z est orienté vers le haut. L'altitude du point A est, par convention, nulle ; on note H la dénivellation entre la surface libre de l'eau et l'axe de l'injecteur et h la différence de niveau entre l'entrée de la conduite et la sortie, en A (la différence de niveau entre la surface libre et l'entrée de la conduite est donc $h' = H - h$). L'eau est considérée comme un fluide parfait, incompressible et de masse volumique μ ; elle sort de l'injecteur à l'air libre, sous la pression atmosphérique P_0 , supposée indépendante de l'altitude. Le jet est cylindrique d'axe horizontal et de section circulaire de diamètre D dans la conduite puis d dans l'injecteur. Ce jet frappe la turbine et l'anime d'un mouvement de rotation. On considère les écoulements comme permanents et irrotationnels. On néglige tout frottement. On néglige les variations avec l'altitude de l'accélération de la pesanteur g .



*Fig. 1 - Retenue et conduite forcée pour installation hydroélectrique.
L'injecteur, en A, est schématisé dans le rectangle en pointillés.*

Données : $P_0 = 10^5$ Pa , $g = 10$ m.s⁻² , $D = 60$ cm , $H = 300$ m et $\mu = 10^3$ kg.m⁻³.

III.1. Dans les questions III.1 et III.2, on suppose que l'extrémité aval de la conduite n'est pas reliée à l'injecteur ; l'eau sort à l'air libre au point A.

III.1.a. Ecrire la relation de conservation du débit volumique entre le point A et un point M quelconque de la canalisation d'altitude z .

III.1.b. Utiliser la relation de Bernoulli entre le point A et un point quelconque de la canalisation pour exprimer la pression $P_1(z)$ à l'intérieur de la conduite sous la forme

$$P_1(z) = P_0 \left(1 - \frac{z}{z_0} \right), \text{ avec } z_0 = \frac{P_0}{\mu g}.$$

Calculer z_0 .

III.2. Le phénomène de cavitation est un phénomène qui se produit lorsque la pression de l'eau devient égale à la pression de vapeur saturante qui vaut ici $P_{\text{sat}} \approx 3 \times 10^3 \text{ Pa}$. La cavitation engendre toutes sortes de perturbation (attaque des matériaux, bruits ...). Montrer que, au-delà d'une certaine altitude z_1 que l'on calculera, le phénomène de cavitation se produit dans la canalisation.

III.3. Pour pallier cet inconvénient, on visse en A sur la partie finale horizontale de la conduite un injecteur (encart de la Fig. 1) de section décroissante et de diamètre de sortie $d < D$.

III.3.a Montrer que la vitesse en sortie de l'injecteur, notée c , est $c = \sqrt{2gH}$ (relation de Torricelli). Calculer c .

III.3.b. Établir que la vitesse en A est $V = \left(\frac{d}{D}\right)^2 \sqrt{2gH}$.

III.4.

III.4.a. Exprimer la pression $P_2(z)$, en un point M quelconque d'altitude z , à l'intérieur de la conduite munie d'injecteur.

III.4.b. On admet que l'entrée de la conduite est pratiquement à l'altitude H . Montrer que les phénomènes de cavitation disparaissent dans toute la conduite si d est inférieur à un certain d_0 dont on établira l'expression en fonction de $D, P_0, P_{\text{sat}}, H, g$ et μ .
Vérifier que $d_0 \approx 26 \text{ cm}$.

Partie IV : Energie électrique

Un industriel a besoin pour faire fonctionner ses moteurs, d'une puissance $P = 8000 \text{ kW}$. L'ensemble de son installation a un facteur de puissance $\cos \varphi = 0,8$. Son fournisseur d'électricité assure à l'arrivée du compteur de l'usine une tension efficace égale à $U = 16 \text{ kV}$.

IV.1. On considère un dipôle traversé par un courant sinusoïdal de la forme $i = I_m \cos(\omega t + \varphi)$ aux bornes duquel il existe une différence de potentiel $u = U_m \cos(\omega t)$. Montrer que la puissance moyenne a pour expression : $P = U.I \cos \varphi$

IV.2.

IV.2.a. Quelle est la valeur de l'intensité efficace I du courant en ligne ?

IV.2.b. Quelle serait sa valeur I' si le facteur de puissance de l'installation valait 0,95 ?

IV.3.

IV.3.a. La ligne d'amenée de l'énergie électrique de longueur 100 km a pour résistance $r = 50 \text{ m}\Omega \cdot \text{km}^{-1}$. Quel est, dans les deux cas précédents, le rapport de la puissance perdue en ligne à la puissance fournie à l'usine ? Conclure.

IV.3.b. Comment minimise-t-on ces pertes en ligne en pratique ?

IV.4. Pour améliorer le facteur de puissance d'un moteur, on peut brancher en dérivation, aux bornes de ce moteur, un condensateur de capacité C . Un moteur électrique alimenté par une tension alternative sinusoïdale de fréquence $f = 50 \text{ Hz}$, de valeur efficace $U = 220 \text{ V}$, a pour facteur de puissance $\cos \varphi = 0,78$. Ce moteur absorbe une puissance $P = 5,5 \text{ kW}$. On modélise le moteur par une impédance complexe $Z = R + jX$.

IV.4.a. Exprimer l'impédance complexe Z' de l'association en dérivation du condensateur et du moteur en fonction de R, X, C et ω .

IV.4.b. On veut porter le facteur de puissance à $\cos \varphi' = 0,920$.

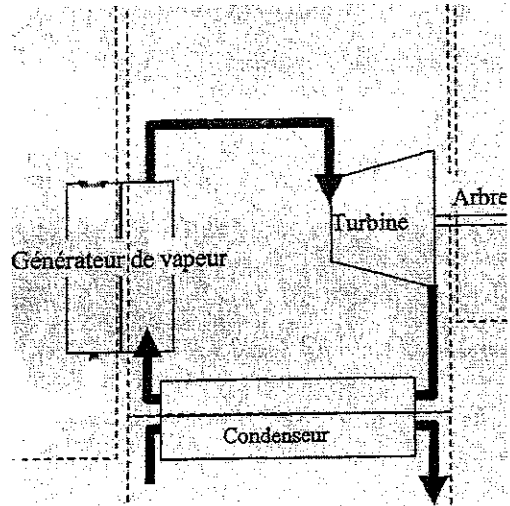
$$\text{Montrer que } \tan \varphi' = \tan \varphi - \frac{U^2}{P} C \omega$$

En déduire la capacité du condensateur C.

Partie V : Energie thermique

Les turbines à vapeur, utilisées dans les centrales thermiques et nucléaires, peuvent délivrer des puissances de quelques centaines de mégawatts.

L'eau est portée à haute température et pression dans un générateur de vapeur. La vapeur d'eau entraîne les aubes de la turbine qui entraîne l'arbre de l'alternateur. Dans le condenseur, une pression plus faible permet la condensation de l'eau qui peut de nouveau être introduite dans le générateur de vapeur. La quantité de chaleur transférée au condenseur est évacuée par une circulation d'eau.



Générateur de vapeur

V.1. Compléter le diagramme d'état de l'eau $p(\theta)$ reproduit figure 1 en Annexe 1 à rendre avec la copie.

V.1.a. Préciser les phases en présence

V.1.b. Nommer les différentes courbes 1, 2 et 3.

V.1.c. Placer les points suivants :

- T (0,01 °C ; 0,006 atm) point triple
- C (374 °C ; 218 atm) point critique
- F point de fusion sous 1 atmosphère
- E point d'ébullition sous 1 atmosphère

V.2. Quelle particularité présente la courbe de fusion ? Comment l'explique-t-on ?

V.3. Qu'appelle-t-on pression de vapeur saturante ? Quelle est la courbe sur la figure 1 qui donne son évolution en fonction de la température ?

V.4. On rappelle la relation de Clapeyron relative à la chaleur latente molaire de changement d'état :

$$L_{12} = T (v_2 - v_1) (dP/dT) \text{ où } v_1 \text{ et } v_2 \text{ représentent les volumes molaires.}$$

La vapeur d'eau sera considérée comme un gaz parfait. L'évolution de la pression de vapeur saturante en fonction de la température est donnée sur la figure 2 donnée en Annexe 2 à rendre avec la copie.

V.4.a. Evaluer, à l'aide de la figure 2, dP/dT pour $P = 1 \text{ atm}$ et $\theta = 100 \text{ °C}$. On fera apparaître la méthode utilisée sur la figure 2.

V.4.b. Déterminer le volume molaire de l'eau vapeur à $P = 1 \text{ atm}$ et $\theta = 100 \text{ °C}$.

V.4.c. Evaluer la chaleur latente molaire de vaporisation de l'eau sous 1 atmosphère et à 100°C.

On pourra négliger le volume molaire du liquide devant le volume molaire de la vapeur.

Données : $1 \text{ atm} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$; $R = 8,314 \text{ J.K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$.

Turbine et condenseur

Le groupe de turbines à vapeur d'une centrale électrique fournit sur l'arbre de l'alternateur une puissance mécanique P_m de 600 MW. Pour refroidir le condenseur, des pompes prélèvent d'une rivière $V = 12 \text{ m}^3$ d'eau à 14°C chaque seconde. Le rendement thermique du groupe de turbines est $\eta = 0,40$.

V.5 Calculer la puissance thermique P_{th} cédée au condenseur par les turbines à vapeur.

V.6. Déterminer l'élévation de température $\Delta\theta$ de l'eau nécessaire à l'évacuation de cette quantité de chaleur.

Données : Capacité thermique massique de l'eau $c = 4,19 \text{ kJ.kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

Masse volumique de l'eau : $\mu = 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$

Annexe 1 à rendre avec la copie :

II.1.a.

I (A)	0	4,2	4,8	4,9	5,0	5,2	5,3
U (V)	22	20	17,7	15	12	8,5	5
P (W)							

V.1.

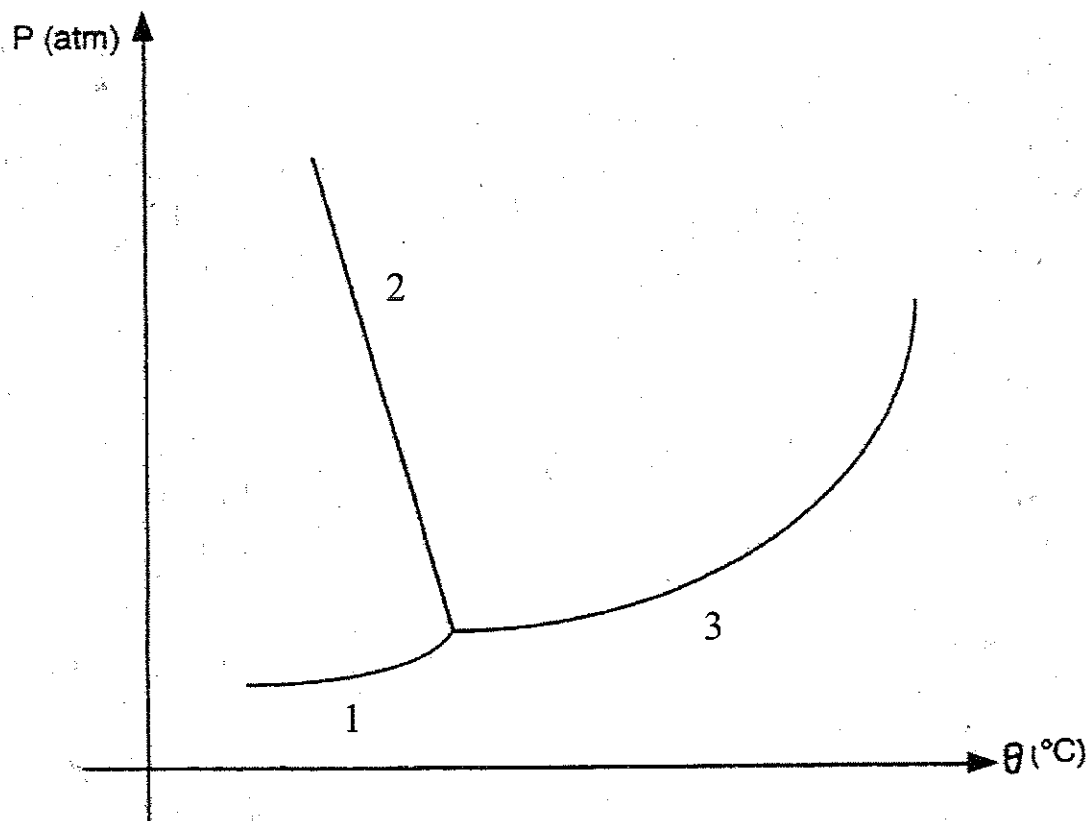


Figure 1 : Allure générale du diagramme d'état de l'eau

Annexe 2 à rendre avec la copie :

V.4.a.

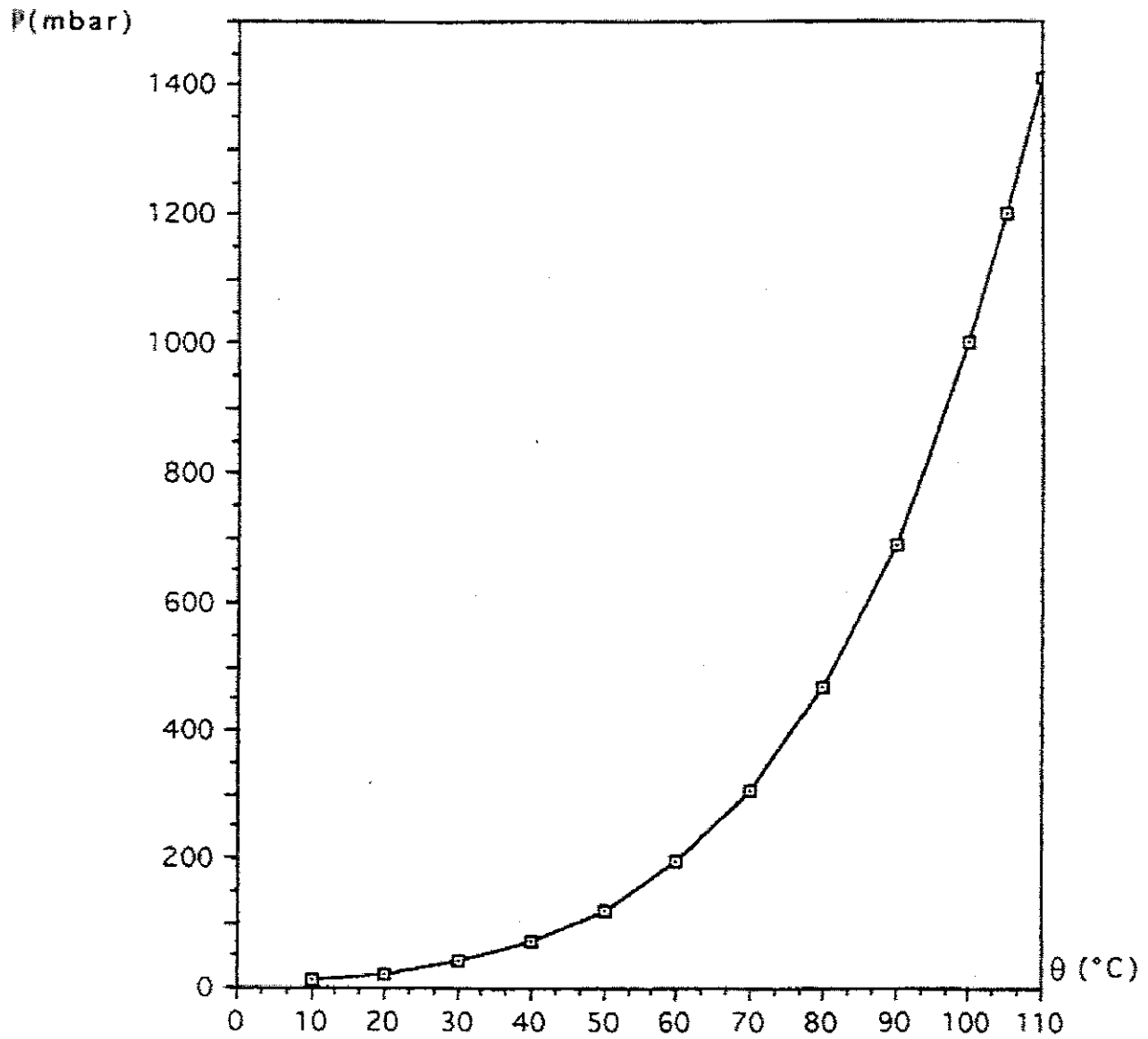


Figure 2 : Evolution de la pression de vapeur saturante de l'eau avec la température