

**BREVET DE TECHNICIEN
SUPÉRIEUR
INDUSTRIES PAPETIÈRES**

ÉPREUVE : SCIENCES PHYSIQUES

Durée : 3 heures

Coefficient : 3

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

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

Ce sujet comporte 8 pages numérotées de 1/8 à 8/8 + la page de présentation.
Deux DOCUMENTS – RÉPONSES à remettre avec la copie
Assurez-vous qu'il est complet ; s'il est incomplet,
veuillez le signaler au surveillant de la salle qui vous en remettra un autre exemplaire.

REMETTRE LES TROIS PARTIES SUR 3 FEUILLES SEPARÉES

I - PHYSIQUE (6,5 points)

Les parties I-1., I-2. et I-3. sont indépendantes.

I-1. Générateur de vapeur.

Le générateur de vapeur basse pression (GV) d'un atelier de fabrication de papier produit 100 tonnes de vapeur par jour, essentiellement destinée à la sécherie, sous une pression $p_v = 5$ bar.

À l'entrée du générateur l'eau est liquide à $\theta_L = 20$ °C ; à la sortie l'eau est vapeur à la température $\theta_v = 200$ °C.

I-1.1. Calculer en kg/s le débit massique de la vapeur sortant du G.V.

À l'aide des ANNEXE 1 et ANNEXE 2, page 6/8, déterminer :

I-1.2. L'enthalpie massique h_L de l'eau à l'entrée du GV.

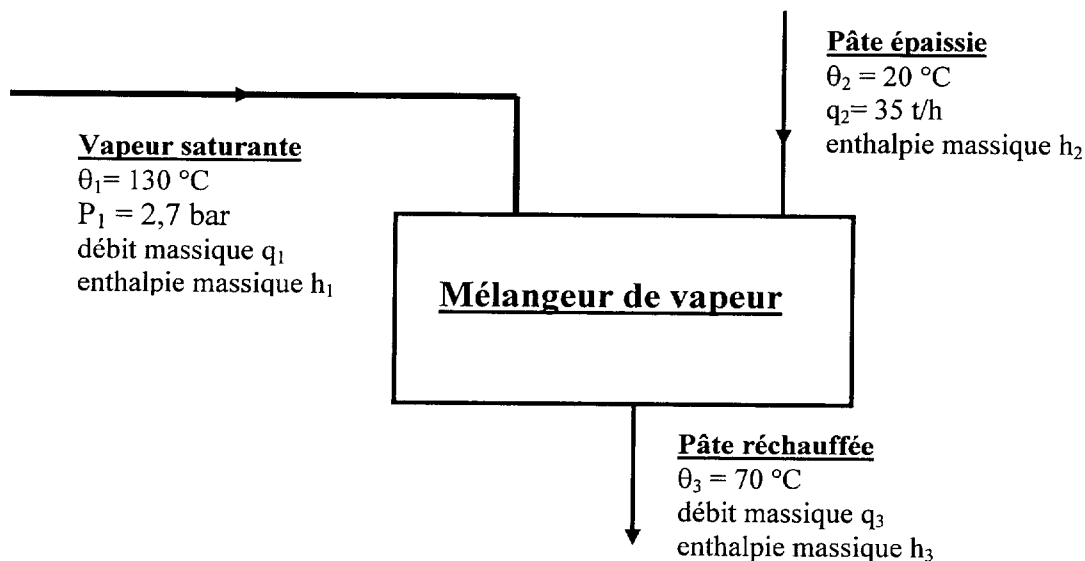
I-1.3. La nature (saturante ou sèche) de la vapeur à la sortie du GV.

I-1.4. L'enthalpie massique h_v de la vapeur à la sortie du GV.

I-1.5. Déduire des résultats précédents la puissance thermique utile du GV.

I-2. Mélangeur de vapeur.

De la vapeur détendue jusqu'à la pression $p_1 = 2,7$ bar est introduite dans un mélangeur à la température $\theta_1 = 130$ °C, pour réchauffer de la pâte avant son blanchiment. Elle subit une condensation et sort avec la pâte, constituant avec elle la pâte réchauffée.



Sur le plan thermique cette pâte épaissie ou réchauffée sera assimilée à de l'eau.

On trouve en ANNEXE, page 6/8, les enthalpies massiques :

- de la vapeur d'eau $h_1 = 2721$ kJ.kg⁻¹ ;
- de la pâte épaissie $h_2 = 84$ kJ.kg⁻¹ ;
- de la pâte réchauffée $h_3 = 293$ kJ.kg⁻¹.

BTS INDUSTRIES PAPETIÈRES	SUJET	Session 2007
Épreuve U32 Sciences Physiques	Durée : 3 heures	Coefficient : 3
CODE : 7IPPHY1		Page 1/8

I-2.1. Quelle relation lie les trois débits massiques ?

I-2.2. En négligeant les pertes thermiques établir, par un bilan thermique (enthalpique) de ce mélangeur, une relation littérale entre les trois enthalpies massiques et les débits correspondants.

I-2.3. En déduire que le débit massique de vapeur q_1 est voisin de $3,0 \text{ t.h}^{-1}$.

I-2.4.a. Exprimer le débit de vapeur précédent en kg.s^{-1} .

I-2.4.b. En exploitant l'ANNEXE 1 en déduire le débit volumique de vapeur q_{v1} en $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$.

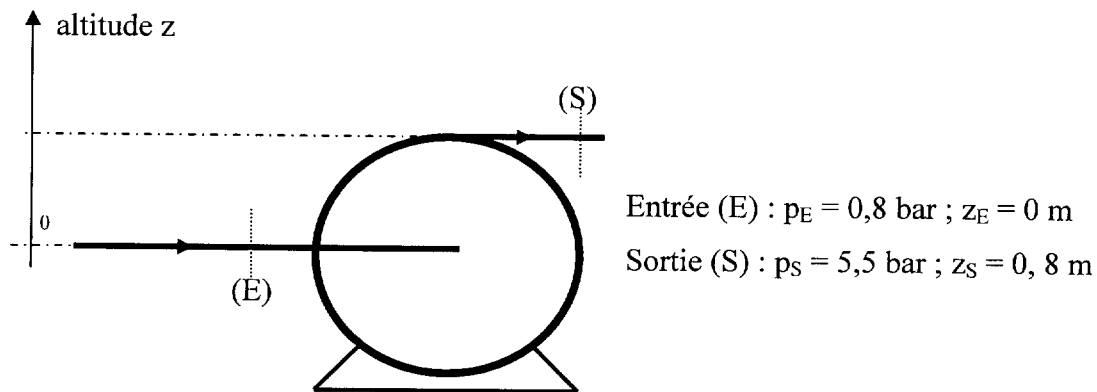
I-2.4.c. En déduire la vitesse moyenne v_1 dans la conduite d'arrivée, son diamètre intérieur étant $D_1 = 25 \text{ cm}$.

I-3. Pompe d'alimentation du générateur de vapeur.

Rappel de la formule de Bernoulli pour un fluide circulant de A vers B :

$$\left(gz_B + \frac{P_B}{\rho} + \frac{V_B^2}{2}\right) - \left(gz_A + \frac{P_A}{\rho} + \frac{V_A^2}{2}\right) = \frac{W_{pompe}}{m} - \frac{W_{pertes}}{m}$$

Sur l'une des pompes de l'installation, schématisée ci-dessous, des mesures ont donné les résultats suivants :



Le débit volumique de l'eau est $q_v = 0,02 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$.

Les diamètres intérieurs des conduites d'entrée et de sortie de la pompe sont identiques.

On prendra $\rho = 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$ pour la masse volumique de l'eau et $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$ pour l'accélération de la pesanteur.

On négligera les pertes de charge dans la pompe.

En utilisant le théorème de Bernoulli calculer :

I-3.1. l'énergie (travail) massique w_m fournie par la pompe à chaque kg d'eau (en kJ.kg^{-1}).

I-3.2. La hauteur manométrique de la pompe H_m .

I-3.3. La puissance utile de la pompe.

BTS INDUSTRIES PAPETIÈRES	SUJET	Session 2007
Épreuve U32 Sciences Physiques	Durée : 3 heures	Coefficient : 3
CODE : 7IPPHY1		Page 2/8

II - ÉLECTRICITÉ (7 points)

Les parties II-1., II-2. et II-3. sont indépendantes, ainsi que la plupart des questions dans chacune de ces parties.

Les caractéristiques nominales de l'induit d'un moteur à courant continu, parfaitement compensé, à excitation indépendante et constante, entraînant les rouleaux d'une presse à sabot sont :

- Tension $U_N = 600 \text{ V}$;
- Intensité nominale $I_N = 200 \text{ A}$;
- Fréquence de rotation nominale $n_N = 300 \text{ tr.min}^{-1}$;
- Résistance de l'induit $R = 0,205 \Omega$;

La somme des pertes dans le fer et des pertes mécaniques est $p_c = 11,0 \text{ kW}$.

L'inducteur est alimenté sous une tension $U_E = 600 \text{ V}$, avec un courant d'excitation d'intensité $I_E = 8,30 \text{ A}$.

A vide, sous tension nominale, le moteur tourne à la fréquence de rotation $n_V = 320 \text{ tr.min}^{-1}$.

II-1. Généralités

II-1.1. Dessiner le schéma électrique équivalent du moteur.

II-1.2. Calculer la résistance r de l'enroulement de l'inducteur.

II-1.3. Donner les deux grandeurs électriques permettant de régler la fréquence de rotation d'un moteur à courant continu.

II-1.4. Quelle tension faut-il appliquer à l'induit pour que l'intensité du courant absorbé au démarrage soit $I_d = 1,3I_N$.

II-2. Fonctionnement nominal

II-2.1. Calculer :

II-2.1.1. La puissance totale absorbée.

II-2.1.2. La puissance perdue par effet joule dans l'inducteur et dans l'induit.

II-2.1.3. La puissance utile et le rendement.

II-2.1.4. Le moment du couple électromagnétique T_{em} et le moment du couple utile T_u . En déduire le moment du couple de pertes T_{pertes} , supposé constant.

II-2.2. Reporter sur le **DOCUMENT-RÉPONSE 2** page 8/8, les coordonnées des points de fonctionnement à vide M_V et au régime nominal M_N , placer ces points sur le graphe et tracer la caractéristique mécanique $T_u = f(n)$ du moteur sous tension nominale d'induit U_N .

II-3. Fonctionnement à couple réduit constant

Le moment du couple utile est maintenant $T_{u1} = 2200 \text{ Nm}$. On suppose que le moment du couple de pertes est constant $T_{pertes} = 350 \text{ Nm}$.

L'intensité d'excitation I_E est maintenue égale à $8,30 \text{ A}$.

II-3.1. Sachant que la f.é.m. E (en V) et la vitesse de rotation angulaire Ω (en rad/s) sont reliées par une relation du type $E = k \times \Omega$, calculer k .

BTS INDUSTRIES PAPETIÈRES	SUJET	Session 2007
Épreuve U32 Sciences Physiques	Durée : 3 heures	Coefficient : 3
CODE : 7IPPHY1		Page 3/8

Pour la suite on prendra pour la f.é.m. : $E = 17,8 \times \Omega$.

II-3.2. Dédire de la question précédente que le moment du couple électromagnétique T_{em} est proportionnel à l'intensité d'induit I .

II-3.3. Calculer l'intensité I_1 absorbée par l'induit. La tension d'induit est $U = 600$ V. En déduire la valeur de la f.é.m. E_1 .

II-3.4. Quelle est la nouvelle fréquence de rotation du moteur n_1 ?

II-3.5. Le couple utile restant inchangé $T_{u2} = 2200$ N.m, les presses sont alimentées par du papier de plus fort grammage. On fait tourner le moteur à la fréquence de rotation $n_2 = 200$ tr.min⁻¹ en modifiant la tension d'induit U , sans modifier l'excitation. Calculer la nouvelle tension d'alimentation U_2 .

BTS INDUSTRIES PAPETIÈRES	SUJET	Session 2007
Épreuve U32 Sciences Physiques	Durée : 3 heures	Coefficient : 3
CODE : 7IPPHY1		Page 4/8

III - CHIMIE (6,5 points)

Les parties III-1. et III-2. sont indépendantes.

III-1. Dosage d'oxydoréduction

Données :

- Masse molaire atomique en g/mol : $K = 39,1$; $Mn = 54,9$; $O = 16$
- Potentiels redox standards : $E_1^\circ(MnO_4^-/Mn^{2+}) = 1,51 V$; $E_2^\circ(SO_4^{2-}/SO_2) = 0,17 V$

Après régénération de la liqueur noire, on récupère des eaux chargées en dioxyde de soufre SO_2 . Avant de les traiter, on effectue un dosage du dioxyde de soufre dissous. Pour cela, on prépare une solution de permanganate de potassium $KMnO_4$ de concentration $C_1 = 5,0 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$.

III-1.1. Quelle masse de permanganate de potassium pur doit-on utiliser pour préparer $V = 500 \text{ mL}$ de cette solution ?

III-1.2. On dose un volume $V_2 = 20 \text{ mL}$ de la solution de dioxyde de soufre, en milieu acide.

III-1.2.1. Écrire les demi-équations électroniques des deux couples redox mis en jeu.

III-1.2.2. Quelle espèce chimique subit l'oxydation au cours de la réaction ? Justifier.

III-1.2.3. Écrire l'équation de la réaction qui se produit au cours du dosage.

III-1.2.4. Cette réaction peut-elle être considérée comme totale ? Justifier.

III-1.2.5. L'équation montre qu'au cours de ce dosage une mole de permanganate consomme 2,5 mol de dioxyde de soufre. L'équivalence est obtenue lorsqu'on a versé un volume $V_1 = 12,4 \text{ mL}$ de la solution de permanganate de potassium.

Déterminer la concentration molaire C_2 de la solution de dioxyde de soufre.

III-2. Analyse d'une eau industrielle

Données

- Masses molaires (en g/mol) : $H = 1$; $O = 16$; $C = 12$; $Ca = 40,1$ et $Mg = 24$
- Couples acide-base : $pK_{a1}(H_2CO_3/HCO_3^-) = 6,4$ et $pK_{a2}(HCO_3^-/CO_3^{2-}) = 10,3$

III-2.1. L'eau utilisée contient aussi des ions carbonate CO_3^{2-} et hydrogénocarbonate HCO_3^- , responsables de son alcalinité. La mesure du pH a donné : $pH = 8,4$.

III-2.1.1. Tracer le diagramme de prédominance des espèces CO_3^{2-} , HCO_3^- et H_2CO_3 (CO_2 dissous dans l'eau) en fonction du pH.

III-2.1.2. Parmi ces espèces, laquelle prédomine dans l'eau analysée ? Justifier.

III-2.2. On dose un volume $V = 50 \text{ mL}$ de cette eau industrielle par une solution d'acide chlorhydrique de concentration $C_A = 0,020 \text{ mol.L}^{-1}$. La courbe du dosage pHmétrique est donnée sur le **DOCUMENT RÉPONSE 1**, page 7/8.

III-2.2.1. Quel est le pH de la solution d'acide chlorhydrique ?

III-2.2.2. Écrire l'équation de la réaction de dosage.

III-2.2.3. Déterminer par construction graphique l'équivalence E. Donner ses coordonnées sur le **DOCUMENT-RÉPONSE 1**, page 7/8.

III-2.2.4. Retrouver graphiquement sur le **DOCUMENT-RÉPONSE 1** la valeur d'un des pK_a donnés.

III-2.2.5. Calculer en mol.L^{-1} la concentration molaire en ions hydrogénocarbonate de l'eau analysée puis la concentration massique en g.L^{-1} .

BTS INDUSTRIES PAPETIÈRES	SUJET	Session 2007
Épreuve U32 Sciences Physiques	Durée : 3 heures	Coefficient : 3
CODE : 7IPPHY1		Page 5/8

ANNEXE 1

CARACTÉRISTIQUES DE L'EAU A L'ÉQUILIBRE LIQUIDE-VAPEUR. (entre 0 et 210 °C)

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
10	0,0123	0,001000	106,4	42,0	2519
20	0,0234	0,001002	57,8	84,0	2537
30	0,0424	0,001004	32,9	125,7	2556
40	0,0737	0,001008	19,6	167,5	2574
50	0,123	0,001012	12,0	209,3	2592
60	0,199	0,001017	7,68	251,1	2609
70	0,312	0,001023	5,05	293,0	2626
80	0,474	0,001029	3,41	334,9	2643
90	0,701	0,001036	2,36	377,0	2659
100	1,013	0,001044	1,67	419,1	2675
110	1,433	0,001052	1,21	461,3	2691
120	1,985	0,001060	0,892	503,7	2706
130	2,70	0,001070	0,668	546,3	2721
140	3,61	0,001080	0,507	589,0	2734
150	4,76	0,001090	0,393	632,2	2746
160	6,18	0,001102	0,307	675,6	2758
170	7,92	0,0011	0,243	719,2	2768
180	10,09	0,001128	0,194	763,3	2778
190	12,55	0,001142	0,156	807,5	2786
200	15,55	0,001157	0,127	852,4	2793
210	19,06	0,001173	0,104	897,7	2798

ANNEXE 2

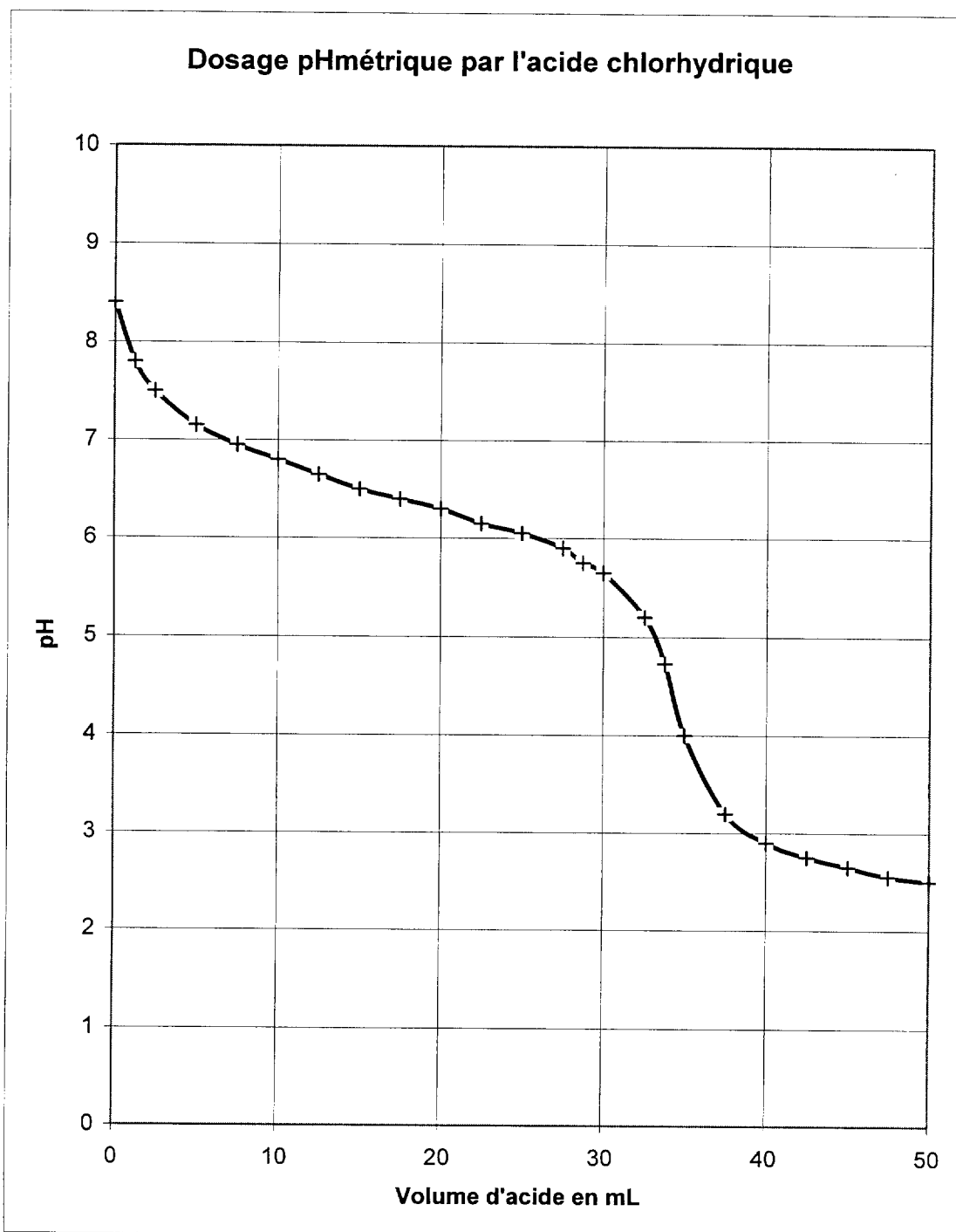
VAPEUR D'EAU SÈCHE.

u_v : volume massique en m³.kg⁻¹ - h : enthalpie massique en kJ.kg⁻¹.

p(bar)	1,0		5,0		10,0	
θ (°C)	u_v	h	u_v	h	u_v	h
200	2,16	2870	0,43	2850	0,20	2830
250	2,40	2970	0,48	2950	0,23	2930
300	2,64	3070	0,53	3050	0,26	3040
350	2,87	3170	0,58	3150	0,28	3140
400	3,10	3270	0,62	3250	0,31	3240

BTS INDUSTRIES PAPETIÈRES	SUJET	Session 2007
Épreuve U32 Sciences Physiques	Durée : 3 heures	Coefficient : 3
CODE : 7IPPHY1		Page 6/8

DOCUMENT RÉPONSE 1 : à remettre avec la copie

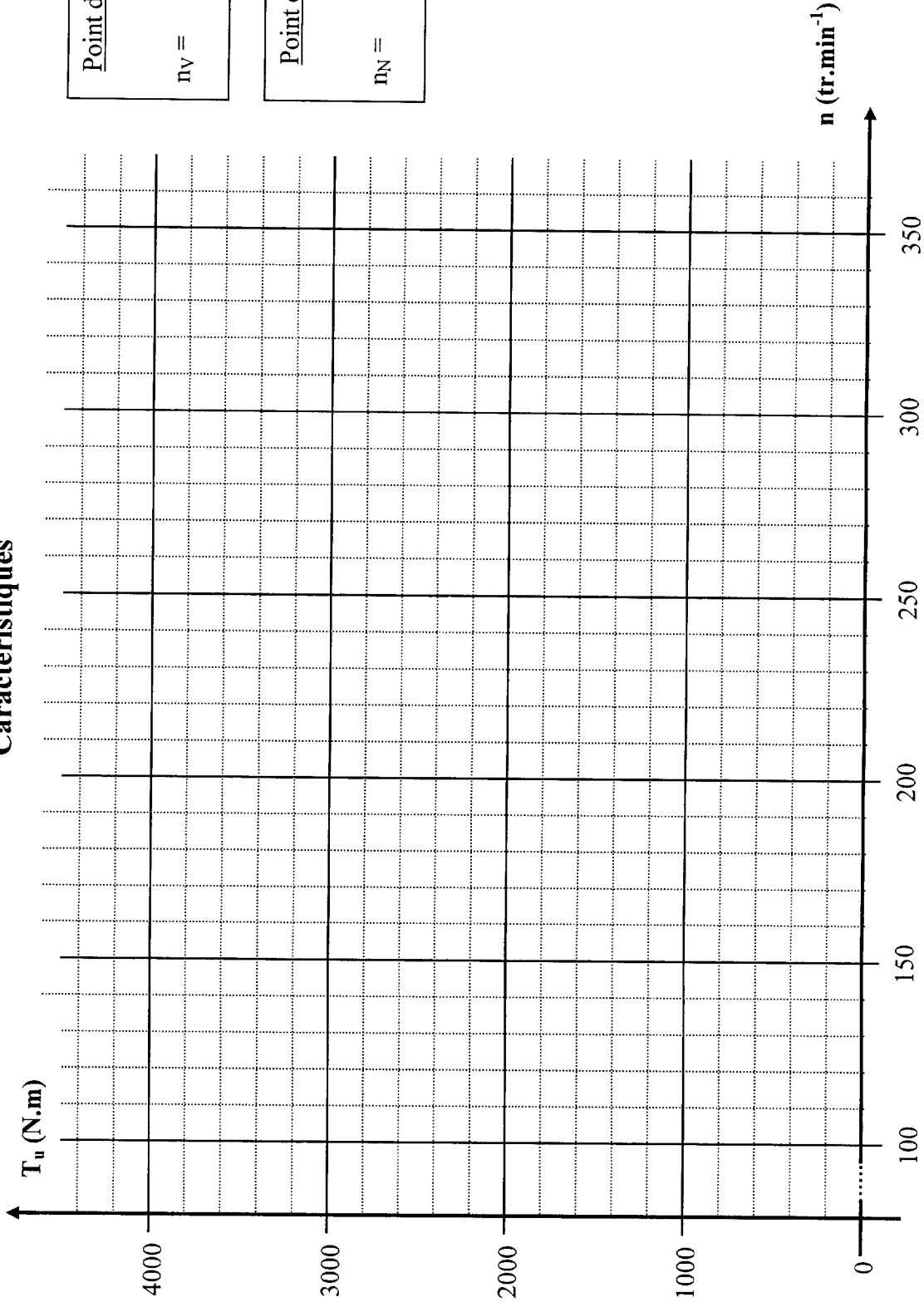


Point d'équivalence E
 $V_a =$
 $\text{pH} =$

BTS INDUSTRIES PAPETIÈRES	SUJET	Session 2007
Épreuve U32 Sciences Physiques	Durée : 3 heures	Coefficient : 3
CODE : 7IPPHY1		Page 7/8

DOCUMENT RÉPONSE 2 : à remettre avec la copie

Caractéristiques



Point de fonctionnement à vide V
 $n_V =$ $T_{uV} =$

Point de fonctionnement nominal N
 $n_N =$ $T_{uN} =$

BTS INDUSTRIES PAPERIÈRES	SUJET	Session 2007
Epreuve U32 Sciences Physiques	Durée : 3 heures	Coefficient : 2
CODE : 7IPPHY1		Page 8/8