

**BREVET DE TECHNICIEN**  
**SUPÉRIEUR**  
**INDUSTRIES PAPETIÈRES**

**ÉPREUVE : SCIENCES PHYSIQUES**

La page 7/7 est à rendre avec la copie

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

**IMPORTANT** : Ce sujet comporte 7 pages numérotées de 1/7 à 7/7 + la page de présentation.  
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.

## I – Électricité (7 points)

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

On étudie une partie de l'équipement électrique d'une unité de production de papier.

### I-1 Étude du transformateur.

L'atelier de fabrication de papier destiné à l'impression est alimenté par un transformateur triphasé de puissance apparente nominale  $S = 600$  kVA.

Le primaire du transformateur est couplé en triangle:  $U_1 = 20$  kV. Le secondaire est couplé en étoile:  $U_{2N}$  (nominal) = 400 V et  $I_{2N}$  (nominal) = 870 A. Pour la charge nominale, le facteur de puissance est  $\cos\varphi = 0,90$ .

**I-1.1** Calculer la puissance électrique utile nominale  $P_{uN}$  de ce transformateur.

**I-1.2** Un essai à vide et un essai en court circuit ont permis de montrer que les pertes ferromagnétiques et les pertes Joule sont sensiblement égales:  $p_{\text{fer}} = p_{\text{joule}} = 8$  kW. Calculer le rendement nominal du transformateur.

La tension secondaire à vide est  $U_{20} = 420$  V.

**I-1.3** Calculer la chute de tension  $\Delta U_N$  à la charge nominale.

**I-1.4** Chaque enroulement primaire comporte  $N_1 = 20000$  spires.

**I-1.4.1** Compléter le schéma du transformateur sur le DOCUMENT-RÉPONSE N° 1, page 7/7, en indiquant les couplages du primaire et du secondaire.

**I-1.4.2** Vérifier que le nombre de spires de chaque enroulement secondaire  $N_2$  est voisin de 230.

### I-2 Étude du moteur asynchrone triphasé.

Parmi les moteurs de l'installation, on considère celui qui entraîne le cylindre aspirant de la machine à papier. Il s'agit d'un moteur asynchrone triphasé alimenté par un onduleur et dont les caractéristiques nominales sont les suivantes :

$$U_N = 400 \text{ V} \quad f_N = 50 \text{ Hz} \quad P_{uN} = 180 \text{ kW} \quad n_N = 960 \text{ tr.min}^{-1} \quad I_N = 330 \text{ A} \quad \cos\varphi = 0,85$$

**I-2.1** Déterminer le nombre de paires de pôles,  $p$ , du moteur et calculer son glissement nominal  $g_N$ .

**I-2.2** Calculer le moment du couple utile  $T_{uN}$  dans les conditions nominales de fonctionnement.

**I-2.3** Calculer la puissance absorbée nominale  $P_{\text{abs}N}$ . En déduire le rendement nominal  $\eta_N$  du moteur.

BTS INDUSTRIES PAPETIÈRES	SUJET	Session 2005
Epreuve U32 Sciences Physiques	Durée : 3 heures	Coefficient : 3
CODE : ITSPHY		Page 1/7

**I-2.4** Tracer la partie utile de la caractéristique mécanique nominale du moteur sur le DOCUMENT – RÉPONSE N° 2, page 7/7. Indiquer les points de fonctionnement à vide ( $M_0$ ) et nominal ( $M_N$ ) sur le graphique.

**I-2.5** La machine est entraînée par l'intermédiaire d'un réducteur de vitesse. L'ensemble présente un couple résistant qui varie en fonction de la vitesse,  $n$ , du moteur, selon l'expression :  
 $T_r = 600 + 1,54 \cdot 10^{-3} n^2$  (avec  $T_r$  en Nm et  $n$  en  $\text{tr} \cdot \text{min}^{-1}$ ).

**I-2.5.1** Tracer la caractéristique mécanique  $T_r = f(n)$  entre 500 et 1000  $\text{tr} \cdot \text{min}^{-1}$ , sur le DOCUMENT – RÉPONSE N° 2, page 7/7, on l'assimilera à une droite sur l'intervalle de vitesse considéré.

**I-2.5.2** Le moteur est alimenté dans les conditions nominales ( $U = 400 \text{ V}$ ,  $f = 50 \text{ Hz}$ ) Déterminer graphiquement le point de fonctionnement  $M_1$  et indiquer ses coordonnées sur le DOCUMENT – RÉPONSE N° 2, page 7/7.

### **I-3 Production de papier de grammage divers.**

Lorsque le moteur était alimenté sous la tension nominale  $U = 400 \text{ V}$ , l'installation produisait du papier de grammage égal à  $80 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ . Afin de produire du papier de grammage supérieur on fait tourner le moteur plus lentement.

La tension est fixée à  $U_2 = 240 \text{ V}$  à l'aide de l'onduleur fonctionnant à  $\frac{V}{f} = \text{Cte}$ .

**I-3.1** Calculer la fréquence  $f_2$  de la tension délivrée par l'onduleur.

**I-3.2** Quelle est sensiblement la fréquence de rotation du moteur alimenté dans ces conditions lorsqu'il fonctionne à vide ?

**I-3.3** Tracer la caractéristique mécanique du moteur alimenté sous 240 V sur le DOCUMENT – RÉPONSE N° 2, page 7/7, et indiquer le point  $M'_0$  correspondant au fonctionnement à vide.

**I-3.4** Déterminer le nouveau point de fonctionnement  $M_2$  de l'ensemble moteur-machine à papier et indiquer ses coordonnées sur le DOCUMENT – RÉPONSE N° 2, page 7/7.

**I-3.5** Vérifier que la puissance utile  $P_{u2}$  développée par le moteur est voisine de 68 kW.

## **II – Chimie (8 points)**

Les trois parties sont totalement indépendantes.

Dans la fabrication de la pâte à papier, la soude est toujours associée à des composés soufrés dont le rôle est de faciliter l'élimination de la lignine tout en protégeant la cellulose des fibres d'une action trop brutale de la soude. Pour les « pâtes au sulfate » on introduit dans le lessiveur du sulfate de sodium  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .

### **II-1 La liqueur blanche.**

Les ions sulfate  $\text{SO}_4^{2-}$  et sulfure  $\text{S}^{2-}$  forment un couple redox.

BTS INDUSTRIES PAPETIÈRES	SUJET	Session 2005
Epreuve U32 Sciences Physiques	Durée : 3 heures	Coefficient : 3
CODE : ITSPHY		Page 2/7

**II-1.1** Déterminer les nombres d'oxydation du soufre dans ces deux espèces.

**II-1.2** Écrire la demi-équation redox caractérisant ce couple. Quel est l'oxydant du couple et quel est le réducteur ?

**II-1.3** Les ions sulfate  $\text{SO}_4^{2-}$  peuvent oxyder les composés organiques. Ecrire l'équation équilibrée de la réaction d'oxydo-réduction entre les ions sulfate  $\text{SO}_4^{2-}$  et le carbone conduisant à la formation d'ions sulfure  $\text{S}^{2-}$  et de dioxyde de carbone.

#### **II-1.4**

L'association de sulfure de sodium  $\text{Na}_2\text{S}$  et de l'hydroxyde de sodium  $\text{NaOH}$ , deux réactifs alcalins agissant sur les copeaux de bois, constitue l'alcali actif de la liqueur blanche.

Celle-ci est caractérisée par son taux de sulfidité  $x$  :

$$x = \frac{c[\text{Na}_2\text{S}]}{c[\text{Na}_2\text{S}] + c[\text{NaOH}]} \quad c \text{ désignant la concentration massique.}$$

On utilise une liqueur blanche de sulfidité  $x = 0,25$  dans laquelle il y a  $150 \text{ g.L}^{-1}$  d'hydroxyde de sodium.

Déterminer la concentration massique en sulfure de sodium.

**II-1.5** L'ion sulfure  $\text{S}^{2-}$  est une dibase faible. On donne les constantes suivantes à  $25^\circ\text{C}$  :

$$pK_{a1}(\text{H}_2\text{S}/\text{HS}^-) = 7,1 \text{ et } pK_{a2}(\text{HS}^-/\text{S}^{2-}) = 12,0.$$

**II-1.5.1** Quel est l'acide conjugué de l'ion sulfure ? Quel est son nom ?

**II-1.5.2** Écrire l'équation bilan de la réaction de cet acide sur l'eau.

**II-1.5.3** Donner l'expression de sa constante d'acidité  $K_{a2}$ , et en déduire une expression de  $\log([\text{HS}^-]/[\text{S}^{2-}])$ .

**II-1.5.4** Tracer le diagramme de prédominance des espèces  $\text{S}^{2-}$ ,  $\text{HS}^-$  et  $\text{H}_2\text{S}$  en fonction du pH.

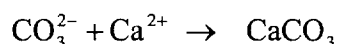
**II-1.6** On opère à  $170^\circ\text{C}$  sous une pression de 9 bars. La lessive de cuisson ramenée à  $25^\circ\text{C}$ , a un pH de 13,5.

**II-1.6.1** Quelle est l'espèce soufrée qui intervient essentiellement ?

**II-1.6.2** Que vaut le rapport  $[\text{S}^{2-}]/[\text{HS}^-]$  dans ces conditions ?

## **II-2 La liqueur verte.**

Après cuisson dans le lessiveur, la lessive est séparée de la pâte. On récupère la liqueur noire. Elle renferme de la lignine et diverses matières organiques. Après concentration dans des évaporateurs, apport de sulfate de sodium et combustion on récupère la liqueur verte. Celle-ci renferme une importante quantité de carbonate de sodium très soluble. On traite cette liqueur avec de l'hydroxyde de calcium  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , ce qui permet de précipiter le carbonate de calcium selon la réaction :



On donne :  $pK_s(\text{CaCO}_3) = 8,3$  et les masses molaires atomiques suivantes en  $\text{g.mol}^{-1}$ .

$$\text{H} = 1 \quad \text{C} = 12 \quad \text{O} = 16 \quad \text{Na} = 23 \quad \text{Ca} = 40$$

**II-2.1** Montrer que le carbonate de calcium est très peu soluble dans l'eau à  $20^\circ\text{C}$ , en calculant sa solubilité  $S$  en  $\text{mol.L}^{-1}$ . En déduire sa solubilité massique en  $\text{mg.L}^{-1}$ .

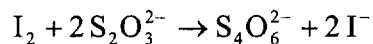
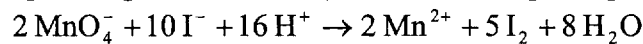
BTS INDUSTRIES PAPETIÈRES	SUJET	Session 2005
Epreuve U32 Sciences Physiques	Durée : 3 heures	Coefficient : 3
CODE : ITSPHY		Page 3/7

**II-2.2** Quelle masse d 'hydroxyde de calcium faut-il introduire chaque jour pour traiter  $100 \text{ m}^3$  de liqueur verte contenant  $90 \text{ g.L}^{-1}$  de carbonate de sodium  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ?

### II-3 Blanchiment de la pâte.

La pâte ainsi produite n'est pas blanche. Pour pouvoir l'utiliser pour fabriquer du papier destiné à la reprographie, on lui fait subir plusieurs opérations de blanchiment. Afin d'ajuster le traitement au dioxyde de chlore du cycle de blanchiment, on effectue une mesure intermédiaire du taux de permanganate de potassium.

Sur un échantillon de pâte de masse  $m = 3,06 \text{ g}$ , de siccité (taux massique de matières sèches)  $s = 95 \%$ , on fait réagir  $V = 100 \text{ mL}$  de permanganate de potassium acidifié de concentration  $C = 0,020 \text{ mol.L}^{-1}$ . On dose le permanganate résiduel (non consommé par la pâte) par iodométrie :



Il faut utiliser  $V' = 22 \text{ mL}$  de solution de thiosulfate de sodium  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  de concentration  $C' = 0,20 \text{ mol.L}^{-1}$ , pour doser le diiode formé.

**II-3.1** À partir des équations ci-dessus donner les relations entre les nombres de moles de permanganate de potassium résiduel  $n_1$ , de diiode formé  $n_2$  et de thiosulfate utilisé  $n_3$ . Calculer  $n_1$ .

**II-3.2** En déduire le volume de permanganate de potassium  $V_1$  non consommé par la pâte.

## III - Physique (5 points)

À la sortie des presses humides, la feuille de papier contient encore beaucoup d'eau (entre 1 et 2 kg d'eau par kg de papier sec). On évacue la majeure partie de cette eau dans la sécherie en utilisant de la chaleur et de l'air. La feuille de papier passe d'abord sur des cylindres sécheurs chauffés par de la vapeur d'eau produite par un générateur de vapeur (GVBP), dont le schéma figure en page 5/7.

À l'entrée de la sécherie la siccité  $s$  du papier (taux massique de matières sèches) est  $s_e = 0,45$ . Le papier produit est destiné à la reprographie et sa siccité à la sortie doit atteindre  $s_f = 0,95$ .

**III-1** Sachant que le débit d'eau à évacuer est donné par l'expression  $q_{\text{eau}} = q_{\text{pap}} \left[ \frac{s_f}{s_e} - 1 \right]$ ,  $q_{\text{pap}}$  étant le débit massique de papier produit, calculer ce débit d'eau en  $\text{kg.s}^{-1}$  pour  $q_{\text{pap}} = 200 \text{ t.jour}^{-1}$ .

**III-2** À l'aide du tableau représenté page 6/7 et en supposant que l'énergie nécessaire pour extraire l'eau du papier est égale à l'enthalpie massique de vaporisation (chaleur latente de vaporisation) à  $80 \text{ }^\circ\text{C}$ , calculer la puissance thermique utile de l'installation de sécherie.

**III-3** Chaque cylindre a une longueur utile  $L = 4 \text{ m}$  et un diamètre  $D = 1,8 \text{ m}$  ; la feuille est en contact avec le cylindre sur les  $2/3$  de sa surface latérale.

Le 3<sup>ème</sup> étage de la sécherie comporte 10 cylindres sécheurs. Déterminer la surface de chauffe

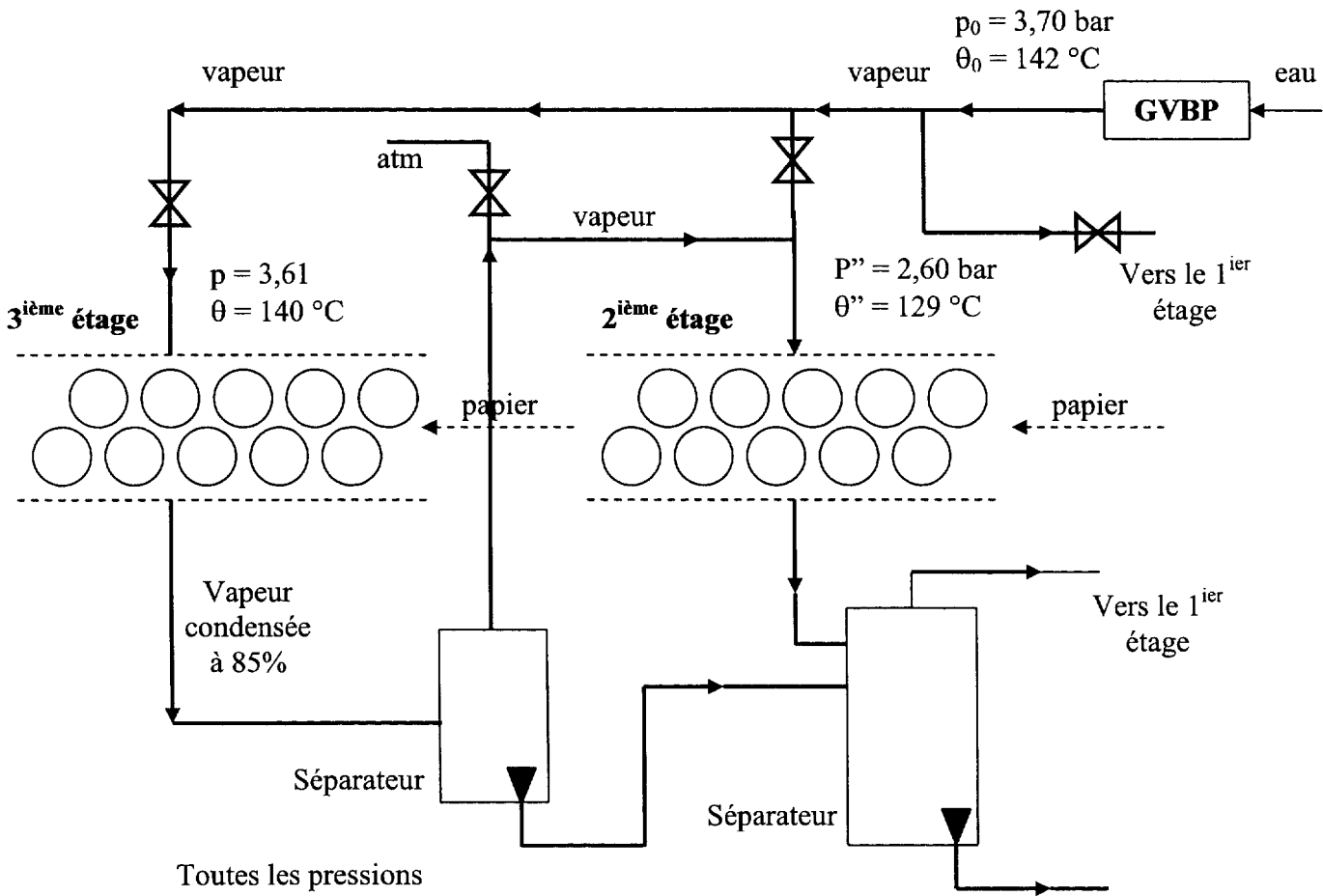
BTS INDUSTRIES PAPETIÈRES	SUJET	Session 2005
Epreuve U32 Sciences Physiques	Durée : 3 heures	Coefficient : 3
CODE : ITSPHY		Page 4/7

de cet étage.

**III-4** Le coefficient global d'échange entre la vapeur dans le cylindre et le papier est  $k = 2,1 \cdot 10^3 \text{ W} \cdot \text{°C}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ . La température de la vapeur est  $\theta_{\text{vap}} = 140 \text{ °C}$ , et celle du papier est  $\theta_{\text{pap}} = 132 \text{ °C}$  (en surface, coté cylindre). Calculer le flux de chaleur échangé au niveau du 3<sup>ème</sup> étage.

**III-5** Seul 85 % de la vapeur se condensent dans les cylindres du 3<sup>ème</sup> étage. En supposant qu'il n'y a pas de perte thermique exprimer le débit massique  $q_{\text{vap}}$  de la vapeur alimentant cet étage, vérifier qu'il vaut sensiblement  $5 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$ .

**Schéma partiel d'un système classique en cascade à trois étages de sécherie**



Toutes les pressions indiquées sont des pressions absolues

BTS INDUSTRIES PAPETIÈRES	SUJET	Session 2005
Epreuve U32 Sciences Physiques	Durée : 3 heures	Coefficient : 3
CODE : ITSPHY		Page 5/7

**Caractéristiques de l'eau à l'équilibre liquide/vapeur**  
**(entre 50 et 150 °C)**

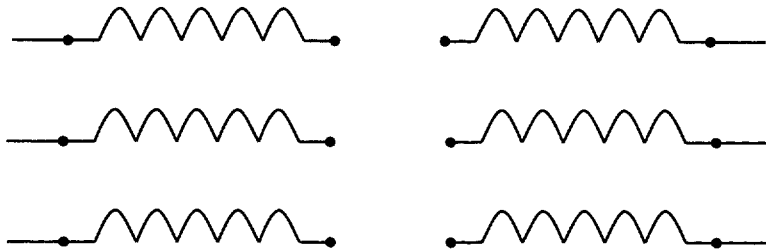
Température (°C)	Pression absolue (bar)	Volume massique (m <sup>3</sup> .kg <sup>-1</sup> )		Enthalpie massique h (kJ.kg <sup>-1</sup> )	
		Liquide	Vapeur	Liquide	Vapeur
50	0,123	0,001012	12,0	209	2592
55	0,157	0,001014	9,58	230	2600
60	0,199	0,001017	7,68	251	2609
65	0,250	0,001020	6,20	272	2617
70	0,312	0,001023	5,05	293	2626
75	0,386	0,001026	4,13	314	2635
80	0,474	0,001029	3,41	335	2643
85	0,578	0,001032	2,83	356	2651
90	0,701	0,001036	2,36	377	2659
95	0,845	0,001040	1,96	398	2667
100	1,013	0,001044	1,67	419	2675
105	1,208	0,001047	1,42	440	2683
110	1,433	0,001052	1,21	461	2691
115	1,690	0,001056	1,04	483	2698
120	1,985	0,001060	0,892	504	2706
125	2,321	0,001065	0,770	525	2713
130	2,701	0,001070	0,668	546	2721
135	3,13	0,001075	0,582	567	2727
140	3,61	0,001080	0,507	589	2734
145	4,16	0,001085	0,446	610	2740
150	4,76	0,001090	0,393	632	2746

BTS INDUSTRIES PAPETIÈRES	SUJET	Session 2005
Epreuve U32 Sciences Physiques	Durée : 3 heures	Coefficient : 3
CODE : ITSPHY		Page 6/7

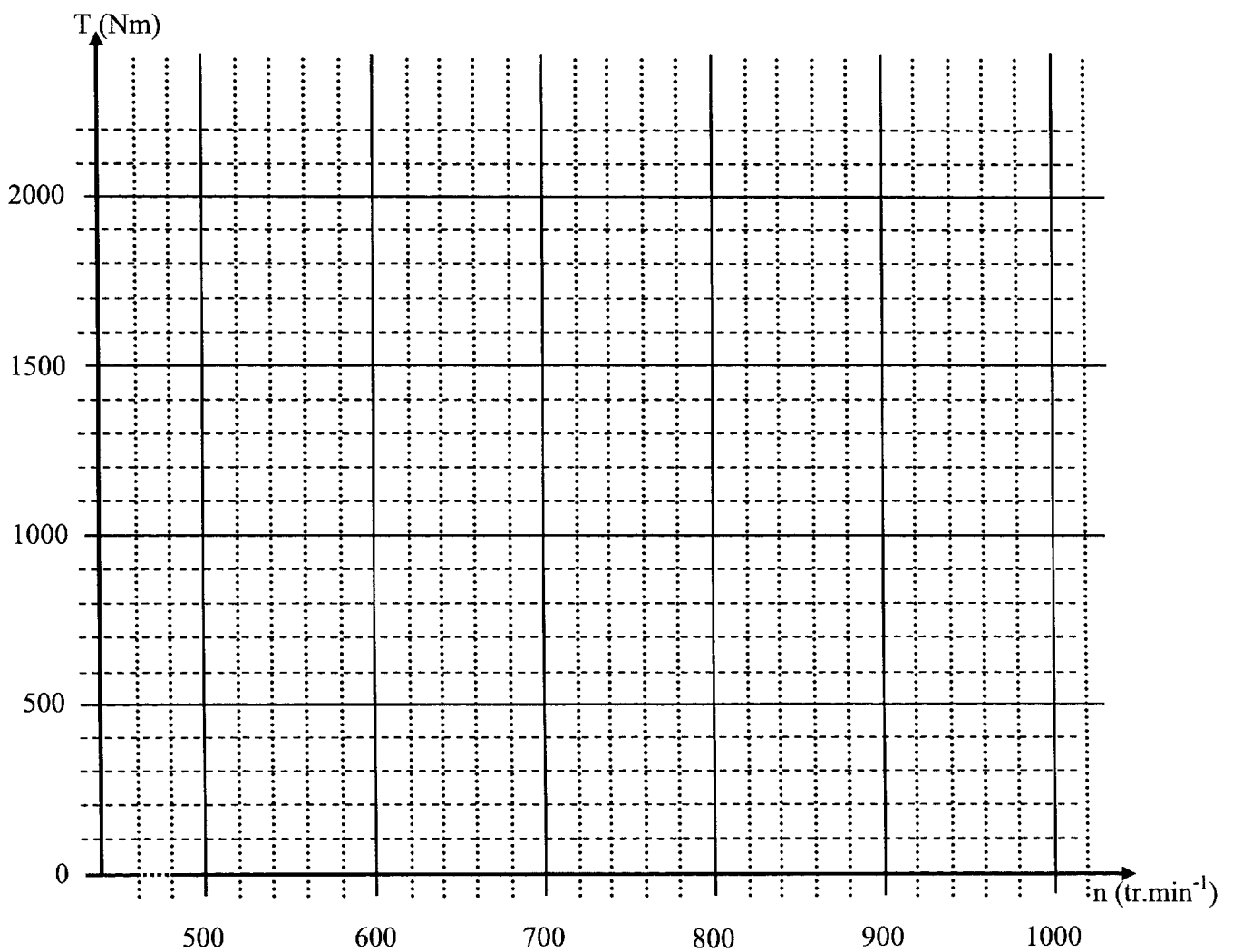
DOCUMENT RÉPONSE N° 1

Primaire

Secondaire



DOCUMENT - RÉPONSE N° 2



Point de fonctionnement  $M_1$   
 $n_1 =$   
 $T_{u1} =$

Point de fonctionnement  $M_2$   
 $n_2 =$   
 $T_{u2} =$

BTS INDUSTRIES PAPETIÈRES	SUJET	Session 2005
Epreuve U32 Sciences Physiques	Durée : 3 heures	Coefficient : 3
CODE : ITSPHY		Page 7/7