SESSION 1995

BTS CONTRÔLE INDUSTRIEL ET RÉGULATION AUTOMATIQUE

INSTRUMENTATION ET RÉGULATION

Durée : 4 heures Coefficient : 5

Le sujet comporte 9 pages ainsi que 4 documents réponses joints (Doc 1,2,3 et 4) à rendre avec votre copie.

La calculatrice est autorisée.

Les différentes parties sont largement indépendantes. Il est toutefois vivement recommandé de prendre connaissance de l'ensemble du sujet avant de commencer l'étude proposée.

Les notations

D'une manière générale les lettres majuscules représentent des signaux absolus, les lettres minuscules représentant des petites variations autour d'un point de fonctionnement.

Exemples :

Y_R : signal de sortie d'un régulateur, $y_R=\Delta Y_R$: ses variations.

M : signal de sortie d'un transmetteur, $m=\Delta M$: ses variations.

Sauf indications contraires, les grandeurs sont exprimées en unités physiques dans la partie instrumentation. Dans la partie régulation, elles seront exprimées en pourcentage de l'échelle d'un transmetteur ou de la plage de variation maximale (dans les deux cas, on parle alors de grandeurs normalisées).

Description de l'installation

Le schéma Tl d'une colonne à distiller à plateaux est fourni sur le document réponse DOC. l. La charge de cette colonne est un mélange de trois constituants X, Y et Z auxquels s'ajoutent dans des proportions variables des gaz non condensables. Son rôle est de séparer les produits X et Y du produit Z moins volatil.

Le débit de la charge est imposé par les unités de traitement situées en amont de la colonne étudiée. Ce débit est mesuré par FT6 ; il est susceptible de varier de ±30% de sa valeur nominale.

Le titre du produit Z en tête de colonne doit être inférieur à 0,1%. Cette qualité est contrôlée par un analyseur (AT). Des essais ont montré qu'une bonne image de cette qualité est aussi donnée par la température en tète de colonne (TT3).

Bien que les titres des produits X et Y ne soient pas mesurés en fond de colonne, leur présence à ce niveau représente une perte économique non négligeable. Des essais ont montré que la température du plateau n°10 de la colonne (TTl) est l'image de cette perte.

Le contrôle de cette température permet d'assurer une teneur minimale en produits X et Y en fond de colonne.

notations et caractéristiques

définition de la grandeur		*symbole*	*unité*	*repère*	*échelle*
charge	débit massique	QC	kg/s	FT6	0 à 2 kg/s
produit de tête	pression	P2	bar rel.	PT2	0 à 16 bar*
	température	T3	°C	TT3	0 à 100 °C
distillat	niveau	L4	%	LT4	–
	concentration en produit Z	CZ	%	AT	0 à 1 %
gaz non condensables	débit	QG	non mesuré		
reflux	débit massique	QR	%	FIT3	à calculer (B.1.)
plateau n°10	température	T1	°C	TT1	0 à +120 °C
produit de fond	niveau	L5	%	LT5	--
eau condenseur	débit massique	QE	non mesuré		
vapeur rebouilleur	débit massique	QV	kg/s	FT1	0 à 0,5 kg/s

*1 bar = 10^5 Pa

Toutes les vannes ferment par manque d'air (FMA) à l'exception de PV2a et TV3 qui ouvrent par manque d'air (OMA). On précise que les vannes OMA sont de type NO (normalement ouvertes) et les vannes FMA de type NF (normalement fermée). Cette seconde appellation concerne le sens d'action qui lie l'ouverture de la vanne au signal réglant Y R.

Instrumentation (7 points)

I. Choix du capteur FIT3 (5 points)

II est demandé dans un premier temps d'analyser la technique de mesure du débit de reflux (FlT3), puis de déterminer, à partir du document constructeur, la référence du capteur de pression différentielle et enfin de chiffrer son prix.

Dans le cadre de la prédétermination du capteur, on utilise une technique de calcul approximatif (le calcul complet est précisé par les normes NF Xl0.102 et NF Xl0.104)

Caractéristiques techniques du point de mesure :

Environnement :

Zone dangereuse	Corrosif
Non	Non

Tuyauterie :

Dénomination	Diamètre extérieur	Diamètre intérieur (Di)	Matière
2"	60,3 mm	52,5 mm	acier

Diaphragme :

Type de prise de pression	Matière	Prise de pression	Diamètre de l'orifice à la température de service (d)
dans les angles	Acier	2 taraudages 1/4" NPT	28,87 mm

Fluide :

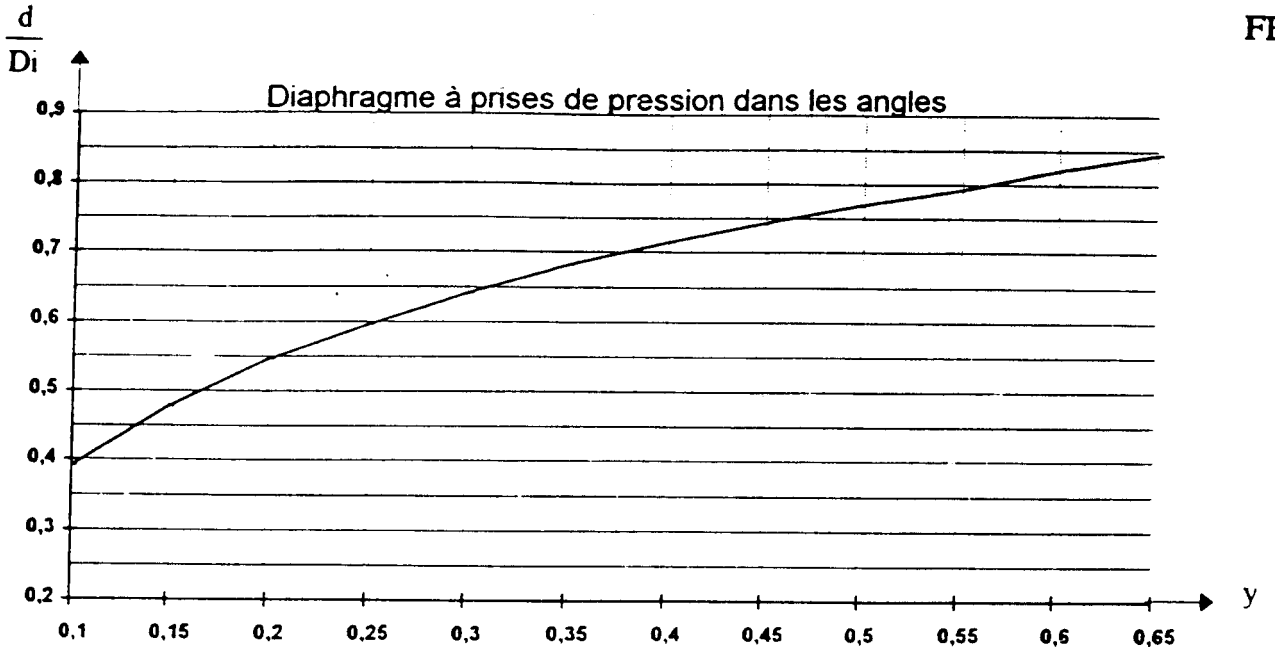
Type de fluide	Nature du fluide	Vitesse maximale	Masse volumique	Température	Pression
Liquide non corrosif	Non chargé	2 m/s	500 Kg/m3	30 °C	6 bars

A. Compréhension de la technique de mesure

1. Faire apparaître les prises de pression et la différence de pression mesurée (APm) sur le document réponse DOC.2.
2. Tracer l'évolution de la pression quand le débit augmente (on suppose la pression amont constante).
3. La mesure de ΔPm est effectuée avec un capteur de pression différentielle VEGADIF 30 (Annexe page 9). Donner le schéma de montage de ce capteur permettant une maintenance simple et un fonctionnement correct. Préciser les fonctions des différents éléments du montage et situer HP et BP.
4. Donner un avantage et un inconvénient de ce principe de mesure de débit.

B. Choix du capteur

1. Calculer le débit massique maximum pour la vitesse maximale autorisée.
2. Calculer la différence de pression aux bornes de l'organe déprimogène en utilisant l'abaque suivant qui lie masse volumique, différence de pression, diamètre intérieur de la conduite, diamètre orifice diaphragme et débit massique.



Relation à utiliser : $Y = \frac{Qm}{D_i^2}\sqrt{\frac{1}{\rho \Delta P_m}}$ avec :

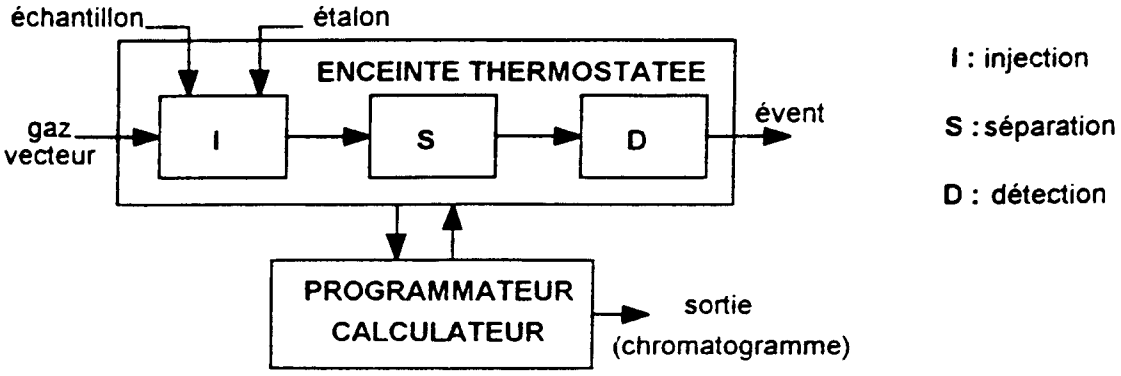
- Qm : débit massique ;
- Di : diamètre intérieur de la conduite ;
- r : masse volumique ;
- ΔPm : différence de pression aux bornes du diaphragme ;
- d : diamètre intérieur du diaphragme.

Toutes les unités sont des unités SI.

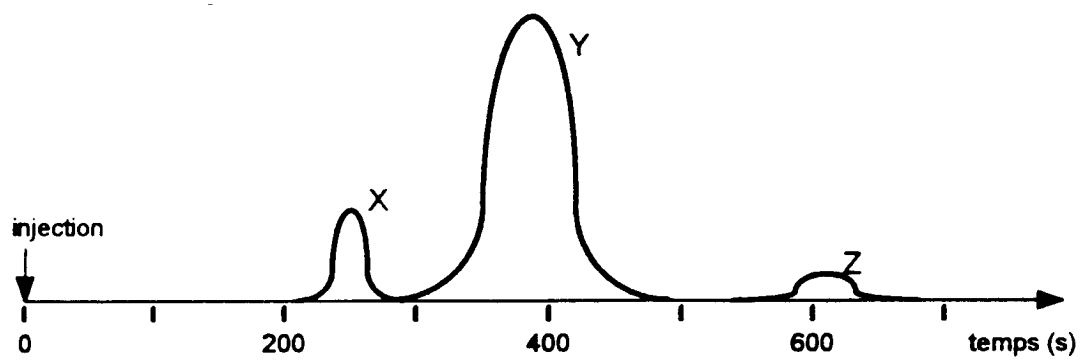
3. Sachant que le signal fourni par ce capteur doit être proportionnel au débit et que sa fixation sur la tuyauterie sera réalisée avec des vis Ml0, en prenant en compte l'aspect financier de l'opération, établir le code de commande en complétant le document réponse DOC.3. Justifier brièvement les codes retenus dans la grille prévue à cet effet en bas de page du document réponse.
4. Donner son prix.

II. Analyseur (2 points)

L'analyseur est un chromatographe en phase gazeuse. Son schéma fonctionnel de principe est donné ci-dessous.



L'allure du chromatogramme obtenu sur cette installation est la suivante :



1. Comment détermine-t-on les concentrations relatives des constituants X, Y et Z et quels sont les temps de rétention brute ?
2. Comment est réalisée la séparation ?
3. L'une des fonctions du programmateur est d'assurer la gestion des cycles d'analyse. Dans le cas présenté, quelle est la durée minimale d'un tel cycle ? Comment peut-on la réduire ?
4. La détection est effectuée par un catharomètre. Quelle est la propriété physique du gaz mesurée avec ce catharomètre ?

Régulation

I. Schémas de boucle (5 points)

Pour chaque chaîne de régulation étudiée, on complétera le schéma Tl du document réponse DOC. l .Les sens d'action des vannes sont rappelés sur le schéma précité.

1. Régulation de la pression de tête P2

On désire réaliser une régulation utilisant deux grandeurs réglantes :

- débit d'eau condenseur QE
- débit des gaz non condensables QG.

a) Comment varie la pression P2 quand la vanne PV2a s'ouvre ?
b) Comment varie la pression P2 quand la vanne PV2b s'ouvre ?
c) Sachant que pendant les périodes de dégazage, la condensation des produits de tête doit être maximale, compléter le diagramme de partage d'échelle du document réponse DOC. l .
d) Compléter le schéma TI et déterminer le sens d'action du régulateur PIC2 et compléter le diagramme de partage d'échelle en notant bien qu'en ordonnée figurent les pourcentages de commande des vannes et non le pourcentage d'ouverture.

2. Régulation des niveaux L4 et L5

Compléter le schéma TI et déterminer les sens d'action des régulateurs LIC4 et LIC5.

3. Régulation de la température T1

a) Sachant que !a pression de l'alimentation vapeur (repère b) et le débit de charge

(repère a) peuvent fluctuer, à partir de l'instrumentation installée, proposer une stratégie de régulation permettant de compenser les perturbations évoquées. Justifier votre solution.

b) Compléter le schéma Tl et déterminer le(s) sens d'action du (des) régulateur(s).

4. Régulation de la température de tête T3

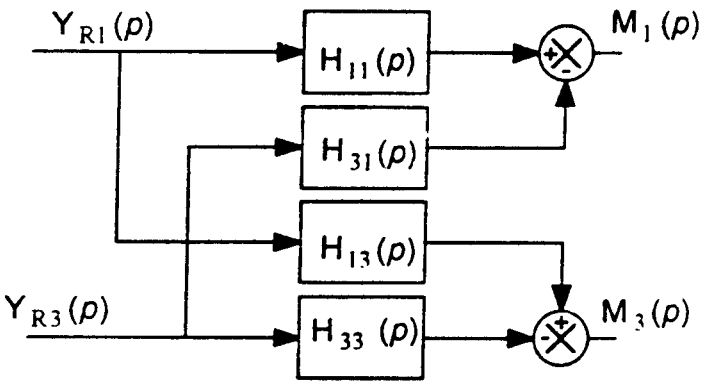
a) Comment varie la température T3 quand la vanne TV3 s'ouvre ?
b) Proposer une stratégie de régulation avec cascade sur la grandeur réglante Qv Compléter le schéma TI et déterminer le sens d'action des régulateurs.
c) Sachant que la température T3 est un bon indicateur de la qualité du produit de tête et qu'elle doit être corrigée par la mesure du titre en produit Z effectuée par l'analyseur, proposer une stratégie de correction de la consigne de température T3.

II. Mise en oeuvre d'un découpleur (4 points)

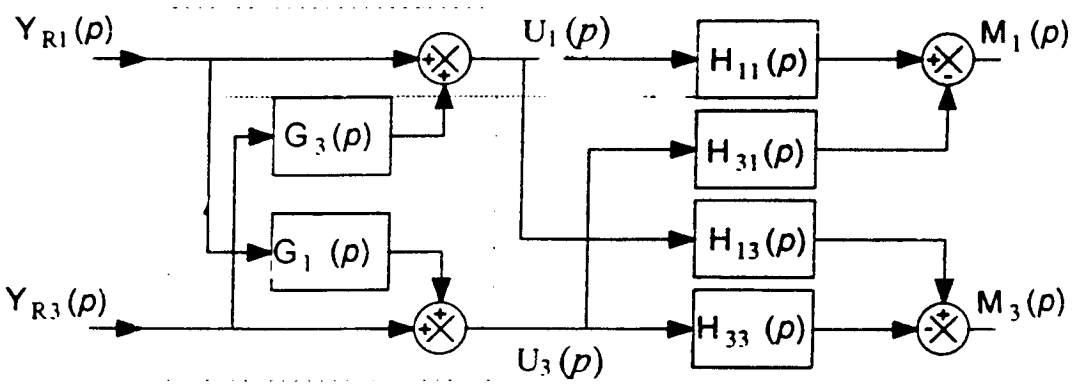
Les deux grandeurs réglantes choisies pour contrôler T1 et T3, à savoir le débit vapeur QV pour T1 et le débit de reflux Q_R pour T3, agissent simultanément sur ces deux températures.

C'est un procédé multivariable. Une série d'essais d'identification autour du point de fonctionnement nominal a conduit au schéma fonctionnel fourni ci-contre.

Y_{R1} et Y_{R3} sont respectivement les signaux de commande des débits Qv et QR, M_1 et M_3 étant respectivement les signaux fournis par TTl et TT3.



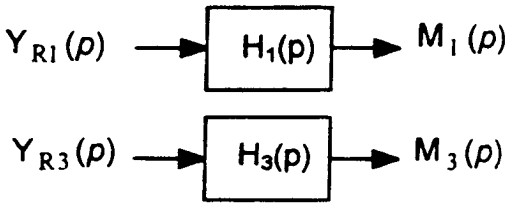
Pour rendre les chaînes de régulation de Tl et T3 indépendantes, on se propose de mettre en oeuvre un découpleur. Le schéma fonctionnel devient alors :



1. Calcul du découpleur

Déterminer $G_1(p)$ et $G_3(p)$ en fonction des transmittances $H_{11}(p)$, $H_{13}(p)$, $H_{31}(p)$ et $H_{33}(p)$ Pour que :

- $M_3(p)$ soit indépendant de $Y_{R1}(p)$,
- $M_1(p)$ soit indépendant de $Y_{R3}(p)$.



Le schéma fonctionnel global peut alors se mettre sous la forme :

2. Application numérique

Les grandeurs sont exprimées en %, l'unité de temps est la seconde. Les transmittances déterminées en conservant Y_{R3} constant sont :

$$H_{11}(p) = \frac{0,5}{1+800p} \qquad H_{13}(p) = \frac{0,9e^{-120p}}{1+200p}$$

Les transmittances déterminées en conservant Y_{R1} constant sont :

$$H_{31}(p) = \frac{0,08e^{-30p}}{1+250p} \qquad H_{33}(p) = \frac{0,4}{1+900p}$$

En déduire les expressions numériques de $G_1(p)$ et de $G_3(p)$.

3. Réalisation du découpleur dans un SNCC

Quels types de module de calcul doit-on utiliser dans un SNCC pour réaliser $G_1(p)$ et $G_3(p)$?

4. Étude de $H_1(p)$

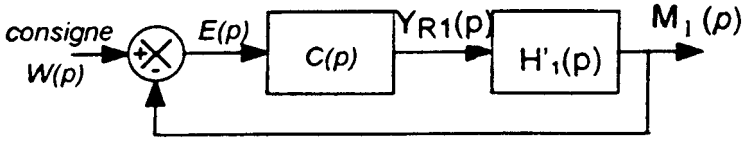
a) Déduire des questions précédentes l'expression numérique de la transmittance $H_1(p) = \frac{M_1(p)}{Y_{R1}(p)}$.

b) Pour un échelon de 10% de $Y_{R1}(t)$, calculer la variation de $M_1(t)$ après disparition du régime transitoire (t->∞). En déduire le gain statique de $H_1(p)$.

c) La mise en (ou hors) service du découpleur nécessite-t-elle une modification des réglages des régulateurs fournissant les signaux Y_{R1} et Y_{R3} ? Justifier votre réponse.

III. Synthèse d'un régulateur

En faisant quelques approximations que nous n'étudierons pas ici, on montre que le schéma fonctionnel de la boucle de régulation de température Tl se met sous la forme :



avec $H'_1(p) = \frac{0,32e^{-500p}}{1+2000p}$

II est demandé de calculer un correcteur PID permettant d'avoir un écart statique nul et une marge de phase de 50 degrés.

Le correcteur C(p) a pour fonction de transfert : $C(p) = A(1 + \frac{1}{T_i p} + T_d p)$

Une première approche simple consiste à rechercher C(p) pour que la transmittance en chaîne ouverte se mette sous la forme :

$$T(p) = C(p)\ H'_1(p) = \frac{k}{p}\ e^{-500p}$$

1. Écart statique nul

Monter que T(p) permet d'avoir effectivement un écart statique nul en chaîne fermée.

2. Calcul de Ti et de Td

Déterminer Ti et Td pour que la fonction de transfert en chaîne ouverte soit T(p).
Exprimer k en fonction de A.

3. Calcul de A

Calculer la valeur numérique de A permettant d'obtenir une marge de phase de 50 degrés.

4. Abaque de Black-Nichols

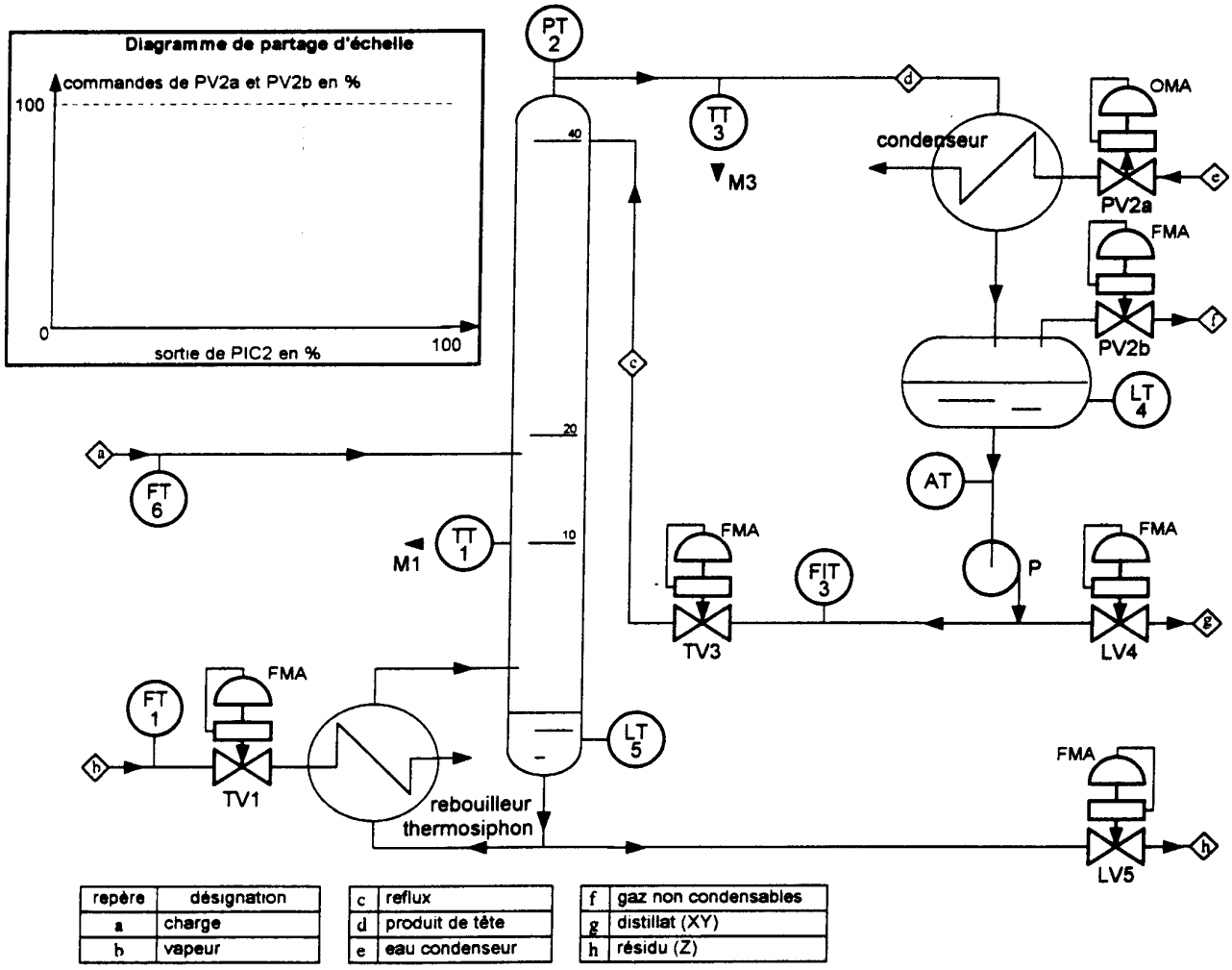
Sur l'abaque de Black-Nichols, fourni sur le document réponse DOC.4, figure le lieu de $T(j\omega)$. Les réponses aux questions suivantes seront données sur ce document réponse.

a) Faire apparaître et mesurer la marge de gain et la marge de phase.
b) Quelle courbe isogain le lieu vient-il tangenter ?
c) Qu'en déduirez vous quant à la stabilité ?
d) Prévoir le type de réponse indicielle de la chaîne fermée (apériodique, oscillatoire peu ou très amortie). Pourquoi ?
e) Quelle est la propriété du lieu de $T(j\omega)$ qui permet d'affirmer que l'écart statique en chaîne fermée est bien nul ?

5. Critère de stabilité

Peut-on envisager l'étude de la stabilité de cette boucle en utilisant le critère de Routh Hunvitz ? Si oui, comment ? Si non, pourquoi ?

Document réponse DOC 1



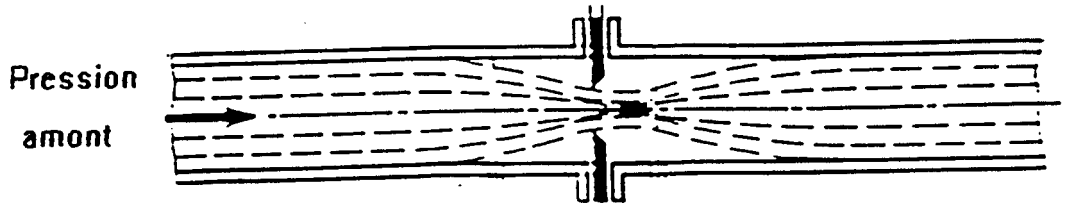
repère	désignation
a	charge
b	vapeur

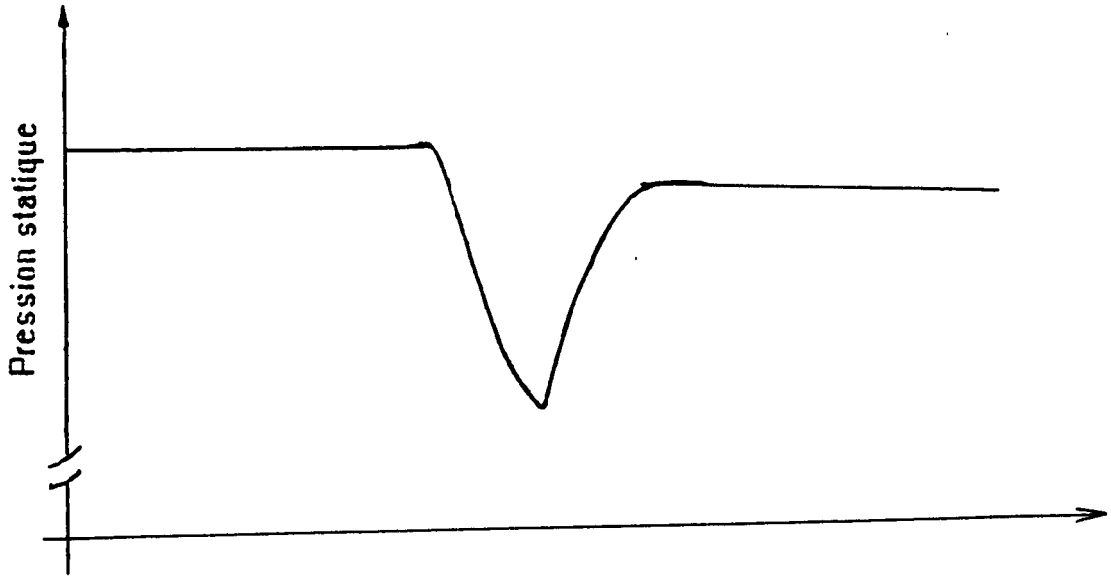
c	reflux
d	produit de tête
e	eau condenseur

f	gaz non condensables
g	distillat (XY)
h	résidu (Z)

Document réponse DOC 2

VARIATION DE LA PRESSION STATIQUE DU FLUIDE AU PASSAGE D'UN DIAPHRAGME





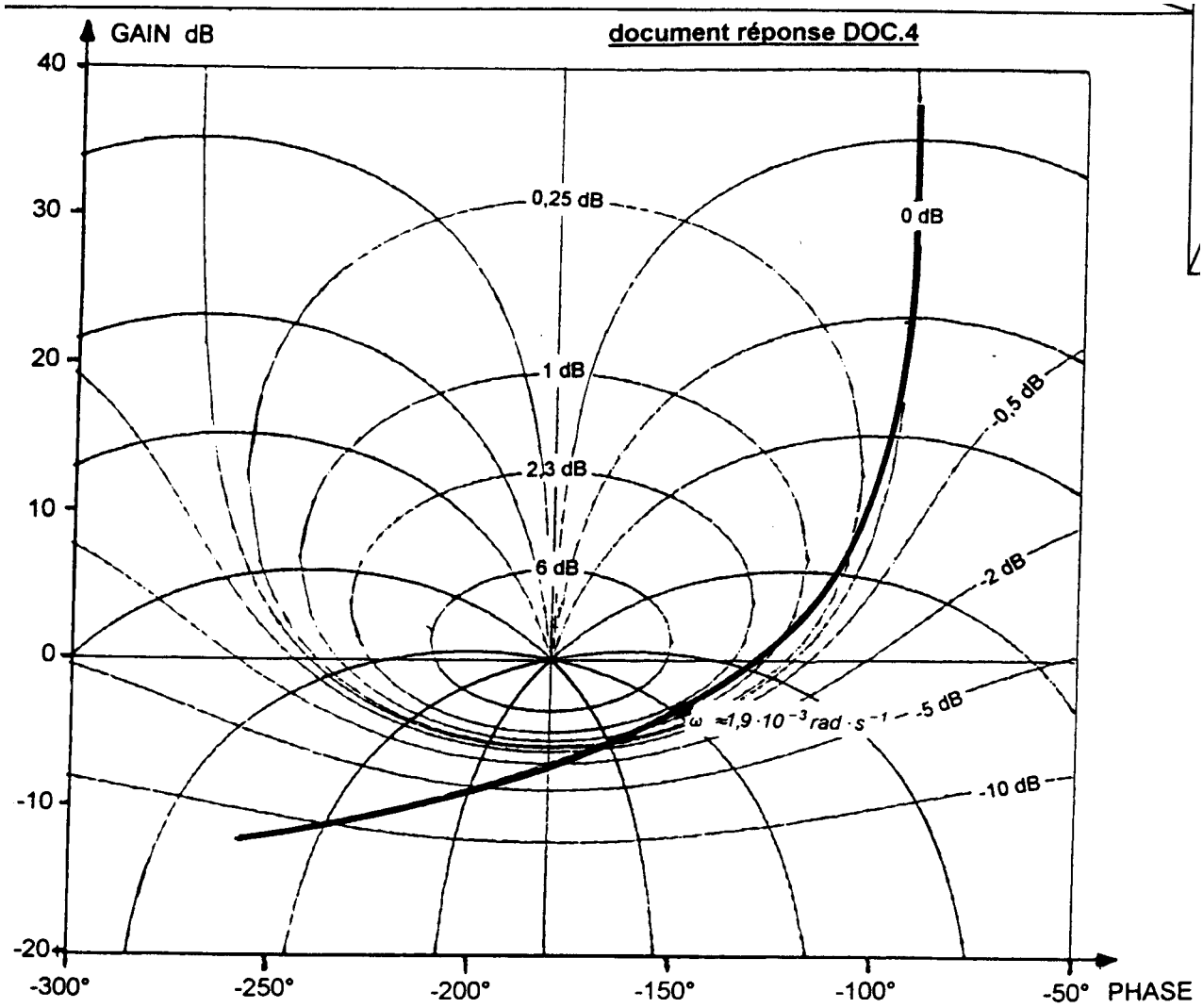
CODE DE COMMANDE DU VEGADIF 30

Prix de base de l'appareil : 6685 Frs (Hors Taxes)

Code de commande	Prix HT(francs)
Agrément Zone Dangereuse	
0 sans agrément	0,-
1 agrément Zone1	152,-
Affichage	
N sans affichage	0,-
Z affichage analogique	646,-
Boitier de l'électronique	
1 entrée de câble Pe 13.5	0,-
Cellule de mesure / pression nominale / plage de mesure	
B 25 mbar / PN 10 / -25 ... + 25mbar	0,-
D 100 mbar / PN 16 / -100 ... + 100mbar	0,-
F 500 mbar / PN 100 / -500 ... + 500mbar	0,-
H 1250 mbar / PN 100 / -1250 ... + 1250mbar	0,-
L 3000 mbar / PN 100 / -3000 ... + 3000mbar	0,-
Calibration	
1 proportionnelle à la pression différentielle pour plage nominale (0....valeur finale)	0,-
2 proportionnelle à la pression différentielle pour plage spéciale	133,-
3 proportionnelle au débit pour plage nominale(0....valeur finale)	0,-
4 proportionnelle au débit pour plage spéciale	133,-
Boitier de la cellule de mesure	
C Inox	0,-
Joint d'étanchéité	
1 Viton(-20°C... + 80°C)(standard)	0,-
2 EPDM (-20°C... + 80°C)	76,-
3 Kalrez (+ 15°C... + 80°C)	1699,-
Matériau du raccord process	
1 Acier	0,-
2 Inox	722,-
3 Hastelloy	4997,-
Raccord Process / Filetage de fixation	
A 1/4" NPT / 7/16 UNF	0,-
B 1/4" NPT / M10	0,-
C 1/4" BSP / 7/16 UNF(PVDF)	0,-
E 1/4" BSP / M10 (PVDF)	0,-
Bouchon de purge	
3 sans	0,-
1 en Inox	100,-
2 en Hastelloy	1600,-

DIF 30						C	1			

justifier brièvement vos choix sur les lignes ci-dessus



a) Faire apparaître et mesurer la marge de gain et la marge de phase.

b) Quelle courbe isogain le lieu vient-il tangenter ?

c) Qu'en déduisez vous quant à la stabilité ?

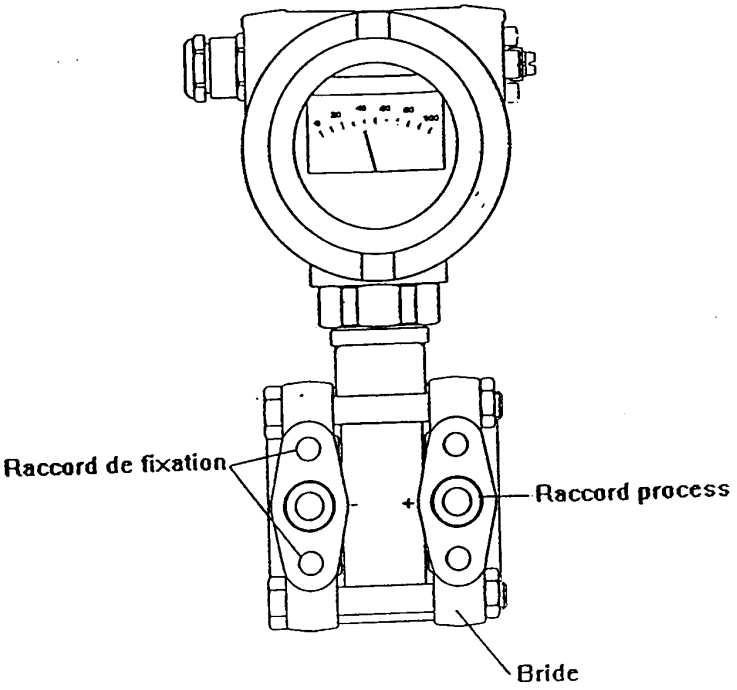
d) Prévoir le type de réponse indicielle de la chaîne fermée (apériodique, oscillatoire peu ou très amortie). Pourquoi ?

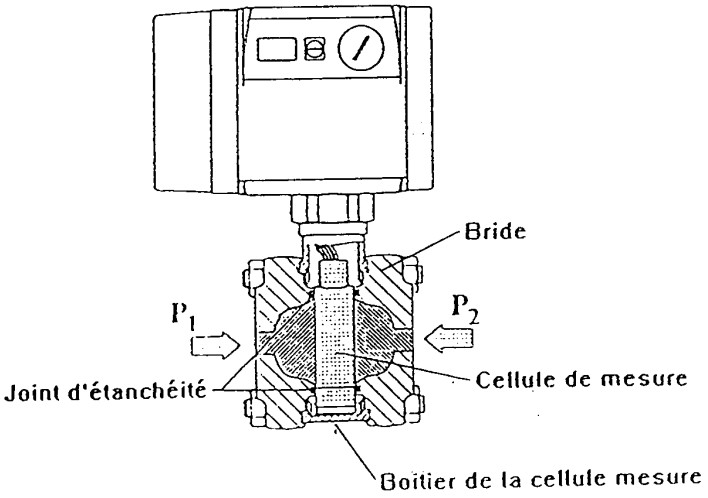
e) Quelle est la propriété du lieu de $T(j\omega)$ qui permet d'affirmer que l'écart statique en chaîne fermée est bien nul?

ANNEXE 2

VEGA

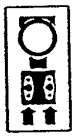
VEGADIF 30





cellule de mesure	plage nominale en mbar	plage de réglage du début de mesure en mbar	plage de réglage du début de mesure en % de la plage nominale	plage de réglage de l'échelle de mesure en mbar
B	0 ... 25	–25 ... 15	–100 ... 60	1,25 ... 25
D	0 ... 100	–100 ... 95	–100 ... 95	5 ... 100
F	0 ... 500	–500 ... 475	–100 ... 95	25 ... 500
H	0 ... 1250	–1250 ... 1190	–100 ... 95	60 ... 1250
J	0 ... 3000	–3000 ... 2850	–100 ... 95	150 ... 3000

Capteur de pression différentielle avec cellule autosurveillée en céramique et raccordement selon DIN 19 213



Précision standard
> 0,1 %

Plages de mesure de
25 mbars à 3000 mbars

Début d'échelle réglable de
-100 % à +95 % de la plage de mesure

Echelle de mesure réglable jusqu'à 1 : 20 de la plage de mesure

Signal de sortie 4 ... 20 mA proportionnel à la pression différentielle ou proportionnel au débit (au choix par commutation)

VEGA Technique S.A.
Mesure de niveau électronique
BP 18 • ZA NORDHOUSE
67151 ERSTEIN CEDEX
Tél. 88 98 18 18
Télex 890-526
Téléfax 88 98 18 33