

BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR
INDUSTRIES PAPETIERES

Sous-épreuve : SCIENCES PHYSIQUES

Durée : 3 heures

Coefficient : 3

Cette épreuve comporte trois problèmes indépendants :

Electricité : 7 points

Chimie : 7 points

Physique : 6 points

La calculatrice (conforme à la circulaire N°99-186 du 16-11-99) est autorisée.

Un document réponse est à remettre avec la copie

La clarté des raisonnements et la qualité de la rédaction interviendront dans l'appréciation des copies.

BTS INDUSTRIES PAPETIERES	SUJET	Session 2003
Epreuve U32 Sciences Physiques	Durée : 3 heures	Coefficient : 3
CODE : ITSPHY		Page 1/8

I - ELECTRICITE (7 points)

Les parties A, et B sont indépendantes, ainsi que la plupart des questions dans chacune de ces parties.

I-A) Un atelier de papeterie, alimenté par un réseau triphasé (400 V, 50 Hz) est équipé de 6 moteurs triphasés et 6 moteurs monophasés 400 V respectivement identiques. La puissance active nominale totale consommée par cette installation est $P = 140$ kW. Dans ces conditions le facteur de puissance global est $\cos\varphi = 0,80$.

I-A-1) Cette installation est équilibrée. Faire son schéma électrique.

I-A-2) Calculer les puissances réactive Q et apparente S consommées par cette installation.

I-A-3) Calculer l'intensité efficace I du courant en ligne.

I-A-4) Calculer la puissance réactive Q_c que doit fournir chacun des trois condensateurs, qui, couplés en triangle relèvent à 0,95 le facteur de puissance de l'installation.

I-B) Dans cette partie on s'intéresse à l'un des moteurs triphasés de l'installation. Celui-ci entraîne une pompe centrifuge sur le circuit d'alimentation de la caisse de tête de la machine à papier.

I-B-1) Sur la plaque signalétique du moteur sont indiquées ses caractéristiques nominales (notées par l'indice N) :

$$P_{uN} = 22 \text{ kW} \quad n_N = 720 \text{ tr.min}^{-1} \quad U_N = 400 \text{ V} \quad I_N = 43 \text{ A (en triangle)} \quad \cos\varphi = 0,84$$

I-B-1.1) Représenter la plaque à bornes du moteur, son câblage en triangle et ses liaisons au réseau.

I-B-1.2) Calculer l'intensité nominale J_N dans chaque enroulement du stator.

I-B-1.3) Quelle est la vitesse de synchronisme n_s du moteur et son nombre p de paires de pôles ?

I-B-1.4) Calculer le glissement nominal g_N du moteur.

I-B-2) Pour le débit de pâte le plus grand, le moteur fonctionne pratiquement dans ses conditions nominales.

I-B-2.1) Calculer le couple utile nominal T_{uN} du moteur.

I-B-2.2) Placer le point de fonctionnement nominal P_N sur le graphique du document réponse et tracer la partie utile de la caractéristique mécanique $T_u = f(n)$ du moteur en utilisant les approximations habituelles.

I-B-2.3) Calculer la puissance électrique absorbée P_{abs} par le moteur et son rendement η .

BTS INDUSTRIES PAPETIERES	SUJET	Session 2003
Epreuve U32 Sciences Physiques	Durée : 3 heures	Coefficient : 3
CODE : ITSPHY		Page 2/8

I-B-3) Afin de régler le débit de pâte à papier on fait varier la vitesse du moteur. Pour cela il est alimenté par un onduleur de tension fonctionnant à $V/f = \text{constante}$.

I-B-3.1) Quelles sont les fonctions assurées par un onduleur de tension autonome ?

I-B-3.2) La caractéristique mécanique de la pompe est donnée entre 400 et 800 tr/min par l'expression suivante: $T_r = 0,35 \times n + 40$, avec n en tr/min et T_r en N.m. Tracer cette caractéristique sur le document réponse.

I-B-3.3) Pour un débit de pâte plus faible la fréquence de rotation est $n = 500$ tr/min.

I-B-3.3.a Placer le nouveau point de fonctionnement P_1 et tracer la nouvelle caractéristique du moteur.

I-B-3.3.b En déduire la nouvelle fréquence de synchronisme n_{s1} , la fréquence f_1 et la valeur efficace U_1 de la tension délivrée par l'onduleur.

I-B-3.3.c Calculer le glissement g_1 du moteur dans ces conditions d'alimentation. Quelle prévision peut-on tirer de cette valeur en ce qui concerne le rendement ?

I-B-3.3.d Calculer la puissance utile P_{u1} fournie dans ces conditions par le moteur.

II - CHIMIE (7 points)

Le chlore et ses composés : agents de blanchiment des pâtes à papier.

Les parties A, B et C sont indépendantes.

II-A-1) Classer les composés suivants par nombre d'oxydation croissant du chlore.

Ion chlorate	Ion chlorite	Ion chlorure	Dichlore	Ion hypochlorite	Dioxyde de chlore	Ion perchlorate
ClO_3^-	ClO_2^-	Cl^-	Cl_2	ClO^-	ClO_2	ClO_4^-

II-A-2) Parmi ces ions quel est celui qui ne peut-être que réducteur ? Celui qui ne peut-être qu'oxydant ? Toutes les autres espèces sont des ampholytes redox. Elles peuvent se comporter soit comme oxydant, soit comme réducteur, selon les conditions expérimentales.

II-A-3) Ecrire l'équation de la réaction de dismutation du dioxyde de chlore en chlorite et en chlorate.

II-B) L'ion hypochlorite ClO^- est un agent de blanchiment utilisé pour détruire certains groupements chromophores de la lignine dans des pâtes au sulfite.

BTS INDUSTRIES PAPETIERES	SUJET	Session 2003
Epreuve U32 Sciences Physiques	Durée : 3 heures	Coefficient : 3
CODE : ITSPHY		Page 3/8

II-B-1) Ecrire la demi-équation redox du couple $\text{ClO}^- / \text{Cl}^-$.

II-B-2) L'ion hypochlorite est la base conjuguée de l'acide hypochloreux HClO dont le $\text{pK}_a = 6,7$.

II-B-2.a) Ecrire l'équation de la réaction de l'ion hypochlorite sur l'eau.

II-B-2.b) Donner l'expression de la constante d'acidité K_a de l'acide hypochloreux.

II-B-2.c) En déduire l'expression liant le pH, le pK_a et les concentrations $[\text{HClO}]$ et $[\text{ClO}^-]$.

II-B-2d) Dans quel domaine de pH doit-on réaliser le blanchiment si l'on ne veut pas que l'acide hypochloreux attaque la cellulose ? On imposera $[\text{ClO}^-] / [\text{HClO}] \geq 100$.

II-C) A l'origine, le dioxyde de chlore ClO_2 n'était utilisé que dans la dernière phase d'un blanchiment multistade. De plus en plus, parce qu'il préserve les caractéristiques mécaniques de la pâte tout en lui donnant une blancheur élevée et stable, il remplace le dichlore au cours des premières phases du blanchiment.

II-C-1) Ecrire les demi-équations redox des couples $\text{ClO}_2 / \text{Cl}^-$ et $\text{Cl}_2 / \text{Cl}^-$.

II-C-2) On dit que le dioxyde de chlore a un pouvoir oxydant 2,5 fois plus élevé que le dichlore. Justifier cette affirmation.

II-C-3) Pour obtenir une blancheur élevée il faut introduire un excès de dioxyde de chlore. Cet excès peut produire des dégagements toxiques et favoriser la corrosion dans les piles laveuses. On neutralise cet excès en ajoutant à la base de la tour de blanchiment du dioxyde de soufre SO_2 .

On donne les potentiels redox standards :

$$E^\circ (\text{ClO}_2 / \text{Cl}^-) = 0,84 \text{ V} \text{ et } E^\circ (\text{SO}_4^{2-} / \text{SO}_2) = 0,17 \text{ V}.$$

II-C-3.a) Ecrire la demi-équation redox du couple $\text{SO}_4^{2-} / \text{SO}_2$.

II-C-3.b) En déduire l'équation de la réaction entre ClO_2 et SO_2 . Faut-il opérer en milieu acide ou basique ?

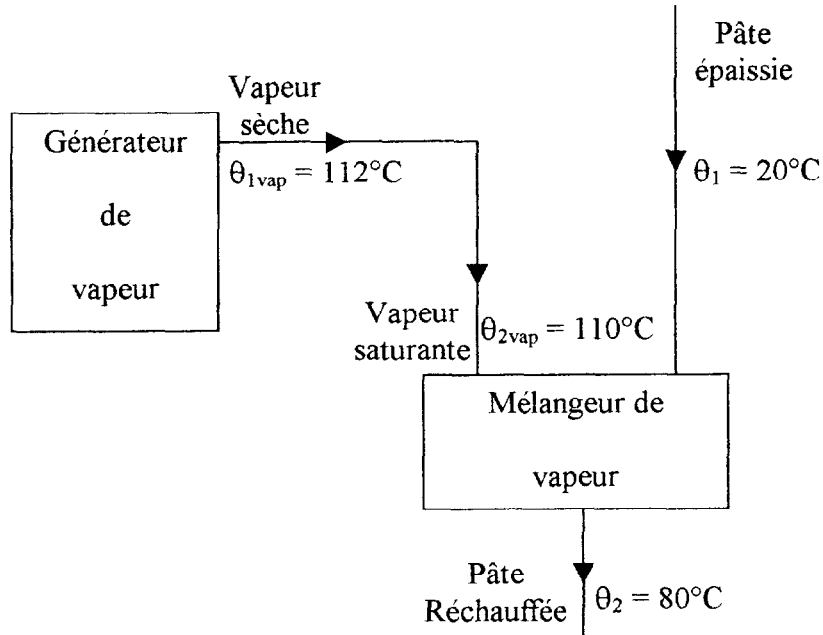
II-C-3.c) Quelle masse de dioxyde de soufre faut-il introduire pour réduire 10 kg de dioxyde de chlore en excès ?

On donne les masses molaires atomiques suivantes en g/mol : $\text{Cl} = 35,5$, $\text{S} = 32,1$ et $\text{O} = 16$.

BTS INDUSTRIES PAPETIERES	SUJET	Session 2003
Epreuve U32 Sciences Physiques	Durée : 3 heures	Coefficient : 3
CODE : ITSPHY		Page 4/8

III - PHYSIQUE (6 points)

Lors du procédé de blanchiment au peroxyde d'hydrogène, la pâte à papier sortant de l'épaississeur est réchauffée dans un mélangeur de vapeur :



Pression atmosphérique : $p_{atm} = 1,0 \text{ bar}$
 Intensité de la pesanteur $g = 10 \text{ N/kg}$

Pâte épaissie (à 15 %) :
 Débit massique $q_m = 17,7 \text{ t/heure}$
 Chaleur massique $c = 4,0 \text{ kJ/kg.K}$
 Température : $\theta_1 = 20^\circ\text{C}$

Pâte à la sortie du mélangeur de vapeur :
 Température : $\theta_2 = 80^\circ\text{C}$

Vapeur sèche :
 Température : $\theta_{1vap} = 112^\circ\text{C}$
 Pression relative $p_1 = 46 \text{ kPa}$
 Chaleur massique $c_{vap} = 2,5 \text{ kJ/kg.K}$

Vapeur saturante : V
 température : $\theta_{2vap} = 110^\circ\text{C}$
 Pression relative $p_2 = 43 \text{ kPa}$

Eau liquide :
 Chaleur massique $c_0 = 4,2 \text{ kJ/kg.K}$

III-1) A l'aide du document n°1, vérifier que la chaleur latente de vaporisation de l'eau à 110°C est $L_v = 2230 \text{ kJ/kg}$.

III-2) Dans le mélangeur de vapeur, la vapeur saturante réchauffe la pâte :

III-2.a) Faire le bilan thermique littéral du mélangeur de vapeur en régime permanent, en le supposant parfaitement calorifugé.

III-2.b) Vérifier que le débit massique q_{mvap} de vapeur saturante est très voisin de $0,50 \text{ kg/s}$.

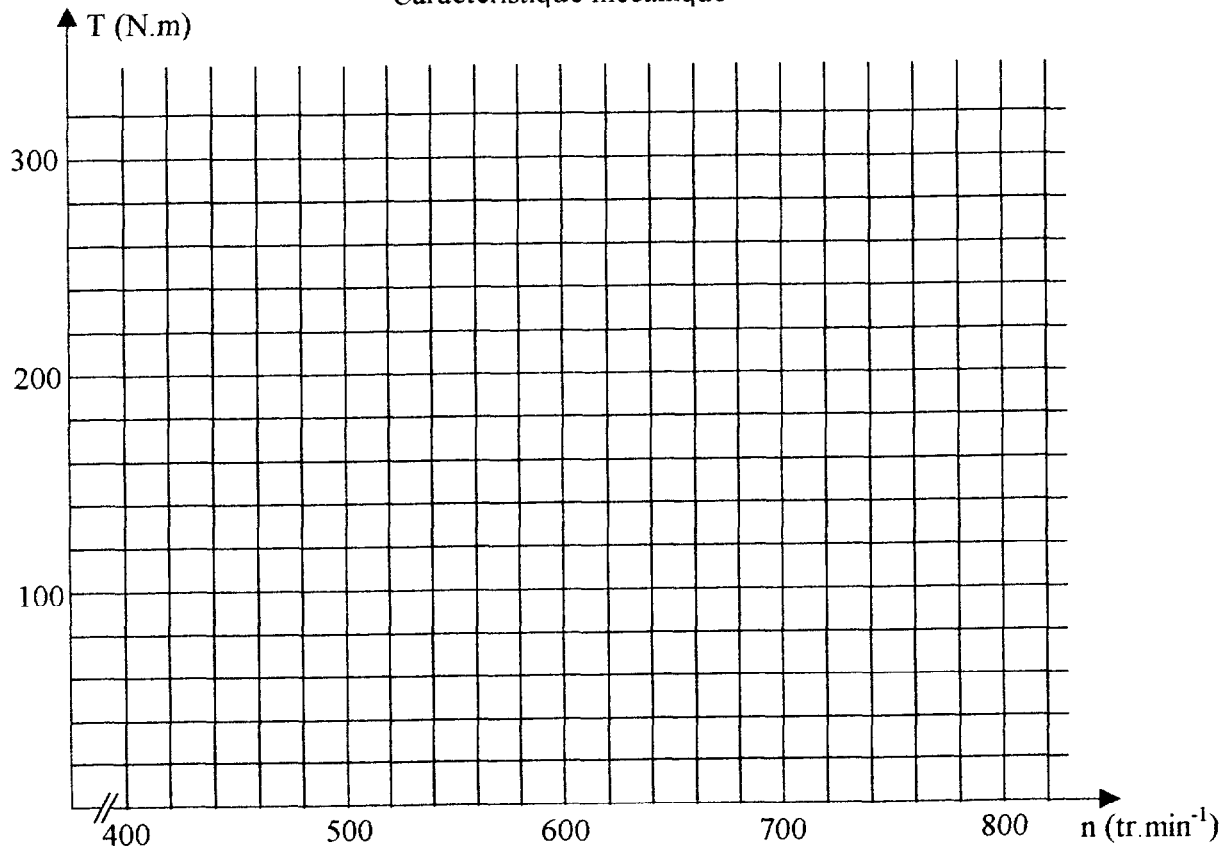
BTS INDUSTRIES PAPETIERES	SUJET	Session 2003
Epreuve U32 Sciences Physiques	Durée : 3 heures	Coefficient : 3
CODE : ITSPHY		Page 5/8

- III-3) A la sortie du générateur de vapeur la vapeur est à 112 °C :
- III-3.a) A partir du document n°1, faire une interpolation linéaire pour déterminer la pression de vapeur saturante à 112 °C.
- III-3.b) Vérifier que la vapeur est sèche à la sortie du générateur de vapeur.
- III-4) La vapeur sèche est assimilée à un gaz parfait de masse molaire $M = 18 \text{ g/mol}$. La constante des gaz parfaits est $R = 8,32 \text{ J/mol.K}$.
- III-4.a) Calculer sa masse volumique ρ à la sortie du générateur de vapeur.
- III-4.b) En déduire le débit volumique $q_{\text{v vap}}$ de vapeur sèche.
- III-5) La puissance thermique perdue, P_{thperdue} , par la vapeur dans la conduite de transfert entre le générateur de vapeur et le mélangeur se traduit par une baisse de température de la vapeur :
- III-5.a) Calculer cette puissance thermique perdue P_{thperdue} .
- III-5.b) Quels sont les facteurs intervenant dans cet échange de chaleur entre la vapeur et le milieu extérieur ?
- III-5.c) En déduire le coefficient d'échange thermique moyen K , exprimé en $\text{W/}^\circ\text{C.m}^2$ entre la vapeur et l'air ambiant à travers la conduite, sachant que la température ambiante de l'atelier dans lequel se trouve cette conduite de longueur $L = 100 \text{ m}$ et de diamètre moyen $D = 25 \text{ cm}$, est $\theta_{\text{amb}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$.
- III-6) La conduite de vapeur a un diamètre intérieur $d = 23,5 \text{ cm}$. Calculer la vitesse moyenne v_{moy} de la vapeur dans cette conduite.
- III-7) La perte de charge dans la conduite de vapeur se traduit par une baisse de pression Δp . Déterminer Δp .

BTS INDUSTRIES PAPETIERES	SUJET	Session 2003
Epreuve U32 Sciences Physiques	Durée : 3 heures	Coefficient : 3
CODE : ITSPHY		Page 6/8

DOCUMENT – REPONSE
(A RENDRE AVEC LA COPIE)

Caractéristique mécanique



BTS INDUSTRIES PAPETIERES	SUJET	Session 2003
Epreuve U32 Sciences Physiques	Durée : 3 heures	Coefficient : 3
CODE : ITSPHY		Page 7/8

CARACTÉRISTIQUES DE L'EAU A L'ÉQUILIBRE LIQUIDE VAPEUR.

Température (°C)	Pression absolue (bar)	Volume massique (m ³ /kg)		Enthalpie massique h (kJ/kg)	
		Liquide	Vapeur	Liquide	Vapeur
0,01	0,0061	0,001000	206,3	0,0	2501
5	0,0087	0,001000	147,2	21,1	2510
10	0,0123	0,001000	106,4	42,0	2519
15	0,0170	0,001001	78,0	63,0	2528
20	0,0234	0,001002	57,8	83,9	2537
25	0,0317	0,001003	43,4	104,8	2547
30	0,0424	0,001004	32,9	125,7	2556
35	0,0562	0,001006	25,2	146,6	2565
40	0,0737	0,001008	19,6	167,5	2574
45	0,0958	0,001010	15,3	188,4	2583
50	0,123	0,001012	12,0	209,3	2592
55	0,157	0,001014	9,58	230,2	2600
60	0,199	0,001017	7,68	251,1	2609
65	0,250	0,001020	6,20	272,1	2617
70	0,312	0,001023	5,05	293,0	2626
75	0,386	0,001026	4,13	314,0	2635
80	0,474	0,001029	3,41	334,9	2643
85	0,578	0,001032	2,83	355,9	2651
90	0,701	0,001036	2,36	377,0	2659
95	0,845	0,001040	1,96	398,0	2667
100	1,013	0,001044	1,67	419,1	2675
105	1,208	0,001047	1,42	440,2	2683
110	1,433	0,001052	1,21	461,0	2691
115	1,690	0,001056	1,04	482,5	2698
120	1,985	0,001060	0,892	503,7	2706
125	2,321	0,001065	0,770	525,0	2713
130	2,701	0,001070	0,668	546,3	2721
135	3,13	0,001075	0,582	567,5	2727
140	3,61	0,001080	0,507	589,0	2734
145	4,16	0,001085	0,446	610,5	2740
150	4,76	0,001090	0,393	632,2	2746
155	5,43	0,001096	0,347	653,9	2752
160	6,18	0,001102	0,307	675,6	2758
165	7,01	0,001108	0,273	697,3	2763
170	7,92	0,001114	0,243	719,2	2768
175	8,93	0,001121	0,217	741,1	2773
180	10,09	0,001128	0,194	763,3	2778

BTS INDUSTRIES PAPETIERES	SUJET	Session 2003
Epreuve U32 Sciences Physiques	Durée : 3 heures	Coefficient : 3
CODE : ITSPHY		Page 8/8