



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**

session 2011

BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR

« INDUSTRIES PAPETIERES »

Option : Production des pâtes, papiers et cartons

Option : Transformation des papiers et cartons

EPREUVE : U32 SCIENCES PHYSIQUES

SESSION 2011

DUREE : 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 (Cirulaire n°99-186, 16/11/1999)

Documents à rendre avec la copie :

Document réponse à rendre avec la copie page 9/12

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.
Le sujet se compose de 12 pages numérotées de 1/12 à 12/12.

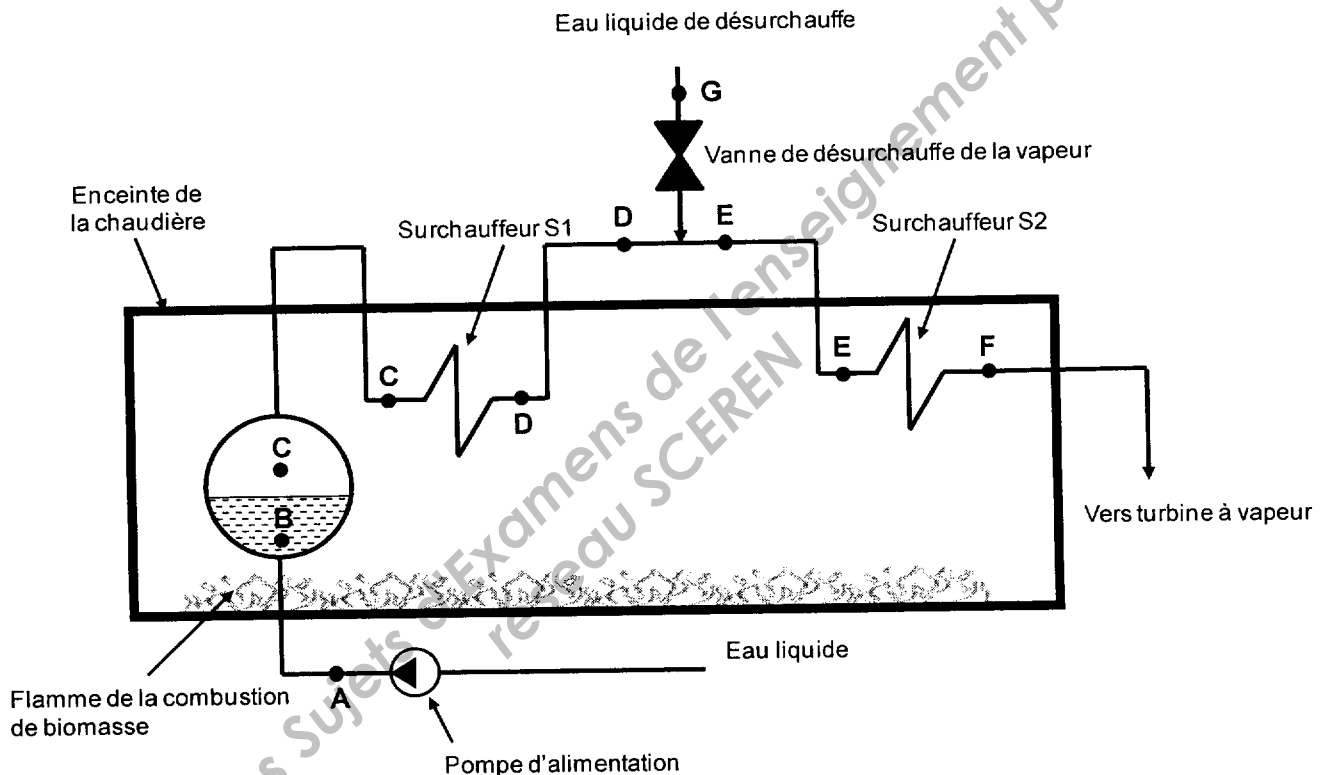
BTS INDUSTRIES PAPETIÈRES		Session 2011
Epreuve U32 SCIENCES PHYSIQUES	Code : 11IPSPHY1	Page : 1/12

Partie I : Thermodynamique (6 points)

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 d'obtenir des rendements intéressants. Il comporte une chaudière vapeur à biomasse qui alimente une turbine à vapeur de détente et un alternateur.

La présente étude sera limitée à la chaudière.

Schéma de principe :



L'eau liquide (état A) est introduite dans le ballon de production de vapeur. Sous l'effet de la chaleur produite par la combustion, l'eau est alors portée à température d'ébullition (état B) puis est vaporisée (état C). Il s'agit alors de vapeur sèche saturée (saturante).

Le passage dans le surchauffeur S1 a pour effet d'augmenter la température de la vapeur sans en modifier sa pression. La vapeur obtenue est ainsi surchauffée (état D). Cette vapeur est ensuite partiellement désurchauffée par l'introduction d'une quantité d'eau liquide, qui au contact de la vapeur surchauffée, change d'état en prélevant une certaine quantité de chaleur (enthalpie) à la vapeur surchauffée. La vapeur ainsi obtenue (état E) est à une température inférieure à celle de l'état D (mais supérieure à la température d'ébullition) tout en conservant la même pression.

La vapeur obtenue en E est alors dirigée vers le surchauffeur S2 qui a pour effet d'augmenter sa température sans en modifier sa pression. Le dispositif de désurchauffe est destiné à réaliser une régulation de température de la vapeur à l'état F.

BTS INDUSTRIES PAPETIÈRES	Session 2011
Epreuve U32 SCIENCES PHYSIQUES	Code : 11IPPHY1 Page : 2/12

Données :

Débit massique de l'eau liquide au point A
Débit massique d'eau de désurchauffe
Capacité thermique massique de l'eau liquide
Capacité thermique massique à pression constante de la vapeur surchauffée
Température de l'eau de désurchauffe
Enthalpie massique de l'eau de désurchauffe
Rendement global de la chaudière équipée des 2 surchauffeurs
Masse volumique de l'eau liquide considérée comme invariable en fonction de la température

$$Q_{m\text{-eau}} = 79,2 \text{ t.h}^{-1}$$
$$Q_{m\text{-dés}} = 0,160 \text{ kg.s}^{-1}$$
$$C_{\text{eau}} = 4,18 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$$
$$C_p = 2,3 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$$
$$\theta_G = 125^\circ\text{C}$$
$$h_G = 524 \text{ kJ.kg}^{-1}$$
$$\eta = 88\%$$
$$\rho = 1000 \text{ kg.m}^{-3}$$

La vapeur surchauffée aux états D, E et F sera considérée comme un gaz parfait.
Les caractéristiques du fluide aux états A, B, C, D, E et F sont synthétisées dans le tableau suivant :

Etats	A	B	C	D	E	F
Température (°C)	203			325		356
Pression (bars absolus)	24	24	24	24	24	24
Enthalpie massique	h_A	h_B	h_C	h_D	h_E	h_F

Etude :

A. Etude de la production de vapeur saturée

1. Calculer le débit volumique Q_v d'eau liquide introduite au point A en $L.s^{-1}$.
2. A l'aide des tables de la vapeur d'eau, page 5, et en utilisant une interpolation linéaire, montrer que l'enthalpie massique de l'eau liquide à l'état A ($\theta_A = 203^\circ C$) est : $h_A = 865 \text{ kJ.kg}^{-1}$.
3. A l'aide des tables de la vapeur d'eau, déterminer θ_B la température d'ébullition de l'eau ainsi que h_B son enthalpie massique à l'état B.
4. A l'aide des tables de la vapeur d'eau, déterminer h_C l'enthalpie massique de la vapeur à l'état C.
5. En déduire que la variation d'enthalpie massique de l'eau, Δh_{AC} , entre les états A et C vaut 1939 kJ.kg^{-1} . Calculer P_{ballon} la puissance thermique du dispositif de production de vapeur saturée dans le ballon.

B. Etude de la deuxième surchauffe

La vapeur issue du désurchauffeur S1 est à nouveau surchauffée à l'aide du surchauffeur S2 puis introduite en turbine.

On admettra que la température de la vapeur surchauffée issue du désurchauffeur au point E est : $\theta_E = 317^\circ C$.

On rappelle que la capacité thermique massique à pression constante de la vapeur surchauffée est $C_p = 2,3 \text{ kJ.kg}^{-1}.K^{-1}$ et que $\theta_F = 356^\circ C$.

1. Calculer le débit massique total, $Q_{m\text{Tot}}$, introduit dans le surchauffeur S2. On donnera le résultat avec 3 chiffres significatifs.
2. Calculer la quantité de chaleur Q_{EF} échangée en 1 seconde dans le surchauffeur S2. En déduire Pu_{S2} , la puissance utile du surchauffeur S2.
3. En admettant que la puissance utile totale de la chaudière équipée des 2 surchauffeurs est de 49,8 MW, calculer P_a la puissance thermique absorbée par cette installation (puissance thermique fournie par la combustion de la biomasse).

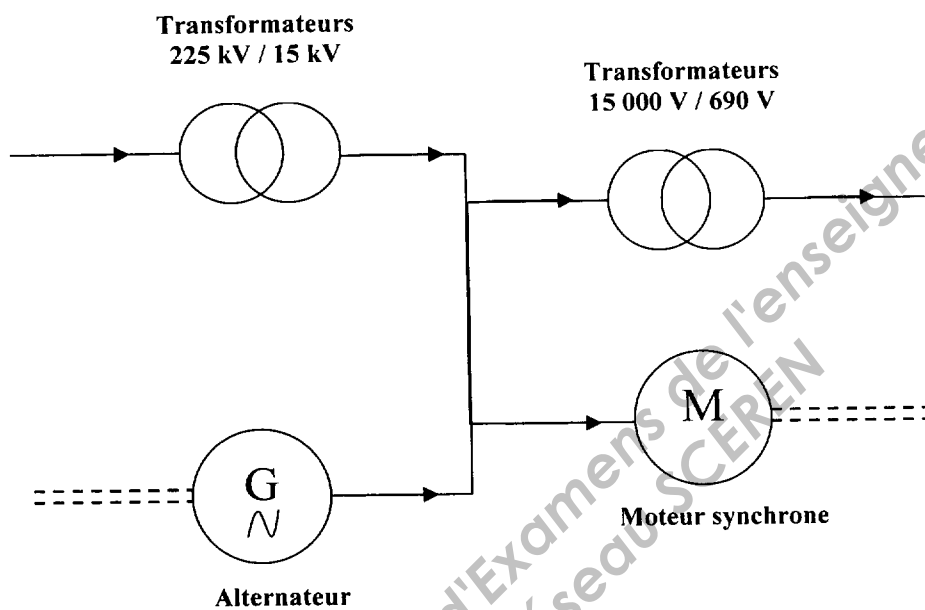
Tables de la vapeur d'eau

P bar abs	Vapeur saturée				
	θ_{eb} (°C)	h_{vap} (kJ/kg)	L_v (kJ/kg)	h_{liq} (kJ/kg)	$1/\rho$ (m ³ /kg)
0.02	17.51	2532.7	2459.3	73.45	67.02
0.04	28.98	2553.3	2432.3	121.36	34.81
0.06	36.19	2566.7	2415.2	151.42	23.75
0.08	41.54	2576.3	2402.5	173.76	18.11
0.1	45.84	2583.9	2392.2	191.71	14.66
0.16	55.34	2600.7	2369.2	231.44	9.437
0.26	65.87	2618.9	2343.4	275.49	5.982
0.50	81.35	2644.7	2304.4	340.37	3.241
0.75	91.78	2661.5	2277.3	384.26	2.217
1	99.63	2673.8	2256.5	417.33	1.694
1.5	111.37	2691.6	2224.7	466.95	1.159
2	120.33	2704.6	2200.1	504.52	0.8852
3	133.54	2723.2	2161.9	561.2	0.6054
4	143.63	2736.5	2132.1	604.4	0.4621
5	151.85	2746.8	2107	639.9	0.3746
6	158.84	2755.2	2085.1	670.1	0.3155
7	164.96	2762.1	2065.4	696.7	0.2727
8	170.41	2768	2047.5	720.6	0.2403
9	175.36	2773.1	2030.8	742.2	0.2149
10	179.88	2777.5	2015.3	762.2	0.1944
11	184.06	2781.3	2000.6	787.7	0.1775
12	187.96	2784.7	1986.7	797.9	0.1633
13	191.6	2787.6	1973.4	814.2	0.1512
14	195.04	2790.2	1960.7	829.5	0.1408
15	198.28	2792.5	1948.5	844.1	0.1318
16	201.4	2794.6	1936.6	858	0.1238
17	204.3	2796.4	1925.1	871	0.1167
18	207.11	2798	1914	884	0.1104
19	209.79	2799.3	1903.2	896.2	0.1048
20	212.37	2800.6	1892.6	908	0.09964
22	217.24	2802.5	1872.2	930.3	0.09074
24	221.78	2804	1852.7	951.3	0.08328
26	226.03	2804.8	1833.8	971	0.07692
28	230.04	2805.4	1815.6	999.8	0.07144
30	233.84	2805.5	1797.9	1007.7	0.06667
32	237.44	2805.4	1780.7	1024.7	0.06247
34	240.88	2805	1763.9	1041.1	0.05874
36	244.16	2804.4	1747.5	1056.9	0.05542

Partie II : ELECTRICITE (7 points)

On s'intéresse ici au réseau électrique d'une usine fabriquant de la pâte à papier.
Ce réseau comporte deux parties :

- un réseau triphasé intermédiaire fonctionnant en haute tension 15 kV,
- un réseau d'alimentation des principaux équipements fonctionnant en basse tension 690V.



Le réseau triphasé intermédiaire de l'usine est alimenté par trois transformateurs abaisseurs 225 kV/15 kV, ainsi que par un alternateur délivrant une tension 15 kV.

L'usine produit de la pâte TMP par l'intermédiaire d'un défibreux entraîné par un moteur synchrone. Le réseau basse tension 690 V est alimenté par 40 transformateurs abaisseurs 15 000 V / 690V.

A. Etude d'un transformateur abaisseur 225 kV/15 kV

L'alimentation du transformateur se fait par un réseau triphasé 130 kV / 225 kV, 50 Hz. La sortie du transformateur correspond à une tension composée de 15 kV, avec des enroulements secondaires couplés en triangle.

La fiche signalétique de ce transformateur, supposé parfait, indique :

Puissance apparente : $S = 11 \text{ MVA}$
Primaire : 225 000 / 390 000 – 50 Hz
Secondaire : 15 000 / 26 000 – 50 Hz
Résistance d'enroulement primaire : $R_1 = 15 \Omega$
Résistance d'enroulement secondaire : $R_2 = 1 \Omega$

1. Représenter sur le document réponse, en annexe n°1 **page 9 à rendre avec la copie**, le couplage des enroulements secondaires.
2. Indiquer et justifier quel doit être le couplage des enroulements primaires.
3. Déterminer la valeur de l'intensité I_1 des courants en ligne au primaire.
4. En déduire la valeur de l'intensité J_1 des courants d'enroulements au primaire.
5. Le nombre de spires par enroulement au primaire est 4500.
Le nombre de spires au secondaire par enroulement vaut 300.
En déduire le rapport de transformation de ce transformateur. Est-ce cohérent avec le qualificatif « abaisseur de tension » ?

On se propose maintenant d'étudier le rendement. Le transformateur n'est plus supposé parfait : les différents essais réalisés par le constructeur ont permis de définir des pertes magnétiques d'une valeur de 250 kW et les pertes Joule totales au primaire d'une valeur de 11,9 kW.

Dans la suite, pour simplifier, on suppose que le transformateur débite sur une charge purement résistive. Au secondaire, l'intensité I_2 du courant en ligne est de 423 A et l'intensité J_2 du courant par phase est de 244 A.

6. Calculer les pertes par effet Joule dans un enroulement secondaire.
7. Calculer les pertes totales par effet Joule du secondaire.
8. En déduire la valeur globale des pertes dans ce transformateur.
9. Que vaut le facteur de puissance d'une charge résistive ?
10. Déterminer la valeur du rendement du transformateur.

B. Effet du moteur sur l'installation

Le réseau intermédiaire de l'usine est un réseau triphasé 8700 V / 15 000 V – 50 Hz. On veut ici réaliser un bilan de puissances et, en particulier, déterminer l'impact du moteur synchrone utilisé sur l'installation de défibrage.

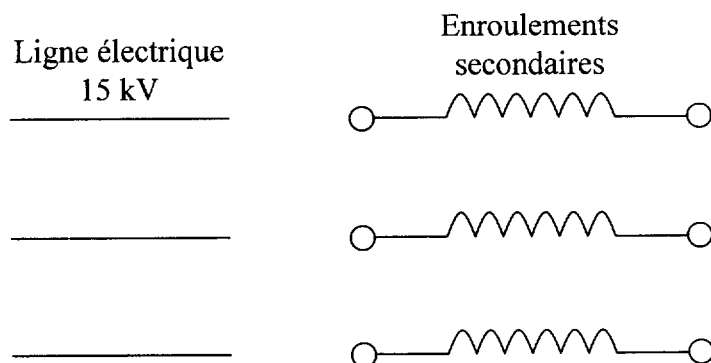
Ce réseau 15 kV alimente les récepteurs suivants :

- 40 transformateurs triphasés 15 kV / 690 V ayant chacun un facteur de puissance au primaire $\cos \varphi = 0,7$. Ils absorbent en ligne un courant unitaire de 38,5 A.
- un moteur synchrone.

1. Montrer que chaque transformateur a une puissance apparente de 1 MVA.
2. Calculer la puissance active P' et réactive Q' d'un transformateur 15 kV / 690 V puis de l'ensemble des quarante transformateurs. Reporter les valeurs sur le document réponse annexe n°2 **page 9 à rendre avec la copie**.
3. Les puissances active et réactive totales à l'alimentation du réseau 15 kV ont pour valeurs respectives 42,5 MW et 24 MVAR. En déduire la valeur des puissances active et réactive absorbées par le moteur synchrone.
4. Conclure sur l'effet inductif ou capacitif de ce moteur. Justifier clairement la réponse.

Document réponse à rendre avec la copie

Annexe n°1 : transformateurs 225 kV / 15 kV



Annexe n°2 : récepteurs du réseau 15 kV

Puissances absorbées par appareil	Puissance active unitaire	Puissance active totale	Puissance réactive unitaire	Puissance réactive totale
Transformateurs 15 kV / 690 V				
Moteur synchrone				
TOTAL		42,5 MW		24 MVAR

Introduction :

La méthode de détermination du degré de délignification de la pâte à papier par mesure de sa consommation en dichlore s'apparente à la méthode de détermination de l'indice Kappa.

Nous allons ainsi étudier les réactions se déroulant lors de la détermination de la consommation en dichlore (degré de délignification – norme ISO 3260-1982).

Le principe de la mesure est le suivant :

- on traite une prise d'essai de pâte durant 15 minutes avec du dichlore gazeux produit par l'acidification d'une solution d'hypochlorite de sodium,
- on effectue un dosage du dichlore restant par iodométrie : on en déduit alors la quantité de dichlore consommée.

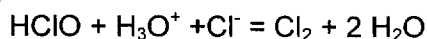
A. Etude du dichlore et de l'hypochlorite de sodium

Une solution d'hypochlorite de sodium ($\text{Na}^+ + \text{ClO}^-$) est une solution basique contenant la base faible hypochlorite (ClO^-). En abaissant le pH par adjonction d'une solution aqueuse d'acide chlorhydrique ($\text{H}_3\text{O}^+ + \text{Cl}^-$), on obtient une solution d'acide hypochloreux (HClO). En continuant l'opération, du dichlore gazeux est libéré (Cl_2).

1. Ecrire l'équation bilan de la réaction, entre l'hypochlorite de sodium et l'acide chlorhydrique, qui conduit à l'acide hypochloreux HClO .
2. Déterminer les nombres d'oxydation du chlore dans les composés suivants :



La réaction entre l'acide hypochloreux obtenu et l'ajout supplémentaire d'acide chlorhydrique est la suivante :



3. Montrer qu'il s'agit bien d'une réaction d'oxydoréduction.

B. Dosage iodométrique

Le dichlore restant (non consommé par la pâte) est dosé par iodométrie. Pour cela, on ajoute à la solution une quantité suffisante d'ions iodure I^- , qui vont réagir avec le dichlore restant pour donner du diiode I_2 . Ce dernier est ensuite dosé par une solution de thiosulfate de sodium ($S_2O_3^{2-} + 2 Na^+$) de concentration molaire volumique c (en mol/L).

1. Ecrire les demi-équations redox des couples Cl_2/Cl^- ; I_2/I^- et $S_4O_6^{2-}/S_2O_3^{2-}$.
2. A partir de ces demi-équations :
 - 2.1- donner l'équation bilan de la réaction entre le dichlore Cl_2 et les ions iodure I^- ,
 - 2.2- donner l'équation bilan de la réaction entre le diiode et les ions thiosulfate.
3. Quelle est la relation entre la quantité de matière d'ions thiosulfate versés à l'équivalence et la quantité de matière de dichlore présente en début de dosage ?

C. Détermination du degré de délignification

Le test a été réalisé à partir d'une masse $m = 2,32$ g de pâte.

On désintègre la prise d'essai dans un désintégrateur, puis, on la place dans la fiole de réaction en utilisant 135 mL d'eau pour rincer l'appareil.

La fiole surmontée d'un entonnoir de séparation (muni à sa base d'un robinet) est ensuite mise sous vide à l'aide d'une pompe à vide. Ainsi, on pourra ajouter les différents réactifs sans admission d'air, mais surtout sans perte de dichlore lorsqu'il se sera formé.

On introduit ensuite dans la fiole 10 mL de solution d'acide chlorhydrique. Puis, à l'aide d'une pipette jaugée, on introduit 15 mL d'hypochlorite de sodium dans l'entonnoir. On rince l'entonnoir. On laisse alors s'écouler dans la fiole 20 mL de solution d'ions iodure.

Enfin, on titre le contenu de la fiole avec le thiosulfate de sodium.
Le volume de thiosulfate versé est V_1 exprimé en mL.

On effectue également un « essai à blanc » (sans pâte) de la même façon et dans les mêmes conditions. Cela permet de connaître la quantité totale de dichlore formé.
Le volume de thiosulfate versé est V_2 exprimé en mL.

1. On désire trouver l'expression de la masse de dichlore consommé $(m_{Cl_2})_{cons}$.
 - 1.1- Exprimer la quantité de matière totale de dichlore formé, notée $(n_{Cl_2})_{totale}$ en fonction de c et de V_2 .
 - 1.2- Exprimer la quantité de matière de dichlore restant, notée $(n_{Cl_2})_{restante}$ en fonction de c et de V_1 .
 - 1.3- Exprimer alors la masse de dichlore consommé $(m_{Cl_2})_{cons}$.

$$\text{En déduire la relation : } (m_{Cl_2})_{cons} = \frac{c \cdot (V_2 - V_1) \cdot M_{Cl_2}}{2}$$

BTS INDUSTRIES PAPETIÈRES		Session 2011
Epreuve U32 SCIENCES PHYSIQUES	Code : 11IPPHY1	Page : 11/12

2. Montrer que la consommation en chlore, X, en pourcentage en masse est donnée par

la relation
$$X = \frac{50 \cdot M_{\text{Cl}_2} \cdot c \cdot (V_2 - V_1)}{m}$$
 où :

- les volumes sont exprimés en L,
- m est la masse en gramme de la prise d'essai sur base sèche.

3. Calculer X, sachant que $V_1 = 32,5 \text{ mL}$ et $V_2 = 48,5 \text{ mL}$.

Données :

Masses molaires:

$$M(\text{H}) = 1,00 \text{ g.mol}^{-1} ; M(\text{O}) = 16,0 \text{ g.mol}^{-1} ; M(\text{Na}) = 23,0 \text{ g.mol}^{-1} ; M(\text{Cl}) = 35,5 \text{ g.mol}^{-1}$$

Potentiel standard redox:

$$E^0(\text{Cl}_2/\text{Cl}^-) = 1,36 \text{ V} ; E^0(\text{I}_2/\text{I}^-) = 0,62 \text{ V} ; E^0(\text{S}_4\text{O}_6^{2-}/\text{S}_2\text{O}_3^{2-}) = 0,08 \text{ V}$$

Concentration molaire de la solution de thiosulfate de sodium : $c = 0,20 \text{ mol.L}^{-1}$