

**Brevet de Technicien Supérieur**  
**CONTRÔLE INDUSTRIEL**  
**et**  
**RÉGULATION AUTOMATIQUE**

**U41 - Instrumentation et régulation**

*Durée : 3 heures*

*Coefficient : 4*

**L'utilisation d'une calculatrice réglementaire est autorisée.**

***Note : Toutes les parties sont indépendantes et peuvent être traitées séparément, il est cependant recommandé de les traiter dans l'ordre naturel après avoir lu l'intégralité du sujet.***

**Ce sujet comporte 13 pages numérotées de 1/13 à 13/13.**

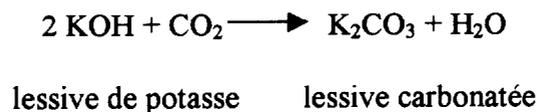
***Les ANNEXES 1, 2, 3 et 6 sont à rendre agrafées à la copie d'examen par le surveillant sans aucune identité du candidat.***

## **EXTRAIT DE LA FABRICATION DE LA LESSIVE CARBONATÉE**

(Première évaporation)

**TOUS LES CAPTEURS ET ORGANES RÉGLANTS NÉCESSAIRES APPARAISSENT SUR LE SCHÉMA DE L'ANNEXE 1 PAGE 7.**

La réaction chimique de la fabrication de la lessive carbonatée est la suivante :



Cette lessive dissoute dans l'eau doit être séchée et cristallisée en vue de sa commercialisation.

La cristallisation et l'évaporation de l'eau nécessitent trois étapes. Nous nous intéresserons lors de cette étude à la première étape qui consiste en une évaporation de la lessive (*voir annexe 1 page 7*).

La lessive carbonatée filtrée (de concentration et pression constantes) qui provient d'une salle d'électrolyse, arrive dans un bac à lessive fermé et maintenu en légère surpression d'azote constante pour éviter tout risque d'oxydation du produit. Ce produit, par l'intermédiaire d'une pompe, est envoyé dans un réchauffeur avant de subir une première évaporation. La lessive parvient enfin dans un séparateur où a lieu la concentration. La lessive sort du séparateur à une température de 125 °C et la vapeur secondaire produite par l'évaporation issue du séparateur est réutilisée dans le réchauffeur. Une seconde pompe permet le recyclage de la lessive afin de maintenir un débit minimum de 5 kg.h<sup>-1</sup> à la sortie du séparateur afin d'éviter tout risque de colmatage. Ce recyclage se referme progressivement dès que le débit de sortie q<sub>s</sub> lessive augmente. Il est complètement fermé lorsque ce débit de sortie q<sub>s</sub> dépasse les 5 kg.h<sup>-1</sup> (On ne traitera pas ici la sécurité de bas débit sur la pompe P<sub>2</sub>).

Les vannes automatiques sont de caractéristiques linéaires. Les vannes automatiques V<sub>1</sub>, V<sub>2</sub> et V<sub>3</sub> sont de type fermées par manque d'air (FMA ou NF). La vanne de recyclage V<sub>4</sub> est de type ouverte par manque d'air (OMA ou NO).

## **I - Niveau du bac à lessive : (4 pts)**

- 1- Le transmetteur de niveau LT1 mesure la pression différentielle entre les deux piquages, et il est réglé de façon à ce que son signal de sortie augmente lorsque sa  $\Delta P = HP - BP$  augmente. Réaliser, sur le document en *annexe 3 page 9 à rendre avec la copie*, le schéma de montage complet du transmetteur en plaçant les différents éléments permettant une mesure correcte et les différentes vannes manuelles pour sa mise en service, sa vérification locale et sa maintenance.
- 2- Les chambres HP et BP du transmetteur de pression différentielle ont été raccordées comme indiqué sur le schéma de l'*annexe 3 page 9*. Écrire l'équation  $\Delta P = f(h)$ . En déduire le sens d'évolution du signal de sortie du transmetteur en fonction du niveau.  
  
On rappelle que la hauteur de liquide du côté de la chambre HP est toujours de 2,5 m grâce au pot de liquide tampon.
- 3- Sachant que la hauteur maximale mesurée  $h_{max}$  est de 2 m, calculer l'échelle et le décalage de zéro du transmetteur.
- 4- D'après la documentation d'un constructeur en *annexe 4 page 10*, choisir le modèle et le code du transmetteur. Justifier votre réponse.
- 5- Réaliser le schéma T.I (Tuyauterie et Instrumentation) de la chaîne de régulation (LT1,  $V_1$ ) de telle sorte que le niveau reste constant. (Sur le schéma joint en *annexe 1 page 7*). Préciser le sens d'action du régulateur utilisé.

## **II - Température de l'évaporateur : (4 pts)**

La température de l'évaporateur est mesurée au moyen d'un thermocouple associé à un transmetteur compensant la température de la soudure froide (*annexe 5 page 11 et 5bis page 12*).

- 1- Rappeler le principe d'une mesure de température par thermocouple. Représenter sur un schéma l'ensemble de la chaîne thermoélectrique, jusqu'au transmetteur.
- 2- L'étendue de mesure est 0 – 200 °C, donner un type de thermocouple et la nature des métaux pouvant être utilisés.
- 3- On décide d'utiliser un thermocouple de type T. La température dans l'évaporateur est de 130 °C et la température de la soudure froide est de 25 °C. En vous aidant des tables proposées en *annexes 5 page 11 et 5bis page 12*, déterminer la température indiquée si la compensation de soudure froide du transmetteur n'est pas active. (Effectuer une interpolation linéaire lorsque les valeurs que vous obtenez ne sont pas dans la table)
- 4- La pression de vapeur MP varie. Par conséquent, la régulation de température proposée n'est pas assez efficace.
  - 4-1 Proposer une nouvelle stratégie de régulation. Justifier votre choix.
  - 4-2 Sur le schéma de l'*annexe 1 page 7*, modifier le schéma T.I (Tuyauterie et Instrumentation) pour réaliser la chaîne que vous proposez. Préciser le sens du ou des régulateurs utilisés.

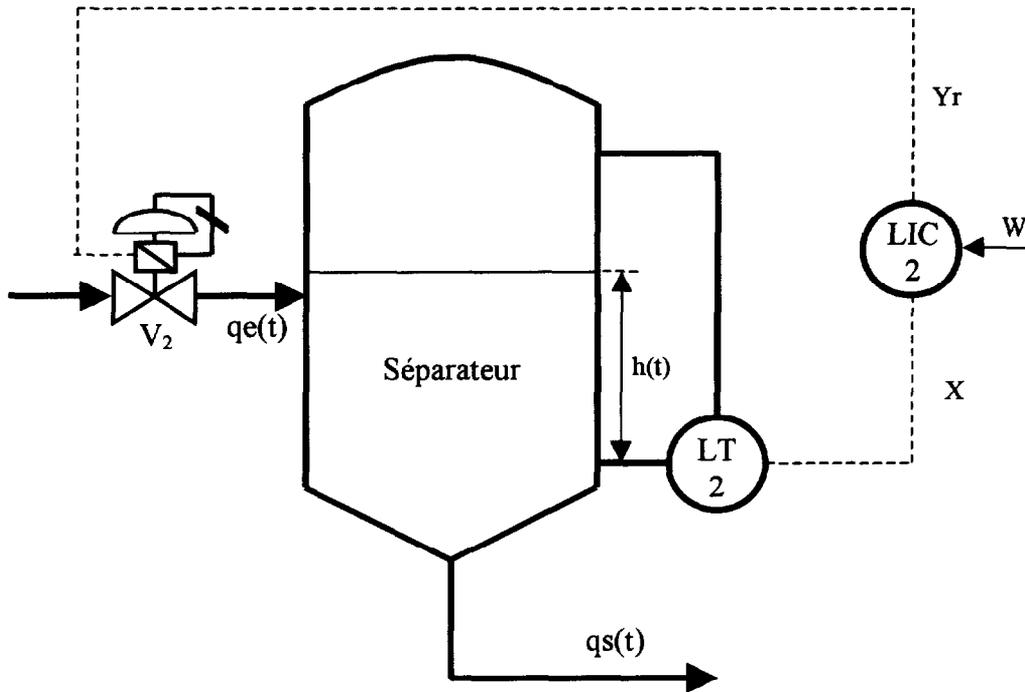
**III - Débit de recyclage : (4 pts)**

La chaîne de régulation qui permet de contrôler le débit de recyclage de la lessive est donnée sur le schéma joint en *annexe 1 page 7*.

- 1- Le débitmètre FT4 a une étendue de mesure de  $0 - 5 \text{ kg.h}^{-1}$  et le débitmètre FT5 une étendue de mesure de  $0 - 10 \text{ kg.h}^{-1}$ . L'équation de l'opérateur est de la forme :  $S=(a.E_1+a')+(b.E_2+b')$  où S,  $E_1$  et  $E_2$  sont les signaux réduits (variations entre 0 et 1). Déterminer les constantes a, a', b et b' sachant que S, grandeur réduite, représente le débit de sortie  $q_s$ , avec une étendue de mesure de  $0 - 15 \text{ kg.h}^{-1}$  comme la consigne.
- 2- Préciser le sens d'action du régulateur utilisé, justifier votre choix.
- 3- Réaliser, sur l'*annexe 2 page 8*, le schéma de câblage complet de la chaîne proposée. Les transmetteurs de débit sont passifs et le sommateur fournit son courant de sortie.

**IV - Niveau du séparateur : (8 pts)**

1- Dans un premier temps, simplifions la chaîne de telle façon qu'elle soit équivalente au schéma suivant :



$q_e(t)$  et  $q_s(t)$  : en  $m^3/h$        $h(t)$  : en m

A : amplification du régulateur à action proportionnelle  $A = 2$

S : section du réservoir  $S = 3 m^2$

On admet que la fonction de transfert de la vanne est  $V_2(p) = \frac{Q_e(p)}{Y_R(p)} = 2$  et celle du

transmetteur de niveau  $H_t(p) = \frac{X(p)}{H(p)} = 1$ , où  $Y_R(p)$  et  $X(p)$  s'expriment en pourcentage de

l'échelle de variation,  $Q_e(p)$  et  $H(p)$  étant exprimés en unités physiques

Le système est régi par les équations suivantes :

$$q_e(t) - q_s(t) = S \cdot \frac{dh(t)}{dt} \qquad q_s(t) = 4 \cdot h(t)$$

1-1 Trouver la fonction de transfert en chaîne ouverte :

$$G(p) = \frac{X(p)}{Y_R(p)}$$

En la proposant sous la forme :

$$G(p) = \frac{K_1}{1 + \tau_1 \cdot p}$$

Donner les valeurs numériques de  $K_1$  et  $\tau_1$ .

1-2 Trouver la fonction de transfert en chaîne fermée.

$$F(p) = \frac{X(p)}{W(p)}$$

Montrer qu'elle peut se mettre sous la forme :

$$F(p) = \frac{K_2}{1 + \tau_2 \cdot p}$$

Calculer les valeurs de  $K_2$  et  $\tau_2$ .

1-3 Nous prendrons pour la suite de l'exercice

$$F(p) = \frac{0,5}{1 + 0,4p}$$

Un échelon unitaire est appliqué sur l'entrée consigne du régulateur en automatique.

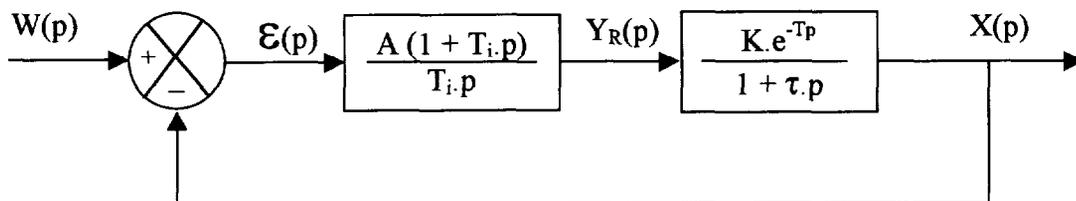
$$w(t) = u(t) \Rightarrow W(p) = \frac{1}{p}$$

1-3-1 Donner l'expression de  $X(p)$ .

1-3-2 En déduire la valeur limite atteinte par  $h(t)$  si  $t$  devient très grand.

1-3-3 Que faudrait-il faire pour que la limite de  $h(t)$  soit 1 ?

2- Dans la réalité, le procédé comporte un temps mort  $T$ . La modélisation du procédé valide le modèle de Broïda ci-dessous :



2-1 Un essai en boucle ouverte donne la courbe fournie en **annexe 6 page 13**, la graduation verticale étant dans une échelle arbitraire. Par la méthode de Broïda, donner la fonction de transfert du système, appelée  $H(p) = \frac{X(p)}{Y_R(p)}$ .

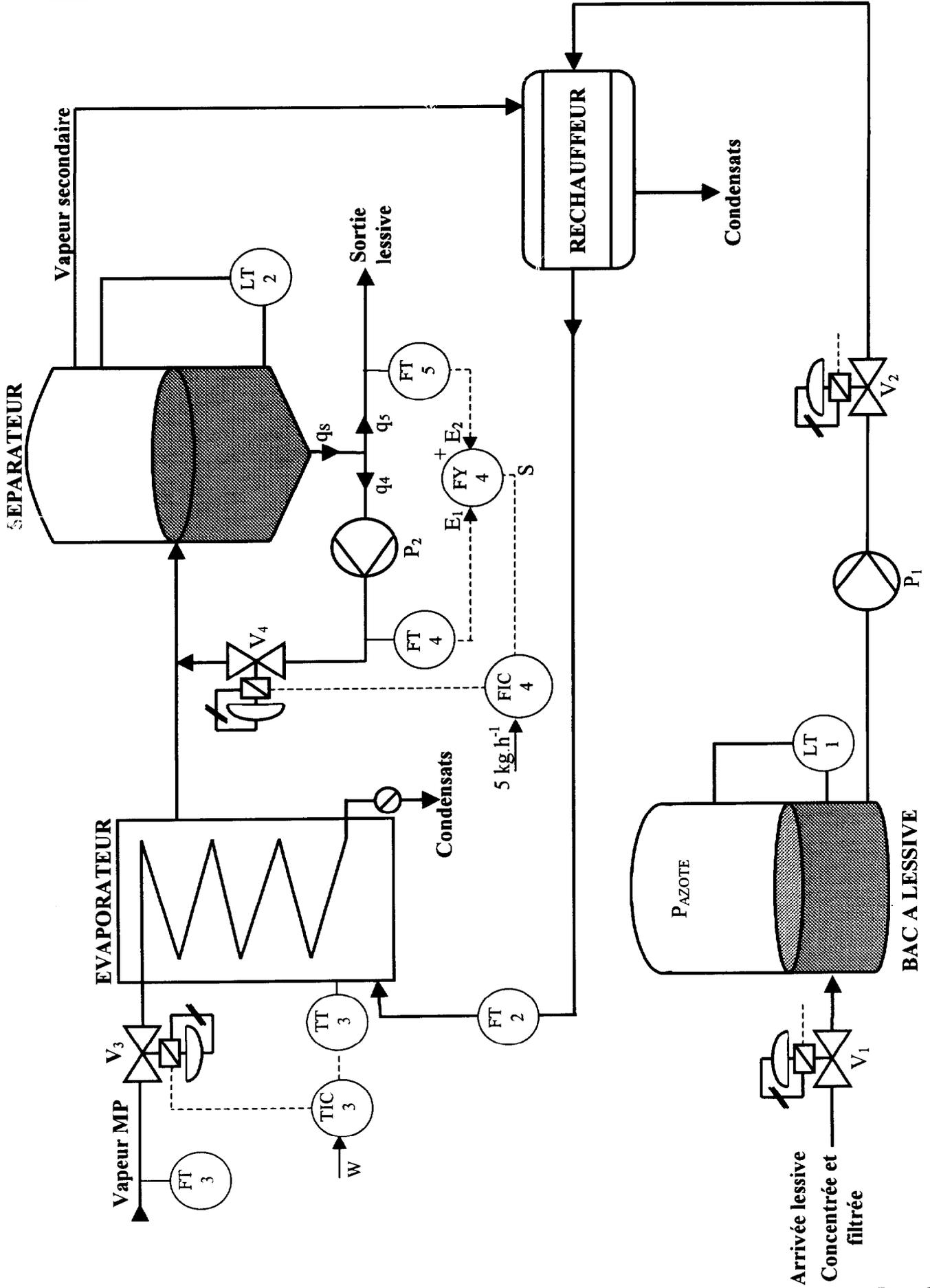
2-2 Nous utiliserons maintenant un régulateur à actions proportionnelle et intégrale.

2-2-1 Quelle est la structure du régulateur proposée ci-dessus ?

2-2-2 On admet que :

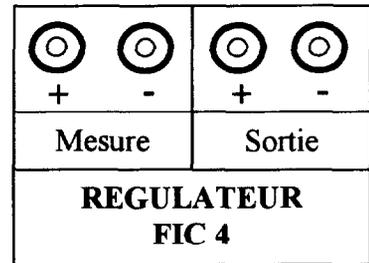
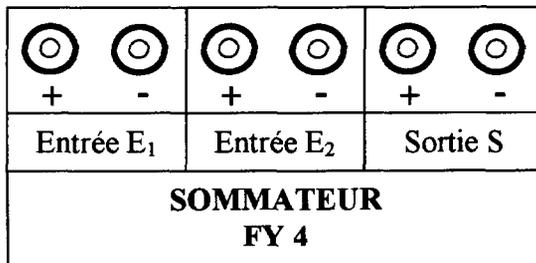
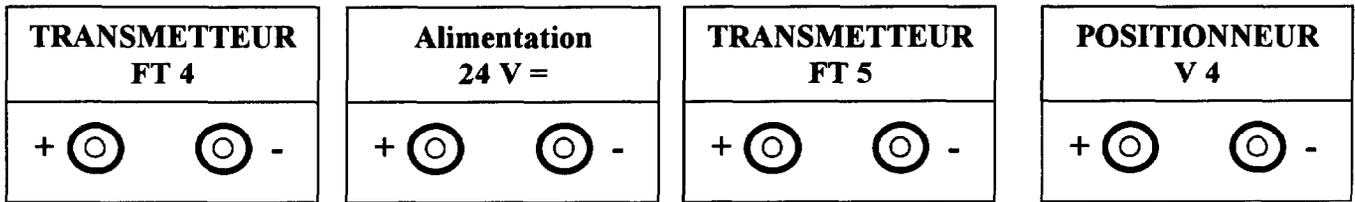
$$H(p) = \frac{0,5 \cdot e^{-0,3p}}{1 + 0,75 \cdot p}$$

En choisissant judicieusement  $T_i$ , déterminer la valeur de  $A$  afin que le système présente une marge de gain de 6 dB.



ANNEXE 2

**SCHÉMA DE CÂBLAGE À COMPLÉTER ET À RENDRE AVEC LA COPIE**

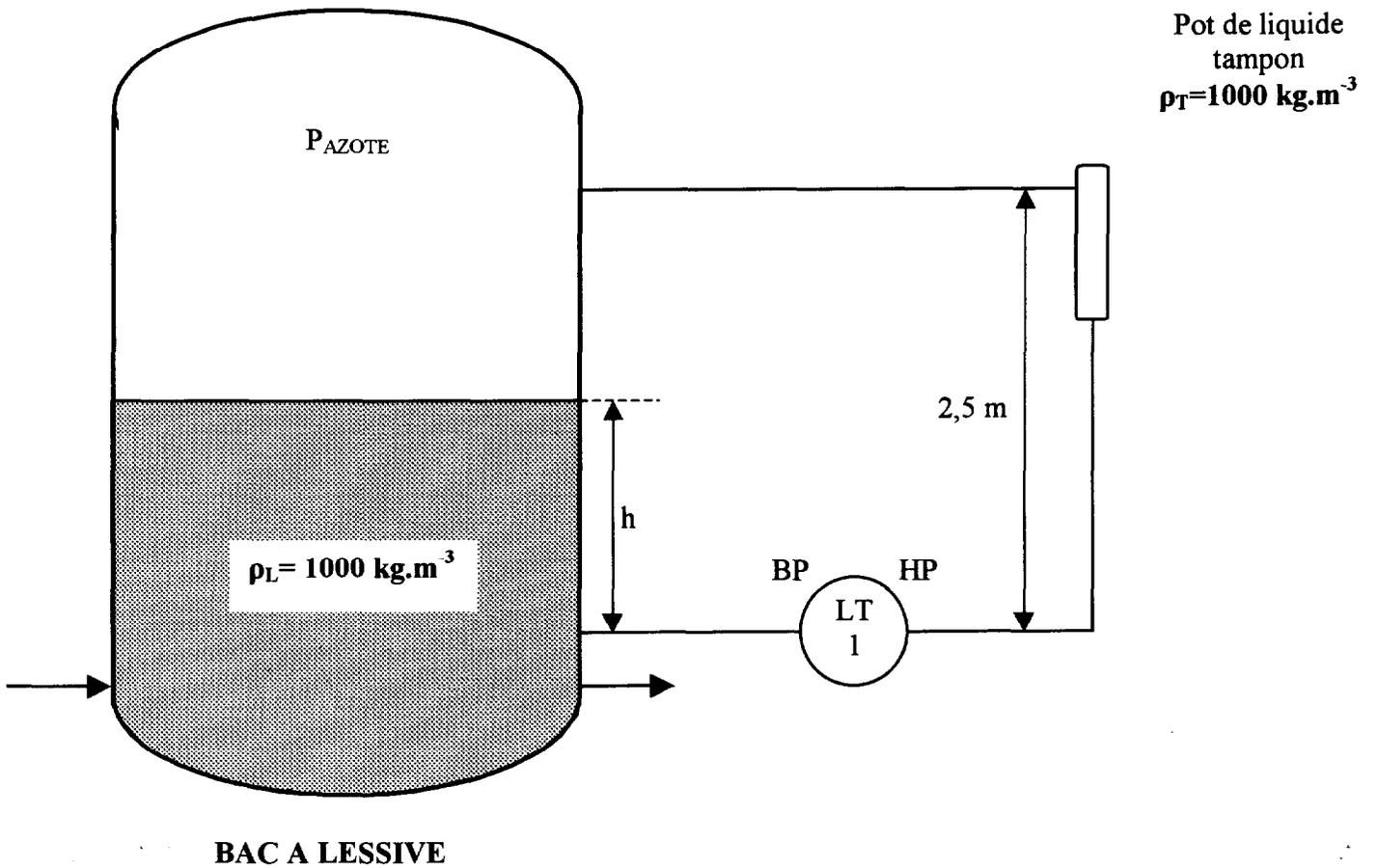


**Tous les signaux sont au format 4 – 20 mA**

ANNEXE 3

Mesure du niveau LT 1

*SCHÉMA DE MONTAGE À COMPLÉTER ET À RENDRE AVEC LA COPIE*



**Références d'un constructeur**

## Gamme des pressions

▪ **Modèle 8 DB : Pression différentielle basse**

Code des modèles	Étendue de mesure maximales (mbar ou hPa)	Étendues de mesure (mbar ou hPa)		Limite du décalage de zéro (mbar ou hPa)
		Minimales	Maximales	
8 DB A	6	1,00	6	-6 à +5
8 DB B	20	3,33	20	-20 à +16,67

▪ **Modèle 8 DM : Pression différentielle moyenne**

Code des modèles	Étendue de mesure maximales (mbar ou hPa)	Étendues de mesure (mbar ou hPa)		Limite du décalage de zéro (mbar ou hPa)
		Minimales	Maximales	
8 DMC	75	12,50	75	-75 à +62,50
8 DMD	275	46,00	275	-275 à + 229,00
8 DME	750	125,00	750	-750 à +625,00
8 DMF	2000	333,00	2000	-2000 à +1667,00

▪ **Modèle 8 DH : Pression différentielle haute**

Code des modèles	Étendue de mesure maximales (bar ou 10 <sup>5</sup> Pa)	Étendues de mesure (bar ou 10 <sup>5</sup> Pa)		Limite du décalage de zéro (bar ou 10 <sup>5</sup> Pa)
		Minimales	Maximales	
8 DHJ	6	1,00	6	-6 à +5,00
8 DHL	18	3,00	18	-18 à +15,00
8 DHN	70	11,70	70	-70 à +58,40

ANNEXE 5

THERMOCOUPLE TYPE R											
Platine - 13 % rhodium / Platine											
Force électromotrice en $\mu\text{V}$ pour une jonction de référence à 0 °C											
°C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
- 0	0	-51	-100	-145	-188	-226					
+ 0	0	54	11	171	232	296	363	431	501	573	647
100	647	723	800	879	959	1041	1124	1208	1294	1380	1468
200	1468	1557	1647	1738	1830	1923	2017	2111	2207	2303	2400
300	2400	2498	2596	2695	2795	2896	2997	3099	3201	3304	3407
400	3407	3511	3616	3721	3826	3933	4039	4146	4254	4362	4471
500	4471	4580	4689	4799	4910	5021	5132	5244	5356	5469	5582
600	5582	5696	5810	5925	6040	6155	6272	6388	6505	6623	6741
700	6741	6860	6976	7098	7218	7339	7460	7582	7703	7826	7949
800	7949	8072	8196	8320	8445	8570	8696	8822	8949	9076	9203
900	9203	9331	9460	9589	9718	9848	9978	10109	10240	10371	10503
1000	10503	10636	10768	10902	11035	11170	11304	11439	11574	11710	11846
1100	11846	11983	12119	12257	12394	12532	12669	12808	12946	13085	13224
1200	13224	13363	16502	13642	13782	13922	14062	14202	14343	14483	14624
1300	14624	14765	14906	15047	25188	15329	15470	15611	15752	15893	16035
1400	16035	16176	16317	16458	16599	16741	16882	17022	17163	17304	17445
1500	17445	17585	17726	17866	18006	18146	18286	18425	18564	18703	18842
1600	18842	18981	19119	19395	19395	19533	19670	19807	19944	20080	20215
1700	20215	20350	20483	20748	20748	20878	21006				

THERMOCOUPLE TYPE T											
Cuivre / Cuivre - nickel											
Force électromotrice en $\mu\text{V}$ pour une jonction de référence à 0 °C											
°C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
- 200	-5603	-5753	-5889	-6007	-6105	-6181	-6232	-6258			
- 100	-3378	-3656	-3923	-4177	-4419	-4648	-4865	-5069	-5261	-5439	-5603
- 0	0	-383	-757	-1121	-1475	-1819	-2152	-2475	-2788	-3089	-3378
+ 0	0	391	789	1196	1611	2035	2467	2908	3357	3813	4277
100	4277	4749	5227	5712	6204	6702	7207	7718	8235	8757	9286
200	9286	9820	10360	10905	11456	12011	12572	13137	13707	14281	14860
300	14860	15443	16030	16621	17217	17816	18420	19027	19638	20252	20869
400	20869										

ANNEXE 5bis

THERMOCOUPLE TYPE J											
Fer / Cuivre - nickel											
Force électromotrice en $\mu\text{V}$ pour une jonction de référence à 0 °C											
°C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
- 200	-7890	-8096									
- 100	-4632	-5036	-5426	-5801	-6159	-6499	-6821	-7122	-7402	-7659	-7890
- 0	0	-501	-995	-1481	-1960	-2431	-2892	-3344	-3785	-4215	-4632
+ 0	0	507	1019	1536	2058	2585	3115	3649	4186	4725	5268
100	5268	5812	6359	6907	7457	8008	8560	9113	9667	10222	10777
200	10777	11332	11887	12442	12998	13553	14108	14663	15217	15771	16325
300	16325	16879	17432	17984	18537	19089	19640	20192	20743	21295	21846
400	21846	22397	22949	23501	24054	24607	25161	25716	26272	26829	27388
500	27388	27949	28511	29075	29642	30210	30782	31356	31933	32513	33096
600	33096	33683	34273	34867	35464	36066	36671	37280	37893	38510	39130
700	39130	39754	40382	41013	41647	42283	42922	43563	44207	44852	45498
800	45498										

THERMOCOUPLE TYPE K											
Nickel - chrome / Nickel - aluminium											
Force électromotrice en $\mu\text{V}$ pour une jonction de référence à 0 °C											
°C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
- 200	-5891	-6035	-6262	-6344	-6404	-6441	-6458				
- 100	-3553	-3852	-4138	-4410	-4669	-4912	-5141	-5354	-5550	-5730	-5891
- 0	0	-392	-777	-1156	-1527	-1889	-2243	-2586	-2920	-3242	-3553
+ 0	0	397	798	1203	1611	2022	2436	2850	3266	3681	4095
100	4095	4508	4919	5327	5733	6137	6539	6939	7338	7737	8137
200	8137	8537	8938	9341	9745	10151	10560	10969	11381	11793	12207
300	12207	12626	13039	13456	13874	14292	14712	15132	15552	15974	16395
400	16395	16818	14241	17664	18088	18513	18938	19363	19788	20214	20640
500	20640	21066	21493	21919	22346	22772	23198	23624	24050	24476	24902
600	24902	25327	25751	26176	26599	27022	27445	27867	28288	28709	29128
700	29128	29547	29965	30383	30799	31214	31629	32042	32455	32866	33277
800	33277	33686	34095	34502	34909	35314	35718	36121	36524	36925	37325
900	37325	37724	38122	38519	38915	39310	39703	40096	40488	40879	41269
1000	41269	41657	42045	42432	42817	43202	43585	43968	44349	44729	45108
1100	45108	45486	45863	46238	46612	46985	47356	47726	48095	48462	48828
1200	48828	49192	49555	49916	50276	50633	50990	51344	51697	52049	52398
1300	52398										

