

**BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR
« INDUSTRIES PAPETIERES »**

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

EPREUVE : U.32 SCIENCES PHYSIQUES

SESSION 2010

**DUREE : 3 HEURES
COEFFICIENT : 3**

Matériel autorisé :

La calculatrice conforme à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999.

Documents à rendre avec la copie :

**ANNEXE 1 : page 8/10
ANNEXE 2 : page 9/10
ANNEXE 3 : page 10/10**

**Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.
Le sujet comporte 10 pages numérotées de 1/10 à 10/10.**

A Chimie (7,5 points)

1. Oxydo-réduction

Au cours du process papetier, on rencontre l'élément soufre sous de nombreuses formes, entre autres :

espèce	S^{2-}	H_2SO_4	SO_2	$S_2O_3^{2-}$	SO_3	HS^-
nom	ion sulfure			ion thiosulfate		
nombre d'oxydation de l'élément S						

- 1.1. Compléter la **deuxième ligne du tableau** reproduit **en annexe 1, page 8, à rendre avec la copie** en indiquant le nom des espèces.
- 1.2. Calculer le nombre d'oxydation du soufre dans chaque espèce et **remplir la troisième ligne du tableau**.
- 1.3. Classer ces espèces par nombre d'oxydation croissant.

Parmi les transformations produites dans la chaudière, on trouve la transformation des ions sulfate SO_4^{2-} en ions sulfure S^{2-} sous l'action du monoxyde de carbone CO qui s'oxyde en dioxyde de carbone CO_2 .

- 1.4. Écrire la demi-équation redox relative à chacun des deux couples intervenant.
- 1.5. En déduire l'équation de réaction des ions sulfate sur le monoxyde de carbone.

2. Préparation d'une solution de soude (hydroxyde de sodium)

La préparation de la liqueur blanche nécessite souvent un appoint de soude.

Un réservoir de volume $V = 75 \text{ m}^3$ contient une solution aqueuse (S_1) d'hydroxyde de sodium ($Na^+ + OH^-$) de concentration massique $c_m = 110 \text{ g.L}^{-1}$.

On prélève le volume $v_1 = 50,0 \text{ mL}$ de (S_1) et on le dilue pour obtenir la solution (S_2) de volume $1,000 \text{ L}$.

On donne (en g.mol^{-1}) : $M_{Na} = 23,1$ $M_H = 1,0$ $M_O = 16,0$

- 2.1. Calculer la concentration molaire volumique c_1 de la solution (S_1) de soude.
- 2.2. Nommer le matériel nécessaire pour réaliser la dilution et décrire le protocole utilisé.
- 2.3. Vérifier que la concentration de la solution (S_2) a pour valeur $c_2 = 0,137 \text{ mol.L}^{-1}$.

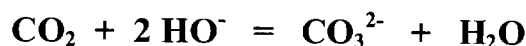
3. Dosage de la solution de soude

Le **graphe n°1 en annexe 1, page 8**, représente le dosage pH-métrique d'un volume $v_2 = 10,0$ mL de solution (S_2) par une solution d'acide chlorhydrique de concentration $c_{\text{HCl}} = 0,100 \text{ mol.L}^{-1}$. Il est effectué immédiatement après la dilution.

- 3.1. Écrire l'équation de la réaction entre espèces actives de l'acide chlorhydrique et de la soude.
- 3.2. Déterminer graphiquement sur le **graphe 1, page 8**, les coordonnées v_e et pH_e du point d'équivalence.
- 3.3. En déduire la valeur de la concentration c_2 de la solution (S_2).
- 3.4. Le résultat est-il compatible avec la valeur obtenue en partie 2 ? Justifier la réponse.

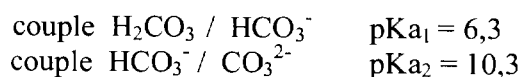
4. Carbonatation de la soude

Un deuxième échantillon de la solution (S_2) noté (S'_2) et de même volume 1,000 L a été laissé quelques jours sur la paille. On effectue son dosage pH-métrique et on observe deux sauts de pH, le dernier étant repéré par le même volume que précédemment. On peut interpréter ce résultat en faisant l'hypothèse que du dioxyde de carbone de l'air a été dissous dans cette solution, ce dernier ayant réagi avec une partie de la soude selon :



L'échantillon (S'_2) contient donc un mélange de deux bases HO^- et CO_3^{2-} qui sont dosées successivement par l'acide chlorhydrique. **Le graphe 2 de l'annexe 1, page 8**, représente les résultats d'une simulation de ce dosage : on y observe l'évolution du pH en fonction du volume v d'acide versé dans un volume $v_2 = 10,0$ mL de solution (S'_2) ainsi que l'évolution du pourcentage des différentes espèces carbonatées au cours du dosage.

On donne les pK_a successifs des couples de H_2CO_3 (ou CO_2 , H_2O) :



- 4.1. Représenter sur **l'annexe 1, page 8, à rendre avec la copie** les domaines de prédominance des espèces carbonatées en fonction du pH.
- 4.2. Déterminer les volumes v_{e1} et v_{e2} et les pH (notés pH_{e1} et pH_{e2}) correspondant aux deux équivalences successives.

On suppose que l'acide apporté depuis le volume v_{e1} jusqu'au volume v_{e2} réagit uniquement sur les ions HCO_3^- .

- 4.3. Justifier cette affirmation en exploitant la simulation et/ou les domaines de prédominance.
- 4.4. Écrire l'équation chimique correspondant à cette réaction.
- 4.5. En déduire la concentration en ions HCO_3^- dosés ici puis celle en dioxyde de carbone dissous dans la solution (S'_2).
- 4.6. Expliquer comment on peut retrouver graphiquement la valeur du pK_a du couple $\text{H}_2\text{CO}_3/\text{HCO}_3^-$.

B. Thermique (6,5 points)

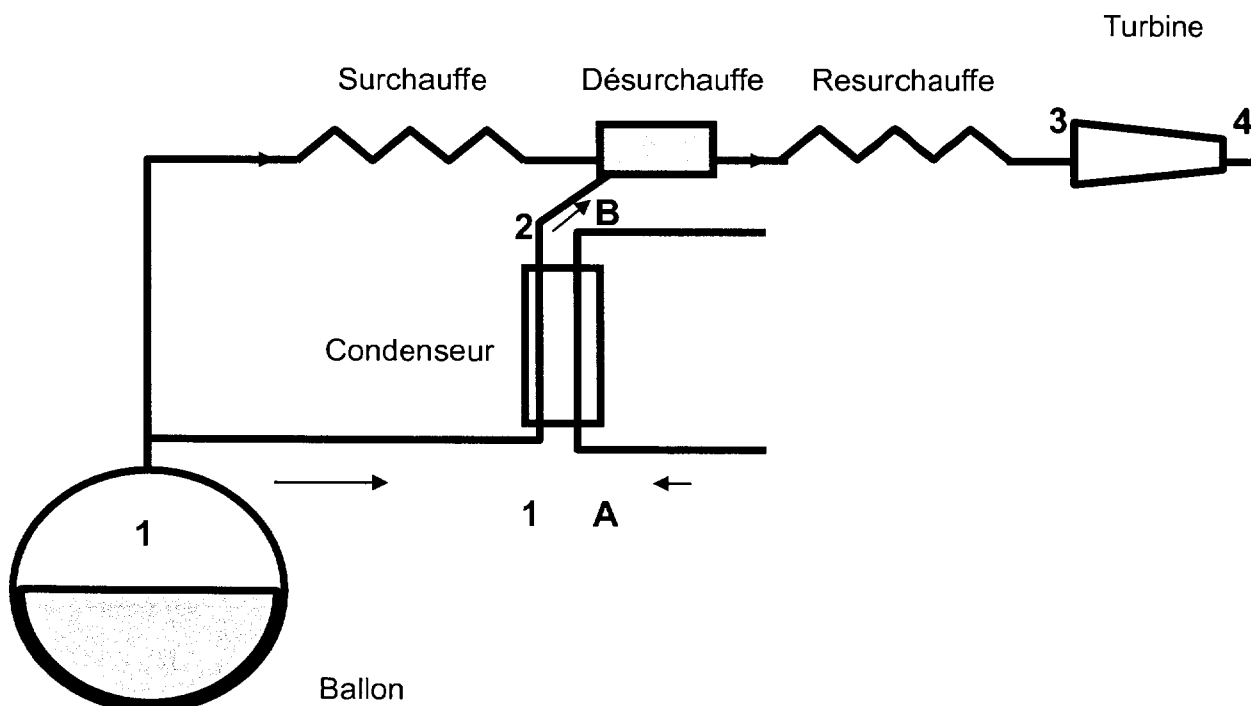
Dans ce problème les 4 parties sont indépendantes.

Le dispositif schématisé ci-dessous représente la partie finale d'une chaudière produisant de la vapeur d'eau dans un atelier de fabrication de papier : elle comprend un ballon de vaporisation, une surchauffe et une resurchauffe avec régulation par une boucle (condenseur désurchauffe) et une turbine de sortie.

- On notera :
- (1) la sortie du ballon et entrée dans le condenseur
 - (2) la sortie du condenseur
 - (3) la sortie de la vapeur resurchauffée
 - (4) la sortie de la turbine
 - (A) l'entrée d'eau du condenseur
 - (B) la sortie d'eau réchauffée du condenseur

On considèrera que la pression dans tout le dispositif entre le ballon et la position (3) reste égale à sa valeur dans le ballon $p = 70$ bar.

On fournit en annexe 2, page 9, à rendre avec la copie, le diagramme entropie-enthalpie $h(s)$: il donne pour chaque état de la vapeur d'eau les caractéristiques importantes comme la pression p , la température θ , l'enthalpie massique h , le taux de vapeur x_{vap} .



1. Vapeur du ballon

On s'intéresse à la vapeur saturée sortant du ballon en (1) :

- 1.1. Que signifie l'expression « vapeur saturée » ?
- 1.2. **Placer sur le diagramme $h(s)$, page 9**, le point M_1 représentatif de l'état (1).
- 1.3. En déduire les valeurs de la température θ_1 et de l'enthalpie h_1 de la vapeur saturée sortant du ballon.
- 1.4. Calculer approximativement la température θ en degrés Celsius dans le ballon en utilisant la relation : $p(\text{en bar}) = (\theta / 100)^4$.

2. Condensation dans le condenseur

Une partie de vapeur prélevée en (1) traverse le condenseur et ressort liquide en (2), à la température $\theta_2 = 190$ °C. Son enthalpie est alors $h_2 = 800$ kJ.kg⁻¹.

- 2.1. Montrer que la quantité de chaleur cédée au condenseur par la masse d'un kilogramme de cette vapeur vaut 1970 kJ.
- 2.2. Le débit massique de cette vapeur prélevée vaut $q_{mv} = 5,4$ t.h⁻¹.
En déduire la puissance thermique P cédée au condenseur par cette vapeur en kW.

3. Réchauffage d'eau au condenseur

Pour la suite on considère que l'échange thermique au condenseur est parfait, c'est-à-dire qu'il s'effectue sans pertes ; on prendra pour puissance thermique échangée la valeur $P = 3,0$ MW.

La chaleur cédée par la vapeur au condenseur sert à réchauffer de l'eau liquide sous pression.

Cette eau entre à la température $\theta_A = 160$ °C en (A) et ressort en (B) à la température θ_B (à déterminer). Son débit vaut $q_{me} = 100$ t.h⁻¹.

On prendra pour capacité thermique massique de cette eau à cette pression $c_e = 4,2$ kJ.kg⁻¹.K⁻¹

- 3.1. Exprimer littéralement la puissance thermique reçue par cette eau en fonction des données précédentes.
- 3.2. En déduire la valeur numérique de la température de sortie θ_B .

4. Turbine

On s'intéresse maintenant à la turbine, partie située entre les points (3) et (4). La resurchauffe a amené la vapeur surchauffée à la température $\theta_3 = 460$ °C sans chute de pression entre (1) et (3).

La vapeur traverse la turbine et sa pression chute : on admettra que la transformation s'effectue de façon adiabatique réversible c'est à dire à entropie constante. La pression en sortie de turbine (4) est tombée à $p_4 = 15$ bar.

- 4.1. Représenter sur le diagramme $h(s)$, page 9, le point M_3 représentant l'état (3) et la transformation (1) - (3).
- 4.2. Représenter le point M_4 et la transformation (3) - (4) sur ce diagramme.
- 4.3. En déduire la température θ_4 de la vapeur à la sortie de la turbine.
- 4.4. Jusqu'à quelle valeur minimale peut-on laisser chuter la pression de cette vapeur dans la turbine ?
- 4.5. Que se produirait-il si la pression en sortie de turbine tombait par exemple à $p_4 = 3,5$ bar environ ?

C. Électricité (6 points)

Un diffuseur continu sous pression est intégré au sein d'une unité de production de pâte. Il est constitué d'un réservoir cylindrique en haut duquel arrive la pâte pour être filtrée et lavée. Le dispositif d'évacuation de la pâte lavée est constitué d'un racloir rotatif monté sur le fond du réservoir. Ce racloir est entraîné par un groupe moto-réducteur.

Les plaques signalétiques respectives indiquent :

- pour le moteur asynchrone triphasé :

$$230 \text{ V}/400 \text{ V} ; 50 \text{ Hz} ; P_{uN} = 37,0 \text{ kW} ; n_v = 1500 \text{ tr.min}^{-1} ; \cos\varphi = 0,86$$

- pour le réducteur :

$$n_1/n_2 = 33,33$$

- pour le racloir :

$$P_r = 29,0 \text{ kW} ; C = 6,50 \text{ kNm}$$

1. Étude mécanique du moto-réducteur

- 1.1. Déterminer en tr.min^{-1} la fréquence de rotation nominale du racloir (notée n_r) en utilisant les caractéristiques du réducteur.
- 1.2. Calculer la fréquence de rotation correspondante, notée n_m du moteur.
- 1.3. En considérant que le moteur fonctionne à sa puissance nominale, calculer le rendement η_r du réducteur.
- 1.4. Calculer le moment du couple C_m fourni par le moteur.
- 1.5. Reporter ce point de fonctionnement mécanique du moteur sur **le document réponse joint (annexe 3)** et tracer la caractéristique mécanique du moteur, supposée linéaire dans sa partie utile.

2. Étude électrique du moteur

Le moteur est alimenté par un réseau triphasé 230 V / 400 V, il tourne à une fréquence de rotation de 1420 tr.min^{-1} et fournit un couple de moment égal à 249 Nm.

- 2.1. Calculer le nombre de paires de pôles en utilisant les caractéristiques du moteur.
- 2.2. Quel est le couplage du moteur ?
- 2.3. Calculer le glissement g_m correspondant au point de fonctionnement donné.
- 2.4. Calculer le rendement maximal théorique η_{\max} du moteur. En déduire l'intensité du courant de ligne absorbée pour ce rendement maximal théorique.

Lors d'un fonctionnement au point de fonctionnement nominal, la puissance absorbée ou puissance active P_{aN} est de 41,7 kW.

- 2.5. Calculer l'intensité du courant de ligne.
- 2.6. Calculer l'énergie consommée en kWh par le moteur pour un fonctionnement de 24 h.
- 2.7. Calculer la puissance réactive Q consommée par le moteur. Quelle solution peut-on mettre en place pour diminuer cette puissance réactive consommée ?
- 2.8. Calculer l'intensité du courant de ligne si la puissance réactive passait à 20,0 kVAr et que la puissance active P_{aN} était toujours de 41,7 kW.
- 2.9. La résistance mesurée entre deux phases étant de $160 \text{ m}\Omega$, calculer, en kWh, l'énergie économisée sur les pertes Joule pour une intensité de courant de ligne passant à 70,0 A au lieu de 53,0 A pour 24 h de fonctionnement.

3. Variation de vitesse

On souhaite pouvoir modifier le débit d'évacuation de la pâte à +/- 20 % du débit principal. Cela entraîne une plage de variation de fréquence de rotation du moto-réducteur de +/- 20 % autour de la fréquence principale qui est de 1420 tr.min^{-1} . La commande de variation de vitesse se fait par un onduleur qui maintient le rapport U/f constant.

3.1. Quel est le type de conversion réalisée par un onduleur ?

3.2. Quel est l'intérêt de maintenir le rapport U/f constant ?

3.3. On suppose les propriétés physiques de la pâte indépendantes de la vitesse.

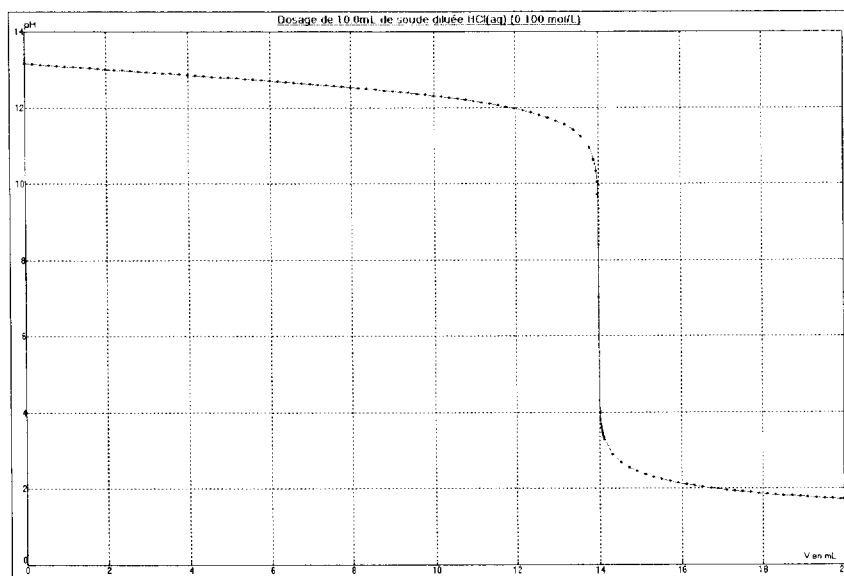
Le groupe moto-réducteur travaille-t-il à couple constant ou à puissance constante ?

Pour une fréquence de rotation du racloir de 36 tr.min^{-1} , tracer la nouvelle caractéristique mécanique du moteur $T_u = f(n)$ sur l'**annexe 3, page 10, à rendre avec la copie.**

Expliquer la construction.

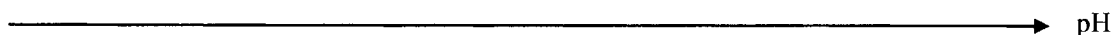
ANNEXE 1 à remettre avec la copie (Partie A-Chimie, questions 3 et 4)

espèce	S^{2-}	H_2SO_4	SO_2	$S_2O_3^{2-}$	SO_3	HS^-
nom	ion sulfure			ion thiosulfate		
nombre d'oxydation de S						



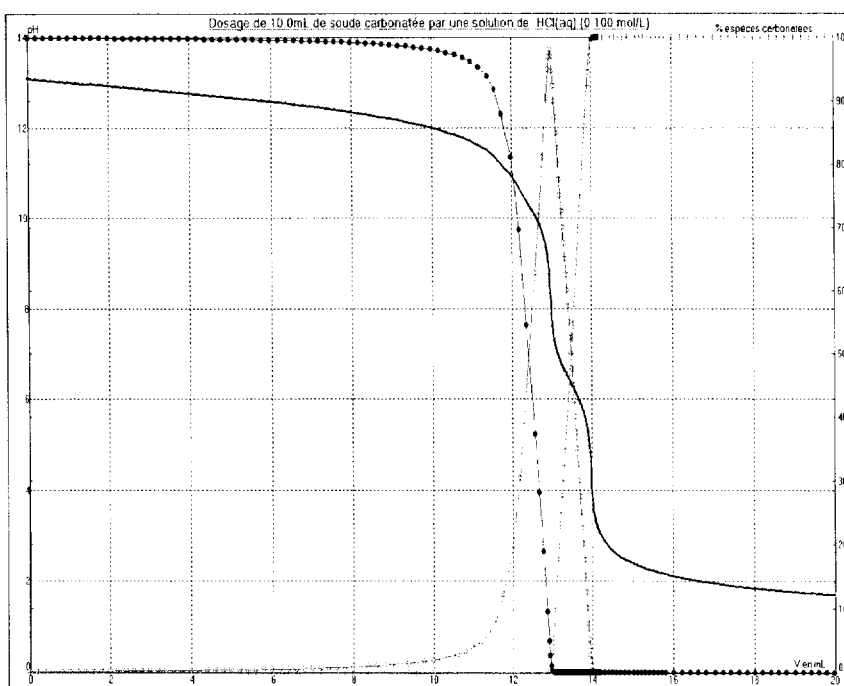
Graphe 1 : dosage de la soude

Domaines de prédominance des espèces carbonatées :



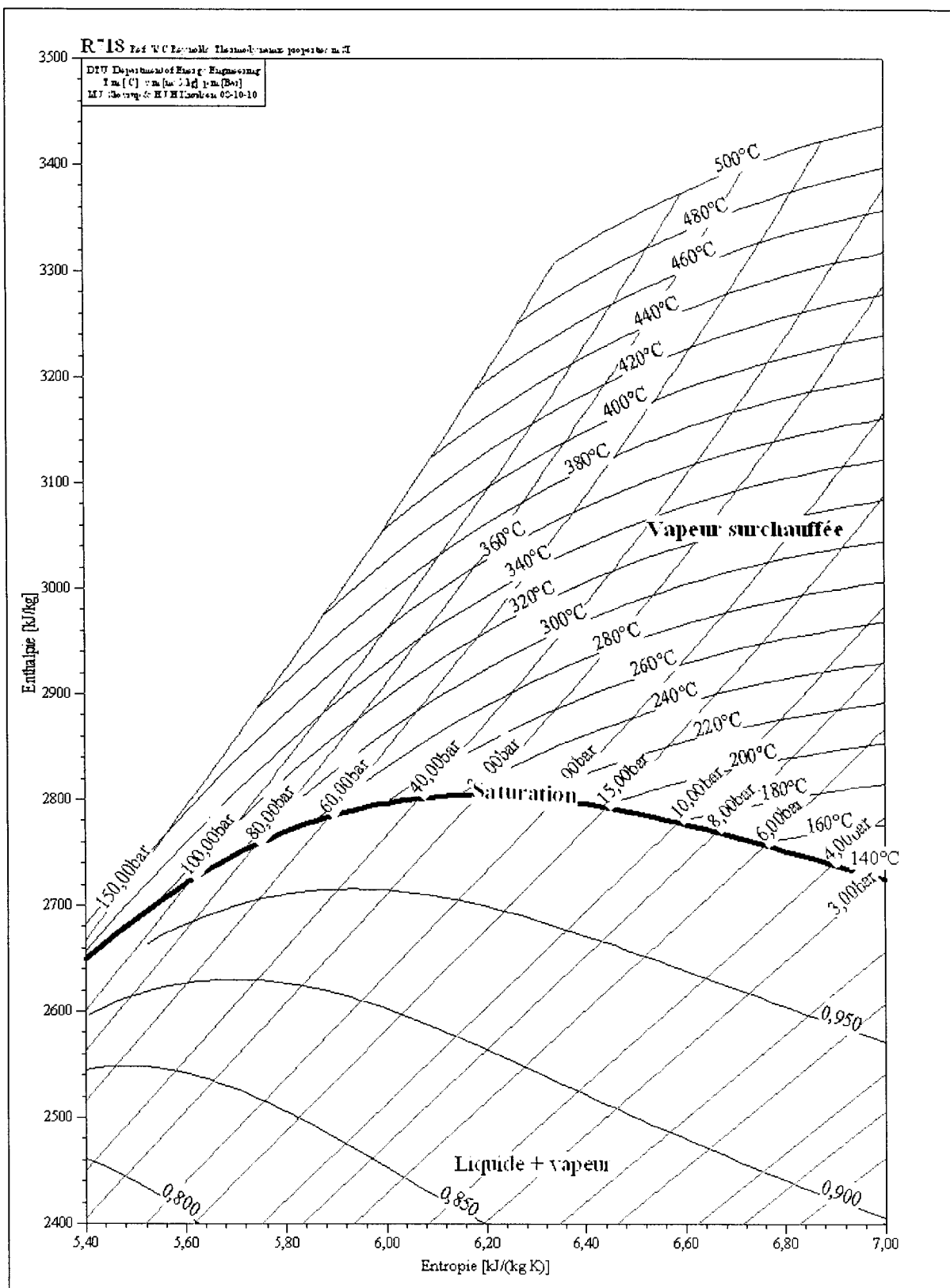
Graphe 2 : dosage de la soude carbonatée

- Légende du graphe
- : % ions CO_3^{2-}
 - : % ions HCO_3^-
 - + + : % H_2CO_3



ANNEXE 2 à remettre avec la copie

(Partie B-Thermique)



ANNEXE 3 à remettre avec la copie

(Partie C-Electricité, question 3.3)

Caractéristique mécanique du moteur $T_u = f(n)$

