

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.*

*Calculatrice conformément à la circulaire n° 99-186 du 16/11/1999.*

*Aucun document autorisé.*

*Tout autre matériel est interdit.*

*Avant de composer, assurez-vous que l'exemplaire qui vous a été remis est bien complet.*

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

**L'annexe 3 -document réponse 3- est fournie en double exemplaire,  
un exemplaire étant à remettre avec la copie ;  
l'autre servant de brouillon éventuel.**

**Les parties 1 à 6 sont liées et les parties 7 à 13 sont indépendantes et peuvent être traitées séparément. Il est cependant recommandé de les traiter dans l'ordre donné après avoir lu l'intégralité du sujet.**

## Étude d'une installation de fabrication de vanilline

Le sujet traite de l'étude partielle d'une installation de production de vanilline ou arôme synthétique de vanille. Ce composé peut être produit sous deux formes différentes suivant sa finalité : cristallisée pour l'industrie alimentaire ou écaillée pour l'industrie pharmaceutique.

Le principe de fabrication complexe enchaînant différentes phases est présenté simplifié en *annexe 1 page 6/13*.

L'étude portera sur la partie traitement de la vanilline brute et plus spécialement sur l'unité de distillation (Cf. *Annexe 2 page 7/13*). Le schéma TI du procédé est donné en *annexe 3 -document réponse 3- page 9/13*. Le déplacement des fluides est assuré par aspiration, réalisée par un fonctionnement sous vide des colonnes. Pour simplifier, ces pompes à vide ne seront pas représentées.

Étude et compréhension du procédé : (Cf. *Annexe 2 page 7/13 et document réponse 3 page 9/13*)

La vanilline brute contient des impuretés lourdes (appelés goudrons : dialdéhydes, etc...) et légères (ortho-vanilline) qui sont éliminées dans deux colonnes C341 et C342 (Cf. *annexe 3 - Document réponse 3- page 9/13*)

- Une colonne d'équeutage C341 sous vide (10mbar abs) chargée d'éliminer les impuretés lourdes. Ces impuretés, appelées goudrons, sont épuisées dans un évaporateur et leur débit de soutirage est mesuré à l'aide du FT07. On élimine donc les produits en pied de colonne, d'où le nom « colonne d'équeutage ». La vanilline distille en tête à une température de 138°C.
- Une colonne d'étêtage C342 sous vide (10mbar abs) chargée d'éliminer les impuretés légères : l'ortho-vanilline, goudron léger, distille en tête sous une température de 120°C. La vanilline est soutirée en milieu de colonne. On élimine donc les produits en tête de colonne, d'où le nom « colonne d'étêtage ». La fraction parvenant en pied de colonne est réinjectée dans la colonne C341.

La vanilline alors distillée contient encore des traces d'impuretés éliminées par dissolution puis cristallisation de la vanilline pure. Cette phase est réalisée dans un cristalliseur K500 après dissolution à 45°C dans un mélange hydrométhanolique (méthanol/eau). La cristallisation est effectuée en continu sous vide (P = 10mbar abs) à 25°C.

La suspension de vanilline cristallisée (22% en masse) est lavée dans un mélange méthanol / eau distillée. Elle est ensuite essorée, séchée dans un séchoir S502 sous azote puis conditionnée.

Le bilan des flux est le suivant :

### ➔ Colonne C341 :

- ↳ Flux entrants : Alimentation de la colonne : FT09  
Alimentation pied de colonne (reflux) : FT06
- ↳ Flux sortants : Soutirage tête de colonne : FT05  
Soutirage des lourds : FT07

### ➔ Colonne C342

- ↳ Flux entrants : Alimentation de la colonne : FT05
- ↳ Flux sortants : Soutirage en tête de colonne : FT22  
Soutirage d'un mélange lourds résiduels / vanilline : FT06  
Soutirage du produit « bon » : FT23

## CAE4IR

Suite à un vieillissement et un reclassement de l'installation, il est nécessaire d'y effectuer une rénovation partielle. Anciennement, les mesures de débits étaient réalisées à l'aide d'organes déprimogènes. Tous les choix se porteront sur du nouveau matériel dit « intelligent » et la migration du système de contrôle -commande est prévue vers un SNCC.

Le stockage sous forme de cristal et l'utilisation de produits actifs ont conduit l'unité à un reclassement ATEX, zone 1.

### INSTRUMENTATION (10 POINTS)

1. Que signifie la mention : « unité de production classée ATEX, zone 1 » ?

Le choix technologique des débitmètres FT07 (liquide chargé en impuretés lourdes) et FT06 (débit de recyclage de la vanilline purifiée pour éviter le noyage de la colonne C342) est imposé par le procédé. Deux types ont été retenus : électromagnétique (fiche produit en *annexe 4 pages 10/13 et 11/13*) et par effet Doppler (fiche produit en *annexe 5 page 12/13*).

Les questions 2 à 6 ont pour but de finaliser le choix technologique.

2. Justifier le choix de ces 2 technologies retenues (électromagnétique et à effet doppler), en énonçant les qualités de ces matériels.

On mesure en pratique un débit moyen autour du point de fonctionnement de  $6\text{m}^3/\text{h}$ . La calibration réalisée est la suivante :  $EM = 10\text{m}^3/\text{h}$  ;  $Z = 0\text{m}^3/\text{h}$ . (EM : Étendue de mesure ; Z : Décalage de zéro)

3. Déterminer la précision des deux appareils.

4. Lequel de ces instruments ne pourra pas être ici choisi ? Justifier en fonction des notices techniques et de la réponse à la question 3.

5. FT06 doit mesurer un débit maximal de  $15\text{m}^3/\text{h}$ . Déterminer si le choix d'une canalisation de DN40 est possible pour le montage d'un débitmètre électromagnétique. Justifier.

6. Déterminer la vitesse maximale du fluide dans la canalisation. Cette vitesse est-elle compatible avec le DN choisi ?

La température mesurée en tête de colonne par le TT03 doit être maintenue constante et égale à  $138^\circ\text{C}$ . Cette mesure est réalisée à l'aide d'une sonde à thermocouple de type T dont la table est donnée en *annexe 6 page 13/13*. La température ambiante est de  $12^\circ\text{C}$ . La calibration du transmetteur est  $EM = 145^\circ\text{C}$  ;  $Z = 5^\circ\text{C}$  et le signal de sortie du transmetteur se fait en courant normalisé 4-20mA.

7. Le transmetteur **ne possède pas** de circuit de compensation de soudure froide(CSF).

a. Déterminer les f.e.m. d'étalonnage, c'est-à-dire les deux tensions permettant de régler le signal de sortie à 4 mA puis 20 mA.

b. Déterminer la relation entre le signal de mesure M (en mA) et la fem E (en mV) du thermocouple, en supposant linéaire la relation  $M = f(E)$ .

c. Déterminer la fem E en mV et la valeur du signal de mesure M en mA pour  $\theta = 138^\circ\text{C}$ .

8. Le transmetteur **possède** un circuit de compensation de soudure froide.

a. Déterminer les f.e.m. d'étalonnage dans ce cas.

b. Déterminer la relation entre le signal de mesure M' (en mA) et la fem E' (en mV).

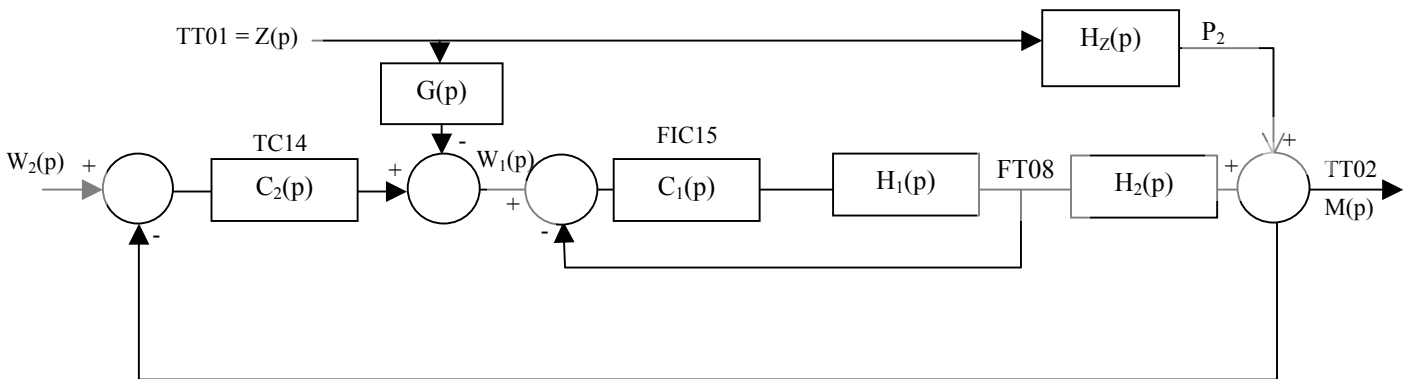
c. Déterminer la fem E' en mV et la valeur du signal de mesure M' en mA pour  $\theta = 138^\circ\text{C}$ .

d. Conclure sur le rôle du CSF (circuit de Compensation de Soudure Froide).

**CONTROLE COMMANDE ET REGULATION (10 points)**

Le SNCC dispose de cartes d'entrées/sorties (IO) à 8 entrées analogiques actives (pour transmetteurs 2 fils) ou 8 entrées analogiques passives (pour transmetteurs 4 fils) ou 8 sorties analogiques. Seuls les transmetteurs de débit sont des transmetteurs 4 fils.

9. En utilisant l'*annexe 3 -document réponse 3- page 9/13*.
  - a. Faire un bilan de tous les instruments de mesure pour en déduire le nombre de cartes d'entrées nécessaires de chaque espèce.
  - b. Faire un bilan de tous les actionneurs pour déterminer le nombre de cartes de sorties nécessaires.
10. Étude d'une boucle complexe.
  - a. Quel est le type de régulation mise en place par les régulateurs TC31 et FC32 ?
  - b. Quel en est son rôle essentiel ? Justifier.
11. On désire maintenir le niveau de la colonne C341 constant pour ne pas la noyer. Il existe une boucle de régulation de débit, dont FT05 est le transmetteur.
  - a. Quel type de stratégie peut-on mettre en place compte tenu des appareils de mesure existants ? Expliquer votre raisonnement.
  - b. Compléter le schéma TI du *document réponse 3 page 9/13* avec les nouveaux éléments.
  - c. Déterminer et justifier les sens d'action du ou des régulateurs nouvellement installés.
12. La régulation de température de pied de colonne C341 montre des défaillances liées aux variations de température d'arrivée de la vanilline brute. Afin de s'affranchir de ces perturbations, on met en place la stratégie suivante :

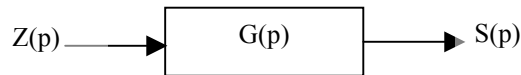


- a. Donner le nom de cette stratégie.
- b. Montrer que l'on peut mettre  $M(p)$  sous la forme :

$$M(p) = \frac{Z(p)[H_2(p) - G(p)F_1(p)] + C_2(p)F_1(p)W(p)}{1 + C_2(p)F_1(p)} \quad \text{avec} \quad F_1(p) = H_2(p) \frac{C_1(p)H_1(p)}{1 + C_1(p)H_1(p)}$$

- c. Déterminer l'expression de  $G(p)$  en fonction de  $F_1(p)$  et  $H_Z(p)$  permettant de s'affranchir des variations de températures mesurées par TT01.
- d. Exprimer  $G(p)$  en fonction de  $\tau_1, \tau_2, T_1, T_2, K_1$  et  $K_2$  si  $F_1(p) = \frac{K_2 e^{-T_2 p}}{1 + \tau_2 p}$  et  $H_Z(p) = \frac{K_1 e^{-T_1 p}}{1 + \tau_1 p}$ .
- e. On suppose  $T_1 \approx T_2$ . Montrer que  $G(p)$  peut s'écrire :  $G(p) = K \frac{1 + \tau_2 p}{1 + \tau_1 p}$  où on exprimera  $K$  en fonction de  $K_1$  et  $K_2$ .

13. La bibliothèque du SNCC étant très sommaire, on se propose de synthétiser  $G(p)$  par son équation récurrente. Le degré du numérateur étant le même que celui du dénominateur, l'utilisation habituelle de la « transformée en z » n'est pas adaptée. On se propose de déterminer l'équation récurrente fournissant l'échantillon  $s_n$  en passant par l'analyse temporelle de sa fonction de transfert  $G(p)$ .



- a. Déterminer  $S(p)$  en fonction de  $G(p)$  et  $Z(p)$ .
- b. Montrer que  $s(t)$  vérifie l'équation différentielle suivante :

$$s(t) + \tau_1 \frac{ds(t)}{dt} = K.z(t) + K.\tau_2 \frac{dz(t)}{dt}$$

- c. On numérise  $z(t)$  à l'aide d'un bloc AI utilisant un CAN de période d'échantillonnage  $T_e$ . Déterminer l'équation récurrente approchée, calculant  $s_n$  en fonction de  $z_n, z_{n-1}, s_{n-1}, T_1, T_2$  et  $K$ .

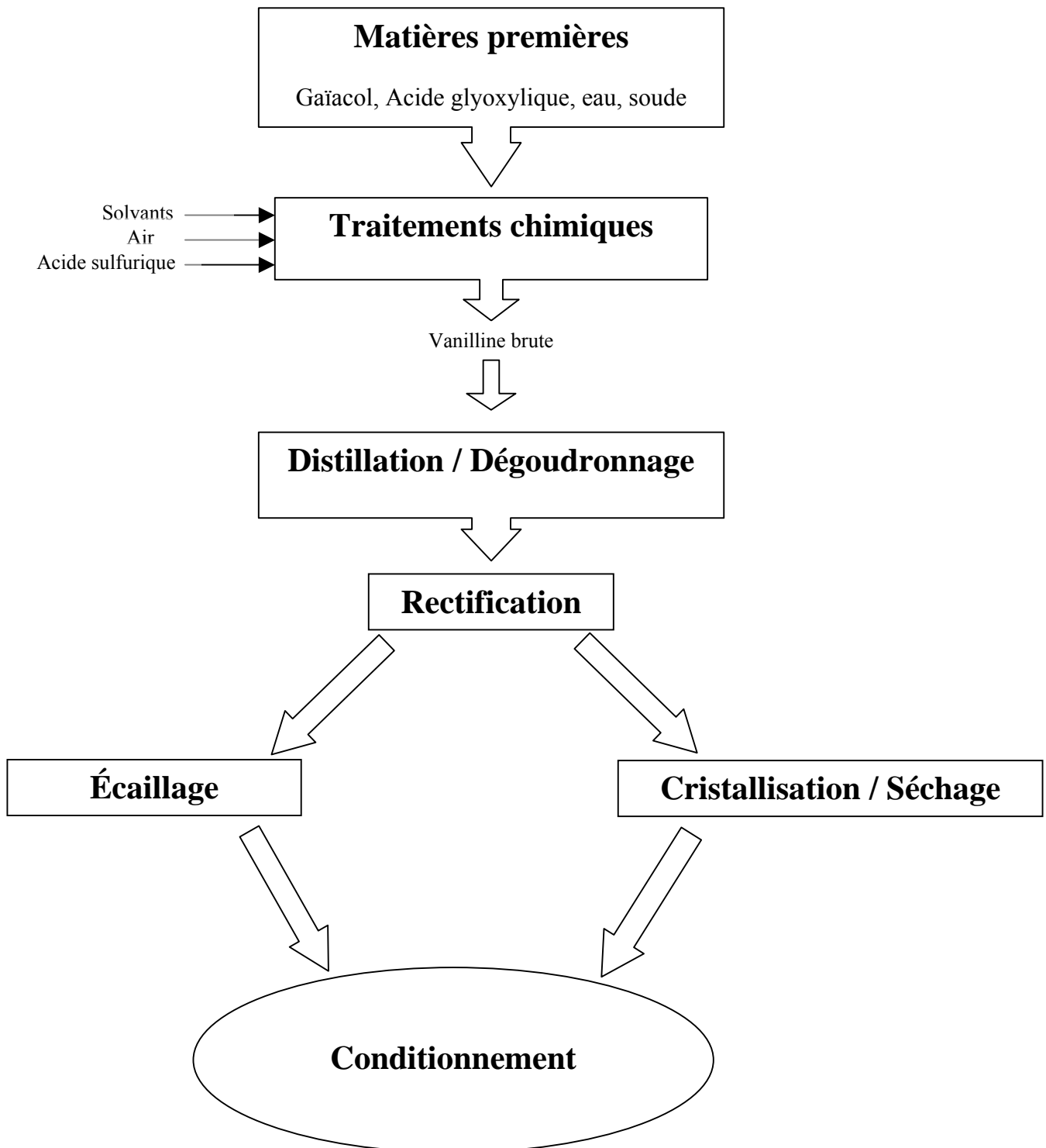
Rappel : La dérivation temporelle sera approximée par la dérivée « arrière » :

$$\frac{dx(t)}{dt} \xrightarrow[\text{numérique}]{\text{Transposition}} \frac{x_n - x_{n-1}}{T_e}$$

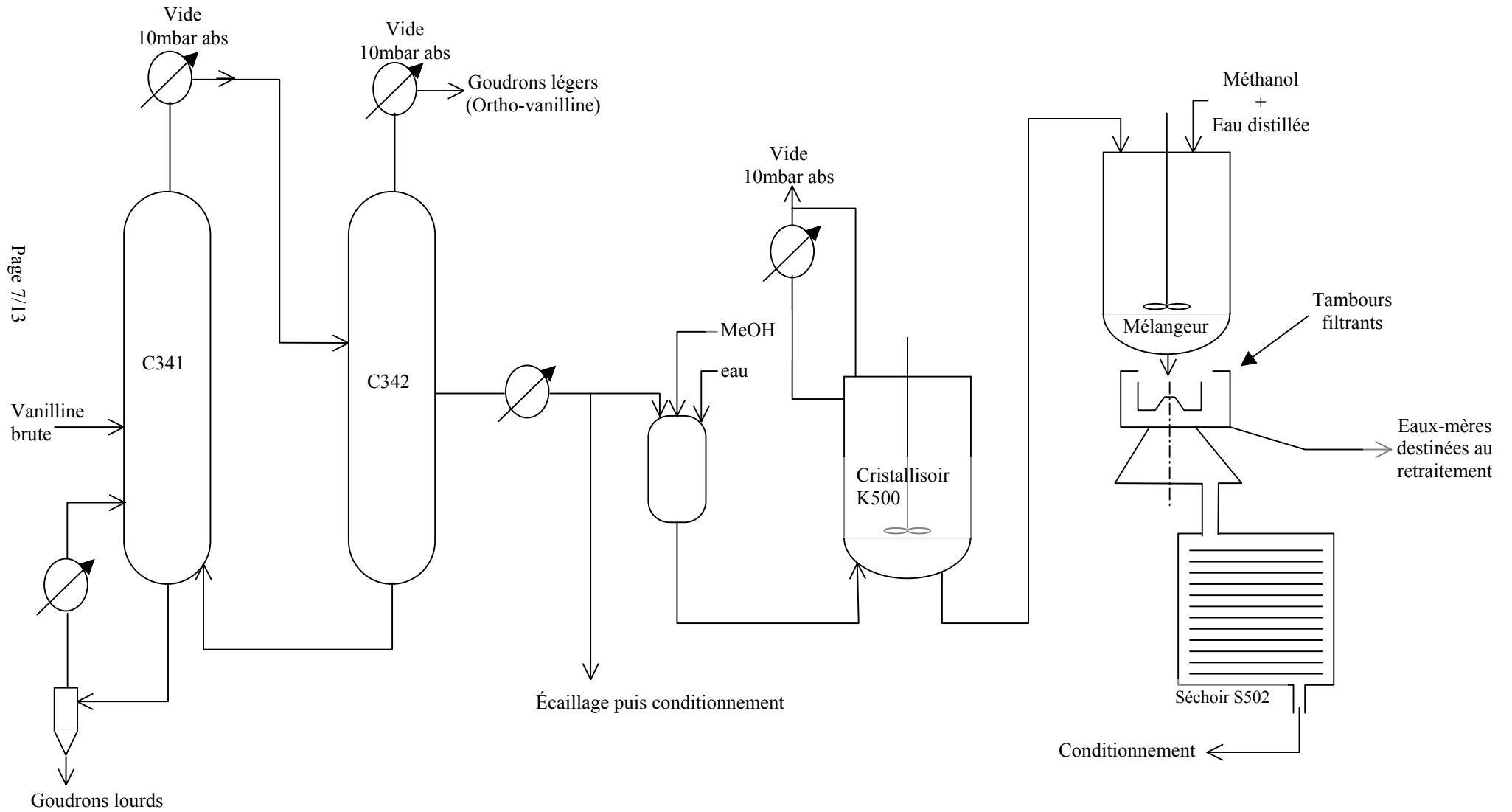
La programmation de ce genre d'équation est réalisable dans le SNCC par un bloc FBD (Function Block Diagram) écrit en ST (Structured Text) mais ne sera pas traitée ici.

**Annexe 1 : Description procédé**

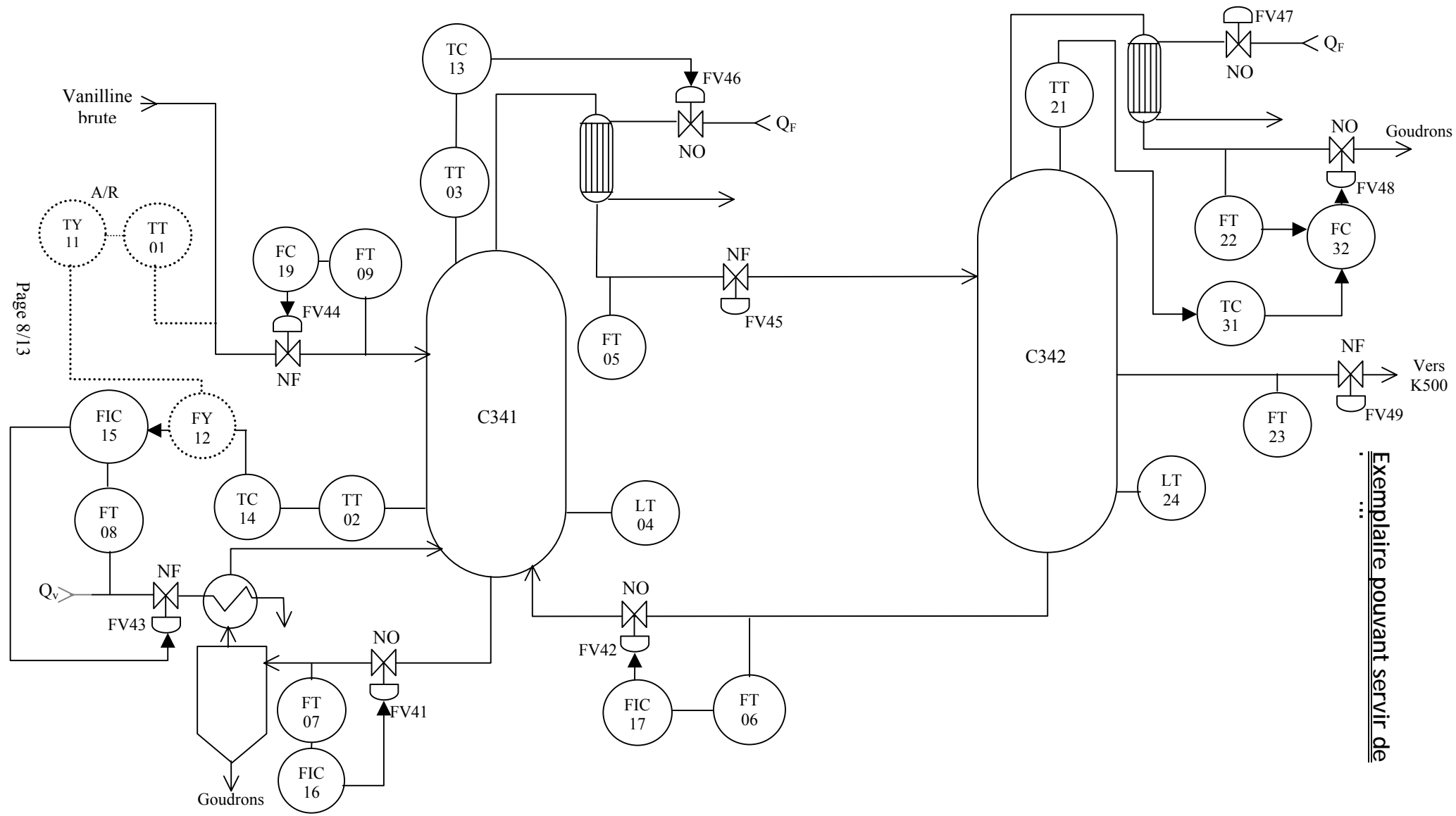
**Principe de fabrication**



## Annexe 2 : Schéma simplifié de l'unité de distillation



**Annexe 3 -Document réponse 3- : Schéma TI de la distillation de la vanilline**

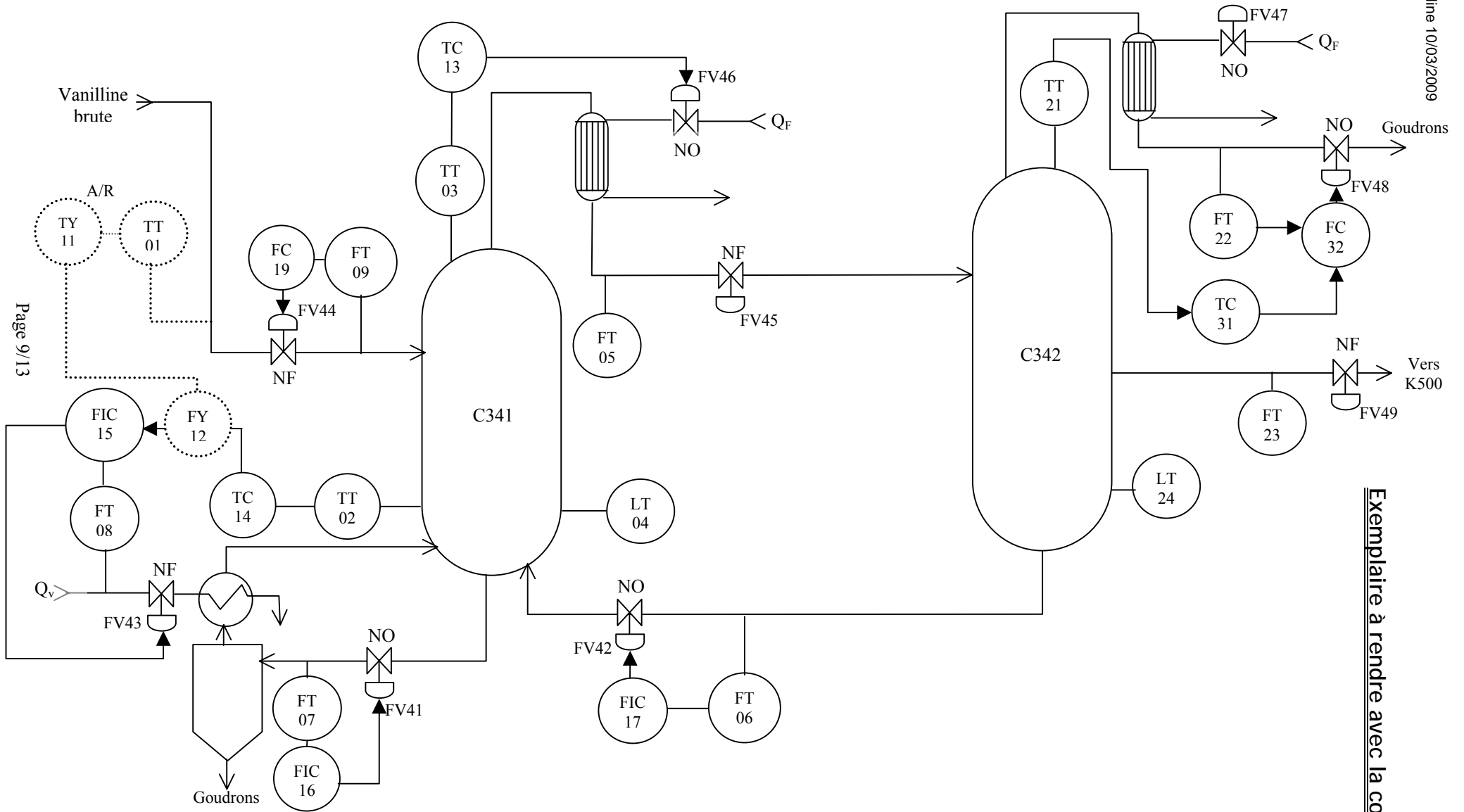


Page 8/13

Exemplaire pouvant servir de ...





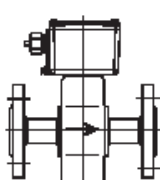






# Annexe 3 -Document réponse 3- : Schéma TI de la distillation de la vanilline



## Annexe 4 : Documentation débitmètre électromagnétique

### Vue d'ensemble, primaire du débitmètre et modèles de convertisseur : FXE4000 (MAG-XE)

	 DN 3-100 : 1/10"-4"  DN 125-300 : 5"-12"  DN 350-1000 : 14"-40"	 DN 3 - DN 100 : 1/10"-4"	 DN 3 - DN 100 : 1/10"-4"	 DN 3 - DN 40 1/10"-1 1/2"  DN 50 - DN 100 : 2"-4"	 DN 3 - DN 40 1/10" ; 1 1/2" ; 2" ; 4"  DN 50 - DN 100 2" ; 4" Weld Studs    Tri-Clamp DIN 32676 Food Ind. Fittings DIN 11851    Ext. Threads Others upon request
Matériau du boîtier	Bride soudée	Version entre brides	Bride soudée	Version entre brides	Raccordements variables
	Boîtier en aluminium Série 4000			Boîtier en inox Série 2000	

#### Primaire

Numéro du modèle	DE41F		DE41W		DE21F		DE21W		DE21-R,-S,-T,-E	
Précision	0,5% de la mesure									
Version entre brides	DN	PN	DN	PN	DN	PN	DN	PN	DN	PN
Brides DIN	3-1000	10-40	-		3-100	10 - 40	-		-	
Brides ANSI	1/8" - 40"	CL150-300	-		1/8" - 4"	CL150-300	-		-	
Accessoire pour l'industrie alimentaire DIN 11851	-		-		-		-		3-100:1/10"-4" 10	
Raccords à souder	-		-		-		-		3-100:1/10"-4" 10	
Tri-Clamp suivant DIN 32676	-		-		-		-		3-100:1/10"-4" 10	
Filetage externe ISO 228/DIN 2999	-		-		-		-		3-25:1/10"-1" 10	
Revêtement	Caoutchouc souple/ caoutchouc dur, PTFE, PFA		PFA(DN3-8:1/10"-5/16") PTFE(DN10-100:3/8"-4")		PFA (résiste au vide)		PFA (résiste au vide)		PFA (résiste au vide)	
Conductivité	> 5 µS/cm (20 µS/cm pour l'eau démminéralisée)		> 5 µS/cm (20 µS/cm pour l'eau déminéralisée)		> 5 µS/cm (20 µS/cm pour l'eau démminéralisée)		> 5 µS/cm (20 µS/cm pour l'eau démminéralisée)		> 5 µS/cm (20 µS/cm pour l'eau déminéralisée)	
Electrodes	SS 1.4571[316Ti], 1.4539, Hastelloy B2/C4, Platinum-Iridium, Tantale, Titane									
Matériau du Raccordement de procédé	Acier, 1,4571[316Ti]		-		1,4571[316Ti]		-		1,4404[316Ti]	
Classe de protection	IP 67 IP 68 (Option)		IP 67, IP 68 (Option)		IP 67, IP 68 (Option)		IP 67, IP 68 (Option)		IP 67, IP 68 (Option)	
Température du fluide *	-25 à +130 °C		-25 à +130 °C		-25 à +130 °C		-25 à +130 °C		-25 à +130 °C	

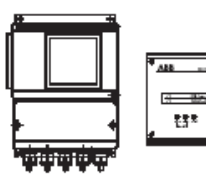
#### Agréments

Version EEx	TUV 97, ATEX 1173X (voir fiche technique séparée)
Certifiée conforme PTB	Eau froide, eaux usées, liquides autres que l'eau
Directive 97/23/EG concernant les appareils sous pression (PED)	Evaluation de la conformité suivant la catégorie III, groupe de fluides 1

#### Certificats

					3A, FML, EHEDG (nettoyabilité)
--	--	--	--	--	-----------------------------------

#### Convertisseur

Alimentation électrique	85-253 V AC/16.8-26.4 V AC/16.8 - 31.2 V DC		
Sortie courant	0/2-10mA, 0-5 mA, 0/4-20 mA, 0/4-10/12-20 mA		
Sortie impulsions	impulsions par Optocoupleur actif 24 VCC ou passif		
Mise à zéro externe	Entrée optocoupleur		
Remise à zéro du totalisateur ext.	Entrée optocoupleur		
Mesure débit direct/inverse	Signal sur sortie optocoupleur		
Détecteur de tuyauterie vide	à partir de DN10 : 3/8", signal sur sortie optocoupleur		
Dispositif d'auto-contrôle	Oui		
Affichage local / Totalisation	Oui		
Boîtier	Boîtier pour montage mural, rack 19", boîtier pour montage face avant d'armoire, boîtier pour montage sur rail DIN		
Communication	PROFIBUS DP, PROFIBUS PA, Protocole HART, FOUNDATION Fieldbus, Protocole ASCII (RS485)		

\* ) -25 °C pour raccords de procédé en inox  
-10 °C pour raccords de procédé en acier

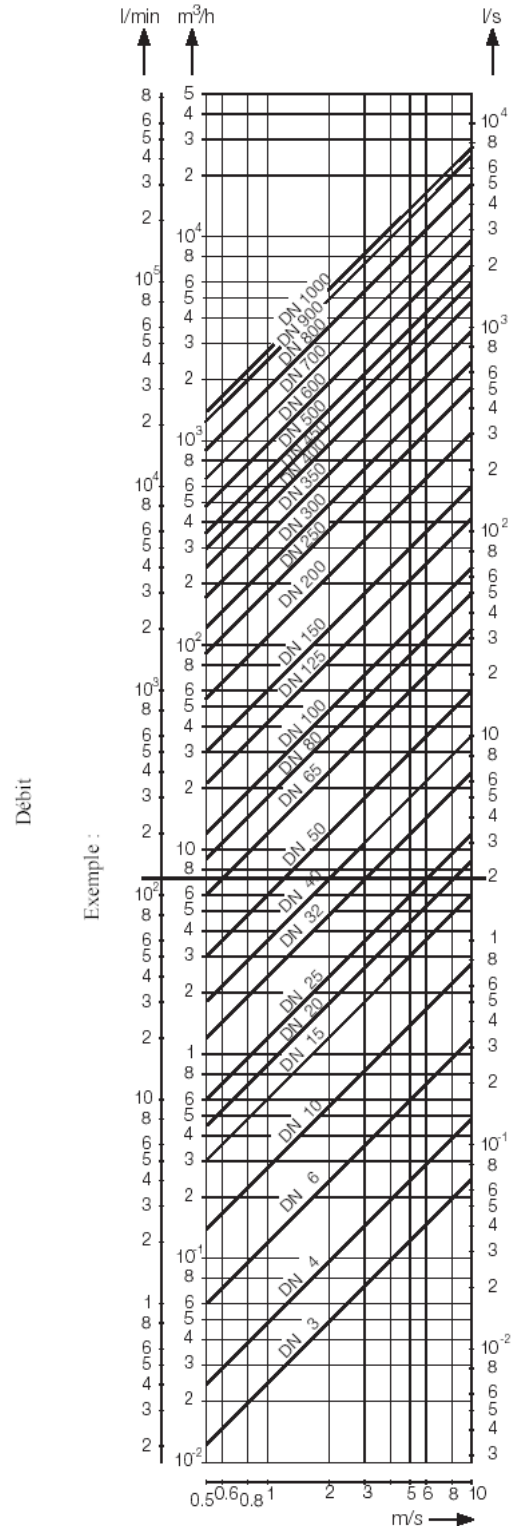
**Annexe 4 : Documentation débitmètre électromagnétique**

Dimensions de l'appareil de mesures DN Pouce	Pression nominale standard PN	Echelle de mesures min. Vitesse de débit 0 à 0,5 m/s	Echelle de mesures max. Vitesse de débit 0 à 10 m/s
3 1/10	40	0 à 0,2 l/min	0 à 4 l/min
4 5/32	40	0 à 0,4 l/min	0 à 8 l/min
6 1/4	40	0 à 1 l/min	0 à 20 l/min
8 5/16	40	0 à 1,5 l/min	0 à 30 l/min
10 3/8	40	0 à 2,25 l/min	0 à 45 l/min
15 1/2	40	0 à 5,0 l/min	0 à 100 l/min
20 3/4	40	0 à 7,5 l/min	0 à 150 l/min
25 1	40	0 à 10 l/min	0 à 200 l/min
32 1-1/4	40	0 à 20 l/min	0 à 400 l/min
40 1-1/2	40	0 à 30 l/min	0 à 600 l/min
50 2	40	0 à 3 m <sup>3</sup> /h	0 à 60 m <sup>3</sup> /h
65 2-1/2	40	0 à 6 m <sup>3</sup> /h	0 à 120 m <sup>3</sup> /h
80 3	40	0 à 9 m <sup>3</sup> /h	0 à 180 m <sup>3</sup> /h
100 4	16	0 à 12 m <sup>3</sup> /h	0 à 240 m <sup>3</sup> /h
125 5	16	0 à 21 m <sup>3</sup> /h	0 à 420 m <sup>3</sup> /h
150 6	16	0 à 30 m <sup>3</sup> /h	0 à 600 m <sup>3</sup> /h
200 8	10/16	0 à 54 m <sup>3</sup> /h	0 à 1080 m <sup>3</sup> /h
250 10	10/16	0 à 90 m <sup>3</sup> /h	0 à 1800 m <sup>3</sup> /h
300 12	10/16	0 à 120 m <sup>3</sup> /h	0 à 2400 m <sup>3</sup> /h
350 14	10/16	0 à 165 m <sup>3</sup> /h	0 à 3300 m <sup>3</sup> /h
400 16	10/16	0 à 225 m <sup>3</sup> /h	0 à 4500 m <sup>3</sup> /h
450 18	10/16	0 à 300 m <sup>3</sup> /h	0 à 6000 m <sup>3</sup> /h
500 20	10	0 à 330 m <sup>3</sup> /h	0 à 6600 m <sup>3</sup> /h
600 24	10	0 à 480 m <sup>3</sup> /h	0 à 9600 m <sup>3</sup> /h
700 28	10	0 à 660 m <sup>3</sup> /h	0 à 13200 m <sup>3</sup> /h
800 32	10	0 à 900 m <sup>3</sup> /h	0 à 18000 m <sup>3</sup> /h
900 36	10	0 à 1200 m <sup>3</sup> /h	0 à 24000 m <sup>3</sup> /h
1000 40	10	0 à 1350 m <sup>3</sup> /h	0 à 27000 m <sup>3</sup> /h

**Tableau de débit :** Le débit volumique est fonction de la vitesse de débit et de la taille du primaire du débitmètre. Le tableau de débit indique l'échelle de mesures associée à chaque taille de débitmètre et montre quelles sont les dimensions les mieux adaptées à un débit spécifique.

Exemple : Débit = 7 m<sup>3</sup>/h (valeur maximum = dernière valeur de l'échelle de mesures). Les dimensions adéquates du primaire du débitmètre sont les suivantes : DN 20 3/4" à DN 65 : 2-1/2" pour des vitesses de débit entre 0,5 et 10 m/s.

**Longueurs droites de canalisations amont et aval :** Le principe de fonctionnement est indépendant du profil de la vitesse aussi longtemps que les remous stationnaires n'empiètent pas sur la mesure, par exemple, après des coudes d'espacement, des entrées tangentielles ou des vannes de sectionnement partiellement ouvertes en amont du débitmètre. Il est conseillé d'installer les dispositifs de contrôle de débit en aval du primaire du débitmètre. Il faut s'assurer que l'appareil de mesure est toujours rempli d'un fluide. Nous avons constaté que dans la plupart des installations, les longueurs droites amont d'une longueur de 3 x D et longueurs droites aval d'une longueur de 2 x D suffisent.



## Annexe 5 : Documentation du débitmètre à effet Doppler

Caractéristiques techniques	
Plage de variation de vitesse	• <b>0,08 à 12,2 m/s sur la majorité des applications</b>
Tailles de canalisation	• Tous diamètres entre 25 mm et 4 500 mm avec la Monosonde standard (cf options)
Précision	• +/-2% de la pleine échelle. Requiert des particules et/ou bulles de taille supérieure à 100 microns et en concentration minimale 75ppm.
Indications	• Débit : en unités usuelles sur afficheur 4 décades LCD de hauteur 19 mm, Totalisateur/menu/états, sur écran alphanumérique 16 caractères LCD.
Sensibilité et amortissement	• Ajustables
Calibrage	• Calibrateur 3 touches intégré, transmetteur sans dérive avec référence de fréquence par quartz
Alimentation	• Secteur 200-260Vca 50/60Hz, 5 W max batterie 12Vcc3Ah et chargeur intégrés et source externe 12Vcc
Sorties	• 4-20 mA (500 Ohms) programmable et isolée pour échantillonneur ou périphérique RS232 de l'enregistreur vers PC ou Modem externe, 1200 à 19 200 Bauds
Enregistreur	• 50 000 lectures horodatées, rapports formatés comprenant les débits mini, maxi, moyens et la totalisation des volumes
Poids à l'expédition	• 5kg
Capteur	• Modèle PSE5, simple tête ultrasonore avec câble de 6 mètres et boîtier acier inoxydable. Conception submersible par accident (7 mètres d'eau, non fonctionnelle en immersion), à brider avec le collier en acier inoxydable
Plage d'utilisation en température	• Electroniques: -23°C à +60°C. Capteur: -40°C à 93°C (+150°C : cf options)
Boîtier électronique	• Alliage léger sans indice de protection en sacoche matelassée, connexions détachables, câbles fournis
Dimensions	• 165 x 254 x 300 mm approx (h x l x p)
OPTIONS	
Monosonde petites canalisations PSE5	• ajustable sur conduites 12,5 à 300 mm
Monosonde haute température SE5H	• Jusqu'à +150°C
Double sonde DSE5	• Pour applications particulières
Monosonde à insertion ISE5	• Conduites béton, bois, gainées (fonte - béton...)
Enregistreur de données	• Intégré, 50 000 mesures horodatées, RS232 vers compatible PC, modem externe

### Montage : Installation de la sonde (longueurs droites)

6 à 10 fois le diamètre à distance des coudes, des intersections (organes générant des turbulences), 30 diamètres à distance des pompes, des vannes, des plaques à orifices, des venturis, de la sortie de la conduite. Ne pas installer sur les conduites dont les matériaux peuvent comporter des inclusions d'air ou des revêtements se décollant de la paroi.

<b>Annexe 6 : Tables de Thermocouples</b>
---

**ITS-90 Table for type T thermocouple**

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Thermoelectric Voltage in mV											
0	0.000	0.039	0.078	0.117	0.156	0.195	0.234	0.273	0.312	0.352	0.391
10	0.391	0.431	0.470	0.510	0.549	0.589	0.629	0.669	0.709	0.749	0.790
20	0.790	0.830	0.870	0.911	0.951	0.992	1.033	1.074	1.114	1.155	1.196
30	1.196	1.238	1.279	1.320	1.362	1.403	1.445	1.486	1.528	1.570	1.612
40	1.612	1.654	1.696	1.738	1.780	1.823	1.865	1.908	1.950	1.993	2.036
50	2.036	2.079	2.122	2.165	2.208	2.251	2.294	2.338	2.381	2.425	2.468
60	2.468	2.512	2.556	2.600	2.643	2.687	2.732	2.776	2.820	2.864	2.909
70	2.909	2.953	2.998	3.043	3.087	3.132	3.177	3.222	3.267	3.312	3.358
80	3.358	3.403	3.448	3.494	3.539	3.585	3.631	3.677	3.722	3.768	3.814
90	3.814	3.860	3.907	3.953	3.999	4.046	4.092	4.138	4.185	4.232	4.279
100	4.279	4.325	4.372	4.419	4.466	4.513	4.561	4.608	4.655	4.702	4.750
110	4.750	4.798	4.845	4.893	4.941	4.988	5.036	5.084	5.132	5.180	5.228
120	5.228	5.277	5.325	5.373	5.422	5.470	5.519	5.567	5.616	5.665	5.714
130	5.714	5.763	5.812	5.861	5.910	5.959	6.008	6.057	6.107	6.156	6.206
140	6.206	6.255	6.305	6.355	6.404	6.454	6.504	6.554	6.604	6.654	6.704

**ITS-90 Table for type K thermocouple**

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Thermoelectric Voltage in mV											
0	0.000	0.039	0.079	0.119	0.158	0.198	0.238	0.277	0.317	0.357	0.397
10	0.397	0.437	0.477	0.517	0.557	0.597	0.637	0.677	0.718	0.758	0.798
20	0.798	0.838	0.879	0.919	0.960	1.000	1.041	1.081	1.122	1.163	1.203
30	1.203	1.244	1.285	1.326	1.366	1.407	1.448	1.489	1.530	1.571	1.612
40	1.612	1.653	1.694	1.735	1.776	1.817	1.858	1.899	1.941	1.982	2.023
50	2.023	2.064	2.106	2.147	2.188	2.230	2.271	2.312	2.354	2.395	2.436
60	2.436	2.478	2.519	2.561	2.602	2.644	2.685	2.727	2.768	2.810	2.851
70	2.851	2.893	2.934	2.976	3.017	3.059	3.100	3.142	3.184	3.225	3.267
80	3.267	3.308	3.350	3.391	3.433	3.474	3.516	3.557	3.599	3.640	3.682
90	3.682	3.723	3.765	3.806	3.848	3.889	3.931	3.972	4.013	4.055	4.096
100	4.096	4.138	4.179	4.220	4.262	4.303	4.344	4.385	4.427	4.468	4.509
110	4.509	4.550	4.591	4.633	4.674	4.715	4.756	4.797	4.838	4.879	4.920
120	4.920	4.961	5.002	5.043	5.084	5.124	5.165	5.206	5.247	5.288	5.328
130	5.328	5.369	5.410	5.450	5.491	5.532	5.572	5.613	5.653	5.694	5.735
140	5.735	5.775	5.815	5.856	5.896	5.937	5.977	6.017	6.058	6.098	6.138