



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 2013

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR

« INDUSTRIES PAPETIÈRES »

Option : Production des pâtes, papiers et cartons

Option : Transformation des papiers et cartons

U32 – SCIENCES PHYSIQUES

SESSION 2013

Durée : 3 heures

Coefficient : 3

Matériel autorisé :

À l'exclusion de tout autre matériel, l'usage de la calculatrice est autorisé conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999.

Tout autre matériel est interdit.

Documents à rendre avec la copie :

- Annexe 1 Diagramme de Mollierpage 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 2013	
Épreuve U32 : Sciences Physiques	Code : 13ITSPHYME1	Page : 1/9

MOTO-RÉDUCTEUR D'ENROULEUSE

En bout de ligne de production de papier, se trouve une enrouleuse « non-stop » de feuilles en pâte. L'enrouleuse est entraînée par un moto-réducteur à courant continu. L'enroulement se fait autour d'un tambour jusqu'à atteindre un diamètre maximum, puis l'enroulement se poursuit sur un autre tambour. La tension mécanique de la feuille en pâte est maintenue constante ainsi que sa vitesse d'enroulement. Le moto-réducteur est constitué d'un moteur à courant continu qui entraîne un réducteur dont les caractéristiques sont les suivantes :

Caractéristiques nominales du moteur :

2500 tr/min 440 V 72 A 107 N.m
 Résistance d'induit $R = 0,55 \Omega$
 Puissance du circuit d'excitation $P_{exc} = 700 W$
 L'excitation est indépendante et constante.
 Les pertes autres que par effet Joule sont négligées.

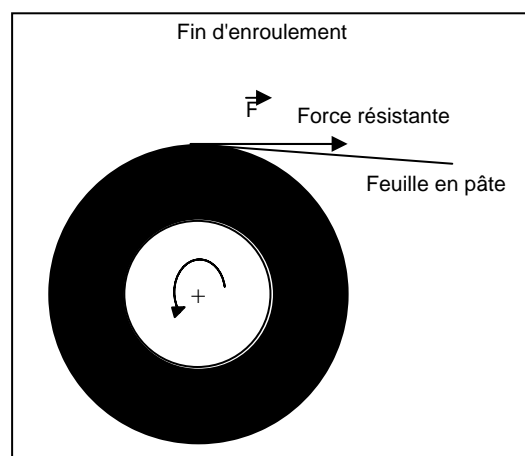
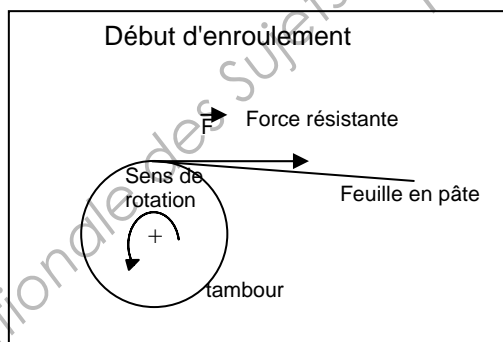
Caractéristiques du réducteur :

rapport = 30,
 rendement = 1.

Caractéristiques de l'enrouleuse :

vitesse d'enroulement = 150 m/min,
 diamètre du tambour (vide) = 560 mm,
 diamètre maximum enroulé = 3200 mm.

La tension de la feuille en pâte sur le tambour exerce une force résistante \vec{F} d'intensité constante de 2000 N.



1.1 Correspondance entre les vitesses du moteur et de l'enrouleuse

On rappelle que la vitesse d'enroulement de la feuille en pâte est constante et égale à 150 m/min.

- 1.1.1 Montrer que l'on peut écrire $v = \pi \cdot d \cdot n$, v étant la vitesse d'enroulement en m/min, d le diamètre de la bobine de feuille en m et n la fréquence de rotation du tambour en tr/min.
- 1.1.2 Calculer la fréquence de rotation en tr/min du tambour au début et à la fin de l'enroulement.
- 1.1.3 Calculer la fréquence de rotation du tambour lorsque le moteur est à sa vitesse nominale.
- 1.1.4 Justifier que le moteur est correctement choisi au niveau de la vitesse de rotation.

1.2 Pour les valeurs nominales du moteur

- 1.2.1 Calculer la puissance mécanique P_u développée par le moteur.
- 1.2.2 Calculer la force électromotrice E du moteur.

Pour la suite, nous considérerons que la force électromotrice $E = k \cdot n$ avec $k = 0,16 \text{ V} \cdot \text{tr}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ et également que le moment du couple électromagnétique $T_{em} = k' \cdot I$ avec $k' = 1,53 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{A}^{-1}$.

1.3 Fonctionnement au début de l'enroulement

Au début de l'enroulement, le moteur est déjà en rotation à vitesse stable égale à 2550 tr/min.

- 1.3.1 Calculer la force électromotrice E du moteur.
- 1.3.2 Calculer le moment T_r de la force résistante par rapport à l'axe de rotation du tambour (cette force reste toujours tangente au tambour).
- 1.3.3 Le moteur développe un moment de couple égal à 18,7 N.m. Montrer que le moteur peut entraîner le tambour pour ce fonctionnement là.
- 1.3.4 Calculer la puissance mécanique P_u développée par le moteur et en déduire sa puissance électromagnétique P_{em} .

1.4 Fonctionnement à la fin de l'enroulement

A la fin de l'enroulement, le diamètre de la bobine est maximal, soit 3200 mm. A cet instant, le moment du couple mécanique développé par le moteur est de 107 N.m et sa fréquence de rotation est égale à 448 tr/min.

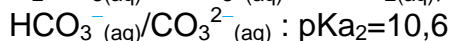
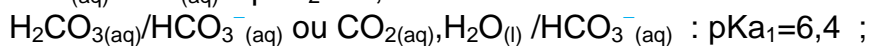
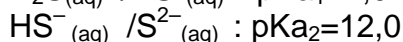
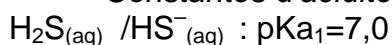
- 1.4.1 Calculer l'intensité du courant d'induit I .
- 1.4.2 Calculer les pertes par effet joule dans l'induit.
- 1.4.3 Calculer la puissance mécanique développée par le moteur puis la puissance totale absorbée.

CHIMIE (6.5 points)

CYCLE DE RÉGÉNÉRATION DE LA LIQUEUR BLANCHE

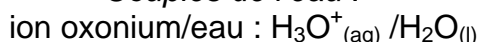
Données utiles pour l'ensemble de la partie chimie :

- Constantes d'acidité à 298K :



- Produit de solubilité du carbonate de calcium à 298K : $\text{pK}_{\text{S}}(\text{CaCO}_3)=8,6$

- Couples de l'eau :



- Quelques indicateurs colorés acido-basiques :

Indicateur coloré	pH de la zone de virage	couleur de la forme acide	couleur de la forme basique
phénolphtaléine	8,0 - 10,0	incoloré	rose
bleu de bromothymol	6,0-7,6	jaune	bleue
hélianthine	3,1 - 4,4	rouge	jaune

- Extrait de la classification périodique :

M : masse molaire atomique ($\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$)

X : symbole de l'élément

Z : numéro atomique

	1																	18
1	1,0 ₁ H	2														4,0 ₂ He		
2	6,9 ₃ Li	9,0 ₄ Be											10,8 ₅ B	12,0 ₆ C	14,0 ₇ N	16,0 ₈ O	19,0 ₉ F	20,2 ₁₀ Ne
3	23,0 ₁₁ Na	24,3 ₁₂ Mg	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	27,0 ₁₃ Al	28,1 ₁₄ Si	31,0 ₁₅ P	32,1 ₁₆ S	35,5 ₁₇ Cl	39,9 ₁₈ Ar
4	39,1 ₁₉ K	40,1 ₂₀ Ca	45,0 ₂₁ Sc	47,9 ₂₂ Ti	50,9 ₂₃ V	52,0 ₂₄ Cr	54,9 ₂₅ Mn	55,8 ₂₆ Fe	58,9 ₂₇ Co	58,7 ₂₈ Ni	63,5 ₂₉ Cu	65,4 ₃₀ Zn	69,7 ₃₁ Ga	72,6 ₃₂ Ge	74,9 ₃₃ As	79,0 ₃₄ Se	79,9 ₃₅ Br	83,8 ₃₆ Kr

- Correspondance entre les noms et les formules des ions :

Ion	hydroxyde	sulfure	sodium	Carbonate	Calcium
formule	HO^-	S^{2-}	Na^+	CO_3^{2-}	Ca^{2+}

- L'ion sodium Na^+ et l'ion chlorure Cl^- n'ont pas de propriétés acido-basiques.

La fabrication d'une pâte à papier de qualité nécessite une cellulose vierge. La cellulose provient du bois mais ce dernier contient aussi de la lignine (environ 10%) qui doit être éliminée au cours du procédé industriel de fabrication. Insolubles dans l'eau, les lignines sont dégradées chimiquement selon deux grands procédés : le procédé Kraft (procédé alcalin) ou le procédé au bisulfite (procédé acide).

Nous nous intéresserons dans toute la suite uniquement à une usine utilisant le procédé Kraft.

2.1 L'étape de cuisson : utilisation de la liqueur blanche

Le lessiveur est une tour de 75 m de haut et 5,5 m de diamètre dans laquelle on introduit par le haut le bois sous forme de copeaux auquel on ajoute de la liqueur blanche. Cette étape qui permet de délignifier le bois s'appelle la cuisson, elle se déroule dans un tiers du volume du lessiveur, soit dans 500 m^3 , et dure huit heures. A l'issue de cette étape, on obtient de la pâte assez compacte et plus ou moins blanche selon le degré de délignification.

La liqueur blanche est un mélange de solutions d'hydroxyde de sodium (soude) et de sulfure de sodium.

2.1.1 Donner la formule de l'hydroxyde de sodium en solution.

2.1.2 Donner la formule du sulfure de sodium en solution.

2.1.3 En utilisant l'extrait de la classification périodique et en énonçant la règle de l'octet, expliquer pourquoi les ions sulfure et sodium portent respectivement deux charges négatives et une charge positive.

Pour préparer la solution S_1 d'hydroxyde de sodium, on peut procéder de la façon suivante : on pèse une masse $m_{\text{NaOH}} = 8,0 \text{ g}$ de cristaux d'hydroxyde de sodium que l'on introduit dans un récipient dans lequel on verse un volume d'eau $V_{S_1} = 100,0 \text{ mL}$.

2.1.4 Montrer que la concentration de la solution d'hydroxyde de sodium ainsi préparée est $c_{S_1} = 2,0 \text{ mol.L}^{-1}$.

Pour préparer la liqueur blanche, on peut réaliser le mélange suivant : un volume $V_{S_2} = 100,0 \text{ mL}$ de la solution S_2 de sulfure de sodium à la concentration $c_{S_2} = 0,45 \text{ mol.L}^{-1}$ avec le volume $V_{S_1} = 100,0 \text{ mL}$ de la solution S_1 d'hydroxyde de sodium préparée tel que c'est indiqué à la question 2.1.4.

2.1.5 Calculer la concentration $[\text{HO}^-]_{\text{LB}}$ des ions hydroxyde, $[\text{S}^{2-}]_{\text{LB}}$ des ions sulfure et $[\text{Na}^+]_{\text{LB}}$ des ions sodium présents dans les 200,0 mL de liqueur blanche ainsi préparée.

Le procédé Kraft est un procédé dit alcalin : cela signifie que la délignification s'opère en milieu basique.

2.1.6 En utilisant les données et sans faire de calcul, montrer que la liqueur blanche est effectivement une solution basique.

2.2 Récupération des jus de cuisson : de la liqueur noire vers la liqueur verte

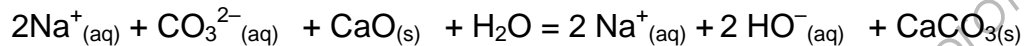
Lors de l'étape de cuisson dans le lessiveur, des matières provenant du bois sont libérées et passent en solution, ce qui constitue ce que l'on appelle des « jus de cuisson ». Ces jus de cuisson contiennent donc tout ce qui n'est pas la pâte : de la lignine, des hémicelluloses, des celluloses dégradées, ... mélangées à la liqueur blanche : cela forme ce que l'on appelle la liqueur noire. La liqueur noire est récupérée puis brûlée dans la chaudière à liqueur noire.

La chambre à combustion de cette chaudière de récupération permet de réaliser des réactions à l'issue desquelles on récupère essentiellement les composés Na_2S et Na_2CO_3 . L'ensemble Na_2S et Na_2CO_3 s'écoule dans un bac contenant de l'eau appelé dissolvant : on obtient alors la liqueur verte.

Laquelle des deux bases S^{2-} et CO_3^{2-} est la plus forte ? Justifier.

2.3 Caustification de la liqueur verte : régénération de la liqueur blanche

La liqueur verte sortant des dissolvants des chaudières de récupération doit être traitée à la chaux vive CaO pour transformer le carbonate de sodium en hydroxyde de sodium selon la réaction d'équation :



Pour ne retrouver que les ions hydroxyde présents dans la liqueur blanche, il faut éliminer le carbonate de calcium CaCO_3 . Ce dernier est très peu soluble dans l'eau, on peut donc facilement l'éliminer par filtration et le séparer des ions hydroxyde qui peuvent à nouveau servir pour la fabrication de la liqueur blanche. Cependant, une partie du carbonate de calcium se dissout dans l'eau et une partie des ions calcium se retrouve mélangée aux ions hydroxyde : ce mélange constitue la solution S_3 .

2.3.1 Écrire la réaction associée à la dissolution du carbonate de calcium en ions calcium et carbonate.

2.3.2 Calculer la concentration molaire $[\text{Ca}^{2+}]$ en ions calcium dans la solution S_3 en la considérant comme une solution saturée carbonate de calcium.

La solution S_3 récupérée après cette étape de caustification contient donc majoritairement des ions hydroxyde, des ions sodium, et, minoritairement, des ions calcium. Afin de connaître la concentration en ions hydroxyde, on réalise en laboratoire le titrage d'une prise d'essai de volume $V_{\text{SB}}=10,0$ mL de la solution S_3 une solution d'acide chlorhydrique ($\text{H}_3\text{O}^+_{(\text{aq})}+\text{Cl}^-_{(\text{aq})}$) de concentration $c_{\text{AC}}=2,5 \cdot 10^{-1}$ mol.L⁻¹ en présence d'un indicateur coloré. On obtient un changement de couleur de l'indicateur coloré pour un volume de solution d'acide chlorhydrique versée $V_{\text{éq}}=20,0$ mL.

2.3.3 Identifier les réactifs, titré et titrant.

2.3.4 Écrire l'équation de réaction associée à la transformation ayant lieu lors du titrage entre la solution d'acide chlorhydrique et les ions hydroxyde présents dans la solution S_3 .

2.3.5 Parmi les indicateurs colorés proposés dans les données, indiquer celui qui convient le mieux pour repérer l'équivalence de ce titrage. Quel changement de couleur observe-t-on ? Justifier les deux réponses.

2.3.6 Déterminer, en le justifiant, la concentration $[\text{HO}^-]$ des ions hydroxyde dans la solution S_3 .

LIQUEUR NOIRE ET ÉLECTRICITE VERTE...

Données utiles pour l'ensemble de cette partie :

Masse volumique de l'eau liquide : $\mu_{eau} = 1,00.10^3 \text{ kg.m}^{-3}$

Constante des gaz parfaits : $R = 8,314 \text{ J.K}^{-1}\text{mol}^{-1}$

Masse molaire moléculaire de l'eau $M_{eau} = 18,0 \text{ g.mol}^{-1}$

L'objet d'étude est le circuit « Energie-Régénération » d'une papeterie fibre vierge. Afin de minimiser l'impact écologique de la papeterie et d'acquérir une autonomie partielle d'un point de vue énergétique, l'usine est munie, en parallèle du circuit de la pâte à papier, d'un circuit comprenant notamment une chaudière à liqueur noire, dite à régénération. Cette chaudière constitue le générateur de la vapeur qu'elle utilise dans l'usine tout en tirant un profit maximum de la liqueur noire issue du lessiveur. Ce circuit vapeur est, de surcroît, couplé avec un système turbine-alternateur qui permet à la papeterie de faire de l'électricité « verte » qu'elle revend à EDF. La facture électrique est ainsi allégée, alors que l'autonomie énergétique de l'usine atteint 90% d'un point de vue thermique.

3.1 Concentration de la liqueur noire

A la sortie du lessiveur Kamyra, la liqueur noire possède un pourcentage massique en matières sèches de 15 %. Pour qu'elle puisse être brûlée dans la chaudière à régénération, il faut procéder à l'évaporation d'une grande partie de l'eau présente dans cette liqueur jusqu'à ce que le pourcentage massique en matières sèches soit d'environ 70 %. Cette évaporation se fait dans des évaporateurs à multiples effets, grâce à un circuit de vapeur vive, saturante, de débit massique de $22.10^3 \text{ kg.h}^{-1}$. La masse volumique de la liqueur noire sans eau est $\mu_{lse} = 1,20.10^3 \text{ kg.m}^{-3}$. La chaîne d'évaporateurs est alimentée en entrée par environ $300 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$ de liqueur.

3.1.1 Exprimer littéralement puis calculer la masse volumique $\mu_{liqueur}$ de la liqueur noire en sortie du lessiveur.

3.1.2 Montrer qu'en entrée d'évaporation le débit massique de la liqueur est $q_{me} = 309.10^3 \text{ kg.h}^{-1}$.

3.1.3 Exprimer littéralement puis calculer q_{sec} le débit massique de matières sèches contenues dans la liqueur.

En sortie d'évaporation, le débit massique de la liqueur est $q_{ms} = 66,2.10^3 \text{ kg.h}^{-1}$.

3.1.4 Calculer le pourcentage massique de matières sèches dans cette liqueur. Cette liqueur est-elle suffisamment concentrée pour être brûlée dans la chaudière ?

3.1.5 Calculer la masse d'eau évaporée par kg de vapeur vive au cours du circuit d'évaporation.

3.2 La chaudière à régénération

La liqueur noire ainsi obtenue peut alors servir de combustible pour la chaudière à régénération. La chaleur produite par la combustion permet de faire bouillir de l'eau afin de former de la vapeur. En sortie de chaudière, on obtient de la vapeur saturante à une température de 300°C (Etat A).

3.2.1 Placer le point A correspondant à cet état sur le diagramme de Mollier fourni en annexe page 9 et donner la valeur de la pression p_A de la vapeur.

3.2.2 Déterminer la valeur h_A de l'enthalpie massique de la vapeur dans cet état.

La chaudière à liqueur noire fournit 200 tonnes par heure de vapeur à 81 bar. Cette vapeur créée va notamment servir à alimenter les cylindres sécheurs. Comme dans ceux-ci il est nécessaire de n'avoir qu'une pression de 3 bar et une température de 145°C, une partie de cette vapeur va être détendue dans une turbine qui fera tourner un alternateur.

3.2.3 Expliquer pourquoi il n'est pas possible d'envoyer directement cette vapeur saturante vers la turbine ?

Pour résoudre le problème évoqué à la question précédente, on surchauffe la vapeur jusqu'à une température de 450 °C (état B). Le surchauffage consiste à augmenter la température d'une vapeur, à pression constante.

3.2.4 Placer le point B correspondant à ce nouvel état sur le diagramme de Mollier fourni en annexe page 9.

3.2.5 Déterminer la valeur h_B de l'enthalpie massique de la vapeur dans ce nouvel état.

3.2.6 Déterminer l'énergie massique (*par unité de masse*) reçue par la vapeur dans le surchauffeur.

3.2.7 Justifier que cette énergie est bien reçue par la vapeur et non fournie.

3.2.8 En déduire la puissance thermique reçue par la vapeur dans le surchauffeur.

