

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

IMPORTANT : Ce sujet comporte 9 pages numérotées de 1/9 à 9/9 + la page de présentation.

Trois 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.

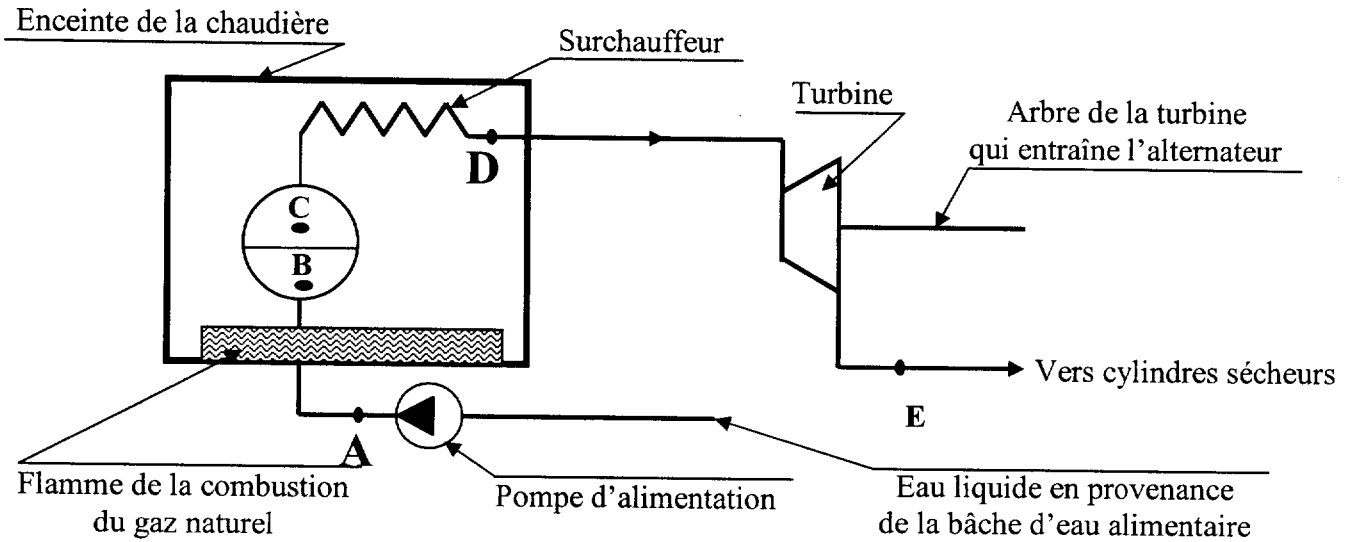
I – PHYSIQUE (7 points)

Présentation :

L'étude porte sur une installation de cogénération équipée d'une chaudière à gaz et d'une turbine de détente.

L'industrie papetière, forte consommatrice de vapeur pour le séchage du papier, s'oriente de plus en plus vers la cogénération. Il s'agit d'un procédé permettant la production simultanée d'électricité et de vapeur. Le dispositif permet alors d'obtenir des rendements intéressants.

Principe :



L'eau traitée est introduite dans un ballon de production de vapeur (état A). Sous l'effet de la chaleur produite par la combustion du gaz naturel, l'eau est alors portée à température d'ébullition (état B) puis est vaporisée (état C). Le passage dans le surchauffeur a pour effet d'augmenter la température de la vapeur sans modifier sa pression. La vapeur obtenue est ainsi surchauffée (état D). La vapeur surchauffée est ensuite dirigée vers une turbine réalisant une détente **adiabatique**. Cette détente a pour effet de produire de l'énergie mécanique sur l'arbre de la turbine. Cette énergie servira à entraîner un alternateur produisant de l'électricité. La vapeur issue de la turbine (état E) est enfin acheminée vers les cylindres sécheurs de la machine à papier.

Données :

Débit massique de vapeur
Capacité thermique massique de l'eau liquide
Enthalpie massique de l'eau liquide à 0°C
Rendement de la chaudière

$$\begin{aligned} Q_m &= 26,5 \text{ T.h}^{-1}; \\ C_{\text{eau}} &= 4,18 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}; \\ H_{\text{eau liquide à } 0^\circ\text{C}} &= 0 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}; \\ \eta &= 94 \%. \end{aligned}$$

BTS INDUSTRIES PAPETIÈRES	SUJET	Session 2006
Épreuve U32 Sciences Physiques	Durée : 3 heures	Coefficient : 3
CODE : ITSPHY		Page 1/9

Les caractéristiques du fluide aux états A, B, C, D et E sont synthétisées dans le tableau suivant :

États	A	B	C	D	E
Température (°C)	105			435	
Pression (bars absolus)	46	46	46	46	5

I-1. Étude de la chaudière.

I-1.1. On connaît l'enthalpie massique de l'eau liquide à 0°C et la capacité thermique massique de l'eau liquide.

Montrer que l'enthalpie massique de l'eau liquide à 105°C est : $H_A = 439 \text{ kJ.kg}^{-1}$.

I-1.2. Sur le diagramme de Mollier, page 4/9, placer le point D représentatif de l'état D du fluide. En déduire la valeur de l'enthalpie massique H_D de la vapeur.

I-1.3. A l'aide des résultats précédents, calculer la quantité d'enthalpie ΔH_{AD} apportée par la chaudière au fluide.

I-1.4. En déduire la puissance thermique utile de la chaudière P_{th} (puissance thermique réellement transmise au fluide).

I-1.5. A l'aide du rendement de la chaudière, calculer P_a la puissance thermique absorbée par la chaudière.

Dans toute la suite, on admettra $H_D = 3290 \text{ kJ.kg}^{-1}$

I-2. Étude de la turbine parfaite.

Dans un premier temps, on considère que le fonctionnement de la turbine est adiabatique quasi-statique (isentropique).

I-2.1. Sur le diagramme de Mollier, page 4/9, placer le point E_p correspondant à l'état E du fluide sortant de la turbine parfaite dans le cas d'une détente isentropique. En déduire la valeur de l'enthalpie massique H_{E_p} .

I-2.2. Calculer la variation d'enthalpie massique de la vapeur ΔH_{DE_p} lors de la traversée de la turbine.

I-2.3. En admettant que les conditions réunies autorisent l'emploi de la relation :

$$\Delta H = Q + W^*$$

Q représente la quantité de chaleur échangée et W^* la quantité de travail utile échangé.

Déterminer la quantité de travail utile massique $W^*_{DE_p}$ produite par la turbine.

En déduire la puissance utile P_u de la turbine parfaite.

I-2.4. Quelle est la nature du fluide sortant de la turbine. Cela présente-t-il un risque pour le bon fonctionnement de la turbine ? Justifier votre réponse.

BTS INDUSTRIES PAPETIÈRES	SUJET	Session 2006
Épreuve U32 Sciences Physiques	Durée : 3 heures	Coefficient : 3
CODE : ITSPHY		Page 2/9

I-3. Étude de la turbine réelle.

Dans un deuxième temps, on considère que le fonctionnement de la turbine est adiabatique (son fonctionnement réel n'est pas isentropique).

D'autre part, les caractéristiques du fluide sortant de la turbine **réelle** sont les suivantes :

$$P_{E_R} = 5 \text{ bars absolus ;}$$

$$T_{E_R} = 210^\circ\text{C.}$$

I-3.1. Sur le diagramme de Mollier, page 4/9, placer le point E_R représentatif de l'état E_R du fluide. En déduire l'enthalpie massique H_{E_R} correspondante du fluide.

I-3.2. Calculer la variation d'enthalpie massique de la vapeur ΔH_{DE_R} lors de la traversée de la turbine.

I-3.3. En admettant que les conditions réunies autorisent l'emploi de la relation :

$$\Delta H = Q + W^*.$$

Q représente la quantité de chaleur échangée et W^* la quantité de travail utile échangé.

Déterminer la quantité de travail utile massique $W^*_{DE_R}$ produite par la turbine.

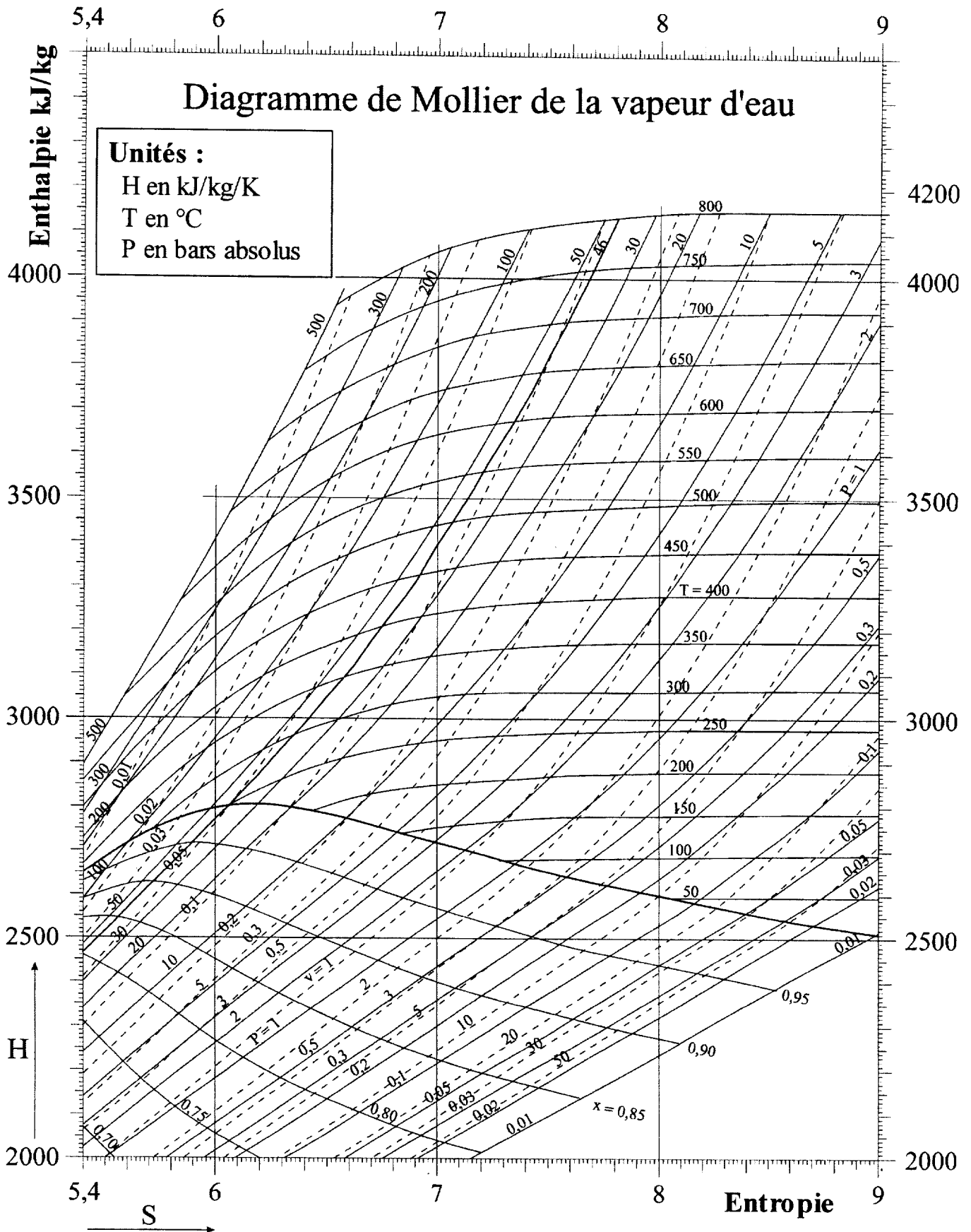
En déduire la puissance utile P_u de la turbine réelle.

I-4. Estimation des rendements.

I-4.1. À l'aide des résultats obtenus aux questions **I-2.3** et **I-3.3** calculer le rendement thermodynamique de la turbine réelle.

I-4.2. À l'aide des résultats obtenus aux questions **I-1.5** et **I-3.3** calculer le rendement global du dispositif de transformation d'énergie thermique en énergie mécanique.

BTS INDUSTRIES PAPETIÈRES	SUJET	Session 2006
Épreuve U32 Sciences Physiques	Durée : 3 heures	Coefficient : 3
CODE : ITSPHY		Page 3/9



BTS INDUSTRIES PAPETIÈRES	SUJET	Session 2006
Épreuve U32 Sciences Physiques	Durée : 3 heures	Coefficient : 3
CODE : ITSPHY		Page 4/9

II – ÉLECTRICITÉ (5 points)

Le problème est constitué de deux parties indépendantes. Dans la première partie, nous allons nous intéresser au fonctionnement de l'alternateur et à sa conception. Dans la seconde partie, nous étudierons les caractéristiques du réseau basse tension.

Présentation :

On se propose d'étudier la partie électrique d'une installation de co-génération composée d'une turbine à vapeur reliée à un alternateur. L'électricité produite permet à l'usine de s'auto-alimenter sur une partie de ses installations. La charge de l'alternateur est inductive car il débite sur le secondaire d'un transformateur qui élève la tension à 20 000 V.

II-1. Étude de l'alternateur.

L'alternateur est couplé en étoile, et fournit une puissance de 2,95 MW. Par ailleurs la résistance d'une phase a pour valeur $r = 0,1 \Omega$.

Le facteur de puissance en sortie de l'alternateur est de 0,87, sous une tension simple de 3,65 kV.

L'alternateur tourne à une fréquence de synchronisme de 1500 tr/min. Son coefficient de Kapp est égal à 2,2. Chaque phase comporte 290 conducteurs. Le flux magnétique sous un pôle vaut 150 mWb.

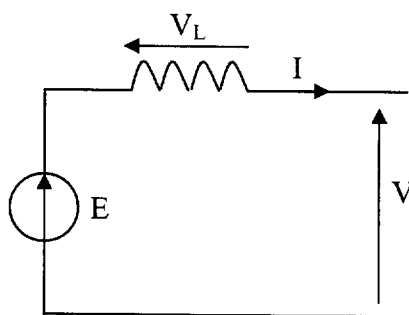
II-1.1. Calculer le nombre de paires de pôles pour que la fréquence du réseau soit conforme à 50 Hz.

II-1.2. Calculer la force électromotrice sur une phase.

II-1.3. Calculer la valeur de l'intensité en ligne.

II-1.4. Calculer la valeur des pertes par effet Joule dans l'induit de l'alternateur. On prendra pour l'intensité $I = 317 \text{ A}$.

II-1.5. On suppose que le modèle équivalent pour un enroulement induit est le suivant (résistance d'enroulement négligée) :



Déterminer graphiquement, ANNEXE N°1 page 7/9, la valeur de V_L , on donne $E = 4785 \text{ V}$ (f.e.m. simple).

II-1.6. Une mesure de L a été effectuée : $L = 17 \text{ mH}$; ce résultat est-il cohérent avec la valeur de V_L trouvée à la question précédente ?

BTS INDUSTRIES PAPETIÈRES	SUJET	Session 2006
Épreuve U32 Sciences Physiques	Durée : 3 heures	Coefficient : 3
CODE : ITSPHY		Page 5/9

II-1.7. Le couple transmis au rotor a pour valeur 19,4 kN.m. A partir de cette valeur, déterminer la puissance mécanique fournie par la turbine.

II-2. Étude du réseau.

La haute tension permet d'alimenter l'usine en basse tension 290 V / 500 V – 50 Hz, après abaissement. Plusieurs transformateurs abaisseurs sont implantés en parallèle.

On se propose d'étudier le réseau issu d'un transformateur 20 kV / 500 V - 50 Hz, d'une puissance de 1,36 MVA.

Sur ce transformateur sont branchés plusieurs moteurs d'entraînement de la machine à papier, ainsi que des pompes à vide, et une batterie de condensateurs.

Voici le tableau des installations branchées en aval.

Récepteurs	Facteur de puissance	Nombre
Moteurs des pompes à vide de 100 kW (puissance unitaire)	0,85	4
Moteur du raffineur 250 kW	0,75	1
Moteurs de la sectionnelle 50 kW (puissance unitaire)	0,8	9

II-2.1. Compléter le **tableau des différentes puissances**, ANNEXE N°1 page 7/9. Vous détaillerez vos calculs.

II-2.2. Calculer la puissance apparente totale.

II-2.3. Quel est le facteur de puissance global de l'installation ?

L'entreprise décide d'améliorer le facteur de puissance de l'installation et de le ramener à 0,98. Pour la suite du projet nous considérons que le facteur de puissance avant amélioration est de 0,81 et que le transformateur fonctionne à son point nominal.

II-2.4. Pour quelles raisons le facteur de puissance doit-il être le plus élevé possible ?

II-2.5. Calculer la puissance réactive de la batterie de condensateurs à brancher.

II-2.6. Calculer la valeur de la capacité d'un condensateur en supposant qu'ils sont branchés en triangle sur la basse tension.

BTS INDUSTRIES PAPETIÈRES	SUJET	Session 2006
Épreuve U32 Sciences Physiques	Durée : 3 heures	Coefficient : 3
CODE : ITSPHY		Page 6/9

Document réponse à rendre IMPÉRATIVEMENT avec la copie

ANNEXE N°1

Diagramme des tensions :

Échelle : 500 V / cm.

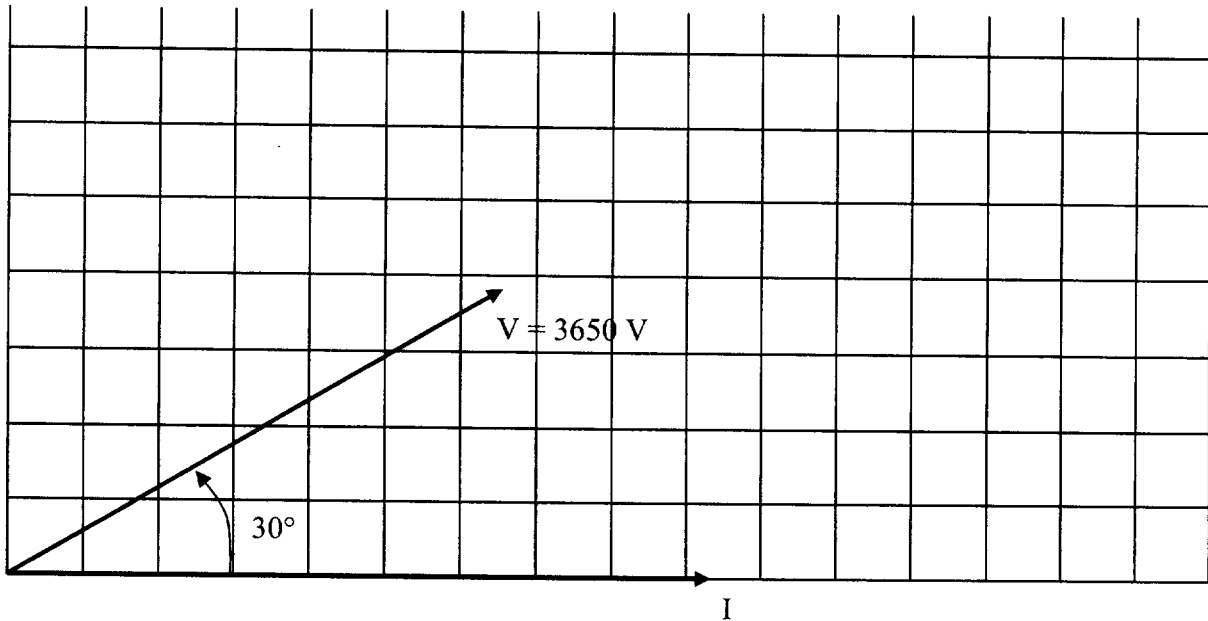


Tableau des différentes puissances :

Moteurs concernés	P groupe (kW)	Q unitaire (kVAR)	Q groupe (kVAR)
Pompes à vides	400		
Raffineur	250		
Sectionnelle			
TOTALE			

III – CHIMIE (8 points)

Ce sujet comporte deux parties indépendantes.

III-1. Four à chaux.

Lors du stade de la caustification de la liqueur verte, on utilise de la chaux (CaO) obtenue à partir de carbonate de calcium CaCO_3 qui sera ensuite introduite dans l'eau. CaO, la chaux vive, au contact avec l'eau deviendra de la chaux éteinte Ca(OH)_2 , hydroxyde de calcium.

III-1.1. Écrire l'équation de réaction qui permet d'obtenir CaO et un dégagement gazeux à partir de CaCO_3 .

III-1.2. Déterminer le pH d'une solution saturée d'eau de chaux.

III-1.3. Calculer la quantité minimale d'eau nécessaire pour dissoudre la totalité de CaO obtenu à partir de 100 kg de CaCO_3 .

III-2. Dosage acido-basique.

On souhaite doser, par un acide fort, une solution de liqueur blanche préparée en laboratoire. Il s'agit d'un mélange d'hydroxyde de sodium NaOH et de sulfure de sodium Na_2S dosé par l'acide chlorhydrique HCl.

Après avoir dilué cent fois la liqueur blanche initiale, on dose 20 mL de la liqueur diluée avec une solution d'acide chlorhydrique à $2,00 \cdot 10^{-2}$ mol/L. On obtient la courbe ANNEXE N°2 page 9/9.

III-2.1. Écrire les équations de dissolution des bases dans l'eau puis les réactions acido-basiques éventuelles.

III-2.2. Quel nom donne-t-on à une espèce telle que HS^- qui est à la fois acide et base ? Citer un autre exemple d'une telle espèce.

III-2.3. Déterminer le domaine de prédominance des acides et bases issus du sulfure de sodium. Classifier la force de ces bases.

III-2.4. À l'aide du graphique ANNEXE N°2 page 9/9, montrer par construction que les deux points équivalents E_1 et E_2 vérifient $V_{E_1} \approx 30$ mL et $V_{E_2} \approx 35$ mL .

III-2.5. Dédurre de la question précédente :

III-2.5.1. Le volume d'acide chlorhydrique nécessaire pour doser la base HS^- .

III-2.5.2. Le volume d'acide chlorhydrique nécessaire pour doser la base assez forte S^{2-} .

III-2.5.3. Le volume d'acide chlorhydrique nécessaire pour doser la base forte HO^- .

III-2.6. Déterminer alors la concentration molaire en soude.

III-2.7. Déterminer alors la concentration molaire en sulfure de sodium.

Données :

Masses molaires en $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$:

H : 1,0 C : 12,0 O : 16,0 Na : 23 S : 32,1 Ca : 40,1

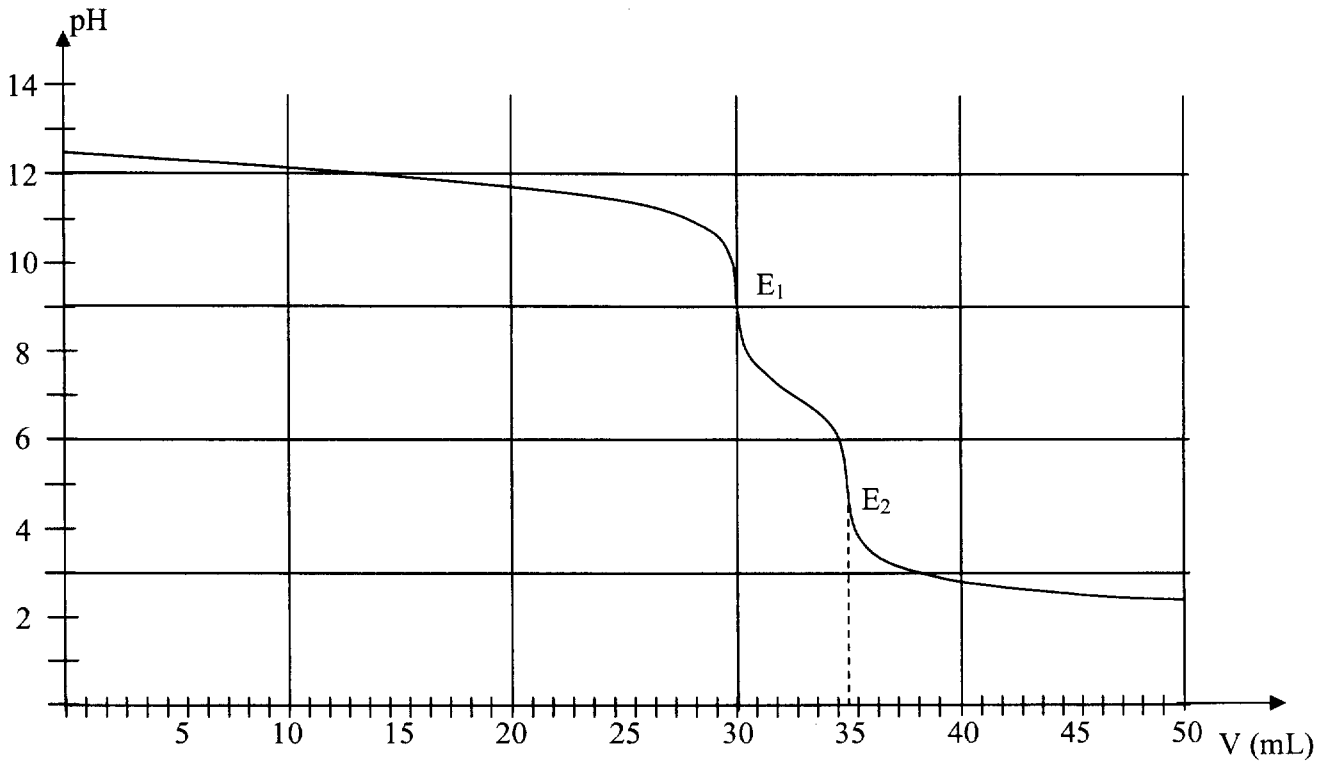
$K_s(\text{Ca(OH)}_2) = 8 \cdot 10^{-6}$;

$\text{PK}_a(\text{HS}^-/\text{S}^{2-}) = 12,9$ $\text{pK}_a(\text{H}_2\text{S}/\text{HS}^-) = 7,0$.

BTS INDUSTRIES PAPETIÈRES	SUJET	Session 2006
Épreuve U32 Sciences Physiques	Durée : 3 heures	Coefficient : 3
CODE : ITSPHY		Page 8/9

Document réponse à rendre IMPÉRATIVEMENT avec la copie

ANNEXE N°2



BTS INDUSTRIES PAPETIÈRES	SUJET	Session 2006
Épreuve U32 Sciences Physiques	Durée : 3 heures	Coefficient : 3
CODE : ITSPHY		Page 9/9