

TD4 - Vasapolli

		Pt	A	B	C	D	Note
1	Compléter le plan T.I. de la régulation de débit massique de pierre à chaux.	0,5	A				0,5
2	À partir du plan T.I. préciser la technologie utilisée pour la mesure du débit d'eau.	0,5	C				0,175
3	Donner le nom de la stratégie de régulation du régulateur FIC2 proposée ci-dessus. Préciser la grandeurs menée.	1	C				0,35
4	Compléter le schéma-bloc SNCC correspondant à la stratégie de régulation du régulateur FIC2.	1	A				1
5	Écrire l'égalité reliant QmLC à QmPC et du débit volumique de l'eau Qve.	0,5	B				0,375
6	À partir du tableau de données du procédé ci-dessus, calculer le débit massique de lait de chaux QmLC en t.h-1.	0,5	A				0,5
7	En déduire, le débit massique d'eau de dissolution QmE (t.h-1).	0,5	A				0,5
8	Donner le débit volumique d'eau de dissolution QvE (2) (m3.h-1).	0,5	A				0,5
9	Calculer le coefficient de proportionnalité R = QvE/QmPC en m3.t-1	0,5	A				0,5
10	Exprimer X1(%) en fonction de QmPC.	1	A				1
11	Exprimer X2(%) en fonction de QvE.	1	A				1
12	Calculer numériquement K%.	1	C				0,35
13	Afin que le niveau mesuré par LT3 demeure insensible à ces variations, proposer une stratégie de régulation faisant intervenir la vanne FV4 et le transmetteurs FT4.	0,5	D				0,025
14	Compléter le plan T.I. de cette stratégie.	1	D				0,05
15	Donner son principe de fonctionnement en 5 lignes maximum.	0,5	A				0,5
16	Donner un intérêt de ce type de communication.	0,5	A				0,5
17	À l'aide de la notice technique , donner son débit massique maximum en kg.h-1 pour un DN (Diamètre Nominal) de 25.	0,5	A				0,5
18	En déduire la stabilité de son zéro en kg.h-1 pour un modèle en Acier Inox à l'aide de la notice.	0,5	A				0,5
19	Calculer son incertitude de mesure totale maximale en kg.h-1 à l'aide de la notice.	0,5	A				0,5
20	Compléter le plan T.I. de cette stratégie.	1	A				1
21	Déterminer le modèle de Broïda de la fonction de transfert H5(p).	0,5	A				0,5
22	Faire figurer les traits de construction sur l'enregistrement.	1	A				1
23	Déterminer judicieusement la valeur de la constante de temps d'intégration Ti5.	0,5	B				0,375
24	Déterminer la valeur de A5 pour avoir une marge de gain de 10 dB. Donner seulement le plan de Black correspondant à ce réglage.	1	C				0,35
25	Ajouter la droite ayant permis la détermination des coefficients A1 et A0 sur le graphique représentant les mesures.	0,5	A				0,5
26	Déterminer A0.	0,5	B				0,375
27	Déterminer A1.	0,5	B				0,375
28	Relever la valeur de déphasage correspondante à 78 °Brix.	0,5	A				0,5
29	Relever la valeur de déphasage correspondante à 88 °Brix.	0,5	A				0,5
30	Pour une concentration de 85 °Brix, donner la valeur du courant généré par le transmetteur à sortie 4-20 mA.	0,5	A				0,5
31	Donner le nom de la stratégie de régulation réalisée.	0,5	A				0,5
32	Compléter le plan T.I. de cette stratégie.	1	A				1
33	Représenter sur le diagramme de partage en % d'ouverture (le point de partage est fixé à 50%).	1	B				0,75
34	Donner le sens d'action du régulateur de concentration DIC 6. Justifier.	0,5	A				0,5

ote : 18,05/22,5

TD4 Vasapolli

Q1 Q2 Q3 Q4 Q5 Q6 Q7 Q8 Q9 Q10 Q11 Q12 Q13 Q14 Q15 Q16 Q17 Q18 Q19 Q20 Q21 Q22 Q23 Q24 Q25 Q26 Q27 Q28 Q29 Q30 Q31 Q32 Q33 Q34

Production de sucre

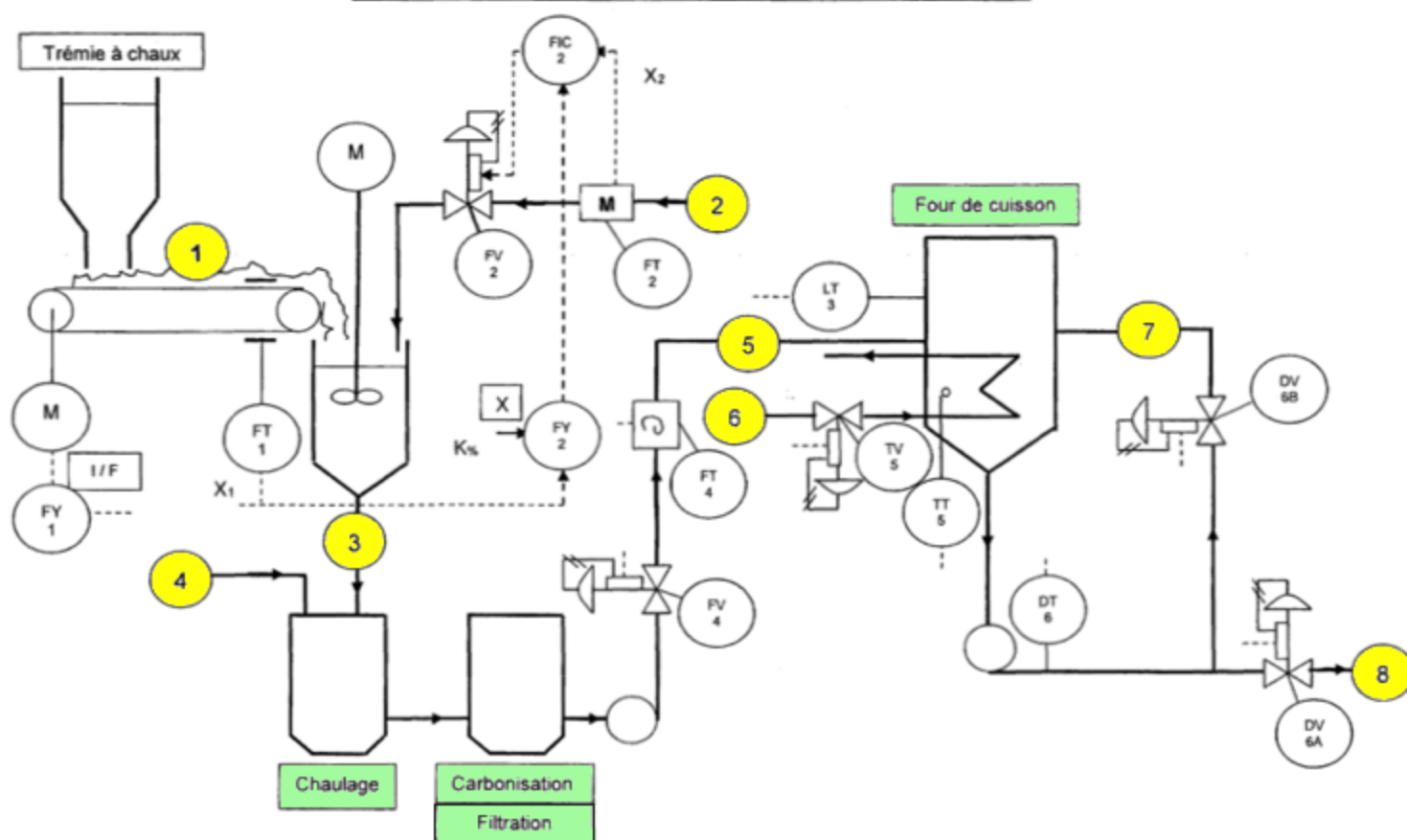
Le procédé étudié dans ce sujet est basé sur la production de sucre cristal à partir de la betterave sucrière. Le Plan de Circulation des Fluides (PCF) de l'ensemble de l'installation est représenté ci-dessous.

- La première étape consiste à épurer le jus sucré de débit volumique Q_{Js} (4) dans trois zones distinctes (le chaulage, la carbonisation et la filtration).

- Le jus sucré filtré obtenu de débit volumique Q_{JsF} (5) est ensuite chauffé dans un four de cuisson par de la vapeur de débit Q_{Vap} (6) afin d'obtenir un jus concentré sucré de teneur en saccharose imposé de débit volumique Q_{JsC85} (8).

- On obtiendra enfin le sucre cristal par une unité de cristallisation non étudiée dans ce sujet.

Plan Tuyauterie et Instrumentation de la production



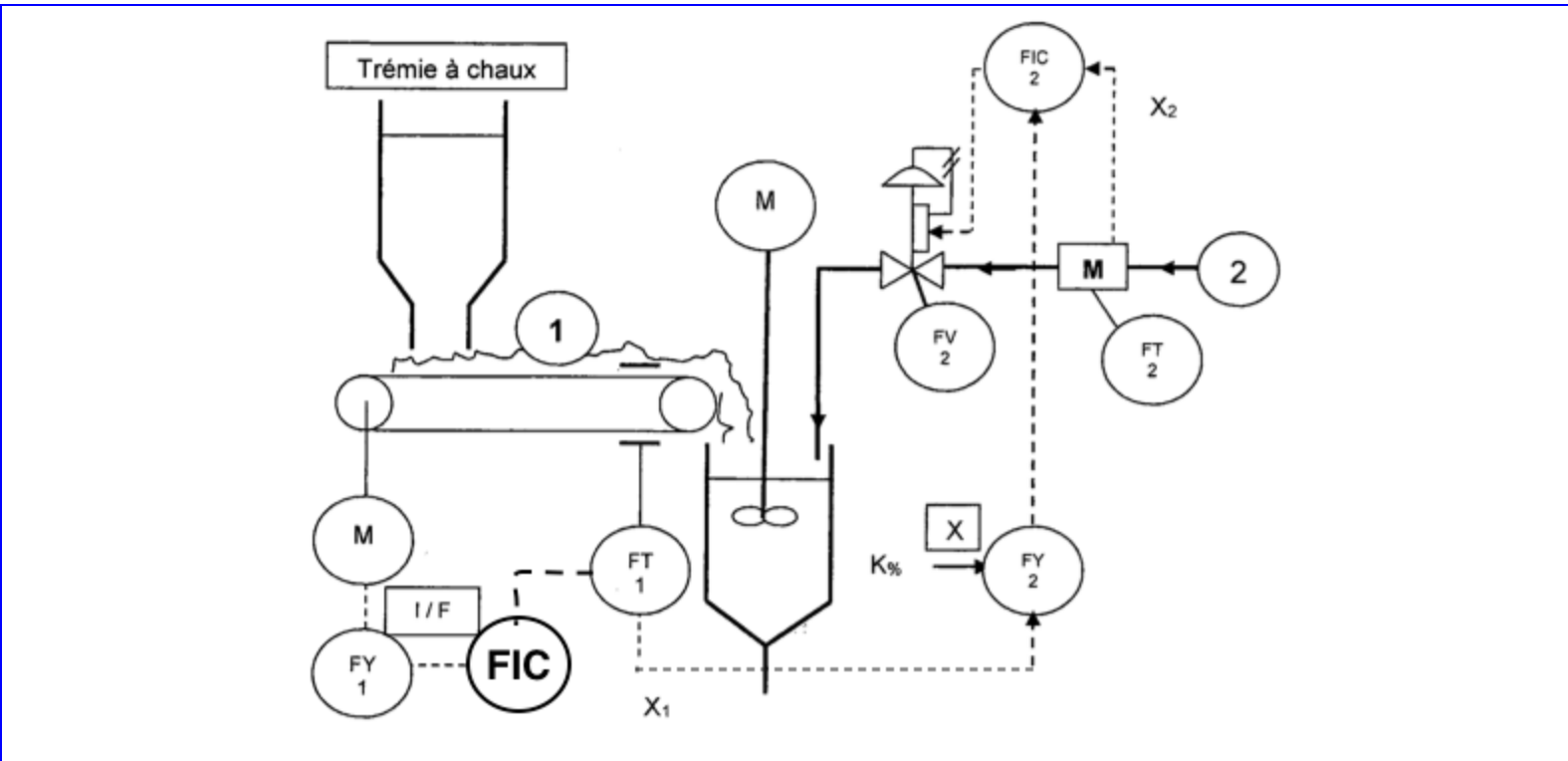
Cinq régulations distinctes seront développées ci-après :

1. Le débit massique de pierres à chaux Q_{mPC} (1) est mesuré par une bande peseuse et réglé par la vitesse d'entraînement du tapis.
2. Le débit volumique de lait de chaux Q_{vLC} (3) est obtenu par mélange des pierres à chaux et d'eau de débit volumique Q_{vE} (2) selon un ratio précis.
3. Le niveau de jus sucré filtré dans le four de cuisson est réglé par action sur le débit volumique Q_{JsF} .
4. La température du jus filtré dans le four est réglée par action sur le débit vapeur Q_{Vap} .
5. La densité du jus concentré est réglée par action sur les débits volumiques de recirculation Q_{Rec} (7) et de jus concentré Q_{JsC85} (8).

Les signaux des transmetteurs sont linéaires de sortie normalisée 4-20 mA. Les caractéristiques installées des vannes sont considérées linéaires.

Fabrication du lait de chaux

Q1 : Compléter le plan T.I. de la régulation de débit massique de pierre à chaux. .5



Q2 : À partir du plan T.I. préciser la technologie utilisée pour la mesure du débit d'eau. .5

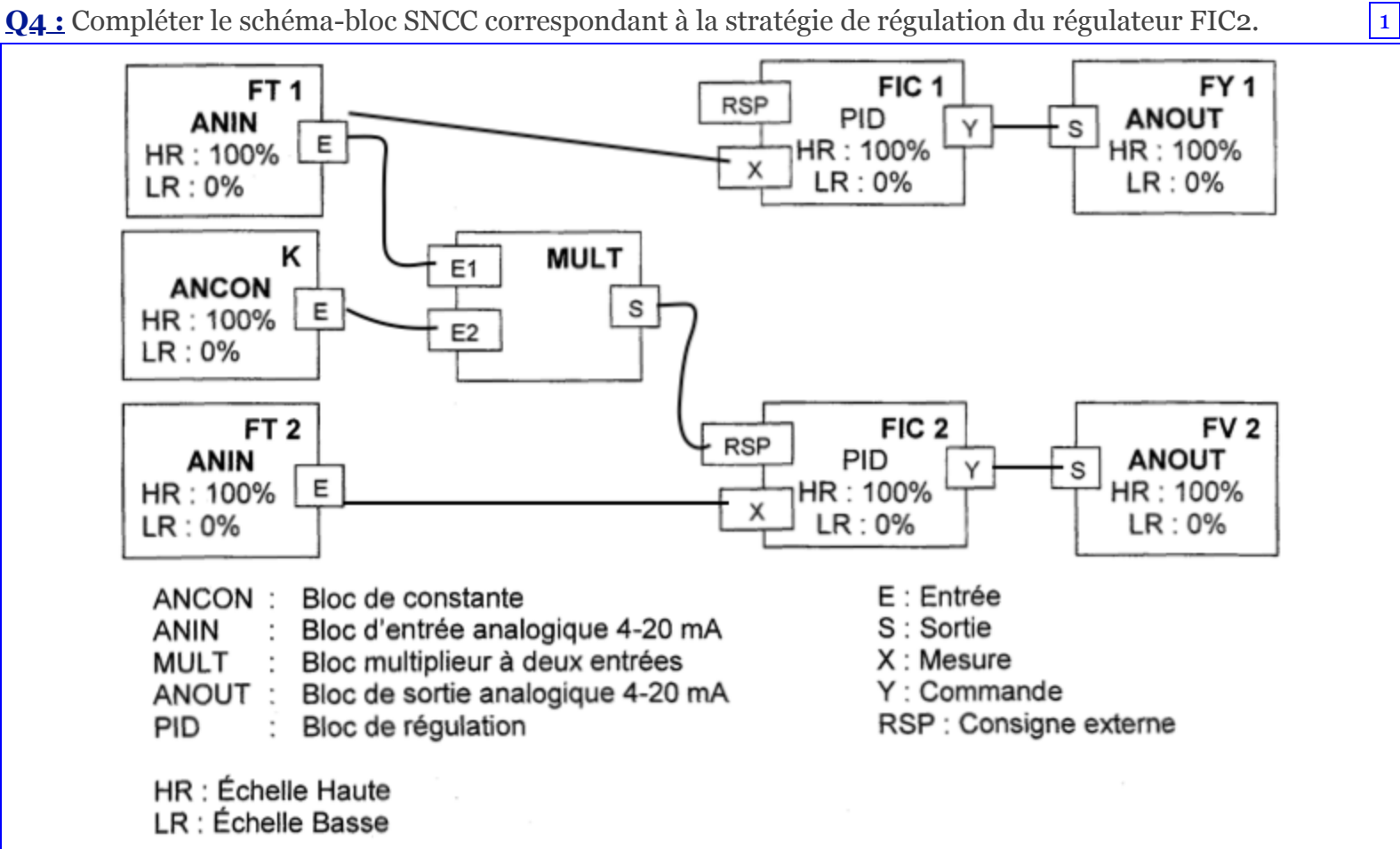
La technologie utilisée est un capteur avec une petite turbine, hélice qui mesure le débit d'eau

Q3 : Donner le nom de la stratégie de régulation du régulateur FIC2 proposée ci-dessus. Préciser la grandeurs menée. 1

Il y a deux mesures, donc régulation parallèle. Avec FT2 pour grandeurs menée



1



E : Entrée
S : Sortie
X : Mesure
Y : Commande
RSP : Consigne externe

Page 3

Le cahier des charges impose un débit volumique de lait de chaux Q_{vLC} de $18\text{ m}^3.\text{h}^{-1}$ et de masse volumique $\rho_{LC} = 1\,200\text{ kg}.\text{m}^{-3}$. On cherche à régler précisément le débit d'eau de dissolution par ajustage du coefficient $K\%$.

Le débit massique total de lait de chaux Q_{mLC} est égal à la somme du débit massique de pierres à chaux Q_{mPC} (1) et du débit massique d'eau Q_{mE} (2).

Q5 : Écrire l'égalité reliant Q_{mLC} à Q_{mPC} et du débit volumique de l'eau Q_{vE} . .5

en t/h => $Q_{mlc} = Q_{mpc} + Q_{me}$

	Lait de chaux	Pierres à chaux	Eau de dissolution
Débit volumique ($\text{m}^3.\text{h}^{-1}$)	18,0		À déterminer
Débit massique ($\text{t}.\text{h}^{-1}$)	À déterminer	1,5	À déterminer
Masse volumique ($\text{kg}.\text{m}^{-3}$)	1 200	3300	1 000
Étalonnage Transmetteur		0 – 2 $\text{t}.\text{h}^{-1}$	0 – 25 $\text{m}^3.\text{h}^{-1}$

Q6 : À partir du tableau de données du procédé ci-dessus, calculer le débit massique de lait de chaux Q_{mLC} en $\text{t}.\text{h}^{-1}$. .5

mettre m3 en tonne => $Q_{mlc} = \rho_{LC} \cdot 10^{-3} \times Q_{vlc} = 18 \cdot 1,2 = 21,6\text{ t/h}$

Q7 : En déduire, le débit massique d'eau de dissolution Q_{mE} ($\text{t}.\text{h}^{-1}$). .5

$Q_{me} = Q_{mlc} - Q_{mpc} = 21,6 - 1,5 = Q_{me} = 20,1\text{ t/h}$

Q8 : Donner le débit volumique d'eau de dissolution Q_{vE} (2) ($\text{m}^3.\text{h}^{-1}$). .5

$Q_{ve} = Q_{me} \cdot 10^3 / \rho_{\text{eau}} = 20100 / 1000 = 20,1\text{ m}^3/\text{h}$

Q9 : Calculer le coefficient de proportionnalité $R = Q_{vE} / Q_{mPC}$ en $\text{m}^3.\text{t}^{-1}$.5

$R = 20,1 / 1,5 = 13,4\text{ m}^3/\text{t}$

On choisira un coefficient de proportionnalité $R = 12$ pour la question suivante.
Le coefficient de proportionnalité $K\%$ entre les deux signaux normalisés $X1(\%)$ et $X2(\%)$, à implémenter dans le bloc SNCC « ANCON » dépend des étendues de mesure de $FT1$ et $FT2$, ainsi que de R .
On rappelle que le coefficient d'étalonnage désigne la constante qui relie le signal normalisé (compris entre 0 et 100%) de mesure à la grandeur physique.
- $X1(\%)$ est le signal normalisé de la mesure du débit massique $Q_{mPC} (t.h^{-1})$.
- $X2(\%)$ est le signal normalisé de la mesure du débit volumique $Q_{vE} (2) (m^3.h^{-1})$.

Q10 : Exprimer $X1(\%)$ en fonction de Q_{mPC} . .25

théorème de Gatt $Q_{mpc} = 75\%$ reviens à dire $X1 = (Q_{mpc} * 100) / 2 = 75\%$

Q11 : Exprimer $X2(\%)$ en fonction de Q_{vE} . .25

même chose avec l'étalonnage capteur donné précédemment : $X2 = (Q_{ve} * 100) / 25 = 80,4\%$

Q12 : Calculer numériquement $K\%$. 1

$K = X2 / X1 = 80,4 / 75 = 1,07\%$

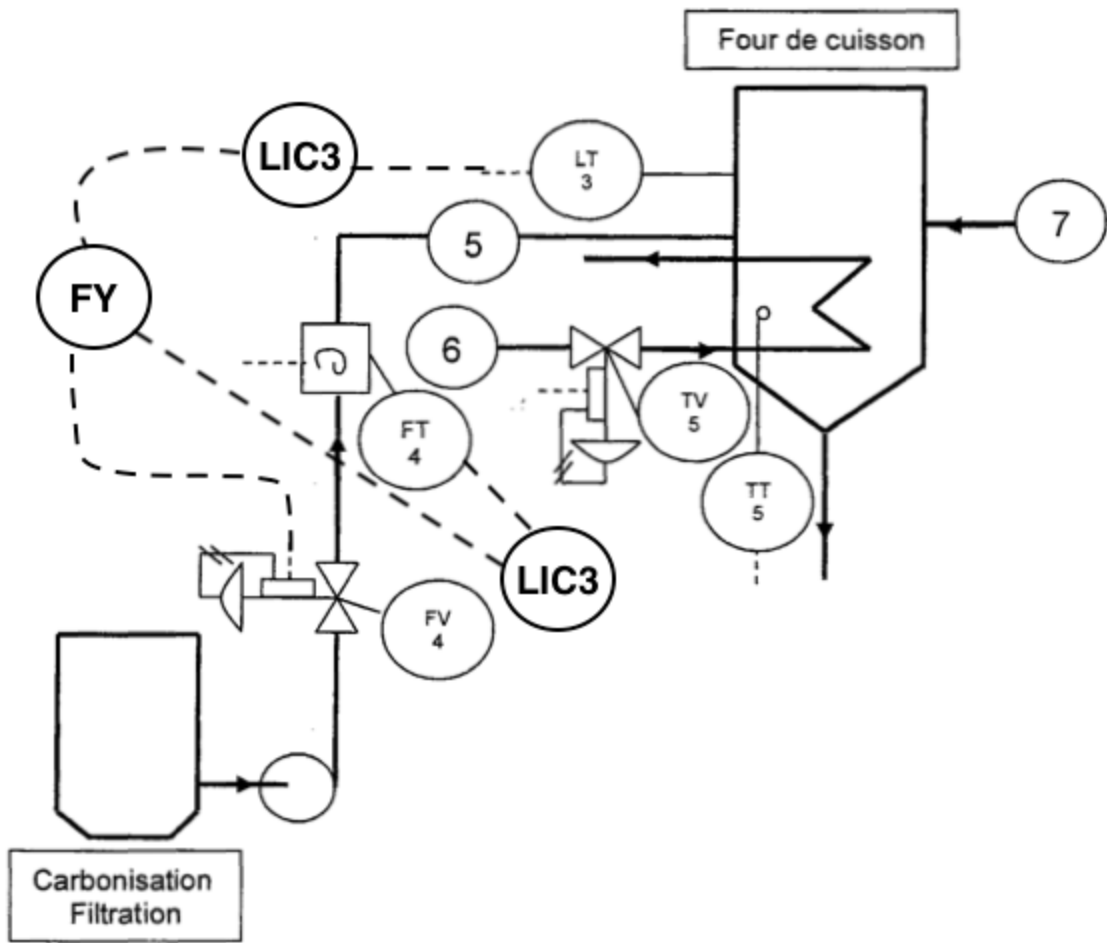
Régulation de niveau de jus sucré filtré

Le jus sucré filtré (forme liquide) de débit Q_{JsF} (5) est envoyé dans plusieurs fours de cuisson (un seul est représenté sur le plan T.I.). Ce débit est donc sujet à de grandes variations en fonction de la demande sur l'ensemble des fours.

Q13 : Afin que le niveau mesuré par LT3 demeure insensible à ces variations, proposer une stratégie de régulation faisant intervenir la vanne FV4 et le transmetteurs FT4.

on utilise une régulation parallèle pour éviter le débordement du liquide

Q14 : Compléter le plan T.I. de cette stratégie.



Le transmetteur de débit FT4 est un débitmètre massique à force de Coriolis.

Q15 : Donner son principe de fonctionnement en 5 lignes maximum. .5

Dans un tube en forme de U, on fait s'écouler le fluide qu'on veut mesurer son débit. Le tube est relié à des capteurs de vibrations et des éléments vibrants à une fréquence donnée. La force de Coriolis exercée sur le tube par le fluide en mouvement à l'intérieur, induit un déphasage entre le tube et l'oscillation forcée. En conséquence la mesure du débit par un débitmètre à effet Coriolis repose sur l'information de deux capteurs électrodynamique disposés de part et d'autre de l'oscillateur (le tube en U). Ces capteurs mesurent la vitesse de déplacement du tube de mesure. Le déphasage entre les deux capteurs de mesures est proportionnel au débit massique du fluide circulant dans le tube.

Le débitmètre massique utilisé est le modèle OPTIMASS 7000 de marque KROHNE. Il est communiquant sous le protocole HART.

Q16 : Donner un intérêt de ce type de communication. .5

avec le protocole HART, cela nous permet de l'étalonner à distance.

Q17 : À l'aide de [la notice technique](#) , donner son débit massique maximum en kg.h⁻¹ pour un DN (Diamètre Nominal) de 25. .5

pour un DN 25 on a un débit de 44 800 Kg/h

Q18 : En déduire la stabilité de son zéro en kg.h⁻¹ pour un modèle en Acier Inox à l'aide de la notice. .5

$44800 \times 0,015 / 100 = \pm 6,72 \text{ Kg/h}$

Le débit massique mesuré réel $Q_{JsF}(5)$ est de 10 t.h⁻¹.

Q19 : Calculer son incertitude de mesure totale maximale en kg.h⁻¹ à l'aide de la notice. .5

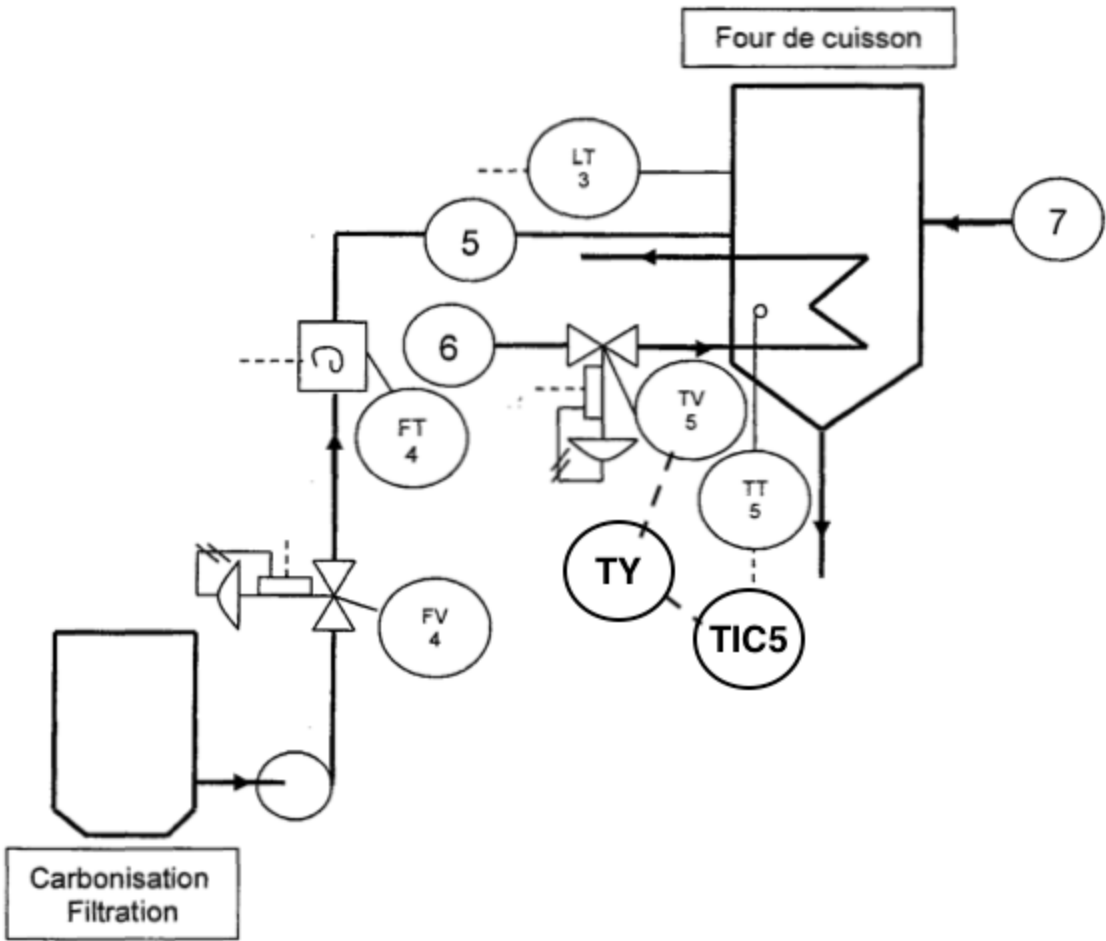
son incertitude $10000 \times 0,1 / 100 = 10 \text{ Kg/h} + 6,72 \text{ Kg/h} = 16,72 \text{ Kg/h}$ d'incertitude totale

Régulation de température du jus sucré filtré dans le four

La température du jus sucré dans le four de cuisson est réglée par le débit vapeur Q_{Vap} (6).

Q20 : Compléter le plan T.I. de cette stratégie.

1

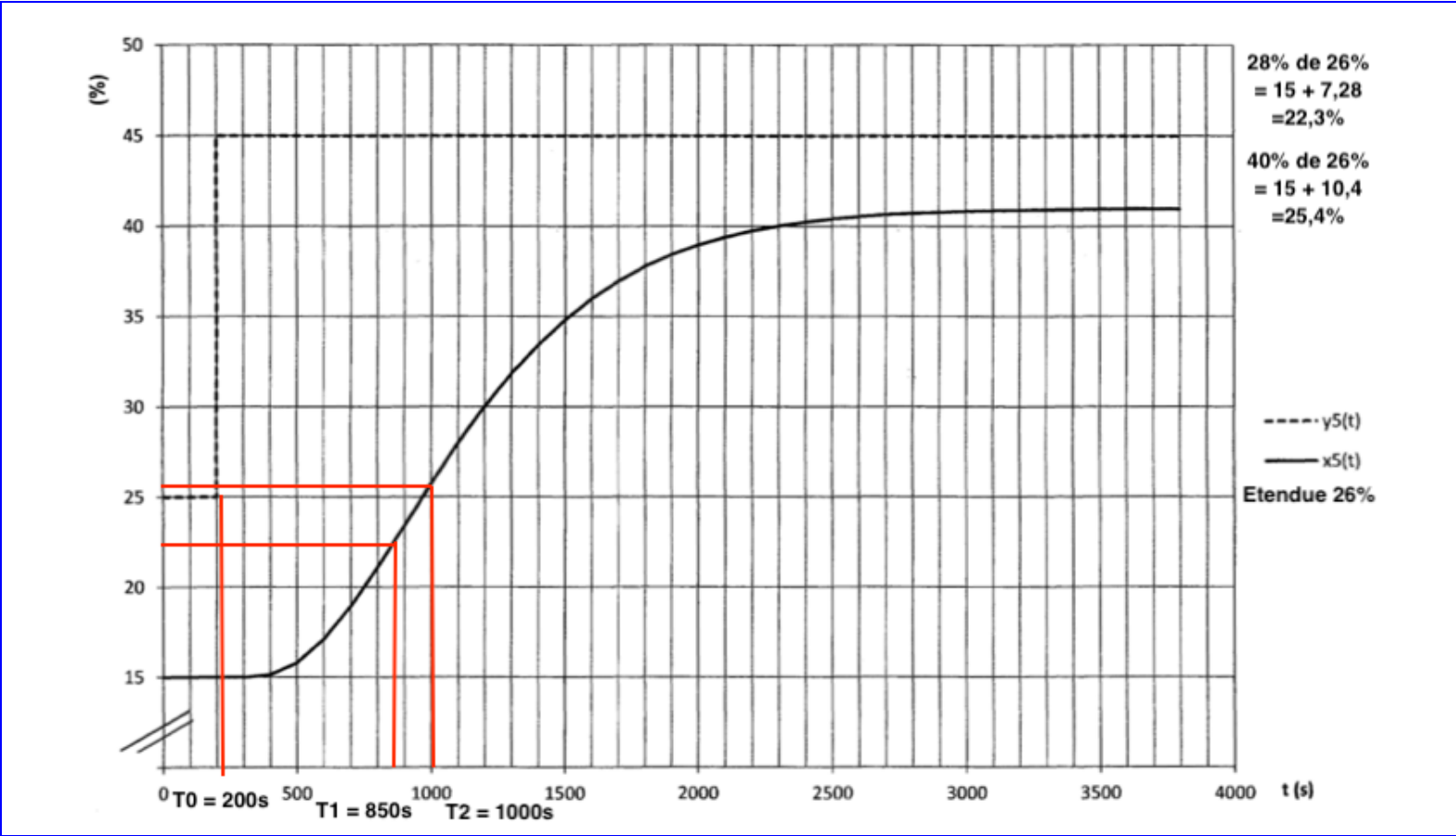


On désire régler le procédé de température par une méthode appropriée. Auparavant, il sera nécessaire d'identifier le procédé dont la réponse $x_5(t)$ à un échelon de commande $y_5(t)$ sur la vanne (TV 5).

Q21 : Déterminer le modèle de Broïda de la fonction de transfert $H_5(p)$. .5

$H(p) = 1,3 \cdot e^{(-380p)} / (1 + 825p)$

Q22 : Faire figurer les traits de construction sur l'enregistrement. 1



On considérera que la fonction de transfert du procédé s'écrit :

$$H_5(p) = \frac{X_5(p)}{Y_5(p)} = \frac{1,5}{1 + 900p} \cdot e^{-400p}$$

Le correcteur utilisé est de type PI mixte de gain A_5 et de temps intégral Ti_5 .

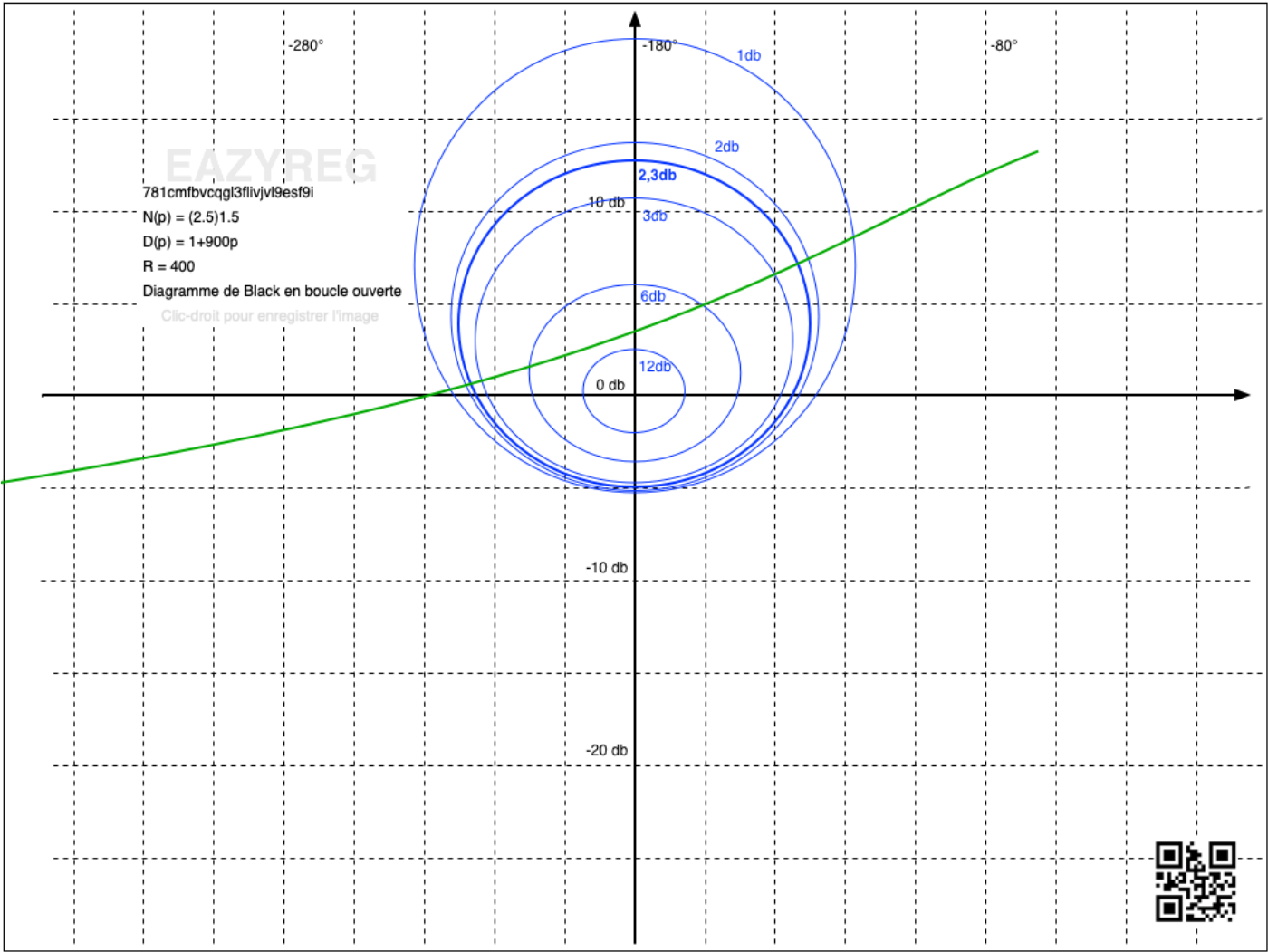
Q23 : Déterminer judicieusement la valeur de la constante de temps d'intégration Ti_5 .

.5

PID mixte $Ti = 825 + 0,4 \cdot 380 = 977s$

Q24 : à l'aide d'EasyReg, déterminer la valeur de A_5 pour avoir une marge de gain de 10 dB. Donner seulement le plan de Black correspondant à ce réglage.

1



Production du sirop

Concentration en saccharose du jus concentré sucré

Pour connaître l'avancement de la cristallisation, on mesure la concentration en saccharose en sortie du four de cuisson à l'aide d'un module de mesure par micro-ondes. On souhaite alors que la concentration du jus en saccharose atteigne environ 90 °Brix (le °Brix est le pourcentage massique de saccharose dissous dans le mélange).

Lorsque les micro-ondes traversent le produit à mesurer, elles subissent une forte interaction due à la présence d'eau. Des mesures de déphasage et d'atténuation permettent de déterminer la teneur en eau avec une grande précision et donc d'en déduire la concentration en °Brix.

La grandeur **Concentration** est une fonction linéaire de la grandeur **Déphasage** de la forme :

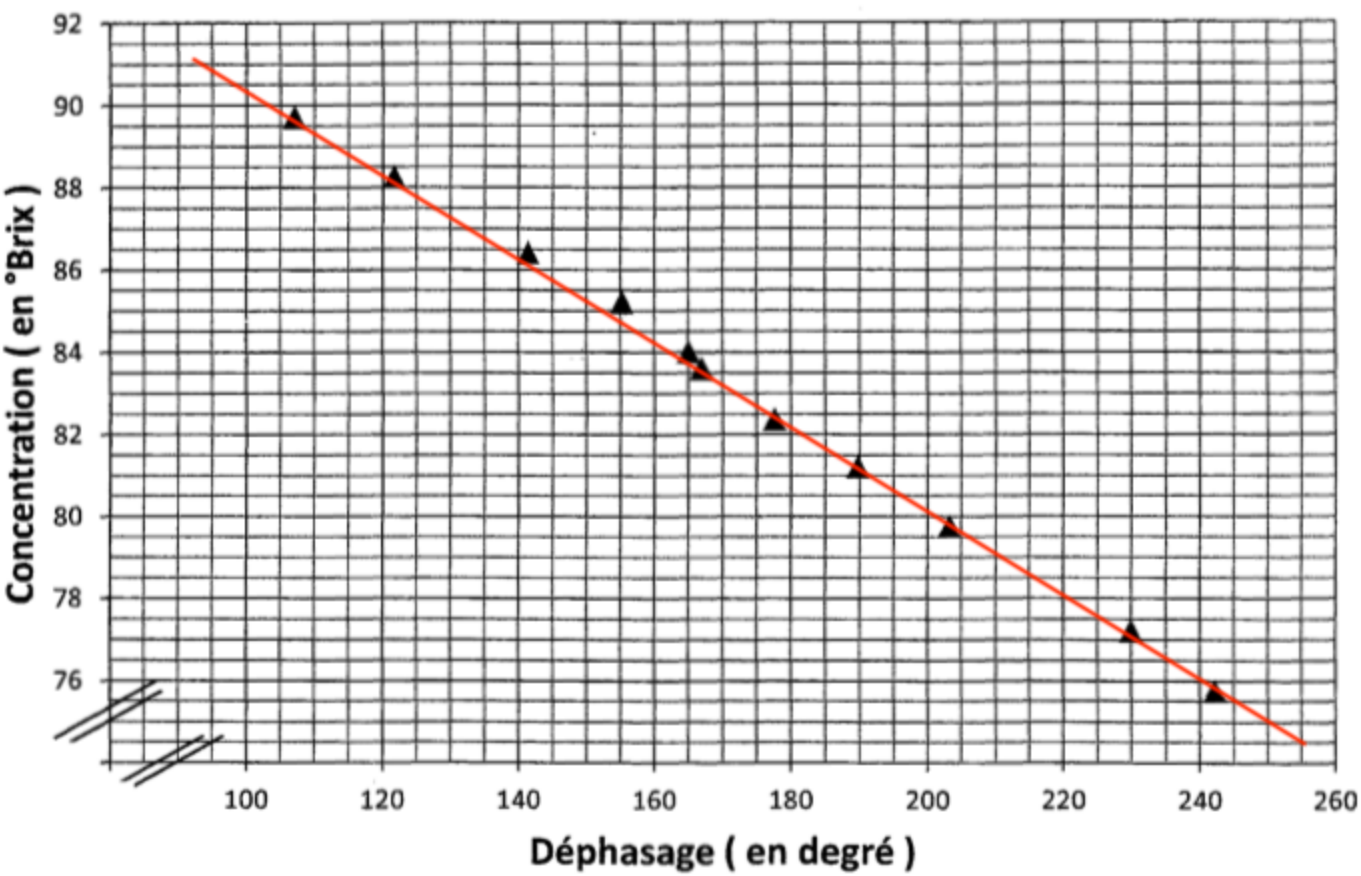
$$\text{Concentration} = A_1 \times \text{Déphasage} + A_0$$

(Déphasage entre 0 et 360°, Concentration en °Brix)

Les coefficients A_1 et A_0 ont été déterminés à l'aide d'échantillons de jus en concentrations connues.

Q25 : Ajouter la droite ayant permis la détermination des coefficients A_1 et A_0 sur le graphique représentant les mesures.

.5



Q26 : Déterminer A_0 .

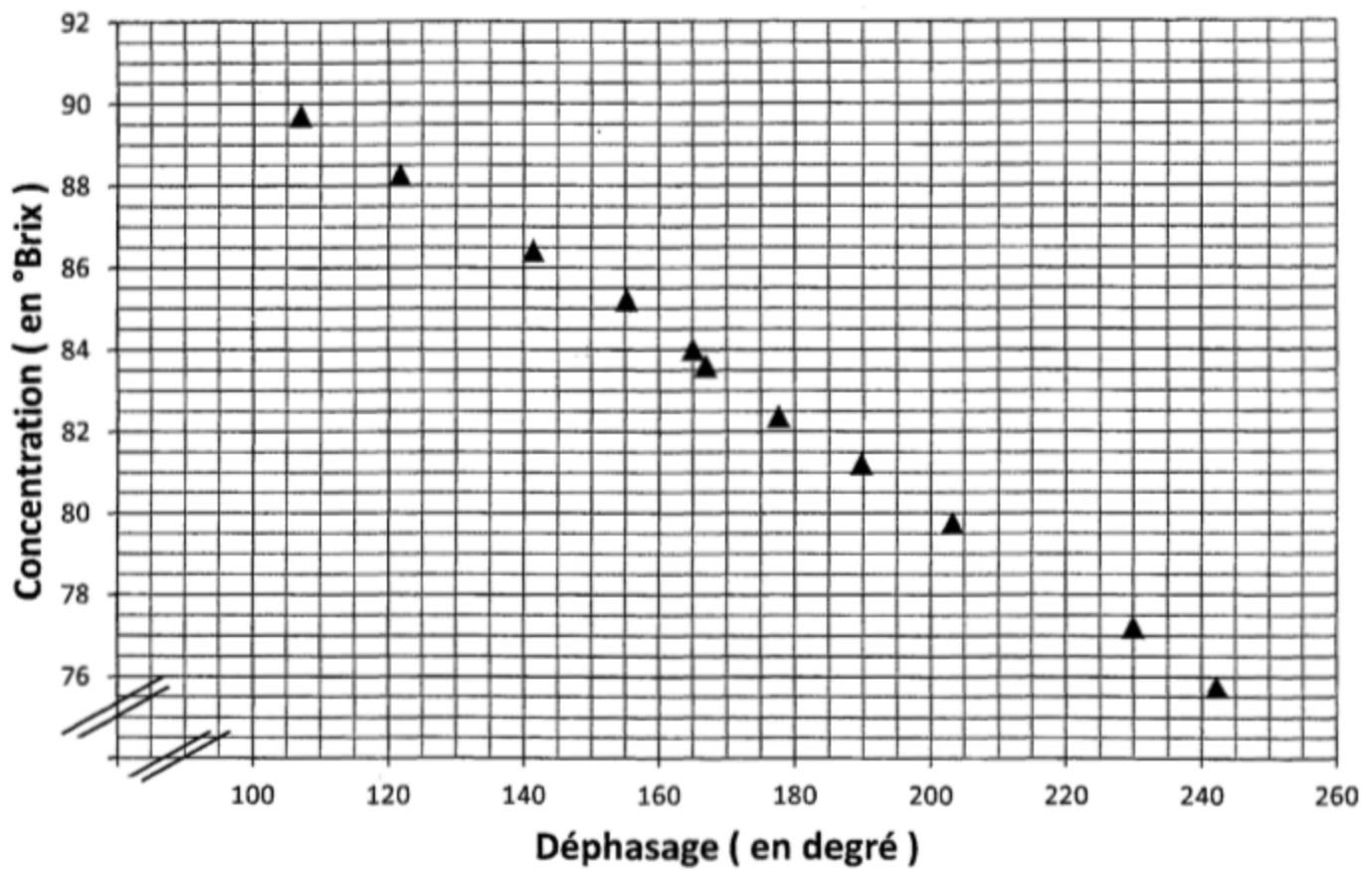
.5

Environ 93

Q27 : Déterminer A_1 .

.5

$A_1 = (88-80)/200-120 = 0,1$



Le transmetteur de concentration est étalonné pour une mesure de 78 à 88 °Brix.

Q28 : Relever la valeur de déphasage correspondante à 78 °Brix.

.5

220 degré

Q29 : Relever la valeur de déphasage correspondante à 88 °Brix.

.5

120 degré

Q30 : Pour une concentration de 85 °Brix, donner la valeur du courant généré par le transmetteur à sortie 4-20 mA.

.5

Avec le théorème de Gatt pour 85brix on obtient 15,2mA

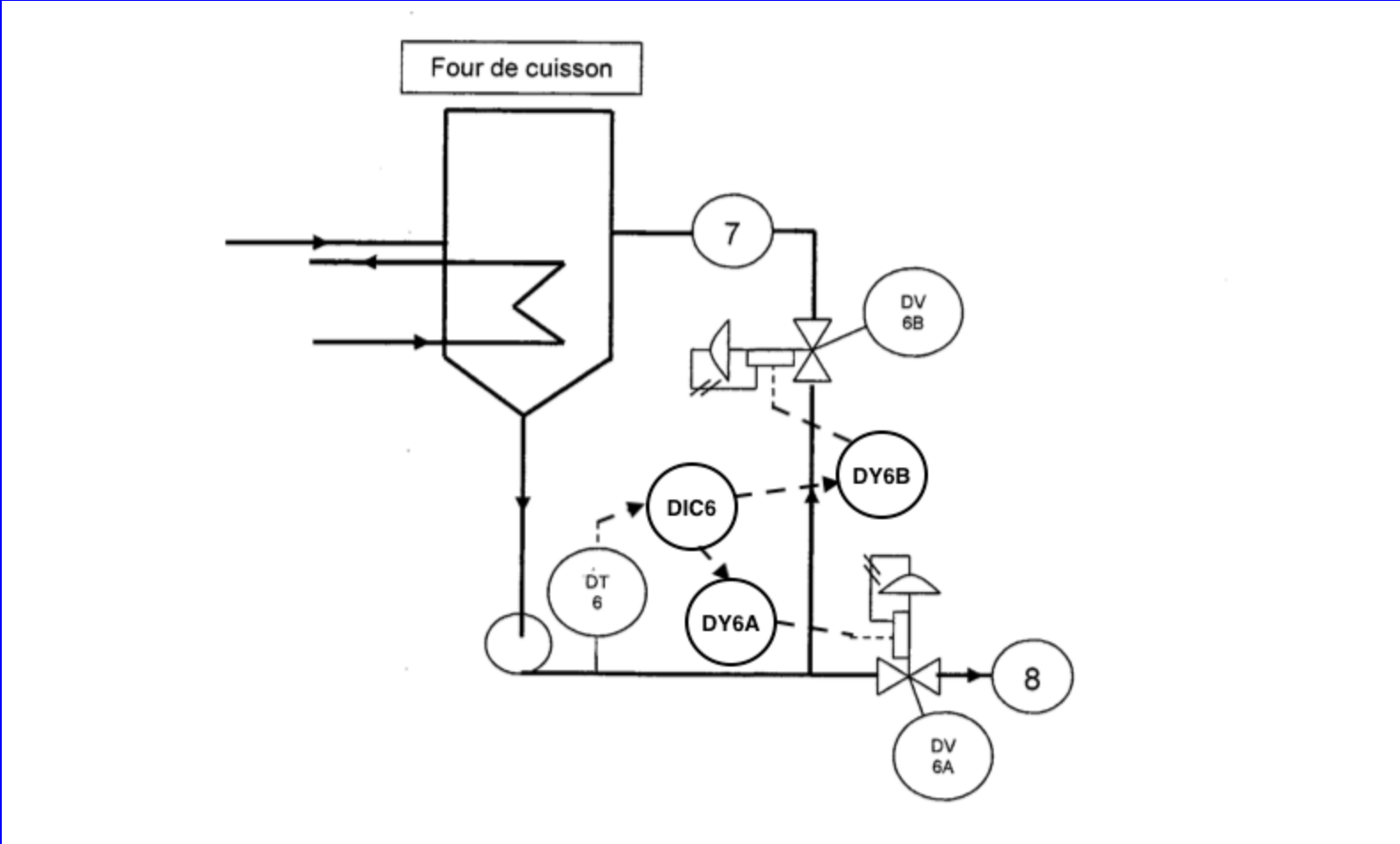
Régulation de concentration en saccharose du concentré sucré

La concentration imposée pour le jus concentré sucré est de 85 °Brix. Cet ajustement est assuré par le débit de recirculation Q_{ReC} (7) (permettant de réinjecter ce jus dans le four si sa concentration est insuffisante) et par le débit de produit fini Q_{JsC85} (8).

Q31 : Donner le nom de la stratégie de régulation réalisée. .5

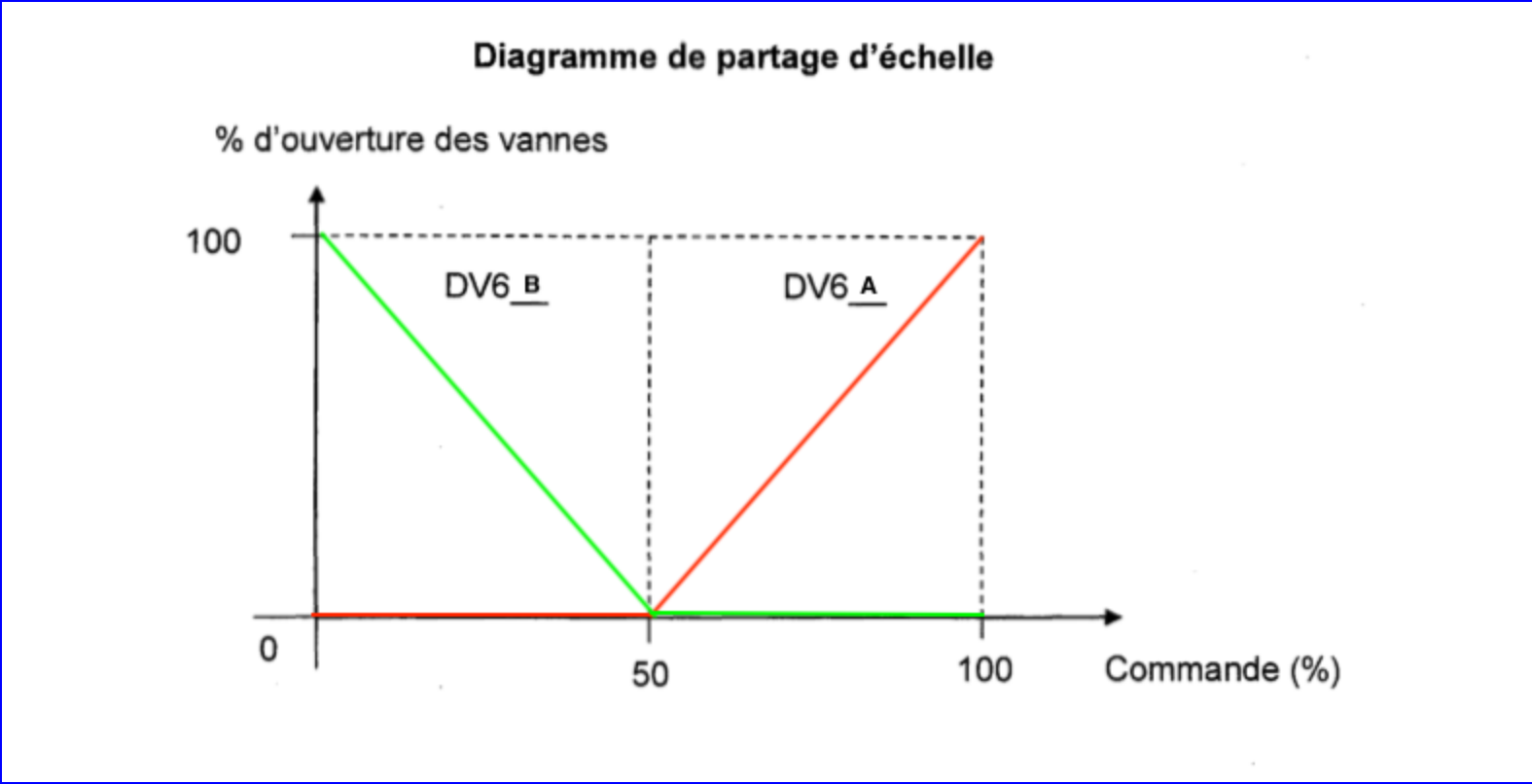
On utilise une régulation de split range

Q32 : Compléter le plan T.I. de cette stratégie. 1



Q33: Représenter sur le diagramme de partage en % d'ouverture (le point de partage est fixé à 50%). Compléter les dénominations de chaque vanne DV6A et DV6B sur chaque caractéristique.

1



Q34: Donner le sens d'action du régulateur de concentration DIC 6. Justifier.

5

Quand DV6A augmente X augmente procédé direct. régulateur inverse