

SESSION 1995

BTS CONTRÔLE INDUSTRIEL ET RÉGULATION AUTOMATIQUE

INSTRUMENTATION ET RÉGULATION

Durée : 4 heures

Coefficient : 5

Le sujet comporte 10 pages, dont 2 annexes qui seront rendues avec la copie.
(L'annexe 2 est fournie en deux exemplaires, dont un sera utilisé pour les essais du candidat)

Les feuilles à rendre seront agrafées à la copie par le surveillant sans aucune identité du candidat.

La calculatrice est autorisée

Note : Lire toutes les questions (les différentes parties sont indépendantes, il est toutefois nécessaire de connaître le contexte global de l'étude proposée).

1. Étude et compréhension du procédé

Procédé étudié : FOUR de FORGE (schéma page 6)

Ce four, non étanche, est destiné au chauffage permanent de pièces métalliques à forger, introduites par la porte P. Le volume intérieur du four est d'environ 50 litres. Les parois sont composées de béton réfractaire et d'isolant supportant les hautes températures. Les produits de la combustion (fumées) s'échappent par une cheminée C à une température de 850 °C environ. La pression intérieure du four est voisine de la pression atmosphérique.

La chaleur permettant de chauffer les pièces métalliques provient de la combustion d'un mélange d'air et de gaz naturel. Le gaz naturel est distribué, sous une pression de 21 mbar, par un détendeur D. L'air prélevé dans l'atelier est propulsé par un ventilateur Va.

La consigne de température intérieure du four est 1 100 °C. Elle ne doit pas dépasser 1 350 °C pour préserver la durée de vie du four.

1.1. Etude d'un thermocouple : (2 points)

Compte tenu des conditions de fonctionnement du four, choisir dans les tableaux suivants le thermocouple et le doigt de gant ou gaine de protection convenant le mieux. Justifier le choix.

Tableau des thermocouple d'après la norme française NF C 42-231

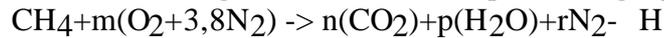
Code	tenue en température en °C		nature des conducteurs		sensibilité en $\mu V/^{\circ}C$ aux environs d'une température de +1 000°C
	usage continu	usage intermittent	conducteur +	conducteur -	
K	0 à +1 100	-180 à +1 350	Nickel-chrome	Nickel-Aluminium	39
R	0 à +1 600	-50 à +1 700	Platine-Rhodié 13 %	Platine	13
S	0 à +1 550	-50 à +1 700	Platine-Rhodié 10 %	Platine	11
B	+100 à +1 600	+50 à +1 750	Platine-Rhodié 30 %	Platine-Rhodié 6 %	9
J	+20 à +700	-180 à +750	Fer	Cuivre-Nickel	59

Tableau des doigts de gant ou gaines pour la protection des thermocouples

Code	Nature de la gaine	Propriétés	température maximale
176	Nickel Chrome Fer	Bonne résistance à une atmosphère oxydante et corrosive, ne pas utiliser en atmosphère sulfureuse au-dessus de 550 °C.	1 200 °C (fusion à 1 400 °C)
IRA	Alumine recristallisée étanche	Bonne résistance aux chocs thermiques, faible coefficient de dilatation, idéale dans les atmosphères réductrices et carbonées	1 800 °C
SC	Carbure de silicium	Matériau poreux, bonne résistance aux chocs thermiques et mécaniques, ne convient pas pour les atmosphères très oxydantes	1 450 °C

1.2. Étude de la combustion : (3 points)

Pour que la combustion du gaz naturel soit complète, il faut, entre autres, que les proportions stoechiométriques du comburant et du combustible soient respectées à tout moment. On admet que la réaction chimique qui a lieu entre l'air et le gaz naturel (méthane pur) est régie par l'équation bilan :



avec $H = 35\,740 \text{ kJ/Nm}^3$ qui est le PCi du méthane, (PCi = pouvoir calorifique inférieur tenant compte de l'échauffement de l'azote de l'air et de l'état vapeur de l'eau).

a/ Equilibrer cette réaction.

b/ Calculer le volume d'air nécessaire à la réalisation de la combustion complète d'un Nm^3 de méthane. (un Nm^3 de gaz correspond à un mètre cube de gaz pris dans les conditions normales : 1 013 mbar et 0 °C).

c/ Calculer la puissance thermique du brûleur dont le débit de méthane est de 15 Nm^3/h , exprimer la en kW.

1.3. Analyse des produits de combustion : (3 points)

Dans la pratique la combustion doit s'effectuer avec un léger excès d'air.

a/ Expliquer pourquoi.

Pour un fonctionnement stable du four, les produits de combustion sont composés de quelques poussières et de différents gaz, dont les teneurs moyennes en volume sont :

oxygène 2 %, dioxyde de carbone 10 %, diazote 70 %, oxyde d'azote 0,2 %, monoxyde de carbone 0,002 % et vapeur d'eau 17,8 %.

L'ensemble d'analyse industrielle est constitué d'un circuit d'échantillonnage et d'un analyseur.

On a choisi de mesurer la teneur en oxygène.

Le schéma de principe de l'analyseur utilisé est fourni page 7.

Son principe de fonctionnement utilise le fait que le dioxygène O_2 est paramagnétique, c'est à dire susceptible d'être dévié par un champ magnétique. Le dispositif permet de créer une force parallèle à l'axe du tuyau de raccordement à la cellule (zone 1) et dont l'intensité dépend de la teneur en oxygène du mélange M.

Données :

* le champ magnétique créé par l'électroaimant 1 est alternatif de fréquence 8 Hz environ.

* le détecteur de débit 3 est constitué de 2 résistances actives faisant partie d'un pont de Wheatstone.

b/ Expliquer comment, dans le cas de cet analyseur, les variations de teneur en oxygène du gaz sont converties en un signal de mesure image.

c/ Quel est le principe de fonctionnement du détecteur de débit ?

d/ Choisir l'étendue de mesure la mieux adaptée, parmi les suivantes :

0 - 2 % 0 - 5 % 0 - 10 % 0 - 21 %

e/ L'analyseur a besoin, pour fonctionner correctement, d'un échantillon de gaz propre, sec, à une pression de 100 mbar et à une température de 20 °C. Donner le schéma complet du circuit d'échantillonnage reliant le four de forge à l'analyseur. Justifier le rôle et la position des éléments choisis.

2. Étude et compréhension du système de contrôle commande

La température intérieure du four est mesurée par un thermocouple T_h , placé à l'arrière du four, dans un doigt de gant. Une seule chaîne de régulation assure le contrôle et le maintien de la température du four, en agissant sur la vitesse de rotation du ventilateur d'air V_a .

Rappel : pour un ventilateur de type centrifuge, on sait que le débit d'air est proportionnel à la vitesse de rotation.

2.1. Analyse de la chaîne de température : (4 points)

Un mélangeur M , constitué d'un tube Venturi, a été choisi ici pour des raisons de simplicité et de coût. Il remplit les deux fonctions essentielles :

- * mélanger au mieux le gaz naturel et l'air qui seront envoyés ensuite à la rampe de brûleurs du four.
- * maintenir constante la proportion entre les débits massiques d'air et de gaz. Elle est donnée par le rapport :

$$\frac{Q_{m,air}}{Q_{m,gaz}} = \frac{D^2}{d^2} \times \sqrt{\frac{\rho_{o,air}}{\rho_{o,gaz}}}$$

$Q_{m,gaz}$ et $Q_{m,air}$ représentent les débits massiques de gaz et d'air.

$\rho_{o,air}$ et $\rho_{o,gaz}$ représentent les masses volumiques dans les conditions normales, de l'air et du gaz.

La puissance calorifique produite par un brûleur quelconque peut être calculée par :

$$P_c = \frac{Q_{m,air}}{Q_{o,gaz}} \times PC_i$$

Données :

- $P_c \text{ maxi} = 134 \text{ kW}$ $PC_i \text{ du gaz} = 37\,584 \text{ kJ/Nm}^3$
 $\rho_{o,air} = 0,8 \text{ kg/Nm}^3$ $\rho_{o,gaz} = 1,293 \text{ kg/Nm}^3$
 $d \text{ diamètre du tuyau d'arrivée du gaz} = 5,1 \text{ mm}$
 $D \text{ diamètre intérieur du venturi où passe l'air} = 19 \text{ mm}$

a/ Calculez le débit d'air nécessaire, exprimé en Nm^3/h , à la puissance maximum du brûleur ?

b/ Calculez le rapport des débits d'air et de gaz (en Nm^3/h par exemple). Le comparer au rapport stoechiométrique qui est de 9,8 pour ce gaz de combustion.

En déduire que la combustion s'effectue bien avec un excès d'air. Pourquoi ?

e/ Ce dispositif ne convient qu'à des unités de puissance calorifique inférieure à 400 kW.

Il ne permet pas d'assurer le réglage du rapport entre les débits d'air et de gaz avec précision et dans une grande plage de variation de puissance.

En conséquence on préfère pouvoir agir séparément sur les deux débits d'air et de gaz. A cet effet on propose deux stratégies de régulation (voir schéma de l'Annexe 1 à rendre avec la copie).

Shéma 1 : On désire maintenir constante la température du four et la proportion entre les débits d'air et de gaz.

Shéma 2 : On désire compléter le schéma 1 en ajoutant une régulation permettant de maintenir constante la teneur en oxygène dans les fumées.

Compléter les deux schémas de l'annexe 1 sans modifier l'instrumentation qui y figure.

Dans le deuxième cas on pourra :

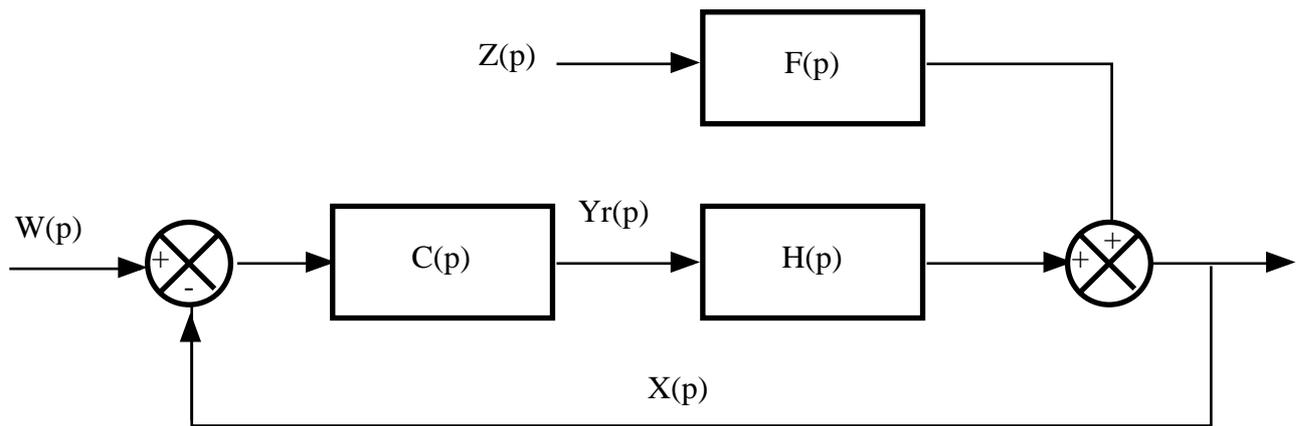
- soit corriger le débit d'air,
- soit corriger la proportion entre l'air et le gaz.

Dans tous les cas on indiquera très précisément le type d'opérateur du bloc FY01, en écrivant explicitement la relation entre les grandeurs reliées à ce bloc.

Dans le deuxième cas on précisera le sens d'action du bloc AIC4.

2.2. Identification en chaîne ouverte

Le schéma fonctionnel de la chaîne de régulation de température peut être modélisé de la façon suivante, autour d'un point de fonctionnement.



avec :

- $C(p)$ fonction de transfert du correcteur ;
- $H(p)$ fonction de transfert du procédé, y compris celle de l'organe de réglage et du transmetteur,
- $F(p)$ fonction de transfert perturbatrice,
- W consigne, X grandeur réglée, Y_r signal réglant.

Toutes ces grandeurs s'expriment en pourcentage de l'échelle de régulation.

a/ quelles sont les 2 perturbations principales (Z_1 , Z_2) de la température du four ?

b/ Un essai en boucle ouverte (régulateur en mode manuel) a été réalisé. En appliquant un échelon négatif de 10 % sur la commande du moteur du ventilateur d'air V_a (les perturbations Z_1 et Z_2 ne subissant aucune variation pendant l'essai), on obtient l'enregistrement ANNEXE 2 (à rendre avec la copie).

* déterminer les paramètres du modèle dont la fonction de transfert est de la forme :

$$H(p) = \frac{K \times e^{-Tp}}{1 + p} = \frac{X(p)}{Y_r(p)}$$

* Faites apparaître, sur l'annexe 2 que vous rendrez avec votre copie, les relevés expérimentaux utilisés dans la détermination du modèle de donner les valeurs de T , t .

Remarques relatives à l'enregistrement : l'essai a été effectué à une température voisine du point de consigne 1 100 °C.

L'agrandissement de l'enregistrement correspond aux valeurs suivantes :

0 -> 900 °C

100 -> 1200 °C

L'étendue de mesure du transmetteur est 0 - 1 400 °C.

Compte-tenu de l'allure de l'enregistrement justifier la méthode utilisée.

2.2.1. Régulation en chaîne fermée

Le régulateur de fonction de transfert $C(p)$ est du type PID avec une structure mixte.

a/ Expliciter $C(p)$ en adoptant A pour l'amplification, T_i pour le temps de l'action intégrale et T_d pour celui dérivée.

b/ Donner l'expression générale de la fonction de transfert de l'ensemble du système bouclé

$F(p) = \frac{X(p)}{W(p)}$ sans tenir compte des perturbations.

c/ Autour d'un point de fonctionnement stable de 1100°C , obtenu à l'aide d'un BIAS ajustable sur le régulateur, la fonction de transfert $H(p)$ peut être modélisée par :

$$H(p) = \frac{0,5e^{-12p}}{1 + 90p}$$

Les actions intégrales et dérivées étant annulées, A valant 3, on effectue un échelon de consigne $W = 5\%$. Déterminer la variation x correspondante en pourcentage puis en $^\circ\text{C}$.

Que constate-t-on ? Que faut-il faire pour obtenir une précision statique parfaite ?

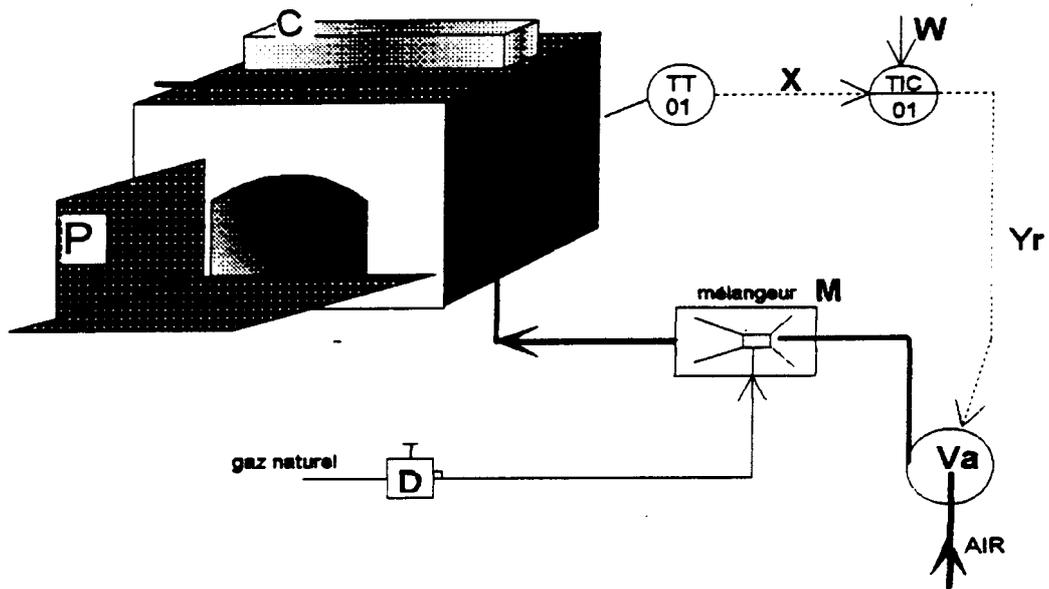
d/ On réalise un saut de consigne avec équilibrage, c'est à dire sous forme d'une rampe de pente 5% par minute.

Les actions intégrale et dérivée sont remises en service avec : $T_i = 30\text{ s}$ et $T_d = 5\text{ s}$.

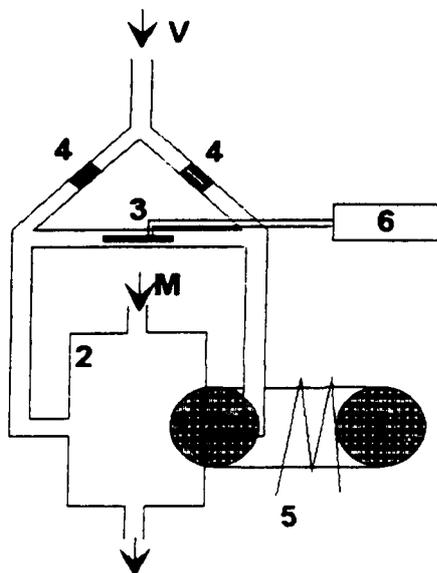
* Exprimer la réponse $X(p)$.

* Exprimer $X(p) - W(p)$ et calculer l'écart résiduel ou l'erreur de traînage. Peut-on la supprimer totalement ? Pourquoi ?

FOUR de FORGE



SCHEMA de PRINCIPE de l'ANALYSEUR



V gaz de référence (azote pur)
débit: 0,3l/h

M gaz à mesurer, débit 30l/h

- 1 électroaimant
- 2 cellule de mesure d'O₂
- 3 détecteur de débit
- 4 restrictions
- 5 alimentation de 1
- 6 électronique de traitement du signal de 3

ANNEXE 1
à rendre avec la copie

Schéma 1

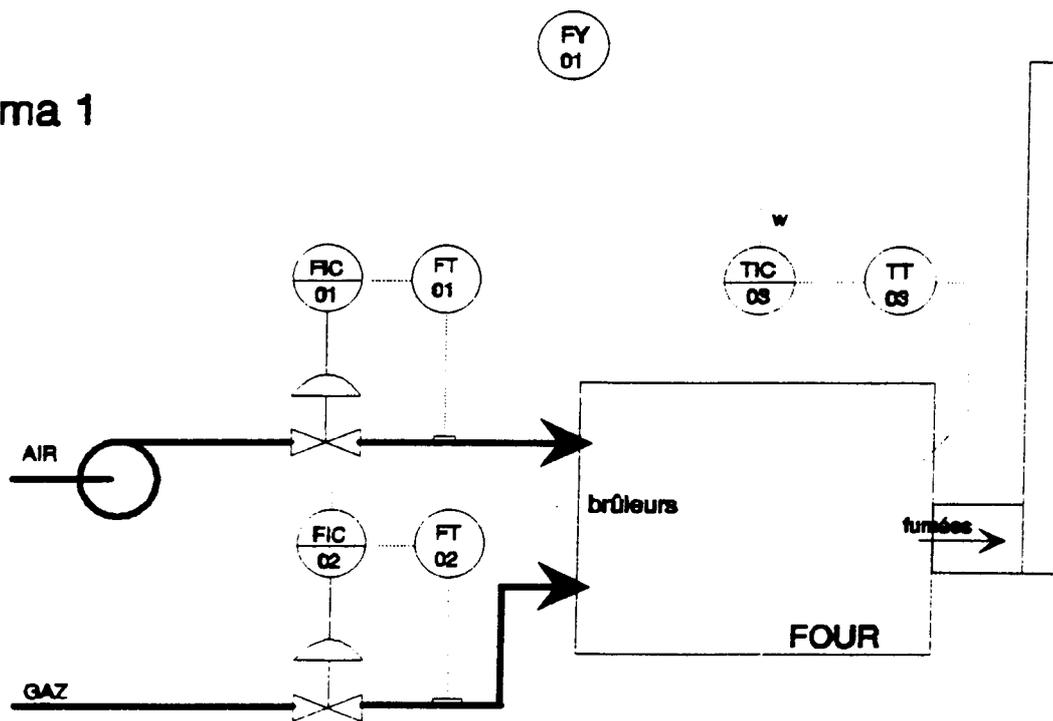
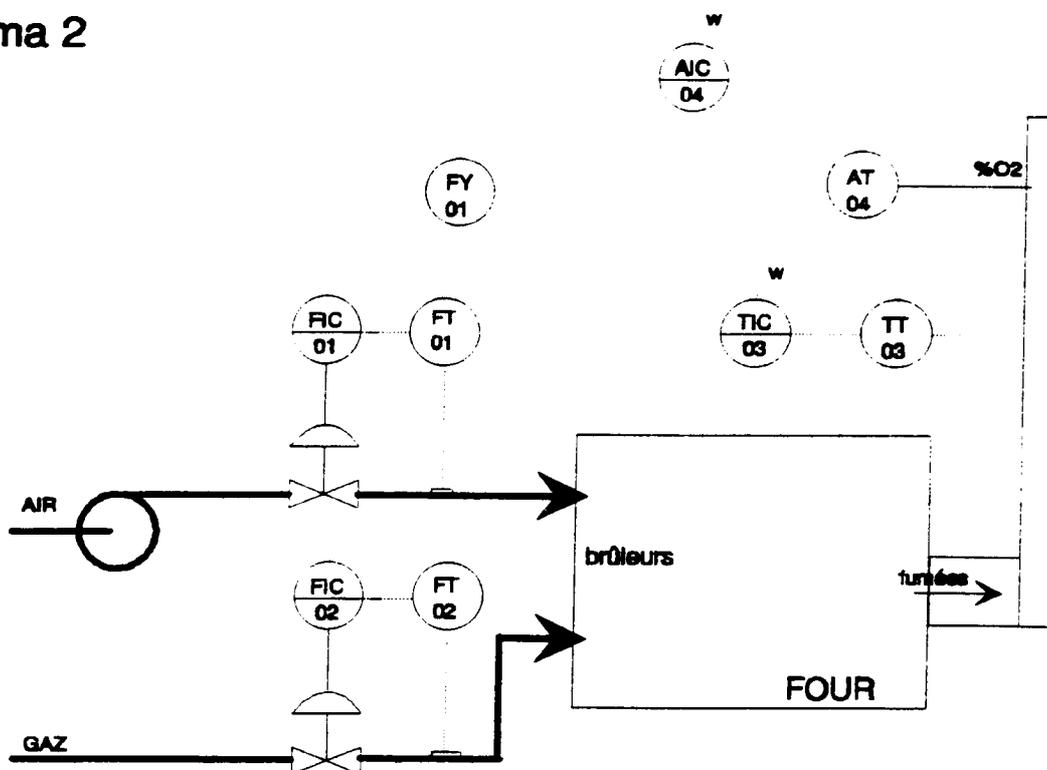


Schéma 2



ANNEXE 2

(à rendre avec la copie)

