

Brevet de Technicien Supérieur

# CONTRÔLE INDUSTRIEL ET RÉGULATION AUTOMATIQUE

## U41 – Instrumentation et Régulation

*Durée : 3 heures*

*Coefficient : 4*

### Matériel autorisé :

- Toutes les calculatrices de poche y compris les calculatrices programmables, alphanumériques ou à écran graphique à condition que leur fonctionnement soit autonome et qu'il ne soit pas fait usage d'imprimante (Cirulaire n° 99-186, 16/11/1999).

**Tout autre matériel est interdit.**

**Aucun document autorisé.**

### Documents à rendre avec la copie :

Les **documents réponses n° 1** (pages 9 et 10), **n° 2** (pages 11 et 12), **n° 3** (pages 13 et 14), **n° 4** (pages 15 et 16), **n° 5** (pages 17 et 18), **n° 6** (pages 19 et 20) et **n° 7** (pages 21 et 22) sont fournis en double exemplaire, un exemplaire étant à **remettre avec la copie**, l'autre servant de brouillon éventuel.

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.  
Le sujet se compose de 22 pages, numérotées de 1/22 à 22/22.

BTS CONTRÔLE INDUSTRIEL ET RÉGULATION AUTOMATIQUE		Session 2014
INSTRUMENTATION ET RÉGULATION	Code : CAE4IR	Page 1/22

## RÉACTEUR INDUSTRIEL EN PRODUCTION CONTINUE

Le réacteur (*annexe 1, page 6/22*) permet de faire réagir un réactif A et un réactif B.

La réaction se produit à la température de 95 °C. L'apport d'énergie thermique est assuré par un fluide caloporteur (vapeur) circulant dans la double enveloppe du réacteur.

Les vapeurs produites dans le réacteur sont liquéfiées dans le condenseur, une partie retourne au réacteur et une autre partie est soutirée en tant que distillat.

Le niveau dans l'appareil est contrôlé par le débit de soutirage.

### RENSEIGNEMENTS PROCÉDÉ

REPÈRE INSTRUM.	UNITÉ	Point de fonctionnement usuel	ÉCHELLE	OBSERVATIONS
<b>LT 10</b>	<b>cm</b>	120	<b>0 / 200</b>	
<b>DT 10-1</b>	<b>kg.m<sup>-3</sup></b>	950	<b>900 / 1000</b>	
<b>TT 10-1</b>	<b>°C</b>	95	<b>0 / 120</b>	mesure dans la cuve
<b>TT 10-2</b>	<b>°C</b>	120	<b>0 / 200</b>	mesure dans la double enveloppe
<b>FT 10-A</b>	<b>L.h<sup>-1</sup></b>	50	<b>0 / 100</b>	
<b>FT 10-B</b>	<b>L.h<sup>-1</sup></b>	300	<b>0 / 1000</b>	
<b>FT 15</b>	<b>L.h<sup>-1</sup></b>	350	<b>0 / 1000</b>	
<b>TCV 10</b>	<b>%</b>	80	<b>0 / 100</b>	
<b>FCV 10-A</b>	<b>%</b>	40	<b>0 / 100</b>	vanne type NF
<b>FCV 10-B</b>	<b>%</b>	50	<b>0 / 100</b>	vanne type NF
<b>FCV 15</b>	<b>%</b>	25	<b>0 / 100</b>	vanne type NF

Les signaux des transmetteurs sont linéaires.

Les caractéristiques installées des vannes sont considérées comme linéaires.

**INSTRUMENTATION (10 points)****1- MESURE DE TEMPÉRATURE DANS LA DOUBLE ENVELOPPE**

On désire réaliser le câblage complet d'une sonde de température du procédé au transmetteur. La mesure de température dans la double enveloppe est réalisée par un thermocouple « J » (TE 10-2) relié à un transmetteur de température (TT10-2), celui-ci étant un convertisseur universel Hart.

En vous aidant de l'**annexe 2 (page 7/22)**, compléter le **document réponse n° 1 (page 10/22)** en donnant :

- la nature des matériaux ;
- les couleurs de repérage des fils ;
- les polarités ;
- les liaisons ;
- le rôle du compensateur de soudure froide ;
- l'expression littérale  $E_{mes}$  en fonction des tensions  $E_{SF}$ ,  $E_{SC}$ ,  $E_{CSF}$ .

**2- MESURE DE TEMPÉRATURE DANS LA CUVE**

Lors d'une maintenance, on désire vérifier le bon fonctionnement de la chaîne de mesure de la température  $\theta_1$  comprise entre 0 °C à 120 °C. La mesure de température dans la cuve est analogue à la mesure de la température dans la double enveloppe (**question 1**). Elle est cette fois-ci réalisée par un thermocouple « T » (TE 10-1) relié à un transmetteur de température (TT 10-1). L'intervention est faite au niveau des bornes de raccordement de la sonde.

**2-1** Dans un premier temps, on vérifiera le fonctionnement et la justesse de la sonde. Compléter le **document réponse n° 2 (page 12/22)** en donnant :

- la position du sélecteur du multimètre ;
- la schématisation du câblage ;
- la valeur indiquée par le multimètre.

**2-2** Dans un second temps, on vérifiera la calibration du transmetteur. (La température du transmetteur est de 20 °C).

Compléter le **document réponse n° 3 (page 14/22)** en donnant :

- l'expression littérale de la tension  $E_G$  à injecter sur le transmetteur ;
- les valeurs de la tension  $E_G$  et de l'intensité du courant de sortie  $I_s$  pour les valeurs : 0 %, 50 % et 100 % de l'échelle de mesure.

**3- MESURE DU NIVEAU DANS LE RÉACTEUR par LT10**

La mesure du niveau est réalisée avec un transmetteur de niveau électrique ( $4 < I_s < 20$  mA) par pression différentielle et séparateurs à membrane. Le montage utilise un système avec deux capillaires de longueur identique (**voir schéma annexe 3 page 8/22**). On désire obtenir le signal de sortie du transmetteur ( $I_s$ ) proportionnel à la hauteur (H) du liquide.

**3-1** Donner l'affectation de la chambre HP(Haute Pression) en fonction de la lettre A ou B.

## CAE4IR

**3-2** Exprimer et calculer l'étendue de l'échelle EE et le décalage de zéro DZ. Pour simplifier les calculs, la masse volumique de la vapeur  $\rho_v$  sera négligée et on ne tiendra pas compte de la variation de la masse volumique  $\rho$  du liquide. On appelle  $\rho_c$  la masse volumique du fluide de remplissage des capillaires.

On considère que le transmetteur est étalonné avec les valeurs suivantes :

$\rho = 950 \text{ kg/m}^3$  ;  $\rho_c = 940 \text{ kg/m}^3$  ;  $h_1 = 0,3 \text{ m}$  ;  $h_2 = 2,7 \text{ m}$  ;  $h_3 = 0,4 \text{ m}$   
et  $0 \text{ m} < H < 2 \text{ m}$

**3-3** En respectant les approximations énoncées à la question 3-2, on désire établir le protocole de vérification d'étalonnage du transmetteur de niveau in situ. Proposer un protocole en indiquant la position des vannes (ouverte ou fermée), leur chronologie et les effets de ces actions.

Noter la (ou les) valeur(s) de pression à appliquer au(x) point(s) C ou D (à l'aide d'un calibrateur de pression à pompe) afin de vérifier le zéro et la pleine échelle du transmetteur, puis rédiger la démarche pour le retour au fonctionnement normal.

**3-4** Donner la valeur du courant de sortie  $I_s$  (au standard 4-20 mA) lorsque le niveau est à sa valeur « normale » de 120 cm.

## RÉGULATION (10 points)

### 4- RÉGULATION DU DÉBIT DE SOUTIRAGE

Sans aucune régulation, on a imposé un échelon de 10 % sur la vanne FCV 15 et on a enregistré la variation du signal du transmetteur de débit FT 15 (**voir document réponse n° 4 page 16/22**).

**4-1** Déterminer les valeurs de la constante de temps T et du gain statique G.

On fera apparaître les traits de construction permettant la détermination de ces valeurs.

Exprimer l'expression de la fonction de transfert de la vanne :  $H_{15}(p) = \frac{X_{15}(p)}{Y_{15}(p)}$ .

( $X_{15}(p)$ ) : signal du transmetteur de débit 15 et ( $Y_{15}(p)$ ) : signal de commande de la vanne 15)

**4-2** Compléter le schéma TI (**document réponse n° 4, page 16/22**) en ajoutant une boucle de régulation du débit de soutirage.

Le régulateur a le repère FIC15.

Faire le schéma fonctionnel (ou schéma bloc) de cette boucle.

**4-3** Le régulateur est du type PI et sa fonction de transfert  $C_{15}(p)$  est :

$$C_{15}(p) = \frac{Y_{15}(p)}{W_{15}(p) - X_{15}(p)} = A \frac{(1 + T_i \cdot p)}{T_i \cdot p}$$

$W_{15}(p)$  est la consigne du régulateur.

Calculer la fonction de transfert en boucle fermée  $F_{15}(p)$  en fonction de  $H_{15}(p)$  et  $C_{15}(p)$ .

## CAE4IR

**4-4** Les actions de réglage du régulateur PI (FIC 15) sont : BP = 140 % et  $T_i = T$  (constante de temps du process, déterminée à la question **4-1**).  
On a  $X_{15}(p) = W_{15}(p) \cdot F_{15}(p)$ .  
Déterminer  $x_{15}(t)$ , la réponse temporelle à un échelon de consigne de 10%.

**4-5** Donner l'allure de la réponse temporelle  $x_{15}(t)$ .  
Conclure sur la stabilité et la précision de cette régulation.

### 5- RÉGULATION NIVEAU

Il s'agit de réguler le niveau du réacteur par action sur le débit de soutirage.

**5-1** Compléter le schéma TI. Comment se nomme ce type de boucle ?  
*(Document réponse n° 5, page 18/22)*

**5-2** Indiquer, en justifiant la réponse, le sens d'action du régulateur de niveau et le sens d'action du régulateur de débit.

**5-3** Compléter le schéma de configuration des blocs du SNCC ; faire apparaître les liaisons et préciser la valeur des paramètres *(document réponse n° 6, page 20/22)*.

### 6- RÉGULATION DE TEMPÉRATURE

On désire régler la température dans le réacteur (95 °C) par action sur le débit vapeur, avec une limitation de la température (150 °C) dans la double enveloppe afin d'éviter les risques de « croûtage » sur les parois internes.

Lorsque la température dans la double enveloppe atteint 150 °C, on bascule automatiquement en régulation de température du fluide circulant dans la double enveloppe.

**6-1** Quel est le type de boucle à utiliser ? Faire le schéma TI *(document réponse n° 7, page 22/22)*.

Préciser la fonction des appareils ajoutés.

**6-2** On a identifié la fonction de transfert :

$$H_{10}(p) = \frac{X_{10}(p)}{Y_{10}(p)} = \frac{0,8 \cdot e^{-2p}}{(1+4p)}$$

$X_{10}(p)$  : signal du transmetteur de température TT10-1

$Y_{10}(p)$  : signal de commande de la vanne TCV10

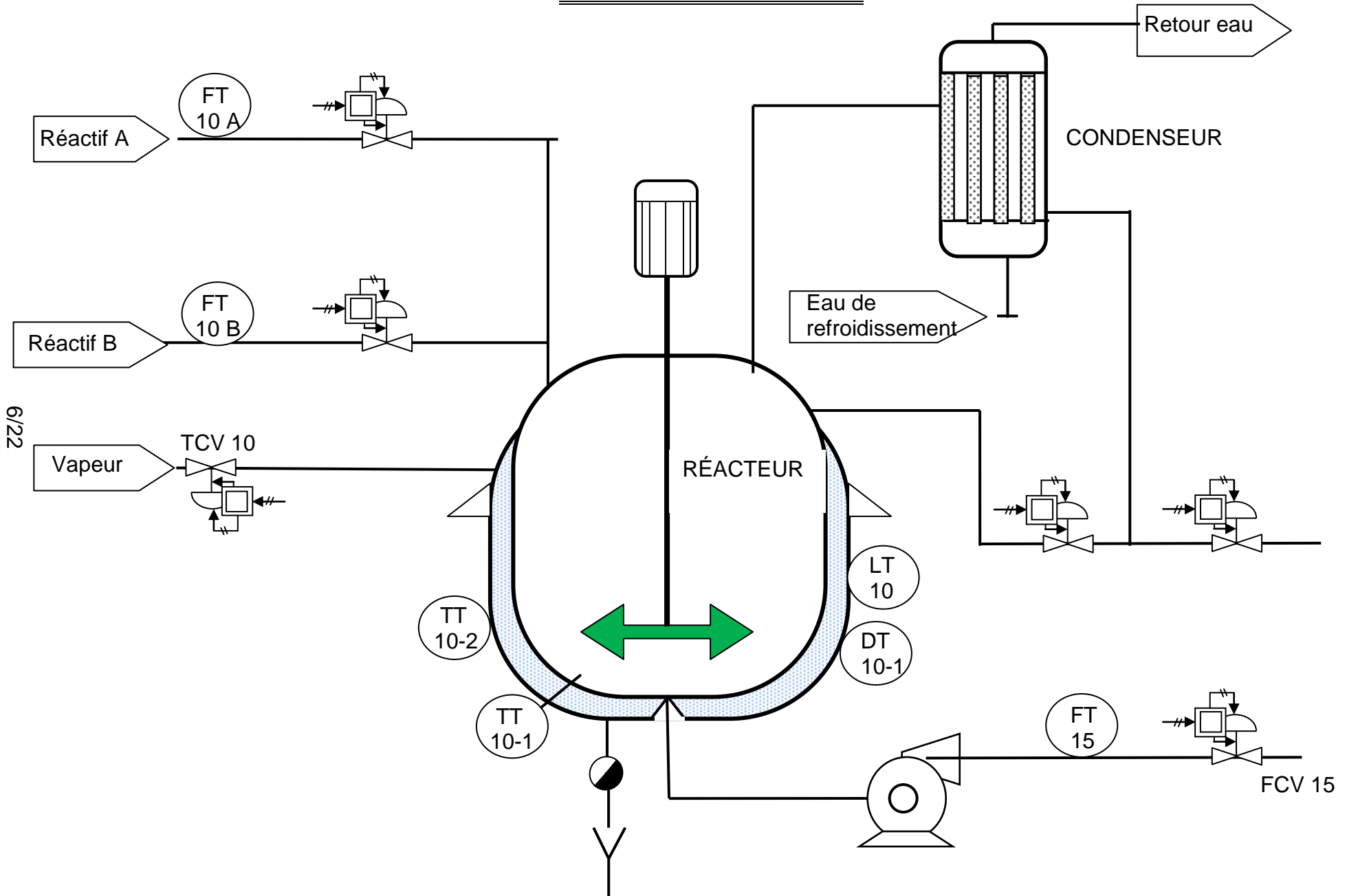
Les temps sont en min ; les signaux en %.

Le régulateur de température est du type PI dont on a réglé le temps d'intégrale à 4 min.

**6-2-1** Quelle doit être la valeur du gain du régulateur pour que la boucle fonctionne avec une marge de gain de 6 dB ?

**6-2-2** Quelle amélioration apporterait l'adjonction d'une action dérivée ?

# Schéma PCF du réacteur

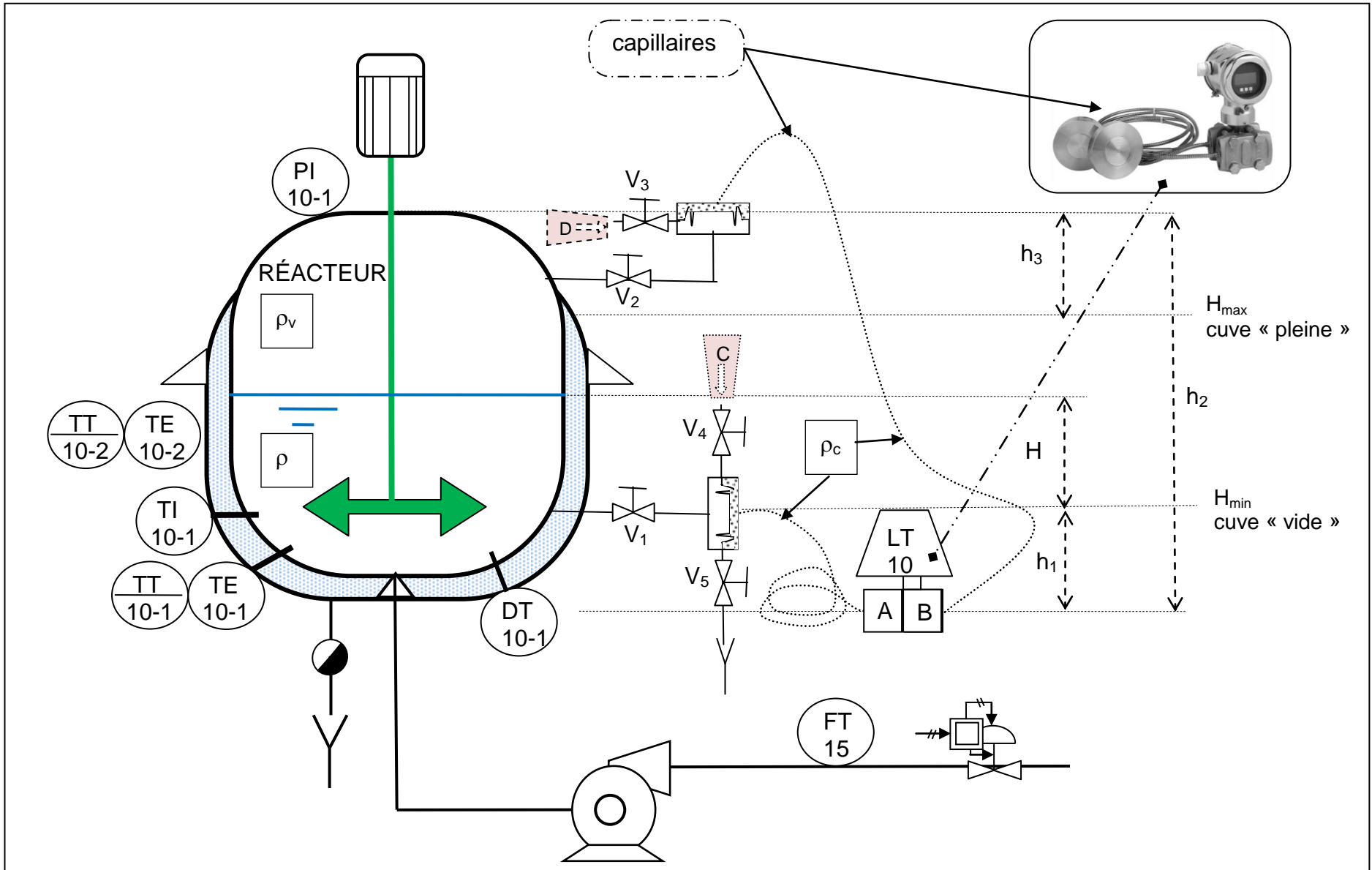


6/22

## Code couleur des thermocouples

ASTM E-230 Lettre Désignée	Grade Thermocouple	Grade Extension ou de Compenstion	Code de couleur des fils de thermocouple et fils d'extension de thermocouple.							
			ASTM E-230 T/C	ASTM E-230 Extension	Britannique 1843 1952	Britannique BS-4937-30 1993	Allemand DIN 43710	Japonais JIS C1610 1981	Français NFC 42-324	International IEC 584-3 1989
B (globale)			N/D	Gris	N/D	N/D	Gris	Gris	N/D	N/D
BP (-)	Pt 30% Rh	BPX-PCLW-30-6		Gris			Rouge	Rouge		
BN (-)	Pt 6% Rh	Cuivre		Rouge			Gris	Blanc		
E (globale)			Brun	Violet	Brun	Violet	Noir	Violet	Violet	Violet
EP (+)	Chromel	Chromel	Violet	Violet	Brun	Violet	Rouge	Rouge	Jaune	Violet
EN (-)	Constantan	Constantan	Rouge	Rouge	Bleu	Blanc	Noir	Blanc	Violet	Blanc
J (globale)			Brun	Noir	Noir	Noir	Bleu	Jaune	Noir	Noir
JP (+)	Fer	Fer	Blanc	Blanc	Jaune	Noir	Rouge	Rouge	Jaune	Noir
JN (-)	Constantan	Constantan	Rouge	Rouge	Bleu	Blanc	Bleu	Blanc	Noir	Blanc
K (globale)			Brun	Jaune	Rouge	Vert	Vert	Bleu	Jaune	Vert
KP (+)	Chromel	Chromel	Jaune	Jaune	Brun	Vert	Rouge	Rouge	Jaune	Vert
KN (-)	Alumel	Alumel	Rouge	Rouge	Bleu	Blanc	Vert	Blanc	Brun	Blanc
N (globale)			Brun	Orange	Orange	Rose	_*	_*	_*	Rose
NP (+)	Nicrosil	Nicrosil	Orange	Orange	Orange	Rose	_*	_*	_*	Rose
NN (-)	Nisil	Nisil	Rouge	Rouge	Bleu	Blanc	_*	_*	_*	Blanc
R (globale)			N/D	Vert	Vert	Orange	Blanc	Noir	Vert	Orange
RP (+)	Pt 13% Rh	Cuivre		Noir	Blanc	Orange	Rouge	Rouge	Jaune	Orange
RN (-)	Platine Pure	#11 Alloy		Rouge	Bleu	Blanc	Blanc	Blanc	Vert	Blanc
S (globale)			N/D	Vert	Vert	Orange	Blanc	Noir	Vert	Orange
SP (+)	Pt 10% Rh	Cuivre		Noir	Blanc	Orange	Rouge	Rouge	Jaune	Orange
SN (-)	Platine Pure	#11 Alloy		Rouge	Bleu	Blanc	Blanc	Blanc	Vert	Blanc
T (globale)			Brun	Bleu	Bleu	Brun	Brun	Brun	Bleu	Brun
TP (+)	Cuivre	Cuivre	Bleu	Bleu	Blanc	Brun	Rouge	Rouge	Jaune	Brun
TN (-)	Constantan	Constantan	Rouge	Rouge	Bleu	Blanc	Brun	Blanc	Bleu	Blanc

# Raccordements des instruments de mesure sur le réacteur





**DOCUMENT RÉPONSE N° 1 : question 1**

9/22

**Câble de compensation Norme CEI (international)**  
Couleur de la gaine : Noire

**Conducteur 2**  
Nature du Matériau : .....  
Couleur de repérage : .....  
Polarité : .....

**Conducteur 1**  
Nature du Matériau : .....  
Couleur de repérage : .....  
Polarité : .....

**Sonde de température**  
Thermocouple chemisé isolé, monté sur un doigt de gant.  
Type : J      Normes : CEI (International)

**TT 10-1**

$4 < I_s < 20 \text{ mA}$

**1- Mesure de température dans la double enveloppe**

1-1 Compléter les informations manquantes.

1-2 Schématiser les liaisons :  
- sonde de température au câble de compensation en indiquant les polarités de celle-ci ;  
- câble de compensation au convertisseur en respectant les polarités.


1-3 Quel est le rôle du compensateur de soudure froide ?  
CSF : .....  
.....

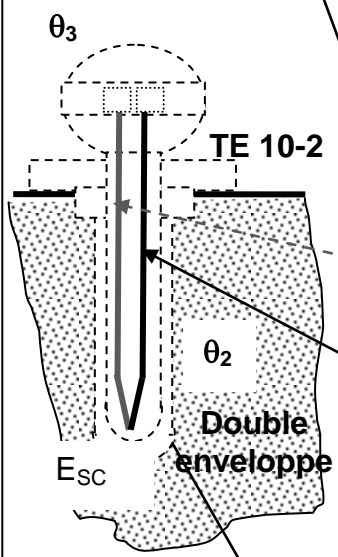
1-4 Donner l'expression littérale de  $E_{mes}$  en fonction des tensions indiquées...  
 $E_{mes} = \dots\dots\dots$

**DOCUMENT RÉPONSE N° 1 : question 1**

10/22

**Câble de compensation Norme CEI (international)**  
Couleur de la gaine : Noire





$\theta_3$

TE 10-2

$\theta_2$

Double enveloppe

$E_{sc}$

**Conducteur 2**

Nature du Matériau : .....

Couleur de repérage : .....

Polarité : .....

**Conducteur 1**

Nature du Matériau : .....

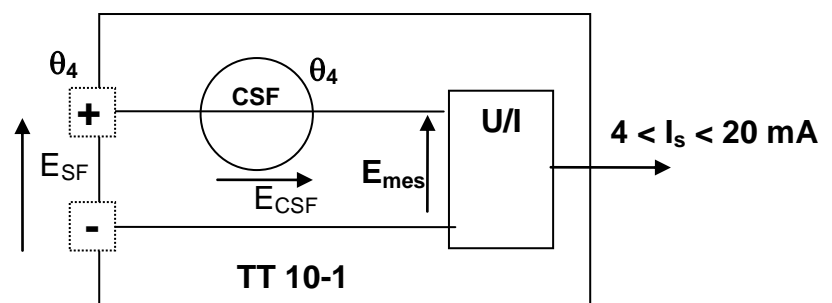
Couleur de repérage : .....

Polarité : .....

**Sonde de température**

Thermocouple chemisé isolé, monté sur un doigt de gant.

Type : J    Normes : CEI (International)



**TT 10-1**

$4 < I_s < 20 \text{ mA}$

**1- Mesure de température dans la double enveloppe**

1-1 Compléter les informations manquantes.

1-2 Schématiser les liaisons :

- sonde de température au câble de compensation en indiquant les polarités de celle-ci ;
- câble de compensation au convertisseur en respectant les polarités.

1-3 Quel est le rôle du compensateur de soudure froide ?

CSF : .....

.....

1-4 Donner l'expression littérale de  $E_{mes}$  en fonction des tensions indiquées...

$E_{mes} =$  .....

**DOCUMENT RÉPONSE N° 2 : question 2-1**

**Vérification de la sonde**

**2-1-1** Le thermocouple ayant été débranché du câble de compensation, schématiser le câblage du multimètre avec la sonde.

**2-1-2** Indiquer le choix de la position du sélecteur du multimètre : .....

**2-1-3** La température  $\theta_1$  est de 95 °C, quelle doit être la valeur affichée sur le multimètre ?  
 .....  
 .....

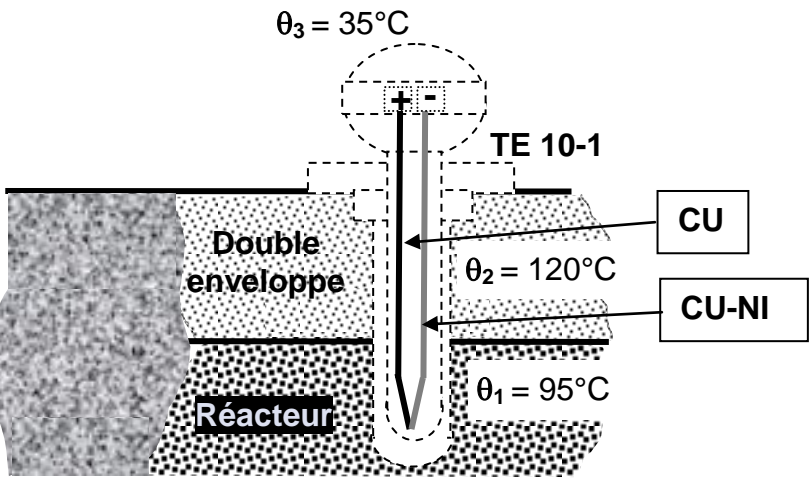
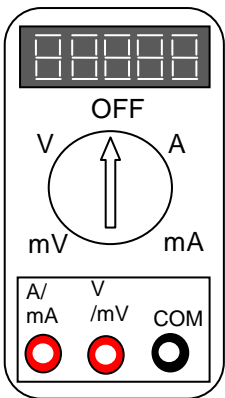


Table for type T thermocouple			
Thermoelectric Voltage in mV			
REFERENCE JUNCTION AT 0°C			
°C	0	5	10
0	0.000	0.195	0.391
10	0.391	0.589	0.790
20	0.790	0.992	1.196
30	1.196	1.403	1.612
40	1.612	1.823	2.036
50	2.036	2.251	2.468
60	2.468	2.687	2.909
70	2.909	3.132	3.358
80	3.358	3.585	3.814
90	3.814	4.046	4.279
100	4.279	4.513	4.750
110	4.750	4.988	5.228
120	5.228	5.470	5.714

**DOCUMENT RÉPONSE N° 2 : question 2-1**

**Vérification de la sonde**

**2-1-1** Le thermocouple ayant été débranché du câble de compensation, schématiser le câblage du multimètre avec la sonde.

**2-1-2** Indiquer le choix de la position du sélecteur du multimètre : .....

**2-1-3** La température  $\theta_1$  est de 95 °C, quelle doit être la valeur affichée sur le multimètre ?

.....  
 .....

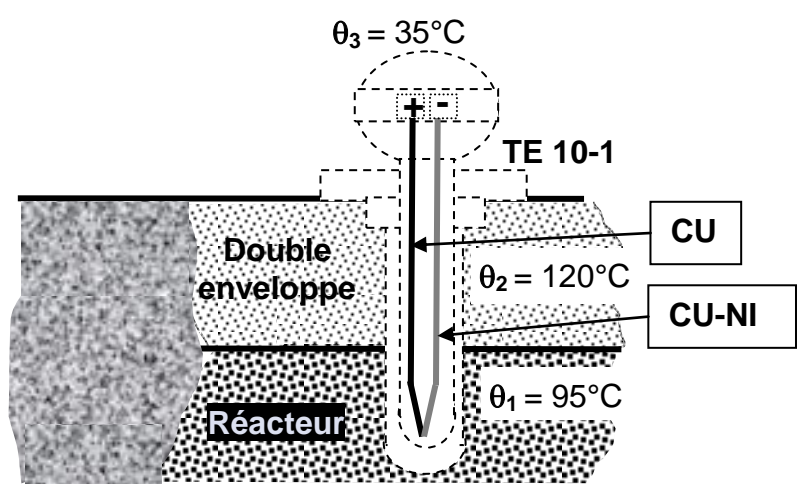
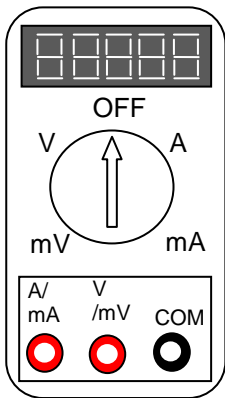
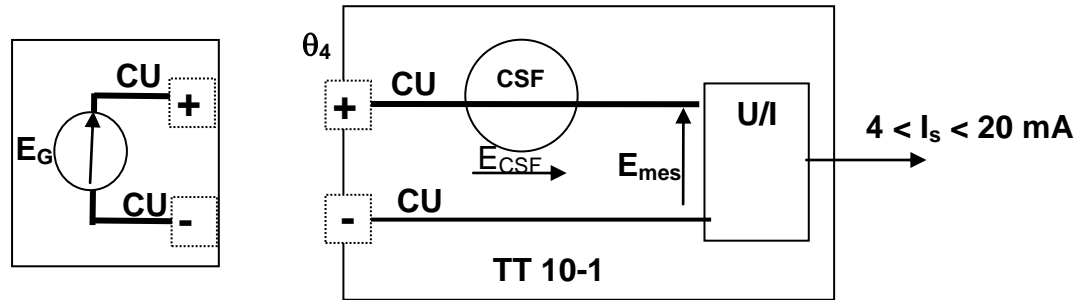


Table for type T thermocouple			
Thermoelectric Voltage in mV			
REFERENCE JUNCTION AT 0°C			
°C	0	5	10
0	0.000	0.195	0.391
10	0.391	0.589	0.790
20	0.790	0.992	1.196
30	1.196	1.403	1.612
40	1.612	1.823	2.036
50	2.036	2.251	2.468
60	2.468	2.687	2.909
70	2.909	3.132	3.358
80	3.358	3.585	3.814
90	3.814	4.046	4.279
100	4.279	4.513	4.750
110	4.750	4.988	5.228
120	5.228	5.470	5.714

**DOCUMENT RÉPONSE N° 3 : question 2-2**



**Vérification de la calibration**

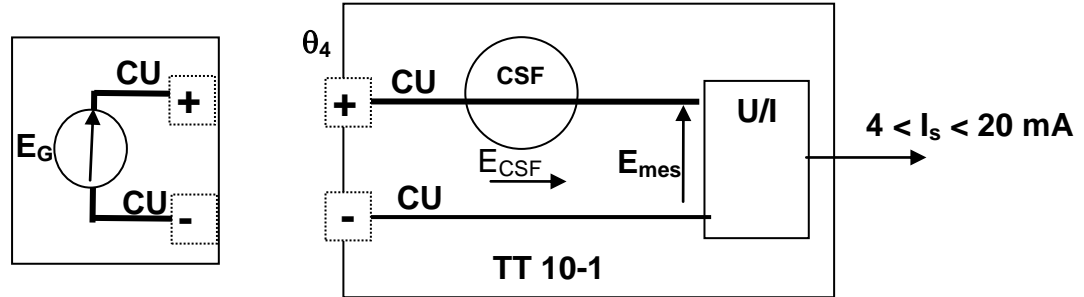
**2-2-1** Le transmetteur ayant été débranché du câble de compensation puis connecté par un générateur de tension  $E_G$ , donner l'expression littérale de la tension  $E_G$ .

$E_G = \dots\dots\dots$

**2-2-2** Application numérique : compléter le tableau ci-dessous. Utiliser la table du **document réponse n° 2 page 12/22**.

Tableau des valeurs			
$\theta_4 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ (température ambiante)			
Température simulée ( $^\circ\text{C}$ )	0	60	120
$E_G$ (mV)			
$I_s$ (mA)			

**DOCUMENT RÉPONSE N° 3 : question 2-2**



**Vérification de la calibration**

**2-2-1** Le transmetteur ayant été débranché du câble de compensation et connecté par un générateur de tension  $E_G$ , donner l'expression littérale de la tension  $E_G$ .

$E_G = \dots\dots\dots$

**2-2-2** Application numérique : compléter le tableau ci-dessous. Utiliser la table du **document réponse n° 2 page 12/22**.

Tableau des valeurs			
$\theta_4 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ (température ambiante)			
Température simulée ( $^\circ\text{C}$ )	0	60	120
$E_G$ (mV)			
$I_s$ (mA)			

**DOCUMENT RÉPONSE N° 4 : question 4****4- RÉGULATION DE DÉBIT SOUTIRAGE**

Réponse du procédé de débit à un échelon.

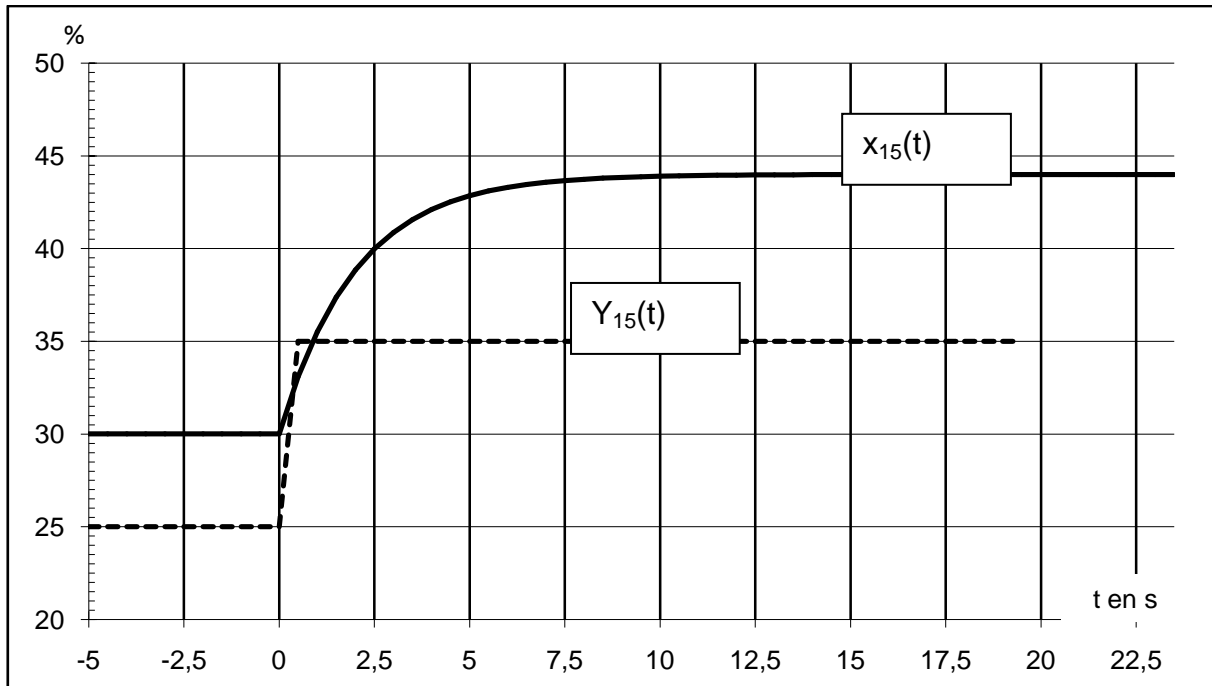
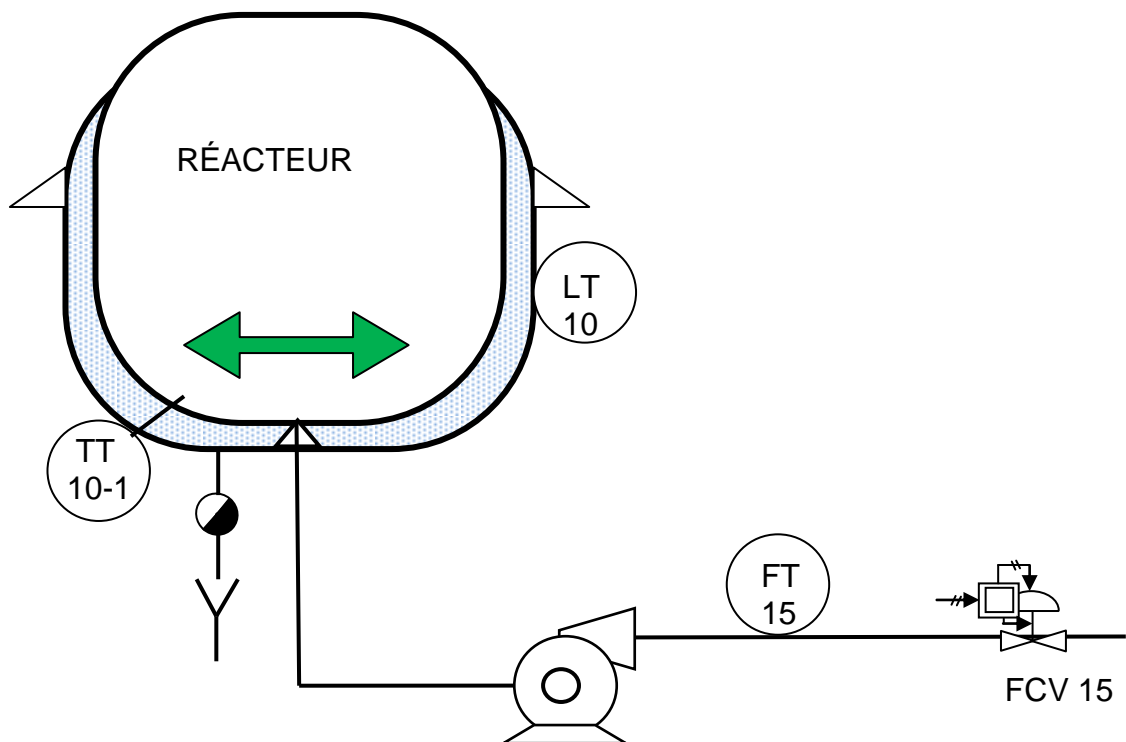


Schéma TI de la boucle de régulation de débit.



**DOCUMENT RÉPONSE N° 4 : question 4****4- RÉGULATION DE DÉBIT SOUTIRAGE**

Réponse du procédé de débit à un échelon.

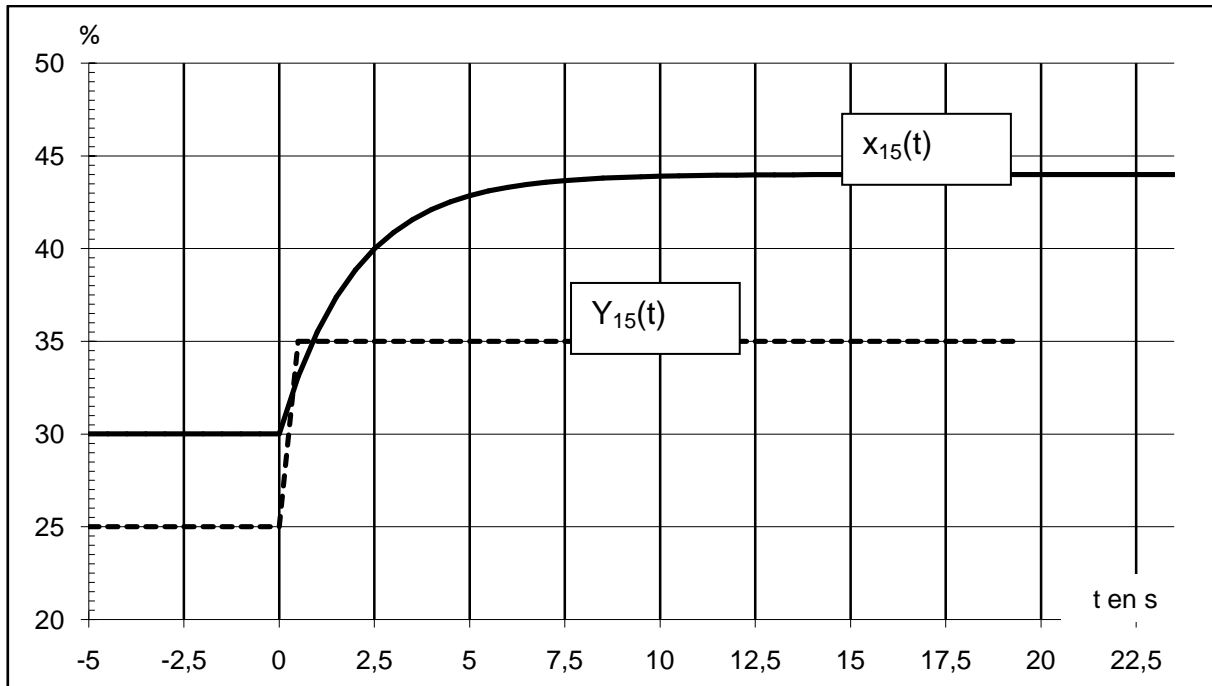
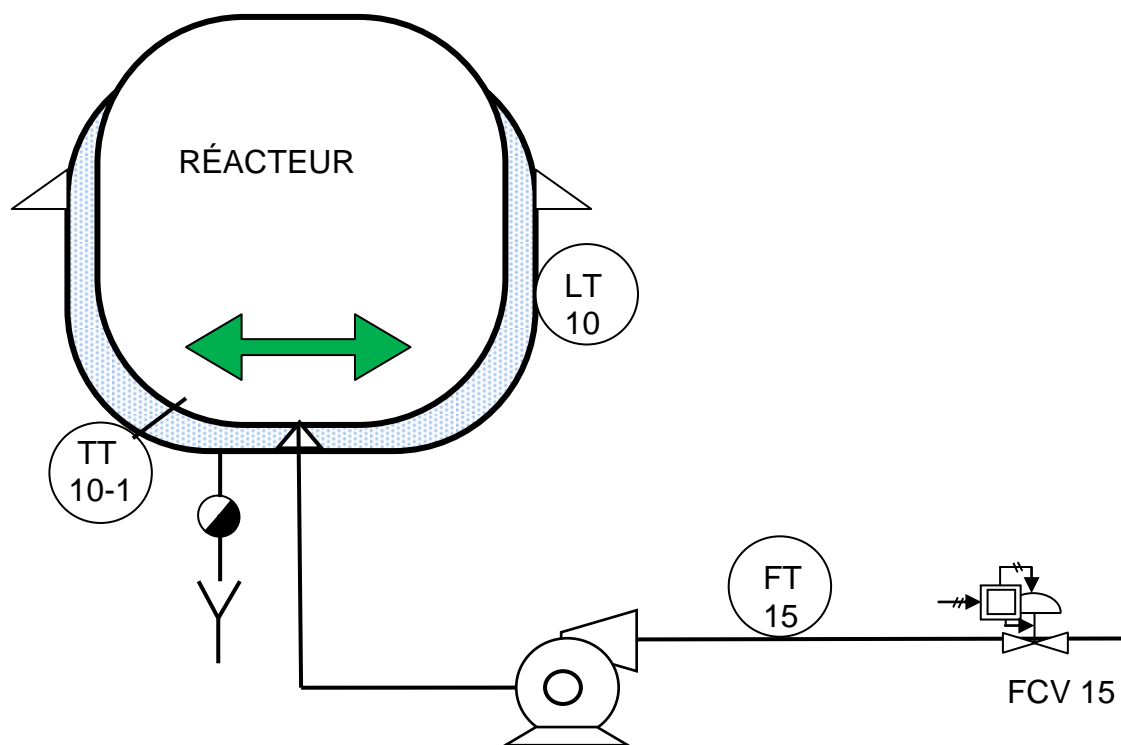


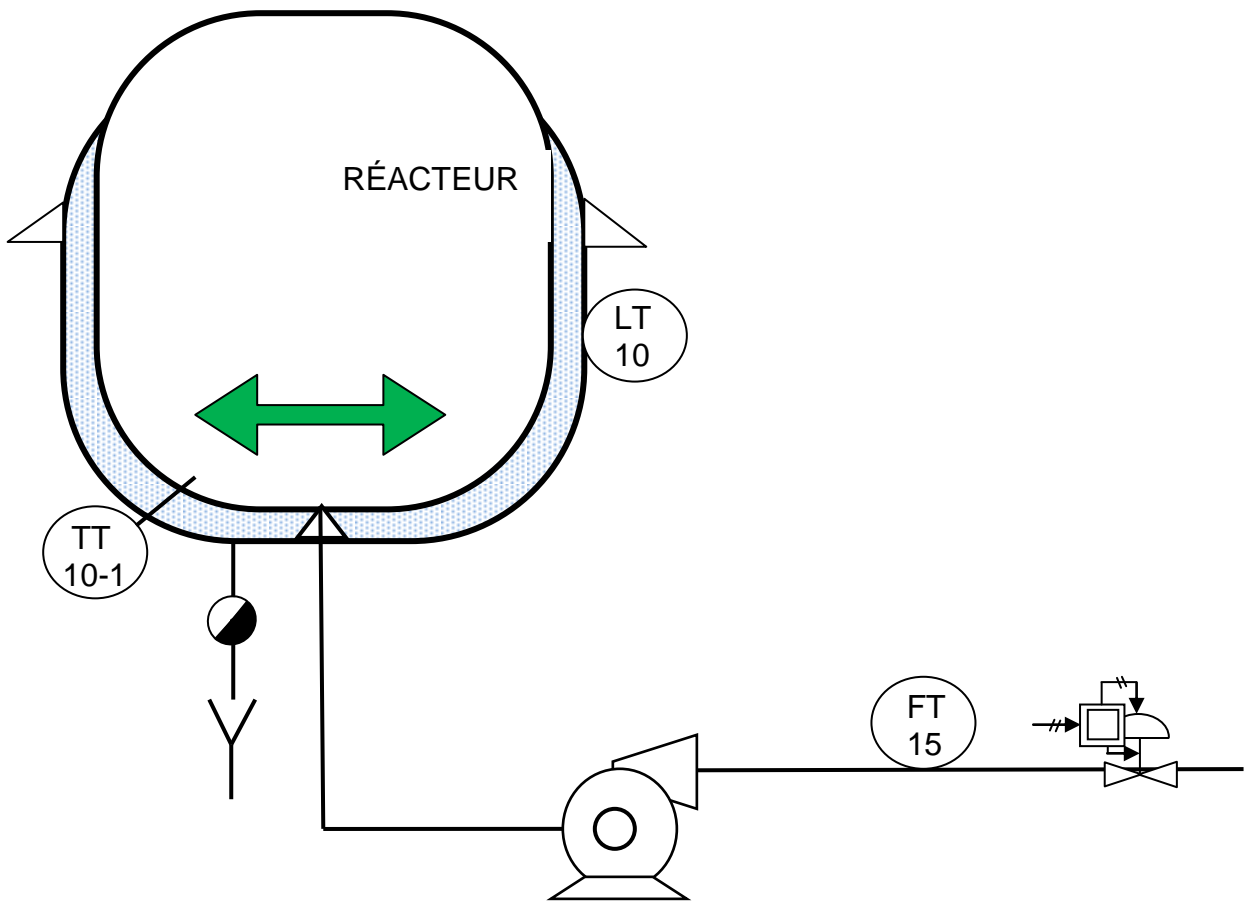
Schéma TI de la boucle de régulation de débit.





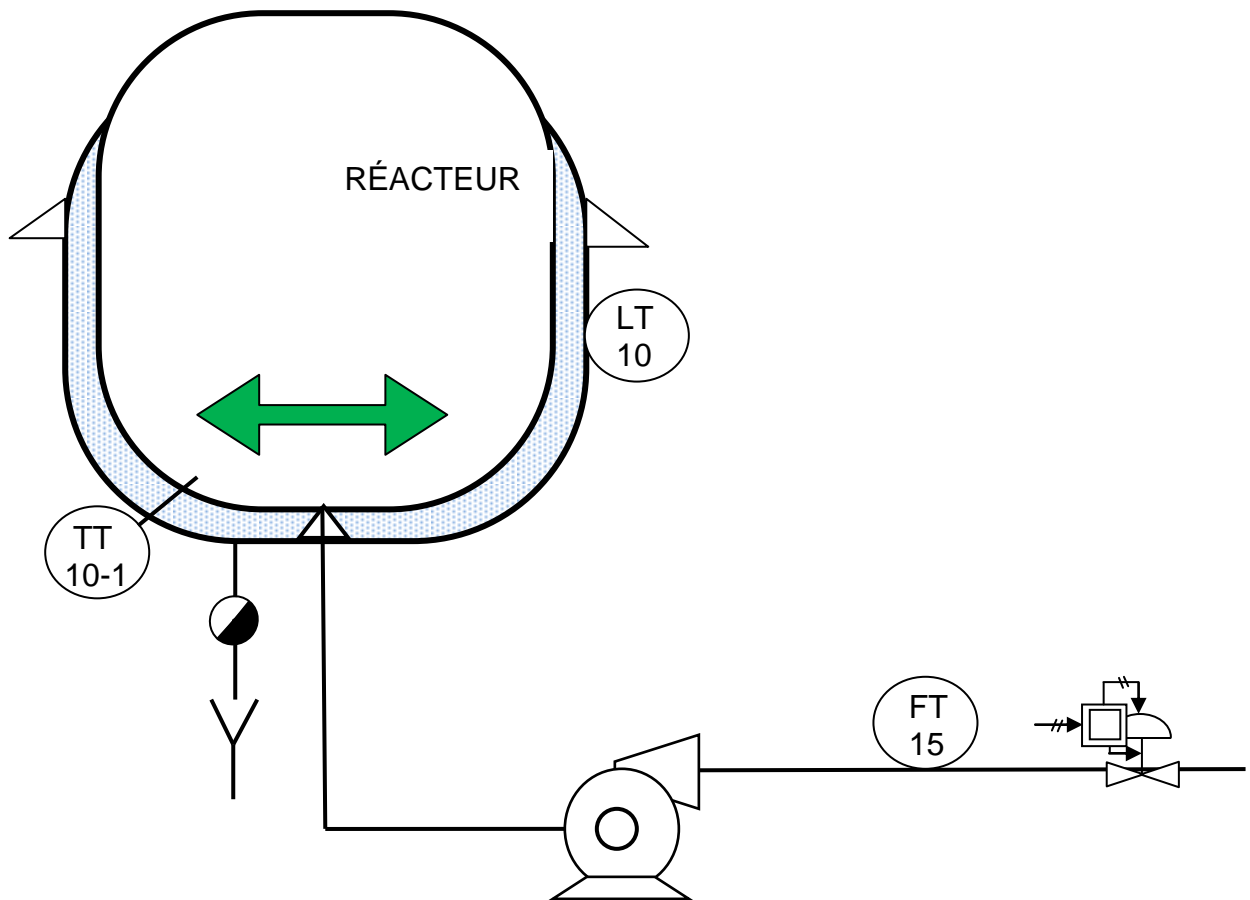
**DOCUMENT RÉPONSE N° 5 : question 5**

**5- RÉGULATION NIVEAU**



**DOCUMENT RÉPONSE N° 5 : question 5**

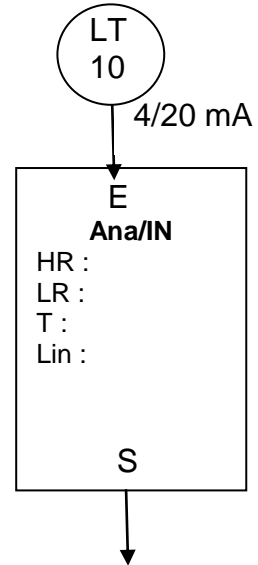
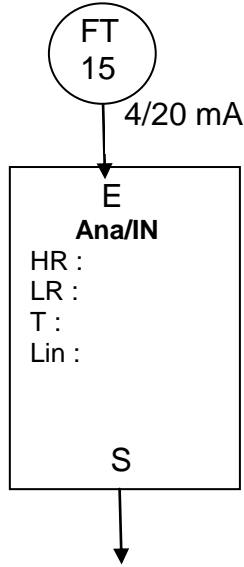
**5- RÉGULATION NIVEAU**



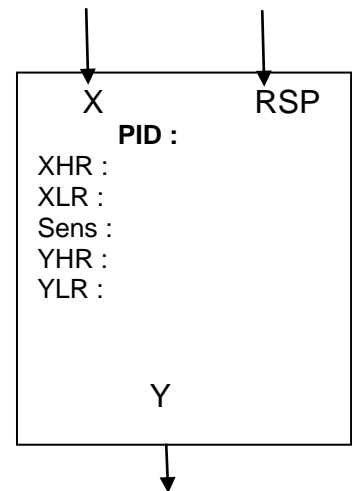
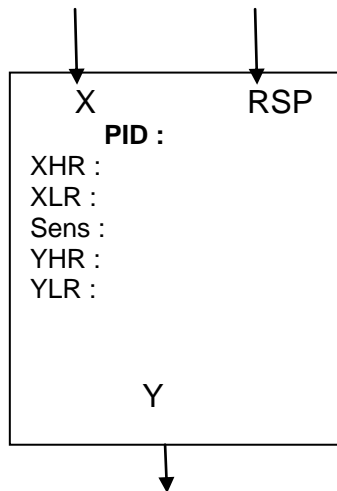
**DOCUMENT RÉPONSE N° 6 : question 5**

**5-3 Configuration des blocs SNCC**

BLOC : Entrée Analogique  
 HR : Échelle Haute  
 LR : Échelle Basse  
 T : Temps de Filtre  
 Type : linéarisation

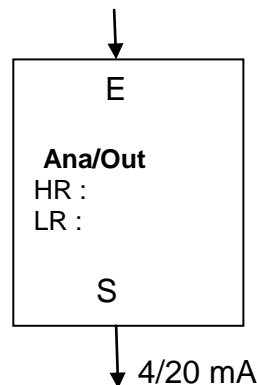


BLOC : PID  
 XHR : Échelle Haute Mesure  
 XLR : Échelle Basse Mesure  
 Sens d'Action : D ou R  
 YHR : Échelle Haute Sortie  
 YLR : Échelle Basse Sortie



(RSP : consigne externe)

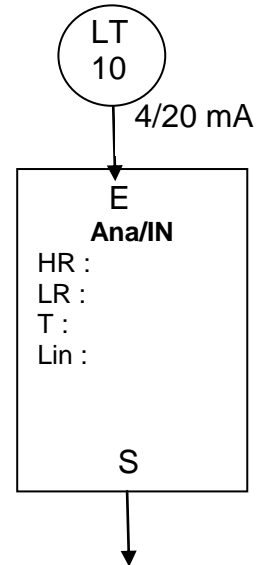
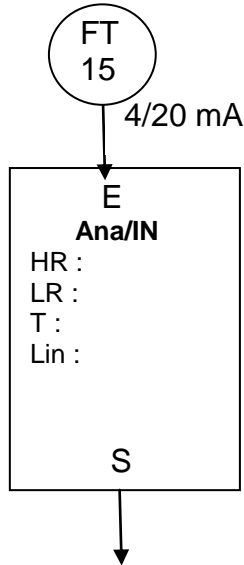
BLOC : Sortie Analogique  
 HR : Échelle Haute  
 LR : Échelle Basse



**DOCUMENT RÉPONSE N° 6 : question 5**

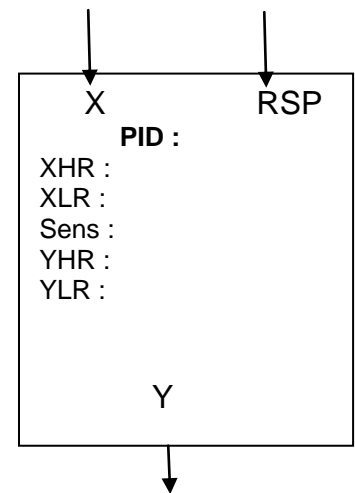
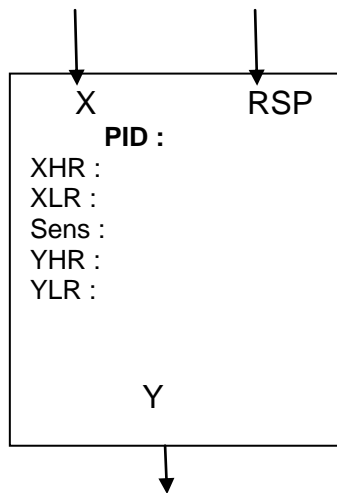
**5-3 Configuration des blocs SNCC**

BLOC : Entrée Analogique  
 HR : Échelle Haute  
 LR : Échelle Basse  
 T : Temps de Filtre  
 Type : linéarisation

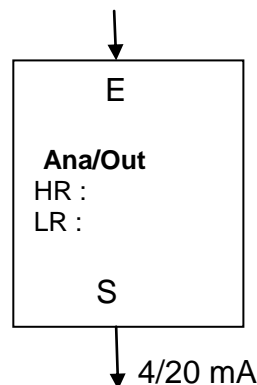


BLOC : PID  
 XHR : Échelle Haute Mesure  
 XLR : Échelle Basse Mesure  
 Sens d'Action : D ou R  
 YHR : Échelle Haute Sortie  
 YLR : Échelle Basse Sortie

(RSP : consigne externe)

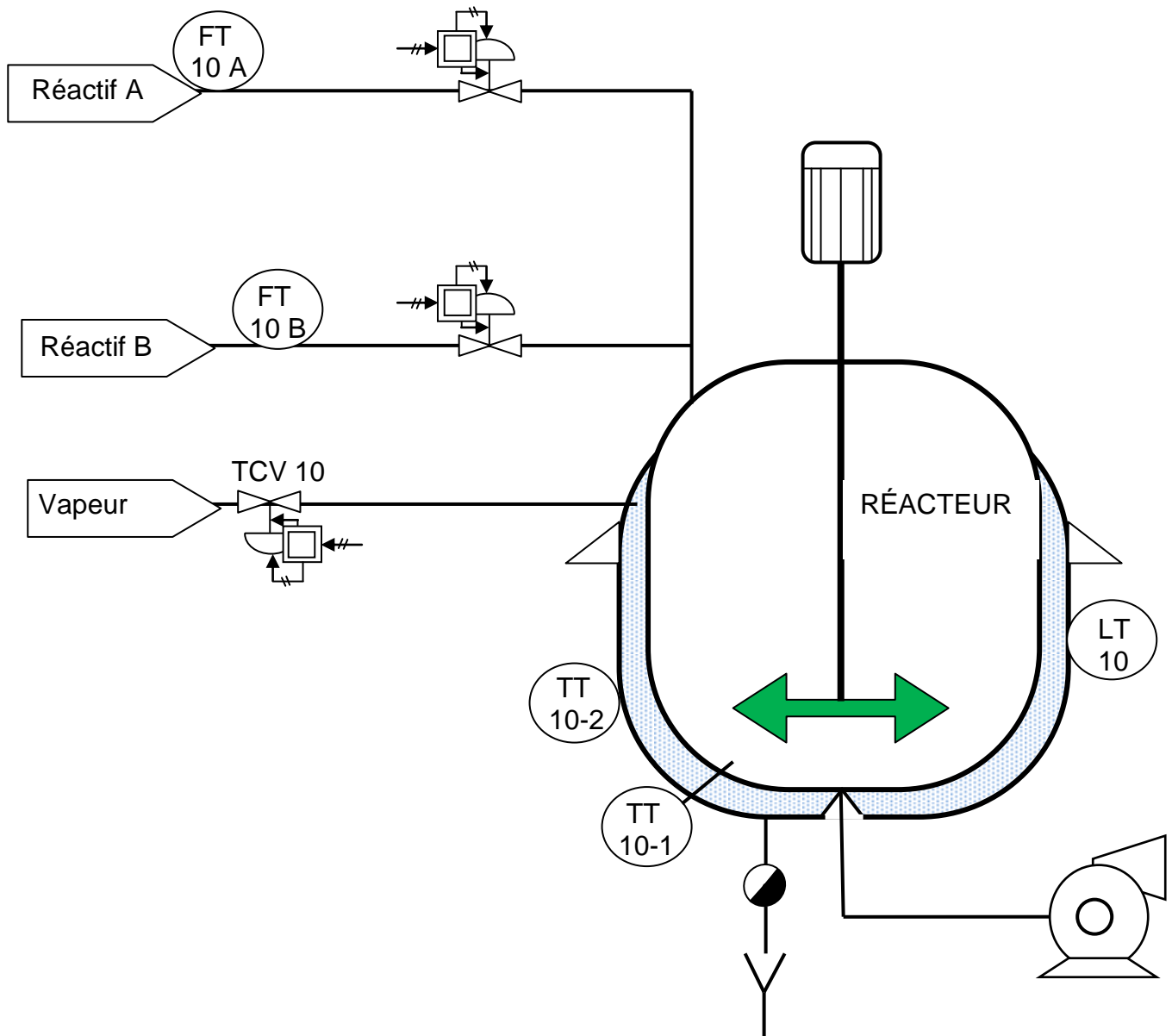


BLOC : Sortie Analogique  
 HR : Échelle Haute  
 LR : Échelle Basse



**DOCUMENT RÉPONSE N° 7 : question 6**

**6- RÉGULATION DE TEMPÉRATURE**



**DOCUMENT RÉPONSE N° 7 : question 6****6- RÉGULATION DE TEMPÉRATURE**