

L'épreuve comporte deux parties totalement indépendantes : **mesure de la vitesse et du débit d'écoulement d'un fluide** (liquide ou gazeux) à l'entrée (ou sortie) d'un réacteur chimique ou d'un échangeur (partie PHYSIQUE), puis **conversion industrielle de SO_2 en SO_3 et contrôle de la teneur en SO_2** (partie CHIMIE).

Remarques préliminaires importantes : il est rappelé aux candidat(e)s que :

- ☐ *les explications des phénomènes étudiés interviennent dans la notation au même titre que les calculs.*
- ☐ *les résultats exprimés sans unité ne seront pas comptabilisés.*
- ☐ *dans tous les calculs, les gaz sont assimilés à des gaz parfaits (leurs pressions partielles sont notées en caractères italiques) et les phases solides sont considérées comme non miscibles. Seront utilisés les indices suivants : (s) solide ; (liq) liquide ; (g) gaz. On notera $\ln$, le logarithme népérien et $\log$, le logarithme décimal.*
- ☐ *les données numériques sont répertoriées à la fin de chacune des parties ou sous parties du problème.*

PREMIERE PARTIE : DEBITMETRES A ORIFICE DEPRIMOGENE

Les mesures de débits d'écoulement par organe déprimogène consistent à accélérer l'écoulement par une diminution de la section de passage et à mesurer la variation de pression ainsi provoquée.

Ces débitmètres ont été parmi les premiers utilisés, suite à la découverte en 1797 par G. Venturi du tube qui porte son nom. Ils sont largement répandus en secteur industriel et en génie civil (station de pompage, usine de traitement des eaux, centrale hydroélectrique, ...) tant pour les liquides que pour les gaz et vapeurs ; les organes déprimogènes sont caractérisés par leur rapport de contraction de diamètre et regroupent les tubes de Venturi, les tuyères et les diaphragmes.

A 1 / ETUDE PRELIMINAIRE D'UN ECOULEMENT

Considérons l'écoulement stationnaire d'un fluide homogène, soumis au champ de pesanteur, dans une conduite horizontale dont la section décroît de façon continue, comme le montre la figure 1. Le fluide est supposé incompressible, de masse volumique ρ et de viscosité négligeable. Les pertes de charge ne sont pas prises en compte.

Dans la partie amont (référéncée (1)), de diamètre D_1 (section d'aire S_1), la pression sera notée P_1 et la vitesse du fluide V_1 . Les mêmes grandeurs avec l'indice 2 seront employées pour la zone d'étranglement notée (2). Le rapport des diamètres D_2 / D_1 est appelé β , rapport de contraction.

Figure 1

A1*a. L'écoulement étant supposé unidimensionnel, que pouvez-vous dire des grandeurs liées à tout point d'une section droite de la conduite ?

A1*b. Schématiser quelques lignes de courant dans la conduite ; quelles remarques ce tracé vous inspire-t-il ?

A1*c. Justifier puis écrire la conservation du débit volumique entre les sections droites d'aires S_1 et S_2 .

Dans le cas d'un écoulement stationnaire, homogène, incompressible, Bernoulli a établi la relation :

INCORPORER Equation.DSMT4 [R1]

A1*d. Que représente cette équation ? Quelle est la signification physique de chacun des trois termes ? Appliquer cette relation le long d'une ligne de courant judicieusement choisie.

A1*e. Décrire qualitativement les évolutions de la vitesse et de la pression du fluide lors du rétrécissement de la conduite.

A1*f. Exprimer la vitesse V_2 du fluide au niveau du rétrécissement en fonction de P_1 , P_2 , INCORPORER Equation.DSMT4 et du rapport de contraction INCORPORER Equation.DSMT4 . La variation de pression entre P_1 et P_2 pourra être notée INCORPORER Equation.DSMT4 .

A1*g. Citer des exemples d'applications simples et de réalisations illustrant la variation de pression observée au niveau de la zone contractée (ce qui constitue l'effet Venturi).

A 2 / TUBE DE VENTURI

Monté sur une canalisation cylindrique de section S_1 , ce dispositif comporte successivement un premier tube tronconique dénommé convergent (C) suivi d'un tube cylindrique de section réduite S_2 , appelé col (T), puis d'un second tube tronconique assez long appelé divergent (D), avant de retrouver la section initiale S_1 , comme l'illustre la figure 2. Les angles d'ouverture du convergent et du divergent sont normalisés et désignés par INCORPORER Equation.DSMT4 (respectivement INCORPORER Equation.DSMT4).

Figure 2

Dans les sections 1 et 2 sont insérés deux tubes de faible diamètre INCORPORER Equation.DSMT4 ($d < D_1/10$) reliés à un manomètre rempli de mercure (de masse volumique Hg). Ces prises de pressions sont disposées dans une double enveloppe du tube cylindrique au niveau d'une chambre annulaire (CA), à $D_1/2$ avant (C) pour la zone amont et à $D_1/2$ après (C) pour le col. Lorsque le fluide (qui possède les mêmes caractéristiques d'écoulement que dans l'étude préliminaire) transite dans le tube de Venturi, une dénivellation INCORPORER Equation.DSMT4 est relevée entre les surfaces de séparation mercure/fluide dans les deux branches du manomètre.

A2*a. Expliquer le rôle du convergent (C) dans le tube de Venturi.

A2*b. Justifier la dimension et la localisation des prises de pression.

A2*c. Relier la dénivellation INCORPORER Equation.DSMT4 à la différence de pression INCORPORER Equation.DSMT4 .

A2*d. En utilisant les résultats établis en A1, établir l'expression du débit volumique noté QV sous la forme :

**INCORPORER Equation.DSMT4 , [R2]
K étant un terme constant à expliciter en fonction de D2 et INCORPORER Equation.DSMT4 . En déduire que la dénivellation INCORPORER Equation.DSMT4 résulte du débit volumique de l'écoulement.**

A2*e. Proposer un mode d'étalonnage afin d'obtenir la plus grande précision possible sur la mesure du débit. Comment cette précision évolue-t-elle en fonction de la valeur de INCORPORER Equation.DSMT4 ?

A2*f. Plusieurs classes d'appareils sont répertoriées selon le mode de construction du convergent (matériau brut d'élaboration ou usiné, tôle soudée non usinée), l'usinage ou non du col et des raccords entre col et cônes. Analyser l'influence de ces considérations sur la précision du débitmètre ?

A2*g. A l'aide des caractéristiques géométriques de ce débitmètre et des paramètres expérimentaux fournis ci-après, calculer le débit volumique théorique QV du fluide dans cette conduite (exprimé en m³/heure).

Conduite de refoulement d'une centrale hydroélectrique

Diamètre conduite amont	D1 = 600 mm
Type de fluide	Eau
Température d'écoulement	t = 10°C
Pression amont	P1 = 5 bars
Viscosité du fluide	(η = 10 ⁻³ Pa.s
Masse volumique du fluide	(ρ = 999 kg.m ⁻³
Diamètre du col	D2 = 350 mm
Longueur du convergent	LC = 675 mm
Longueur du col	LT = 700 mm
Longueur du divergent	LD = 1787 mm
Dénivelée manométrique	(h = 21 cm (Hg)
Masse volumique du mercure	(ρ_{Hg} = 13546 kg.m ⁻³
Accélération de la pesanteur	g = 9,81 m.s ⁻²

A2*h. Dans le cas où l'écoulement faiblit, le débit volumique n'étant plus que le dixième du débit maximal autorisé Qv(max), que devient la variation de pression (P mesurée en fonction de sa valeur maximale INCORPORER Equation.DSMT4 ? En déduire qualitativement l'ordre de grandeur de la plage d'utilisation potentielle de ce tube de Venturi.

A2*i. Expliquer le rôle joué par le divergent (D).

A2*j. Calculer les vitesses VE et VS du fluide, les pressions PE et PS aux points E

et S situés, sur une même ligne de courant, respectivement dans les sections d'entrée et de sortie du divergent (de longueur LD).

A2*k. Etablir la loi donnant la variation de pression INCORPORER Equation.DSMT4 en fonction de la variation de vitesse INCORPORER Equation.DSMT4 (variations évaluées selon l'axe x'x), puis de la variation de diamètre INCORPORER Equation.DSMT4 . Exprimer puis calculer les gradients de pression aux points E et S.

A2*l. Afin de diminuer l'encombrement du Venturi, il est usuel de tronquer de 30 % la longueur du divergent (quitte à monter une couronne de raccordement avec le tube de diamètre D1). Calculer les nouvelles valeurs du diamètre INCORPORER Equation.DSMT4 , de la vitesse INCORPORER Equation.DSMT4 et de la pression INCORPORER Equation.DSMT4 en sortie du divergent. Evaluer dans cette configuration le rapport INCORPORER Equation.DSMT4 et donner son sens physique.

A2*m. Envisager les autres sources potentielles d'erreurs de mesure du débit.

Pour prendre en compte ces autres erreurs, les constructeurs d'appareil, dans une plage de fonctionnement donnée et conformément à des normes, introduisent dans [R2] un coefficient correcteur appelé coefficient de décharge CQ (fonction de INCORPORER Equation.DSMT4) :

INCORPORER Equation.DSMT4 [R3]

A2*n. Dans les conditions de l'expérience décrite, CQ vaut 0,985 ; en déduire le débit volumique réel du fluide dans la conduite (exprimé en m³/heure).

A 3 / DIAPHRAGMES

Les débitmètres à diaphragmes, quoique plus rudimentaires et moins précis que les tubes de Venturi, sont appréciés pour leur faible encombrement et l'interchangeabilité de leur dispositif de mesure. Ils sont constitués d'une plaque introduite perpendiculairement à la conduite et percée d'un orifice circulaire (DPH) présentant un double biseau calibré (diamètre D2), comme le montre la figure 3. La conduite amont possède toujours le diamètre D1. Les prises de pression manométriques sont localisées de part et d'autre de la plaque, dans les angles morts.

Figure 3

Les relations théoriques reliant la différence de pression INCORPORER Equation.DSMT4 au débit volumique QV,

établies précédemment pour le tube de Venturi, demeurent valables. Dans le cas précis de l'écoulement d'un gaz, de masse volumique INCORPORER Equation.DSMT4 , il est classique d'exprimer le débit massique comme suit :

INCORPORER Equation.DSMT4

$$Q_m = \frac{C_Q \varepsilon S_1 \beta^2}{\sqrt{1-\beta^4}} \sqrt{2 \rho_g \Delta P}$$

[R4]Le coefficient de décharge noté CQ prend en compte l'ensemble des pertes et des frottements dans le débitmètre. Le coefficient de débit

INCORPORER Equation.DSMT4 est défini comme :

$$Q_m = \frac{C_Q \varepsilon S_1 \beta^2}{\sqrt{1-\beta^4}} \sqrt{2 \rho_g \Delta P}$$

INCORPORER Equation.DSMT4 . Le coefficient de détente

$$Q_m = \frac{C_Q \varepsilon S_1 \beta^2}{\sqrt{1-\beta^4}} \sqrt{2 \rho_g \Delta P}$$

INCORPORER Equation.DSMT4 est une grandeur expérimentale qui traduit le fait que la masse volumique du gaz ne reste pas constante sous l'effet des variations de vitesse. Pour un diaphragme donné, CQ dépend du rapport

$$Q_m = \frac{C_Q \varepsilon S_1 \beta^2}{\sqrt{1-\beta^4}} \sqrt{2 \rho_g \Delta P}$$

INCORPORER Equation.DSMT4 et du nombre de Reynolds Re de l'écoulement évalué dans sa partie amont), comme le précise la relation de Stolz-Gallagher :

$$Q_m = \frac{C_Q \varepsilon S_1 \beta^2}{\sqrt{1-\beta^4}} \sqrt{2 \rho_g \Delta P}$$

INCORPORER Equation.DSMT4 [R5]A3*a.Retrouver l'expression du débit massique. En déduire l'écriture du produit INCORPORER Equation.DSMT4

$$Q_m = \frac{C_Q \varepsilon S_1 \beta^2}{\sqrt{1-\beta^4}} \sqrt{2 \rho_g \Delta P}$$

en fonction de INCORPORER Equation.DSMT4

$$Q_m = \frac{C_Q \varepsilon S_1 \beta^2}{\sqrt{1-\beta^4}} \sqrt{2 \rho_g \Delta P}$$

, INCORPORER Equation.DSMT4

$$Q_m = \frac{C_Q \varepsilon S_1 \beta^2}{\sqrt{1-\beta^4}} \sqrt{2 \rho_g \Delta P}$$

, INCORPORER Equation.DSMT4

$$Q_m = \frac{C_Q \varepsilon S_1 \beta^2}{\sqrt{1-\beta^4}} \sqrt{2 \rho_g \Delta P}$$

, Qm et des grandeurs géométriques.Ce type de débitmètre étant particulièrement approprié au mesurage des débits d'écoulements gazeux, proposons de déterminer le diamètre d'un diaphragme dans le cas d'un écoulement de vapeur d'eau, dans les conditions suivantes :Débit massique :Qm = 1500 kg/heureTempérature :T = 200°CPression amont :P1 = 6 barsPression différentielle :P = 245 mbarsDiamètre conduite amont :D1 = 100 mmMasse volumique du gaz :g = 2,843 kg.m-3Viscosité cinématique du gaz : = 5,5.10-6 m2.s-1Coefficient de détente = 0,987A3*b.Pour vous guider dans votre démarche, commencer par réaliser quelques calculs préliminaires :a)Vitesse V1 dans la conduite amont,b)Nombre de Reynolds amont ReD1),Produit INCORPORER Equation.DSMT4

$$Q_m = \frac{C_Q \varepsilon S_1 \beta^2}{\sqrt{1-\beta^4}} \sqrt{2 \rho_g \Delta P}$$

des coefficients de débit et de contraction.A3*c.Utiliser l'abaque

figure 4) traduisant les variations de INCORPORER Equation.DSMT4

$$Q_m = \frac{C_Q \varepsilon S_1 \beta^2}{\sqrt{1-\beta^4}} \sqrt{2 \rho_g \Delta P}$$

en fonction de INCORPORER Equation.DSMT4

$$Q_m = \frac{C_Q \varepsilon S_1 \beta^2}{\sqrt{1-\beta^4}} \sqrt{2 \rho_g \Delta P}$$

afin d'évaluer INCORPORER Equation.DSMT4

$$Q_m = \frac{C_Q \varepsilon S_1 \beta^2}{\sqrt{1-\beta^4}} \sqrt{2 \rho_g \Delta P}$$

. En déduire le diamètre D2 du diaphragme.A3*d.Calculer le coefficient CQ à l'aide de la relation [R5] . En déduire la valeur de INCORPORER

$$Q_m = \frac{C_Q \varepsilon S_1 \beta^2}{\sqrt{1-\beta^4}} \sqrt{2 \rho_g \Delta P}$$

Equation.DSMT4

puis la loi numérique) reliant Qm à

$$Q_m = \frac{C_Q \varepsilon S_1 \beta^2}{\sqrt{1-\beta^4}} \sqrt{2 \rho_g \Delta P}$$

INCORPORER Equation.DSMT4

. Comparer la valeur numérique du débit massique ainsi obtenue à celle fournie dans les données.A3*e.Dans les mêmes conditions de température et de pression, la valeur limite inférieure du nombre de Reynolds, tel que le stipulent les normes d'utilisation du dispositif, est de 104. De combien pourrait être divisé le débit massique Qm avant de sortir du domaine de normalisation ? En déduire les valeurs minimales de la vitesse V1 et du débit massique.

A3*f. Comparer (de manière qualitative) les pertes de charges occasionnées par le dispositif à diaphragme à celles mesurées dans le tube de Venturi.

Figure 4

DEUXIEME PARTIE : CONVERSION INDUSTRIELLE DE SO₂

La production industrielle d'acide sulfurique repose sur l'oxydation du dioxyde de soufre SO₂ en trioxyde de soufre SO₃ (procédé dit de contact) en présence de catalyseur. Le dioxyde de soufre provient soit de l'oxydation directe du soufre liquide finement pulvérisé, soit des gaz issus des fours de calcination de sulfures métalliques, tels pyrite (FeS) ou galène (PbS).

La réaction d'oxydation de SO₂, réalisée dans un convertisseur où règne la pression P, a pour équation-bilan :

INCORPORER Equation.DSMT4

$\text{SO}_2(\text{g}) + \frac{1}{2} \text{O}_2(\text{g}) = \text{SO}_3(\text{g})$ [1] B 1 / ETUDE DE L'OXYDATION DU DIOXYDE DE SOUFRE

B1*a. A l'aide des données thermodynamiques fournies en annexe, évaluer l'enthalpie libre standard ($\text{rG}^\circ(\text{T})$) de la réaction [1] en fonction de la température, en se plaçant dans les conditions de l'approximation d'Ellingham ; définir le domaine de température où cette réaction peut réellement s'opérer.

B1*b. Exprimer la constante d'équilibre ($K^\circ(\text{T})$) en fonction de la température et l'écrire sous la forme : $\ln [K^\circ(\text{T})] = a/\text{T} + b$ identifier a et b). Calculer K° pour $\text{T} = 718 \text{ K}$.

B1*c. Déterminer et analyser la variance v de l'équilibre [1].

B1*d. Comment choisir la température pour favoriser la synthèse de SO_3 ?

B1*e. Qualifier la pression qui doit régner dans l'enceinte pour optimiser la production de SO_3 . Le taux de conversion de la réaction est défini comme le rapport entre le nombre de moles de SO_3 à l'instant t) et le nombre initial de moles de SO_2 .

B1*f. Montrer que le taux de conversion à l'équilibre, la constante d'équilibre ($K^\circ(\text{T})$), la pression partielle d'oxygène exprimée en bar) ainsi que la pression de référence p° (1 bar) vérifient la relation : INCORPORER Equation.DSMT4

$\text{SO}_2(\text{g}) + \frac{1}{2} \text{O}_2(\text{g}) = \text{SO}_3(\text{g})$ [r1]

En déduire l'effet d'un accroissement de la pression partielle d'oxygène sur la conversion de SO_2 , tous les autres paramètres restant inchangés. Pour des raisons économiques, l'oxygène de l'air (on rappelle qu'une mole d'air est très sensiblement constituée de 0,2 mole de dioxygène et de 0,8 mole de diazote) est préféré à l'oxygène pur. Pour un certain état d'équilibre obtenu, la composition étant de a moles de SO_2 , b moles de O_2 , c moles de SO_3 , d moles de N_2 soit au total N moles gazeuses), introduisons, à température et pression constantes une faible quantité dx de moles d' O_2 .

B1*g. Ecrire l'affinité chimique $A(\text{T})$ de la réaction [1]. En déduire l'expression de sa différentielle dA en fonction de R, T et de la variation relative dQ/Q du quotient de réaction.

B1*h. Exprimer dA en fonction de R, T et de la variation relative dN/N du nombre total de moles gazeuses, puis en fonction de R, T, b, dx et O_2), la fraction molaire de dioxygène.

B1*i. Analyser, à partir des expressions de dA, l'influence de l'air ou de l'oxygène pur sur le déplacement de l'équilibre. Quel est le rôle joué par l'azote de l'air ?

B 2 / SYNTHESE INDUSTRIELLE DE SO_3

A la sortie du four de grillage, on récupère (après dépoussiérage) le dioxyde de soufre dans un mélange (SO_2 , O_2 , N_2) puis on le transforme en trioxyde de soufre par action de l'oxygène de l'air. La réaction ne se produit, avec une vitesse intéressante du point de vue industriel, qu'au-dessus de 800 K ; il est donc nécessaire d'utiliser un catalyseur V_2O_5 (procédé de contact), pour travailler à plus basse température.

Les gaz issus d'un réacteur d'oxydation du soufre liquide ont la composition molaire suivante :

7,6 % SO_2	11,0 % O_2	81,4 % N_2
---------------------	---------------------	---------------------

B2*a. Partant de 100 moles de gaz (SO_2 , O_2 , N_2), déterminer l'expression reliant la constante d'équilibre, la quantité (notée Q) de SO_3 formé et la pression totale P.

B2*b. Le convertisseur fonctionnant à $\text{T} = 718 \text{ K}$, à la pression atmosphérique p° , calculer le taux de conversion (de SO_2 en SO_3 , (effectuer les simplifications que vous jugerez nécessaires à l'obtention d'un taux de conversion proche de l'unité).

L'évolution exacte du taux de conversion (en fonction de la température (la pression totale P demeurant constante), est représentée sur l'abaque suivant (figure 5) :

B2*c. A partir de quelle valeur (approchée) de la température, le taux de conversion (se met-il à chuter ? Sachant que d'un point de vue cinétique, la réaction ne démarre que vers 600 K, évaluer l'intervalle de travail possible.

Dans le contexte industriel, la conversion SO_2 (SO_3) se déroule dans un réacteur d'oxydation catalytique à quatre étages. Dans chaque étage, adiabatique et isobare, la température des gaz passe de T_E à l'entrée à T_S à la sortie. Considérons le premier compartiment, où l'oxydation de SO_2 est réalisée à 718 K sous 1 bar, durant un temps tel que le rendement atteigne seulement ($\eta = 65\%$).

B2*d. Quelle est la composition molaire du mélange de sortie ?

B2*e. Déterminer l'écart ($T_{S1} - T_{E1}$), puis la température de sortie T_{S1} , en considérant que la durée du contact est suffisante pour que ce rendement (η soit atteint (les capacités thermiques molaires à pression constantes sont fournies en annexe).

B2*f. Les gaz, à cette température T_{S1} , peuvent-ils être introduits dans le second étage d'oxydation catalytique ? Quel serait alors le taux de conversion à cette température ? Que conviendra-t-il de faire subir aux gaz entre ces deux étages ? Quel type d'appareil faudra-t-il utiliser ?

B2*g. Les gaz dont la composition relative est celle de sortie du premier étage, sont ramenés à une température de 713 K puis sont introduits dans le second étage où le taux de conversion atteint ($\eta = 80\%$). En déduire, à la sortie de ce second étage, la composition molaire du mélange de sortie, l'écart ($T_{S2} - T_{E2}$), puis la température de sortie T_{S2} , pour le rendement (η).

B2*h. Reproduire succinctement le graphe donnant le taux de conversion en fonction de la température en reportant les résultats obtenus précédemment (pour des deux premiers étages de conversion) sur la figure 5.

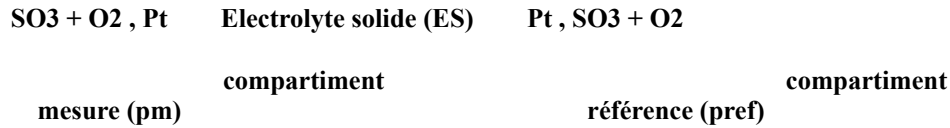
B2*i. Comment imaginez-vous la suite des opérations jusqu'au quatrième étage, afin d'obtenir un taux de conversion final de 99,9 % ?

B2*j. Imaginer un schéma synoptique simple décrivant le parcours des gaz à travers le convertisseur et l'ensemble de l'installation.

B 3 / CONTROLE DE LA TENEUR EN SO₂

Dans le but de contrôler les phénomènes de pollution et corrosion, la teneur en SO₂ est mesurée en continu au niveau du convertisseur et de l'installation, à l'aide d'un capteur à gaz à électrolyte solide.

Le capteur peut être schématisé sous la forme d'une cellule, pouvant s'écrire :



Les électrodes de mesures sont en platine ; pm et pref désignent respectivement les pressions partielles de chaque gaz occupant les compartiment de mesure et de référence ; l'électrolyte solide est un matériau conducteur ionique (Ag₂SO₄-K₂SO₄) renfermant des ions SO₄²⁻ et physiquement imperméable aux gaz. L'ensemble du dispositif est placé dans une enceinte régulée à la température T. Dans les conditions idéales de fonctionnement, cette cellule est caractérisée par une force électromotrice (fém) notée E, entre les électrodes de mesure.

B3*a. Ecrire l'équilibre électrochimique et la réaction chimique apparaissant à chaque électrode (référence, indicée ref et mesure, indicée m) ; en déduire le bilan global.

B3*b. Exprimer, en utilisant la loi de Nernst, les fém E_{ref} et E_m à chaque électrode, puis la fém E aux bornes de la cellule, à une température T donnée.

B3*c. Dans l'hypothèse où les pressions partielles en SO₃ et O₂ dans le compartiment de référence sont connues, simplifier l'expression de E ; en supposant que les pressions partielles en O₂ sont identiques dans les deux compartiments, montrer dans quelle mesure le capteur est approprié à la détermination de la teneur en SO₃.

Afin de déterminer la teneur en SO₂, la cellule est modifiée (figure 6) : le dioxyde de soufre est injecté dans un courant de dioxygène, traverse un catalyseur (base V₂O₅) et le trioxyde de soufre, au contact de l'électrolyte solide (ES) résulte de la réaction [1] étudiée précédemment (constante de réaction K°(T) à la température T). Entre la pression partielle de SO₂ initialement introduite (indicée int) et les pressions partielles en SO₂ et SO₃ à l'équilibre, il convient d'ajouter la relation :

INCORPORER Equation.DSMT4 [r2]

B3*d. Etablir que, dans le compartiment de mesure, la pression partielle p(SO₃)_m vérifie la relation suivante :

INCORPORER Equation.DSMT4 [r3]

B3*e. Exprimer la fém E entre les électrodes de platine en fonction de T, K°(T), p(O₂)_{ref}, p(SO₃)_{ref}, p(O₂)_m et p(SO₂)_{int}.

B3*f. En se plaçant dans les conditions de fonctionnement du dispositif : $T = 700 \text{ K}$, $K(700\text{K}) = 295$, $p(\text{O}_2)_{\text{ref}} = p(\text{O}_2)_m = 1 \text{ bar}$, $p(\text{SO}_3)_{\text{ref}} = 10^{-4} \text{ bar}$ (correspondant à une teneur de 100 ppm [ppm = partie par million] ou 37,6 mg/m³), simplifier l'expression de E et l'écrire en fonction de la pression partielle de SO_2 introduite.

L'évolution de la fém E (en mV) mesurée en fonction de diverses teneurs en SO_2 introduites dans la cellule de mesure, à la température $T = 700 \text{ K}$, est reproduite sur la figure 7.

B3*g. Analyser le tracé proposé.

B3*h. Justifier quantitativement l'utilisation de la loi de Nernst pour valider le bon fonctionnement du capteur. A l'aide de quel appareil la tension E peut-elle être mesurée ?

B3*i. Préciser l'étendue de mesure (en ppm de SO_2) de ce capteur. Quelle est le seuil de tension E_S (en mV) à ne pas dépasser si la limite de rejet au niveau du convertisseur est fixée à 350 ppm ?

DONNEES NUMERIQUES

Données numériques générales :

Masses molaires (en g.mol⁻¹) : O : 16 ; N : 14 ; S : 32

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

Constante de Faraday : $F = 96500 \text{ C.mol}^{-1}$

Données thermodynamiques : (à 298 K) supposées indépendantes de la température

Elément

ou

composé Capacité calorifique molaire
(pression constante)

C_p (J.K⁻¹.mol⁻¹) Enthalpie standard de formation

(fH° (kJ.mol⁻¹)) Entropie molaire standard

S° (J.K⁻¹.mol⁻¹) O_2 (g) 34,20205, N_2 (g) 31,20191, SO_2 (g) 51,1- 296,9248, SO_3 (g) 76,6- 395,7256,6

FIN DE L'EPREUVE