

SESSION 1997

BTS CONTRÔLE INDUSTRIEL ET RÉGULATION AUTOMATIQUE

INSTRUMENTATION ET RÉGULATION

Durée : 4 heures

Coefficient : 5

L'utilisation d'une calculatrice réglementaire est autorisée.

Ce sujet comporte 13 pages numérotées de 1 à 12 plus une page 3bis

Le sujet comporte trois parties indépendantes :

- Instrumentation
- Conception de système de contrôle commande
- Étude de boucles de régulation.

PRÉSENTATION DE L'INSTALLATION

Le générateur de vapeur dont le schéma est donné en annexe 1 page 7 permet de transformer l'eau du circuit secondaire en vapeur saturée grâce à l'énergie thermique apportée par le fluide du circuit primaire.

La vapeur obtenue est ensuite surchauffée puis envoyée sur une turbine couplée à un alternateur et enfin condensée pour être réinjectée dans le générateur de vapeur. Il s'agit d'un circuit fermé.

INSTRUMENTATION (10 pts)

1.1. Étude du capteur de niveau LE2 et de son transmetteur LT2

La mesure est réalisée à l'aide d'un capteur de pression différentielle à cellule inductive dont on se propose d'étudier les caractéristiques.

1.1.1. Donner le principe de fonctionnement de la cellule inductive à transformateur différentiel (on pourra s'aider d'un schéma).

Quelle est la nature du signal fourni par la cellule de mesure LE2 ?

1.1.2. Réaliser le schéma d'installation sur la figure 1 du document réponse de l'annexe 2 page 8, faisant apparaître les accessoires nécessaires à sa mise en service, son fonctionnement et sa maintenance. Situer les chambres HP et BP sachant qu'à une augmentation de niveau (H) dans le générateur de vapeur doit correspondre une augmentation du signal de sortie.

1.1.3. Sachant que la masse volumique du fluide dans les tuyauteries d'instrumentation est $1 : 1000 \text{ kg/m}^3$, exprimer en fonction de P_0 (pression vapeur) et de H et h1 repérées sur la figure 1 page 8 :

- la pression côté HP ;
- la pression côté BP ;
- déterminer les réglages du transmetteur LT2 (décalage du zéro et étendue d'échelle)
- tracer la courbe $H = f(P)$ avec P en mbar et H en mètre.

1.1.4. Donner la référence du transmetteur, à l'aide de la documentation en annexes 4-1 et 4-2 pages 10 et 11.

1.1.5. Réaliser le schéma de raccordement électrique du transmetteur de type 2 fils sur la figure 2 du document réponse de l'annexe 2 page 8 en sachant que :

- le régulateur ne fournit pas la tension d'alimentation du transmetteur.

1.2. Étude du Venturi et de son transmetteur FT1

Le Venturi est calibré pour délivrer une pression différentielle variant de 0,000 à 1,800 bar pour un débit massique Q_m variant de 0 à 2400 tonnes par heure.

1.2.1. Rappeler l'expression générale liant le débit volumique Q_v et la pression différentielle P .

1.2.2. Quelle est la pression différentielle délivrée pour un débit de 2000 tonnes par heure ?

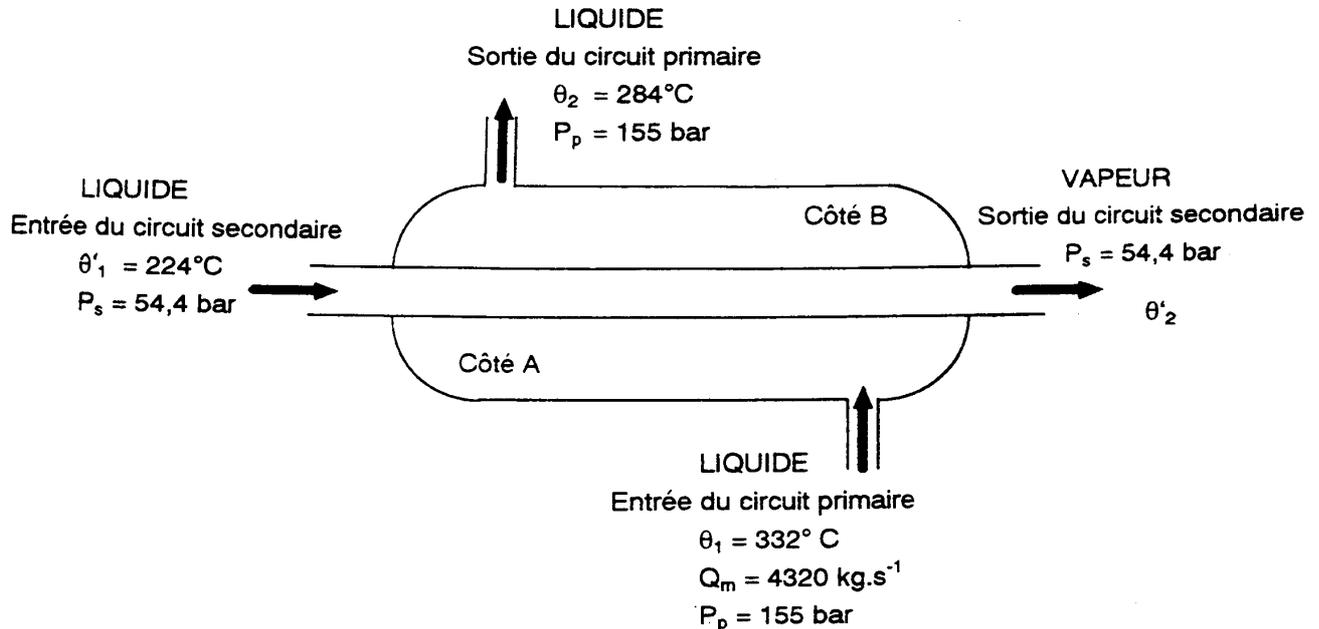
1.2.3. Ce Venturi a un rapport de diamètre $\beta = \frac{d}{D} = 0,6$.

A l'aide du graphique de "annexe 3 page 9, calculer la perte de charge résiduelle provoquée par ce Venturi pour une pression différentielle mesurée de 1,25 bar.

1.2.4. Calculer la puissance hydraulique en watts absorbée par ce Venturi, pour un débit d'eau de 2000 tonnes par heure (masse volumique de l'eau : 100 kg.m^{-3}).

1.2.5. Quelle est l'économie de puissance réalisée en utilisant un Venturi au lieu d'un diaphragme de même rapport de diamètre β ? (voir annexe 3 page 9).

1.3. Étude énergétique du générateur de vapeur



1.3.1. Circuit primaire

On néglige les pertes thermiques à travers les parois. L'échangeur sera donc considéré comme adiabatique vis à vis de l'extérieur.

Calculer la puissance thermique (P_{th}) de l'échangeur. ($C_p = 4180 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ pour l'eau à l'état liquide).

1.3.2. Circuit secondaire

Toute l'énergie fournie par le circuit primaire sert uniquement à faire passer l'eau du circuit secondaire de l'état liquide à l'état vapeur. cette transformation se fait à température constante.

La puissance thermique P_{th} est fonction du coefficient d'échange K ($W.m^{-2}.K^{-1}$), de la surface d'échange S et de la différence de température logarithmique moyenne

$$\log = \frac{\max - \min}{\ln\left(\frac{\max}{\min}\right)} \text{ avec :}$$

- \max = différence des températures d'entrée ;
- \min = différence des températures de sortie.

La relation liant K , S et \log est la suivante $P_{th} = KS \cdot \log$.

- Sachant que la surface d'échange est de 4800 m², calculer K .

CONCEPTION DU SYSTÈME DE CONTRÔLE COMMANDE (2,5 pts)

Il s'agit d'établir le schéma de régulation du niveau dans le générateur de vapeur par action sur le débit d'eau.

- 2.1. Établir sur la copie le schéma TI "Tuyauterie.instrumentation" de la régulation simple de niveau (régulation monoboucle).
- 2.2. Le débit d'eau Q_e est sujet à des variations dues à des perturbations. Identifier la perturbation principale. Proposer une stratégie et un schéma de régulation permettant d'améliorer les performances vis-à-vis de cette perturbation. (Utiliser l'instrumentation en place : voir annexe 1 page 7).
- 2.3. Les variations du débit vapeur Q_v génèrent des perturbations importantes, les expliciter. En conséquence, établir sur le document réponse annexe 1 page 7, le schéma de l'ensemble des chaînes de régulation de niveau. Justifier précisément le rôle de chaque bloc.

On donne : $H_y(p) = \frac{1}{1 + y p}$ avec $y = 2s$

$$H_e(p) = \frac{K_e}{1 + e p}$$

On admet : $H_s(p) = \frac{e^{-T p}}{1 + s p}$ avec $s = 20s$; $T = 4s$

$$H_v(p) = H_s(p)$$

$C_b(p)$ est un correcteur de type PI mixte :

$$C_b(p) = A_b \left(1 + \frac{1}{T_{ib} p} \right) \text{ avec } A_b = 4$$

3.1.1. Déterminer la fonction de transfert $F_1(p) = \frac{Q_e(p)}{W_b(p)}$ avec $Z(p) = 0$.

3.1.2. Par un choix judicieux de T_{ib} , vérifier que l'on peut écrire $F_1(p)$ sous la forme d'un système du premier ordre de gain unitaire et de constante de temps $\tau = \frac{y}{A_b}$. Calculer τ .

3.2. Régulation cascade (Boucle B2)

Dans cette question, on considère $Z(p) = 0$ et $Q_v(p) = 0$.

3.2.1. Écrire la fonction de transfert $F_2(p) = \frac{N(p)}{W_a(p)}$ en fonction de $C_a(p)$, $F_1(p)$ et $H_s(p)$.

3.2.2. Montrer que l'expression de $F_2(p)$ peut être simplifiée en négligeant τ devant s .

3.2.3. Le régulateur $C_a(p)$ est un régulateur à action proportionnelle P. $C_a(p) = A_a = 4$. Calculer l'écart statique pour un échelon de consigne de 20% en supposant l'écart statique nul initialement.

3.2.4. On choisit maintenant pour $C_a(p)$ les actions PI : $C_a(p) = A_a(1 + \frac{1}{T_{ia}p})$

On règle $T_{ia} = s$.

- Que devient l'écart statique ?
- Calculer le nouveau gain A_a afin de respecter une marge de gain de 6 dB.
- Tracer l'allure du lieu de $C_a(j\omega)$, $H_s(j\omega)$, dans le diagramme de Nyquist ou de Black.

3.2.5. On désire ajouter une action dérivée D. Donner la fonction de transfert d'un correcteur PID en précisant sa structure.

Qu'apporte l'action D par rapport à la stabilité ? Justifier sur un diagramme de votre choix.

3.3. Régulation de tendance :

La fonction de transfert $G(p)$ permet de neutraliser l'influence de $Q_v(p)$ sur le niveau $N(p)$.

3.3.1. Déterminer le signe manquant au niveau du bloc . (page 3bis).

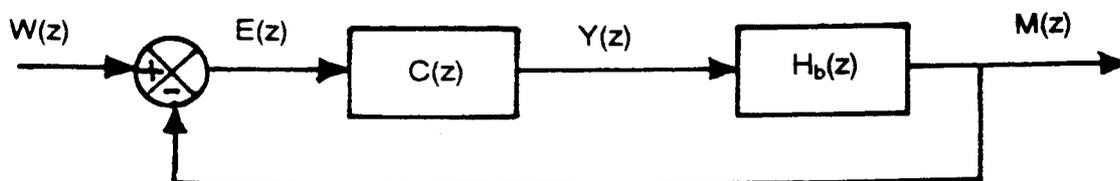
3.3.2. Avec les conditions $Z(p) = 0$ et $\frac{Q_e(p)}{W_b(p)} = 1$ écrire $N(p)$ en fonction de $W_a(p)$ et $Q_v(p)$ à partir du schéma fonctionnel représenté page 3bis.

3.3.3. La perturbation $Q_v(p)$ influence-t-elle la stabilité du système ? Justifier.

3.3.4. La constante de temps ' étant toujours négligée par rapport à a , déterminer et calculer $G(p)$.

3.4. Régulation numérique

On s'intéresse à la détermination des paramètres d'un correcteur numérique $C(z)$, du schéma fonctionnel suivant :



où $C(z) = \frac{c_0 + c_1z^{-1}}{1 - z^{-1}}$ et $H_b(z) = \frac{az^{-1}}{1 + bz^{-1}}$

$H_b(z)$ correspond à la fonction de transfert d'un procédé associé à un bloqueur d'ordre zéro.

3.4.1. On désire obtenir en boucle fermée un comportement analogue à la discrétisation du premier ordre $F(p) = \frac{1}{1 + p}$

En utilisant la table fournie en annexe 5 page 12, déterminer cette fonction de transfert que l'on notera $F_D(z)$.

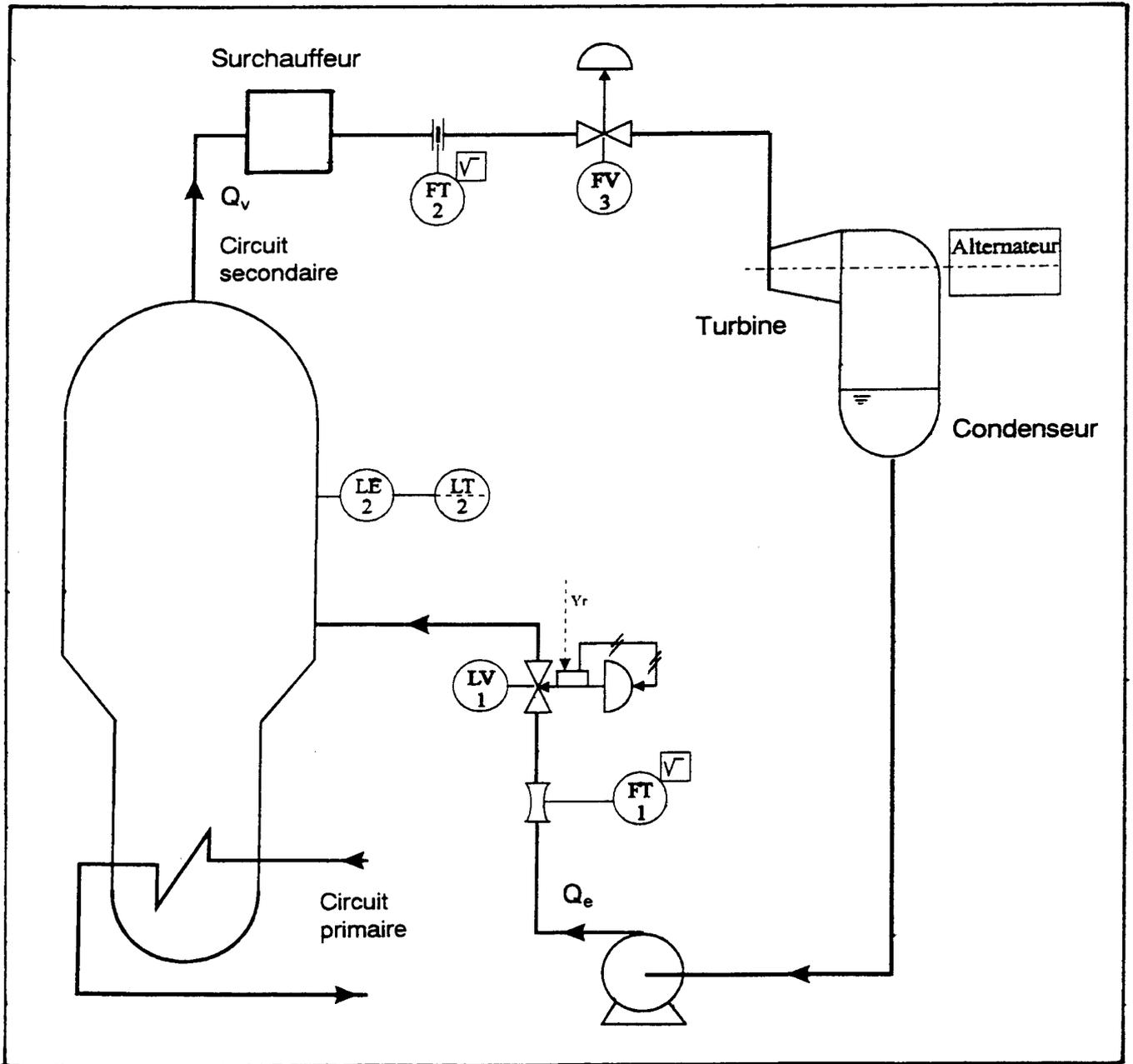
3.4.2. A partir du schéma fonctionnel précédent, déterminer la fonction de transfert $F(z) = \frac{M(z)}{W(z)}$ en fonction de a, b, c_0 et c_1 .

3.4.3. Montrer que si $b = c_1 / c_0$, la fonction $F(z)$ peut être identifiée à $F_D(z)$.

3.4.4. On donne $b = -1,05$ et $c_0 = 0,5$. Calculer la valeur numérique de c_1 .

En déduire l'équation aux différences (appelée aussi équation de récurrence) du correcteur $C(z)$ ainsi réalisé.

DOCUMENT RÉPONSE
ANNEXE 1



DOCUMENT RÉPONSE
ANNEXE 2

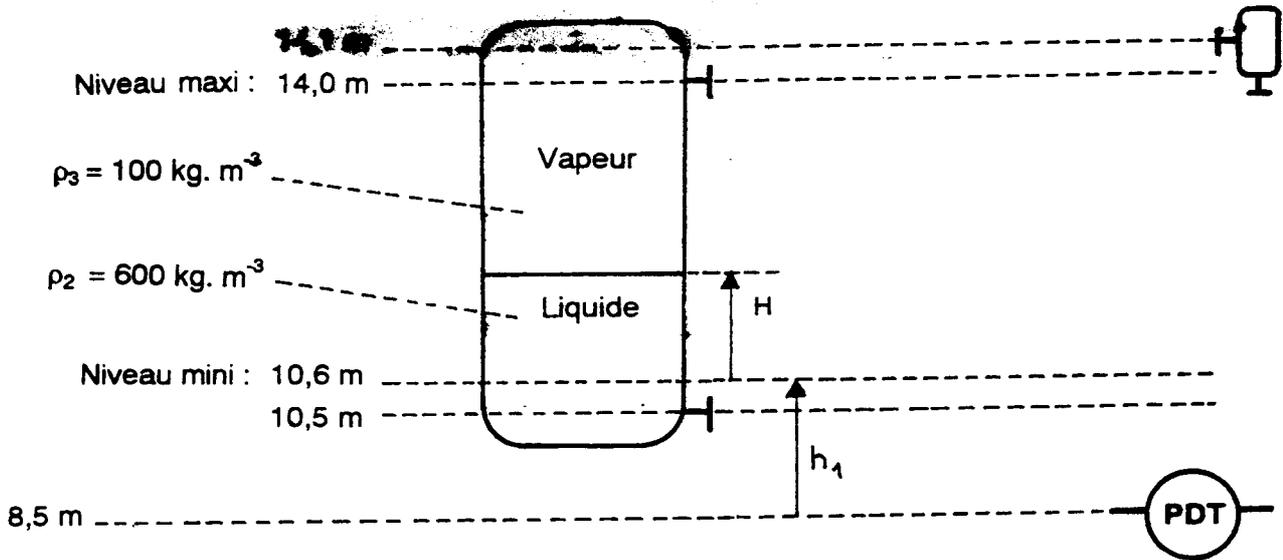


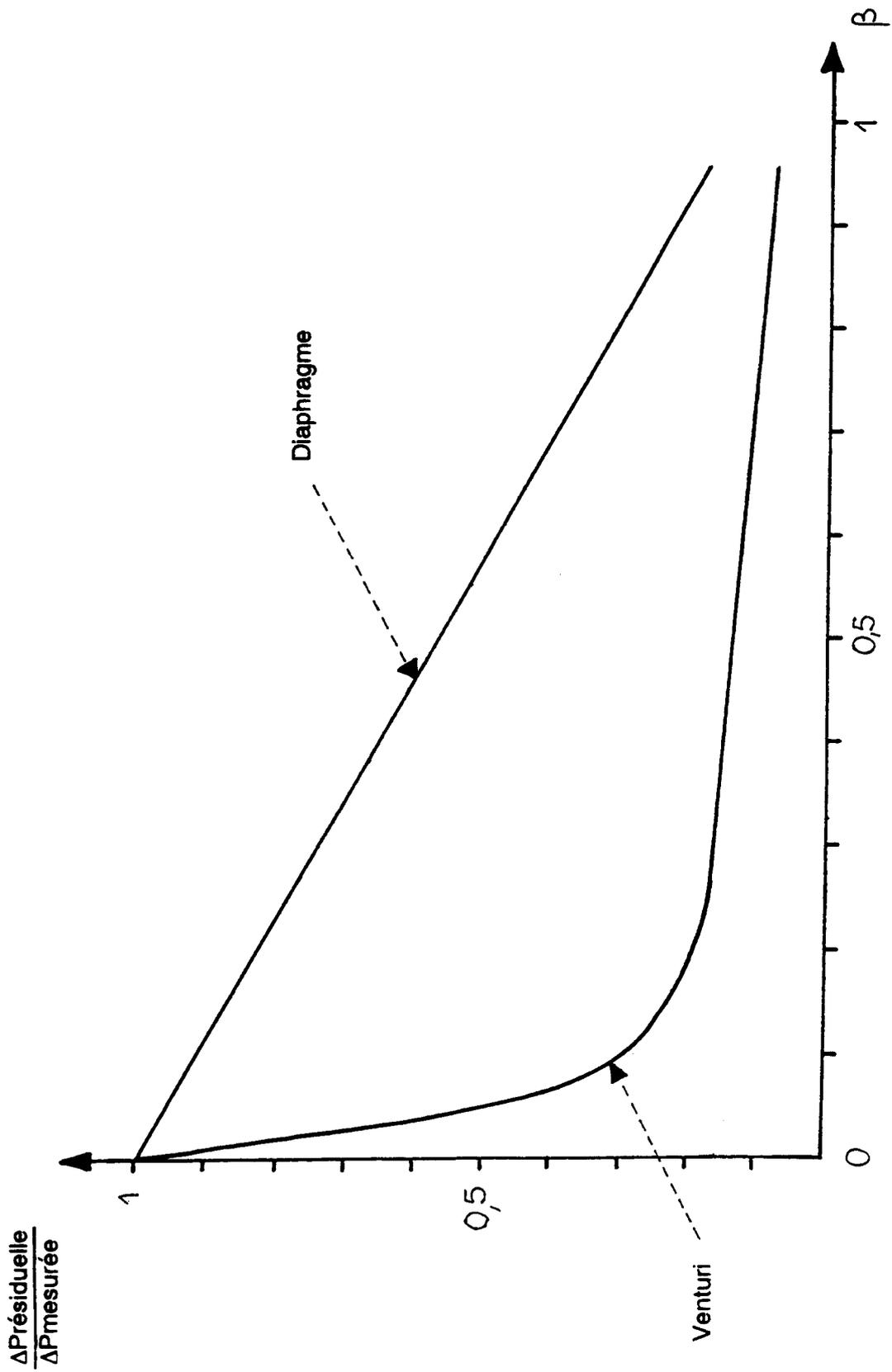
Figure 1

Les instruments reçoivent directement en entrée un courant $I : 4 < I < 20 \text{ mA}$,



Figure 2

ANNEXE 2



GRAPHIQUE

TRANSMETTEURS NUCLEAIRES SERIE 6000 «BIBLOC» DE PRESSION DIFFERENTIELLE, RELATIVE ET ABSOLUE

TYPES 6447 B, 6647 B et 6437 B

**Mesure de pressions différentielles,
relatives ou absolues :**

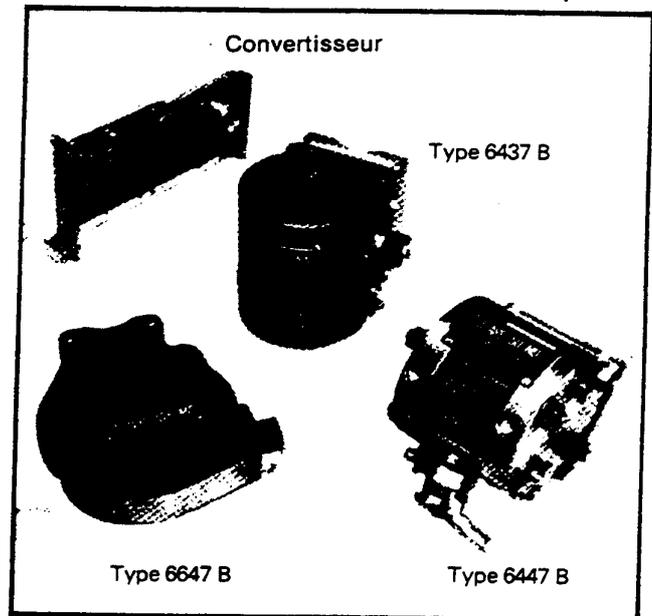
- dans des conditions normales
ou accidentelles d'utilisation

Classe de sûreté nucléaire :

- Classe K2 = tenue au séisme
- Classe K1 = tenue au séisme
et à l'ADR ou (LOCA)*

Classe de qualité Q1

Modèles PWR



Les transmetteurs Types 6447 B, 6647 B et 6437 B composés essentiellement de deux parties (type « BIBLOC »), capteur et convertisseur, délivrent un signal électrique variant de 4 à 20 mA proportionnel à la pression mesurée.

Ces transmetteurs destinés aux centrales nucléaires PWR sont aptes à fonctionner dans des conditions normales ou accidentelles.

Ce matériel a fait l'objet d'essais de qualification EDF selon les spécifications suivantes :

- Capteurs K1 : HM63/7195 et HM63/7275.
- Convertisseurs K3 : HM63/7551.

PRINCIPAUX AVANTAGES

- Fiabilité et sécurité inhérentes à la conception du transmetteur : structure « bibloc » permettant de situer l'électronique en dehors de la zone active.
- Les membranes séparatrices confèrent au capteur une grande immunité à la corrosion et à l'application unilatérale de la pression statique.
- Conception modulaire de l'électronique : module débrochant et interchangeable.

* ADR = Accident de référence

ANNEXE 4-2

CARACTERISTIQUES GENERALES

PRESENTATION

Le transmetteur se compose de 2 parties :

- le capteur contenant la cellule de mesure
- le convertisseur électronique : module enfichable dans un rack de format standard 19 pouces, 3 unités.

Ces 2 parties sont réunies par un câble de liaison de longueur et de caractéristiques appropriées

Qualité : tous les transmetteurs sont réalisés en classe de qualité Q1.

Encombrement : voir figures 1 à 4

Fixation : avec support pour tube 2" ou 60 mm vertical ou horizontal

- fixation murale

— **Masse :**

- Type 6447 B = 10 kg
- Type 6647 B = 6 kg (7 kg avec enrobage)
- Type 6437 B = 8 kg

Raccordement au processus

- Types 6647 B et 6437 B : 1 trou taraudé 1/4" NPT
- Type 6447 B : 2 trous taraudés 1/4" NPT, entraxe 83,5 ± 1 mm

Nota : ce type comporte 2 vis de purge et d'évent sur chaque flasque.

Raccordement électrique :

- Capteur :
 - sur connecteur 12 broches (K1) pour ensemble de raccordement 8 NA (« BOA » 3 fils)
 - sur connecteur 3 broches (K2), le connecteur mobile est fourni sur demande
- Rack réceptacle convertisseur : sur bornes à clips 2,8 mm

La liaison est réalisée à l'aide d'une tierce torsadée blindée.

GAMME DES PRESSIONS

Types	Code	Etendues de mesure maximales	Etendues de mesure minimales		Décalage du zéro (voir nota)	Pression statique nominale (1)	Pression d'épreuve
			Classe K2	Classe K1			
6447 B Pressions différentielles	BUL A	60 mbar	25 mbar		- 60 à + 43 mbar	0 à 100 bar	/
	B	120 mbar	60 mbar		- 220 à + 90 mbar	0 à 200 bar	
	C	300 mbar	150 mbar	150 mbar	- 400 à + 225 mbar	"	
	D	600 mbar	300 mbar	300 mbar	- 700 à + 450 mbar	"	
	E	1,2 bar(2)	450 mbar	450 mbar	- 1,2 à + 0,9 bar	"	
	F	3 bar	1 bar	1 bar	- 3 à + 2,1 bar	"	
	G	6 bar	1,5 bar	1,5 bar	- 6 à + 4,5 bar	"	
	H	12 bar	3 bar	3 bar	- 12 à + 9 bar	"	
	J	30 bar	7,5 bar		- 30 à + 22,5 bar	"	
	6647 B Pressions relatives	BUA M	100 bar	30 bar	30 bar	- 1 à + 80 bar	
250 bar			60 bar	60 bar	- 1 à + 200 bar		
6437 B Pression absolue d'enceinte	BUFT	6 bar	3 bar	3 bar	0 à 3 bar	/	10 bar
6447 B Pressions différentielles avec 1 séparateur	BUM D	600 mbar	300 mbar	300 mbar	- 600 à + 450 mbar	/	/
		1,2 bar(2)	450 mbar	450 mbar	- 1,2 à + 0,75 bar		
6447 B Pressions différentielles avec 2 séparateurs	BUN E	1,2 bar(2)	/	450 mbar	- 1,2 à + 0,75 bar	/	/
		3 bar		1 bar	- 3 à + 2,0 bar	/	/
		6 bar		1,5 bar	- 6 à + 4,5 bar	/	/

Nota - La somme algébrique du décalage de zéro et de l'étendue de mesure ne doit pas excéder la valeur de l'étendue de mesure maximale.

(1) Au-dessus de la pression atmosphérique.

(2) Sur demande, étendue de mesure maximale 1,5 bar environ.

ANNEXE 4-2

Table des transformées

f(t)	F(p)	F(z)
(t)	1	1
u(t)	$\frac{1}{p}$	$\frac{1}{1-z^{-1}}$
t	$\frac{1}{p^2}$	$\frac{Te \times z^{-1}}{(1-z^{-1})^2}$
e^{-at}	$\frac{1}{p+a}$	$\frac{1}{1-z^{-1}}$
$1 - e^{-at}$	$\frac{a}{p(p+a)}$	$\frac{(1-z^{-1})z^{-1}}{(1-z^{-1})(1-z^{-1})}$
te^{-at}	$\frac{1}{(p+a)^2}$	$\frac{Te \times z^{-1}}{(1-z^{-1})^2}$

avec e^{-aTe}