



SERVICES CULTURE ÉDITIONS  
RESSOURCES POUR  
L'ÉDUCATION NATIONALE

**Ce document a été numérisé par le CRDP de Bordeaux pour la  
Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel.**

**Campagne 2012**

# BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR

## « INDUSTRIES PAPETIÈRES »

Option : Production des pâtes, papiers et cartons  
Option : Transformation des papiers et cartons

### U32 – SCIENCES PHYSIQUES

SESSION 2012

Durée : 3 heures  
Coefficient : 3

**Matériel autorisé :**

- Toutes les calculatrices de poche y compris les calculatrices programmables, alphanumériques ou à écran graphique que leur fonctionnement soit autonome et qu'il ne soit pas fait usage d'imprimante (Circulaire n°99-186, 16/11/1999).

Tout autre matériel est interdit.

**Documents à rendre avec la copie :**

Document réponse 1 ..... page 8/9  
Document réponse 2 ..... page 9/9

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.  
Le sujet se compose de 9 pages numérotées de 1/9 à 9/9

BTS INDUSTRIES PAPETIÈRES		Session 2012
Épreuve U32 SCIENCES PHYSIQUES	Code : 12ITSPHY1	Page : 1/9

## ÉLECTRICITÉ (7 points)

Soit une unité de préparation de colle amyliacée dans laquelle une vis d'Archimède achemine l'amidon dans la cuve de préparation. Cette vis est entraînée par un moteur asynchrone triphasé de type LS 180 L. Ce moteur est alimenté par un réseau électrique triphasé 230V/400V, 50 Hz.

Caractéristique du moteur :

230V/400V ; 50 Hz ;  $P_{uN} = 22,0 \text{ kW}$  ;  $n_N = 1460 \text{ tr/min}$  ;  $\cos\varphi = 0,85$  ;  $\eta_N = 89,7\%$

On considérera, pour tout l'exercice, que le glissement à vide du moteur est nul.

### 1. Etude au fonctionnement nominal

- 1.1 Calculer les fréquences de synchronisme en tr/min pour un nombre de paires de pôles  $p=2$  puis  $p=3$ .
- 1.2 En déduire la fréquence de synchronisme  $n_s$  en tr/min du moteur LS 180 L et justifier qu'il possède deux paires de pôles.
- 1.3 Justifier que le couplage du moteur est un couplage étoile.
- 1.4 Compléter le schéma du couplage du moteur sur le document réponse 1, **page 8 à rendre avec la copie.**
- 1.5 Calculer le glissement nominal  $g_N$ .
- 1.6 Calculer la puissance absorbée nominale  $P_{aN}$ .
- 1.7 Vérifier que l'intensité nominale du courant de ligne  $I_N$  est égale à 41,6A.
- 1.8 La résistance  $R$  mesurée entre deux phases du moteur est de  $0,75 \Omega$ . Calculer les pertes par effet Joule au stator.
- 1.9 Calculer l'ensemble des pertes autres que celles par effet Joule au stator.

### 2. Caractéristique mécanique du moteur

- 2.1 Calculer le moment du couple utile nominal  $T_{uN}$ .
- 2.2 La caractéristique mécanique du moteur  $T_u=f(n)$  est tracée sur le graphique du document réponse 1, **page 8 à rendre avec la copie.** Repérer sur cette caractéristique :
  - 2.2.1 le point N correspondant au fonctionnement nominal.
  - 2.2.2 le point V correspondant au fonctionnement à vide.
- 2.3 La charge impose un couple résistant de moment  $T_r$  constant et égal à 100 Nm, quelle que soit la fréquence de rotation. Tracer la caractéristique mécanique de la charge  $T_r=f(n)$  et donner les coordonnées du point de fonctionnement lorsque le moteur entraîne cette charge.

### 3 Variation de vitesse

*On souhaite modifier le débit d'acheminement de l'amidon dans la cuve. Pour cela, le moteur est alimenté par un onduleur qui permet de modifier la fréquence de rotation du moteur en maintenant le rapport  $U/f$  constant. Le moteur doit maintenant entraîner la charge à une fréquence de rotation de 1300 tr/min.*

- 3.1 Tracer la nouvelle caractéristique mécanique du moteur  $T'u=f(n)$ .
- 3.3 Justifier que la nouvelle fréquence de synchronisme  $n'_s$  vaut 1330 tr/min.
- 3.3 Calculer la nouvelle fréquence  $f'$  du réseau d'alimentation fournie par l'onduleur.
- 3.4 Calculer la nouvelle valeur efficace  $U'$  de la tension composée fournie par l'onduleur.

Base Nationale de l'Enseignement Professionnel  
Réseau SCEREN

BTS INDUSTRIES PAPETIÈRES		Session 2012
Épreuve U32 SCIENCES PHYSIQUES	Code : 12ITSPHY1	Page : 3/9

**CHIMIE (7 points)**

Le procédé dit au bisulfite de magnésium utilise une solution aqueuse de bisulfite de magnésium de formule brute  $Mg(HSO_3)_2$ . La solution peut être « renforcée » par du dioxyde de soufre dissout donnant de l'acide sulfureux  $H_2SO_3$  : on parle dans ce cas de « bisulfite acide ».

**Données relatives aux couples acide/base :**

Couple	pKa
$H_3O^+ / H_2O$	0
$H_2SO_3 / HSO_3^-$	1,8
$HSO_3^- / SO_3^{2-}$	7,2
$H_2O / OH^-$	14

**Masses molaires atomiques:**

$M(Mg) = 24,3 \text{ g.mol}^{-1}$ ;

$M(O) = 16,0 \text{ g.mol}^{-1}$  ;

$M(S) = 32,1 \text{ g.mol}^{-1}$

**Rappels :**

- Le nom officiel de l'ion appelé bisulfite est l'ion hydrogénosulfite  $HSO_3^-$ , celui de l'ion  $SO_3^{2-}$  est ion sulfite.
- Pour un couple acido-basique faible A/B on a la relation :  
 $pH = pKa - \log ([A] / [B])$  où [A] et [B] sont les concentrations molaires volumiques.
- L'ion magnésium  $Mg^{2+}$  sera considéré comme n'ayant pas de propriétés acido-basiques.

Les parties 2.1, 2.2, 2.3 et 2.4 peuvent être traitées indépendamment les unes des autres.

### 1 Propriétés acido-basiques liées à ces couples

1.1 Que peut-on dire de l'espèce  $HSO_3^-$  sur le plan acido-basique ?

1.2 Représenter sur le document réponse 2, **page 9 à rendre avec la copie**, les domaines de prédominances des différentes espèces de ces 4 couples en solution aqueuse en fonction du pH.

1.3 Dans le procédé dit « au bisulfite acide » on travaille à un  $pH = 1,5$ . A ce pH,

1.3.1 Nommer les espèces prédominantes.

1.3.2 Montrer que  $[H_2SO_3] \approx 2 [HSO_3^-]$ .

1.3.3 Que peut-t-on dire de la concentration en ions  $SO_3^{2-}$  ?

1.3.4 Calculer la concentration en ions  $HSO_3^-$  et en acide sulfureux  $H_2SO_3$  si la concentration totale en « élément soufre » est  $1,2 \text{ mol/L}$ .

## 2 Solution aqueuse d'ions magnésium

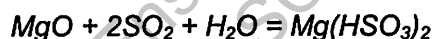
Lors de la régénération de la lessive dans la chaudière (en présence d'air) les ions  $Mg^{2+}$  passent à l'état d'oxyde de magnésium  $MgO$  solide. Celui ci sera ensuite redissout. On néglige l'influence de la température dans cette étude.

Le produit de solubilité de l'hydroxyde de magnésium  $Mg(OH)_2$  est  $K_s = 2,0 \cdot 10^{-11}$ .

- 2.1 Écrire l'équation de la réaction de dissolution de l'hydroxyde de magnésium dans l'eau.
- 2.2 Donner l'expression de  $K_s$  en fonction des concentrations des espèces chimiques à l'équilibre.
- 2.3 On nomme  $s$  la solubilité de  $Mg(OH)_2$  dans l'eau pure, exprimée en mol/L. Calculer la valeur de  $s$ .
- 2.4 On dissout l'hydroxyde de magnésium dans une solution de dioxyde de soufre de sorte que le pH final est environ 4,5.
  - 2.4.1 Montrer que la concentration en ions  $OH^-$  dans une solution à pH = 4,5 vaut  $3,2 \cdot 10^{-10}$  mol.L<sup>-1</sup>.
  - 2.4.2 Montrer qu'une concentration en ions  $[Mg^{2+}] = 0,40$  mol/L est possible à ce pH sans précipitation de l'hydroxyde.

## 3 Régénération du bisulfite de magnésium

On peut considérer que la régénération du bisulfite de magnésium correspond à l'équation :



Calculer la masse  $m_{MgO}$  d'oxyde de magnésium à faire réagir avec  $m_{SO_2} = 32,0$  kg de dioxyde de soufre pour que les deux réactifs soient entièrement consommés.

## 4 Nombre d'oxydation du soufre au cours du procédé

Le soufre peut se retrouver sous différentes formes, dont :



- 4.1 Calculer le nombre d'oxydation (N.O.) de l'élément S dans chacune de ces espèces.
- 4.2 Quelle est l'espèce qui correspond à la forme la plus réduite ?
- 4.3 Dans le four à soufre on veut éviter la transformation de  $SO_2$  en  $SO_3$  : cette transformation est-elle une oxydation ou une réduction ? Justifier.

## THERMODYNAMIQUE (6 points)

Le taux de consommation de  $\text{SO}_2$  du procédé est  $\tau = 32,0 \text{ kg/t}$  (en kg par tonne de pâte sèche). La production journalière de pâte sèche est  $p = 400 \text{ t/j}$  (en tonne de pâte sèche par jour). Pour compenser la consommation du procédé, le dioxyde de soufre est produit dans un four. La combustion du soufre en  $\text{SO}_2$  est exothermique. Elle libère  $Q = 4500 \text{ kJ/kg}$  (en kJ par kg de  $\text{SO}_2$  produit).

### 1 Bilan thermique

1.1 Calculer le débit massique  $q_m$  en  $\text{SO}_2$ , que doit fournir le four, exprimé en kg/j puis en kg/s.

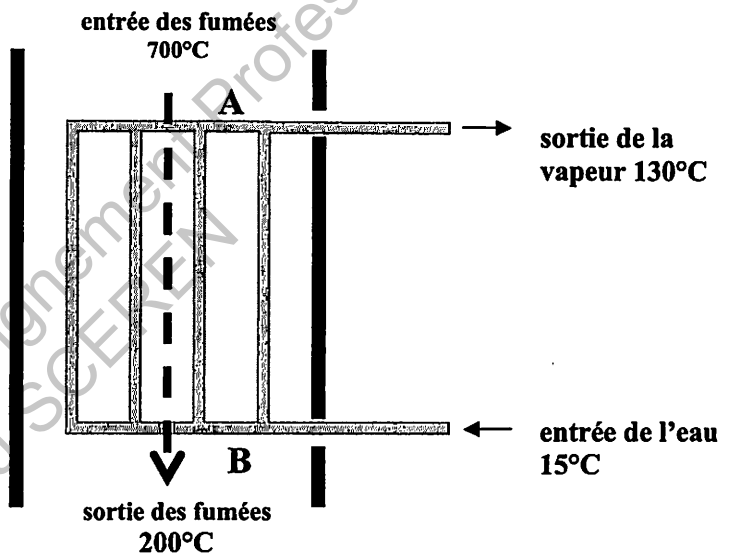
1.2 Vérifier que la puissance thermique à évacuer du four à soufre sera alors  $P = 667 \text{ kW}$ .

Pour évacuer cette énergie sous forme de chaleur, on doit refroidir les fumées ( $\text{SO}_2$  et autres gaz) formées dans le four.

On profite de cette puissance thermique à extraire pour produire de la vapeur saturante dans un échangeur tubulaire chauffé par les fumées sortant du four (schéma ci-contre) :

- L'eau entre à la température  $\theta_{ee} = 15^\circ\text{C}$  à la partie inférieure.
- La vapeur sort à la température  $\theta_{es} = 130^\circ\text{C}$  à la partie supérieure.
- On nomme **A** la partie supérieure et **B** la partie inférieure.

Cet échangeur permet d'évacuer 80 % de la puissance thermique du four à soufre. On donne à la page suivante le tableau des caractéristiques de la vapeur saturée.



1.3 En vous aidant du tableau, page 7, déterminer la variation d'enthalpie massique  $\Delta h$  de l'eau traversant l'échangeur.

1.4 En déduire le débit massique de l'eau,  $q_{me}$ , en supposant l'échange thermique entre les fumées et l'eau sans pertes thermiques.

### 2 Caractéristiques de l'échangeur

L'échangeur fonctionne à contre courant, l'entrée des gaz (en A) correspondant à la sortie de la vapeur. Les gaz (fumées) sont refroidis de  $\theta_{ge} = 700^\circ\text{C}$  à l'entrée à  $\theta_{gs} = 200^\circ\text{C}$  à la sortie.

2.1 Représenter le profil des températures le long de l'échangeur (on complétera le document réponse 2, **page 9 à rendre avec la copie**).

2.2 L'écart moyen de température de part et d'autre de la paroi des tubes est  $\Delta\theta_m = 342^\circ\text{C}$ . Retrouver ce résultat à l'aide de la formule logarithmique jointe en faisant apparaître les différents  $\Delta\theta$  de la formule sur le profil des températures.

$$\Delta\theta_m = \frac{\Delta\theta_A - \Delta\theta_B}{\ln \frac{\Delta\theta_A}{\Delta\theta_B}}$$

2.3 Montrer que la surface d'échangeur nécessaire est de  $3,90 \text{ m}^2$ , sachant que son coefficient global d'échange thermique est  $K = 0,40 \text{ kW.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ .

2.4 En déduire le nombre de tubes minimum (n) à prévoir si le diamètre des tubes est  $d = 20 \text{ mm}$  et la longueur  $L = 3,0 \text{ m}$ .

2.5 Quelle est la valeur de la pression de la vapeur à la sortie de l'échangeur ?

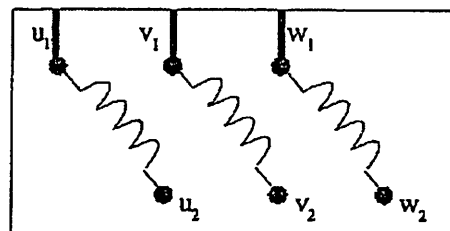
#### Caractéristiques de l'eau et de la vapeur saturante

Température	Pression absolue	Volume massique du liquide	Volume massique de la vapeur	Enthalpie massique du liquide	Enthalpie massique de la vapeur
°C	bar	$\text{m}^3/\text{kg}$	$\text{m}^3/\text{kg}$	$\text{kJ/kg}$	$\text{kJ/kg}$
0,01	0,0061	0,001000	206,300	0,0	2501
5,00	0,0087	0,001000	147,200	21,1	2510
10,00	0,0123	0,001000	106,400	42,0	2519
15,00	0,0170	0,001001	78,000	63,0	2528
20,00	0,0234	0,001002	57,800	83,9	2537
25,00	0,0317	0,001003	43,400	104,8	2547
30,00	0,0424	0,001004	32,900	125,7	2556
35,00	0,0562	0,001006	25,200	146,6	2565
40,00	0,0737	0,001008	19,600	167,5	2574
45,00	0,0958	0,001010	15,300	188,4	2583
50,00	0,123	0,001012	12,000	209,3	2592
55,00	0,157	0,001014	9,580	230,2	2600
60,00	0,199	0,001017	7,680	251,1	2609
65,00	0,250	0,001020	6,200	272,1	2817
70,00	0,312	0,001023	5,05	293,0	2626
75,00	0,386	0,001026	4,13	314,0	2635
80,00	0,474	0,001029	3,41	334,9	2643
85,00	0,578	0,001032	2,83	355,9	2651
90,00	0,701	0,001036	2,36	377,0	2659
95,00	0,845	0,001040	1,96	398,0	2667
100,00	1,013	0,001044	1,67	419,1	2675
105,00	1,208	0,001047	1,42	440,2	2683
110,00	1,433	0,001052	1,21	461,3	2691
115,00	1,690	0,001056	1,04	482,5	2698
120,00	1,985	0,001060	0,892	503,7	2706
125,00	2,321	0,001065	0,770	525,0	2713
130,00	2,701	0,001070	0,668	546,3	2721
135,00	3,13	0,001075	0,582	567,5	2727
140,00	3,61	0,001080	0,507	589,0	2734
145,00	4,16	0,001085	0,446	610,5	2740
150,00	4,76	0,001090	0,393	632,2	2746
155,00	5,43	0,001096	0,347	653,9	2752

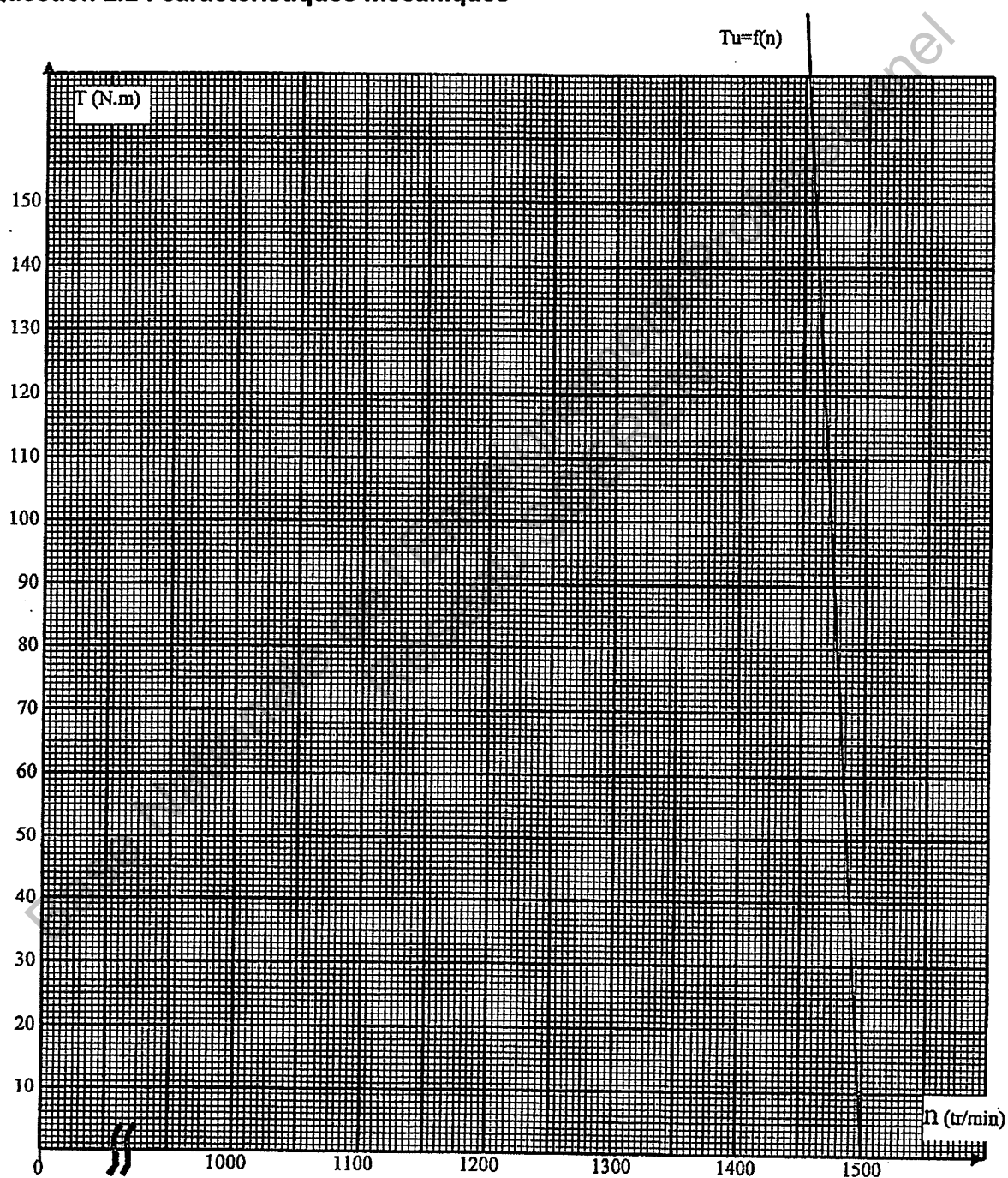


# Document réponse 1 : électricité

Question 1.4 : schéma du couplage du moteur LS 180

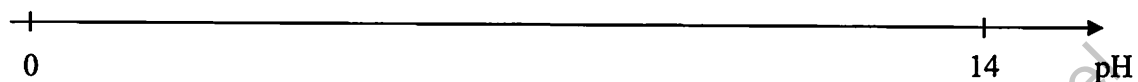


Question 2.2 : caractéristiques mécaniques



## Document réponse 2 : chimie et thermodynamique

### Question 1.2 : domaines de prédominance des espèces



### Question 2.1 : profil des températures le long de l'échangeur (Le schéma n'est pas à l'échelle)

