

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Ecole Nationale Polytechnique
Département Automatique



Mémoire de Master en Automatique

Thème :

Commande avancée de la station CE117

Hussem Eddine ZERARKA

Présenté devant le jury composé de :

Président:	L.ABDELOUL	Chargé de Cours à l'ENP
Rapporteur:	E.M.BERKOUK	Professeur à l'ENP
Examineur:	H.CHEKIREB	Professeur à l'ENP

JUIN 2016

ENP 10, Avenue HassenBadi, BP. 182, 16200 El Harrach, Alger, Algérie

ملخص :

العنوان: تحكم في المحطة CE117 طريقة الخطو الرجعي (الباكستينغ) باستعمال الصمام النسبي
العمل المنجز في المذكرة يتمحور على التحكم في المحطة TecQuipment Process Trainer CE117 باستعمال مسير
صناعي ميرمج "سيمنس" من خلال برنامج STEP7 و WinCC.
باستعمال ميرمج سيمنس S7 314 IFM قمنا بالتحكم بطريقة الخطو الرجعي في جميع أنظمة المحطة المتحكم فيها بالصمام
النسبي. استعملنا التكيف العوامل بالمنطق الغامض لحل مشكل تغيير العوامل الناتج عن فتح الصمام الثنائي .

الكلمات المفتاحية: مسير صناعي ميرمج "سيمنس", برنامج "ستابسات", برنامج "وينسيبي فلكسيل", نموذج محطة ضخ المياه
TecQuipment Process Trainer CE117, طريقة الخطو الرجعي (الباكستينغ), تكيف العوامل بالمنطق الغامض.

Abstract:

Subject: Control of the station CE117 Process Trainer with the Backstepping method using the proportional valve.

The work presented in this paper is based primarily on the control of the station TecQuipment Process Trainer CE117 by programmable logic controller SIEMENS via the software STEP7 and WinCC.

Using the programmable logic controller S7 314 IFM, we regulated by Backstepping method all sub-system controlled by the proportional valve of the station CE117. We used the adaptive fuzzy control for adjust the parametric variation problem created by the opening of the proportional valve.

Key words: CE117 Process Trainer, Siemens PLC S7-313C, STEP7, WinCC, Backstepping method, adaptive fuzzy control.

Résumé:

Le travail présenté dans ce mémoire est basé essentiellement sur la commande de la station TecQuipment Process Trainer CE117 par un automate programmable SIEMENS par le biais des logiciels STEP 7 et WinCC.

À l'aide de l'automate S7 IFM 314, nous avons régulé par la méthode de backstepping l'ensemble de sous-systèmes contrôlé par la vanne proportionnelle constituant cette installation. Nous avons utilisé l'adaptation paramétrique par la logique floue pour régler le problème de variation paramétrique engendré par l'ouverture de la vanne proportionnelle.

Mots clés : CE117 Process Trainer, Siemens S7-300, WinCC, Step7, commande backstepping, adaptation paramétrique par la logique floue.

Dédicace

Je dédie ce travail tout d'abord à mon père qui m'a tout appris, tant donné sans rien demandé en retour.

A ma très chère mère sans laquelle je ne serais pas l'homme que je suis.

A mon frère Brahim qui a su m'épauler dans les moments difficiles.

A mes frères Abd-elbasset et Fayçal

A mon ami et binôme de la vie Moufek sur qui j'ai toujours pu compter.

A mes amis et camarades avec qui j'ai passé de bons moments.

A tous ceux qui ont contribué de loin ou de prêt à notre travail.

Houssem Eddine Zerarka

Remerciements

Je tiens à remercier dieu de m'avoir donné la force morale, physique et l'aide pour accomplir ce travail.

Je tiens à remercier mon promoteur Pr. BERKOUK pour m'avoir accepté encadrées et dirigées durant l'élaboration de ce travail ainsi que pour leur assistance et tous leurs conseils.

Je remercie chaleureusement les membres du jury pour l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant d'évaluer mon projet.

Je souhaite aussi remercier tous les enseignants de l'Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, et en particulier, mes professeurs d'Automatique qui m'ont encadré auparavant et tous mes enseignants pour les connaissances qu'ils nous ont transmis, leur disponibilité et leurs efforts.

Je remercie chaleureusement ma famille, pour leur soutien sans faille, leur présence émotionnelle ainsi que les nombreux conseils qu'elles m'ont prodigué, et qui m'ont indéniablement permis de mener à bien ce travail.

Que tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail trouvent ici l'expression de ma sincère gratitude.

Table des matières

Liste des figures	
Introduction générale.....	7
Chapitre I : Description et identification des différents systèmes De la station Process Trainer (CE117) contrôlés par la vanne proportionnelle	
Introduction.....	9
PARTIE A : Description de la station TecQuipment Process Trainer CE117.....	9
I.A.1. Description de la station TecQuipment Process Trainer CE117.....	9
I.A.2. Les caractéristiques techniques des différents éléments de la station CE117.....	12
I.A.3. Les contraintes des différents systèmes de la station CE117.....	13
PARTIE B : Identification des différents systèmes du CEE 117 contrôlés par la vanne proportionnelle.....	14
I.B.1. Description du système de régulation de débit.....	14
I.B.2. Identification du système vanne – débit.....	15
I.B.3. Identification du système vanne-niveau.....	16
I.B.4. Identification du système vanne-pression.....	17
Conclusion.....	19
Chapitre II : Régulation des différents systèmes De la station Process Trainer (CE117) contrôlés par la vanne proportionnelle	
Introduction.....	21
II.1. Commande de Backstepping.....	21
II.2. régulation par la méthode de backstepping des différents systèmes contrôlés par la vanne proportionnelle.....	23
II.2.1. Système Vanne-Débit.....	23
II.2.2. Système Vanne-niveau.....	24
II.2.3. Système Vanne-pression.....	26
II.3.Problèmes de variations paramétriques et des erreurs de modélisations.....	27
II.4. Implémentation et supervision des différentes processus d’automatisation contrôlés par la vanne proportionnelle.....	29
Conclusion.....	32
Conclusion générale.....	33
Bibliographie.....	34

Liste des figures

Figure I. 1: La station CE117 Process Trainer.....	10
Figure I. 2: Le module de contrôle de la station CE117.....	11
Figure I. 3: Schéma du module de contrôle de la station CE117.....	11
Figure I. 4: Les caractéristiques techniques des équipements de la station CE117.....	12
Figure I. 5: La caractéristique statique du capteur de niveau.....	13
Figure I. 6: Schéma qui présente le circuit fluide procédé.....	14
Figure I. 7: Réponse réelle et identifiée du système vanne-débit en boucle ouverte.....	15
Figure I. 8: Réponse réelle et identifiée du système vanne-niveau en boucle ouverte.....	17
Figure I. 9: Réponse réelle du système vanne-pression en boucle ouverte.....	18
Figure I. 10: Réponse réelle et identifiée du système vanne-pression en boucle ouverte.....	19
Figure II. 1: La réponse du système vanne-débit commandé par la méthode de Backstepping sous le WinCC.....	24
Figure II. 2: La réponse du système vanne-niveau commandé par la méthode de Backstepping sous le WinCC.....	25
Figure II. 3: La réponse du système vanne-pression commandé par la méthode de Backstepping sous le WinCC.....	26
Figure II. 4: Les fonctions de répartition des ensembles flous.....	27
Figure II. 5: La réponse du système vanne-niveau après l'adaptation paramétrique par la logique floue sous WinCC.....	29
Figure II. 6: La création d'un fichier source	30
Figure II. 7: Le choix du modèle de bloc	30
Figure II. 8: Programme sous le langage structuré dans un fichier source	31
Figure II. 9: Les paramètres de réglage de système	32

Introduction générale

En vue de l'avancement des systèmes d'automatisations, et de la place qu'ils occupent dans le monde industrielle. Le département d'automatique a proposé de commander la station CE117 par l'automate programmable S7 314 IFM dans le but de former des élèves ingénieurs automaticiens à maîtriser des systèmes d'automatisation, et à appliquer les aspects théoriques sur des systèmes réels qui ressemble à ceux qui sont disponible dans l'industrie.

Ce travail comporte des parties expérimentales, qui permettent non seulement de voir concrètement l'aboutissement des résultats et la finalité de l'étude, mais aussi de faire ressortir les problèmes cruciaux de la mise en œuvre. Ce travail permet aussi aux étudiants de se familiarisé avec les systèmes industriels, notamment les systèmes hydraulique, les API et d'appliquer les connaissances acquises dans l'informatique industrielle, identification, et commande grâce aux différents systèmes de régulation qui se trouvent sur la station CE117, tel que le système de régulation de niveau, de débit, de pression, et de température.

Nous exposons dans le présent rapport deux chapitres décrivant les principaux volets de projet :

Le premier chapitre sera partagé en deux parties la première sera une description de la station CE117, la deuxième partie sera consacré à l'identification des différents systèmes de la station contrôlés par la vanne proportionnelle (fonctions de transferts et modèles d'états).

Le deuxième chapitre s'intéresse à décrire la commande de Backstepping qu'on a synthétisé pour chaque système de la station contrôlés par la vanne proportionnelle, à utiliser l'adaptation par la logique floue pour régler le problème de la variation paramétrique engendré par l'ouverture de la vanne proportionnelle et à présenter brièvement la méthode d'implémentation des commandes par le Step7 et la supervision par le WinCC.

CHAPITRE I

**Description et identification des différents
systèmes De la station Process Trainer
(CE117) contrôlés par la vanne
proportionnelle**

Introduction

La station CE117 nous offre une variété de systèmes qu'on peut commander par des différentes méthodes. Dans ce chapitre on va voir la description et l'identification de ces systèmes.

PARTIE A : Description de la station TecQuipment Process Trainer CE117

I.A.1. Description de la station TecQuipment Process Trainer CE117

La station CE117 Process Trainer est un appareil éducatif destiné à l'étude et le contrôle de plusieurs systèmes : contrôle de niveau, pression, température et en fin de débit, qui sont des systèmes rencontrés très souvent dans le monde industriel. La station est composée de trois parties commandées par un module de contrôle, chacune regroupe plusieurs équipements nécessaires pour le contrôle des différentes grandeurs:

- 1- Le circuit fluide procédé : réservoir, pompe P2, vanne By-pass, capteur de température avant refroidissement, refroidisseur, capteur de température après refroidissement, vanne proportionnelle, capteur transmetteur de débit.
- 2- Le circuit fluide chaud : cuve de chauffe, capteur de température de fluide de la cuve de chauffe, pompe P1, capteur de débit, capteur de température à l'entrée de la cuve de chauffe.
- 3- La cuve agitée : vanne de mise à l'atmosphère, capteur transmetteur de niveau et de pression de l'air comprimé dans la cuve, agitateur, capteur transmetteur de température de fluide, le serpentín de chauffe de fluide, vanne de drainage.

Les équipements de cet appareil permettent de contrôler le débit, le niveau, la pression et la température non seulement séparément mais aussi en interaction et en cascade.

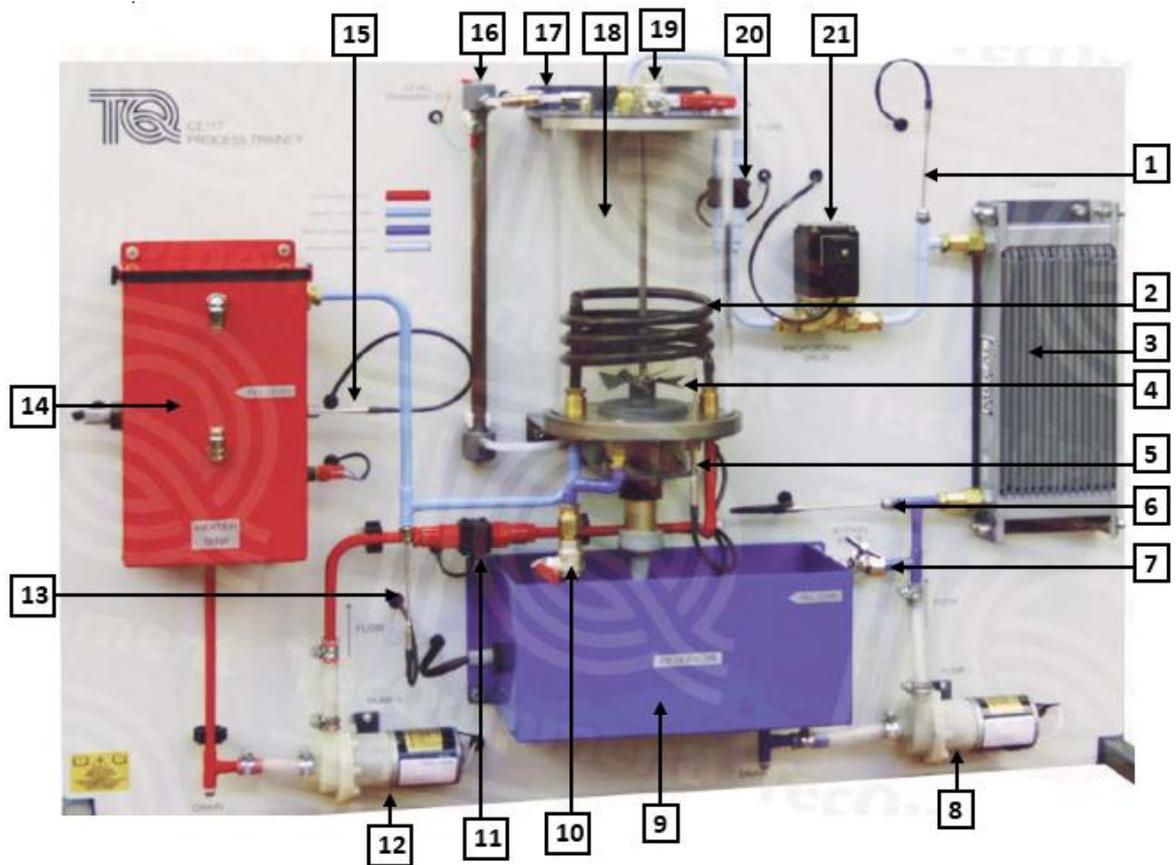


Figure I. 1: La station CE117 Process Trainer

- | | |
|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 1 - transmetteur de température TT4 | 12 - pompe 1 |
| 2 - serpentins de chauffe | 13 - transmetteur de température TT2 |
| 3 - refroidisseur | 14 - cuve de chauffe |
| 4 - Agitateur | 15 - transmetteur de température TT1 |
| 5 - transmetteur de température | 16 - transmetteur de niveau LT |
| 6 - transmetteur de température TT3 | 17 - transmetteur de pression PT |
| 7 - vanne By-pass | 18 - cuve agitée |
| 8 - pompe 2 | 19 - vanne vent |
| 9 - réservoir | 20 - transmetteur de débit FT2 |
| 10 - vanne de drainage | 21 - vanne proportionnelle |
| 11 - transmetteur de débit FT1 | |

- **Le module de contrôle :**

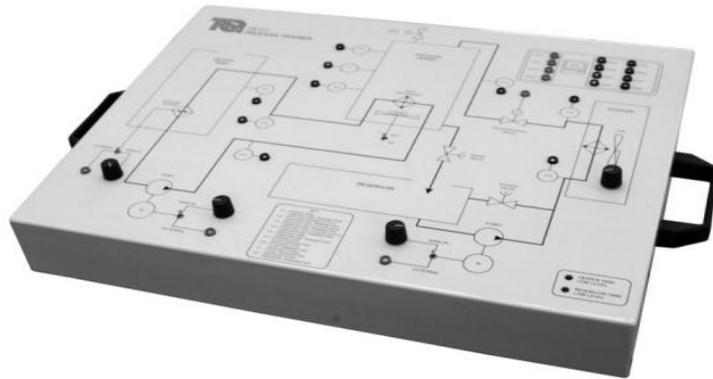


Figure I. 2: Le module de contrôle de la station CE117

La station CE117 est associée d'un pupitre qui représente un module de contrôle. Ce module regroupe l'ensemble des circuits de câblage des actionneurs et des capteurs pour le contrôle en temps réel et l'acquisition des données par le logiciel CE2000 et contient une interface intégrée ADA.

On trouve sur ce module un schéma du procédé ainsi que les connexions des différents capteurs-transmetteurs et actionneurs. L'interface ADA peut recevoir 8 entrées de la part des capteurs, ces entrées de nature analogique seront converties en numérique. L'interface peut également fournir 4 sorties converties en analogique destinées aux actionneurs.

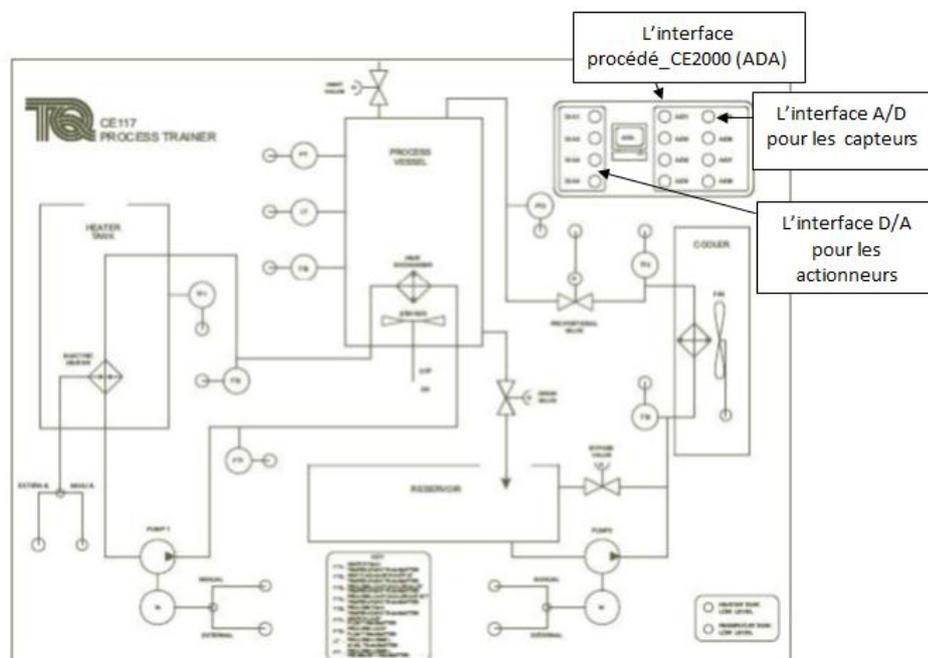


Figure I. 3: Schéma du module de contrôle de la station CE117

L'interface ADA est considérée comme le seul moyen de faire communiquer le PC avec la station CE117 en utilisant le logiciel CE2000. Si on utilise un automate programmable on n'aura pas besoins de cette interface, on relie directement les capteurs au module d'entrée analogique et les actionneurs au module de sortie analogique, sauf si l'automate ne dispose pas d'entrées et de sorties suffisantes pour la commande du procédé.

I.A.2. Les caractéristiques techniques des différents éléments de la station CE117

Le tableau suivant résume les caractéristiques techniques des différents éléments de la station CE117 :

article		Signal Analogique	Détail de la conversion
PRT Température Transmetteurs (résistance platinuim Thermomètre)	TT1	Sortie 0-10V linéaire	10°C par Volt 0V= 0°C 10V= 100°C
	TT2		
	TT3		
	TT4		
	TT5		
Transmetteur de débit	FT1	Sortie 0-10V linéaire	1L/min par Volt 0V=pas de débit
	FT2		
Transmetteur de niveau	LT	Sortie 0-10V non linéaire	0V=réceptiant vide 10V=Niveau Maximum
Transmetteur de pression	PT	Sortie 0-10V linéaire	100mbar par volt 0V=0mbar (jauge)
chauffage électrique		Sortie 0-10V	75W par volt 0V=chauffage OFF 10V=750W puissance max(Nominale)
Vanne Proportionnelle	S	Sortie 0-10V	0V=fermée 10V=ouverte
Pompe 1 Pompe 2		Sortie 0-10V	0V=pas de débit 10V=débit Maximal

Figure I. 4: Les caractéristiques techniques des équipements de la station CE117

Le capteur de niveau : C'est un capteur non linéaire de fonction de transfert variable, et comme il est très rapide on peut la considérée comme un gain variable. Ce capteur est linéaire de gain unitaire dans la plage de travail entre 0 - 4 Cm comme montre la figure ci-dessous.

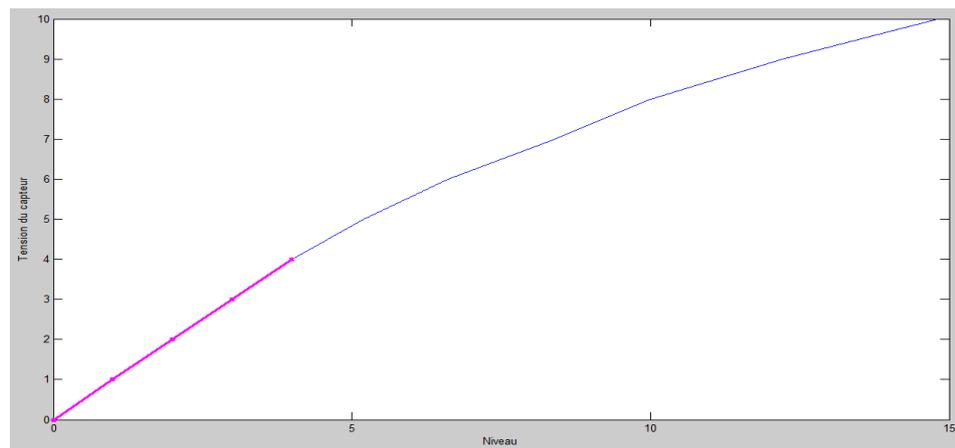


Figure I. 5: La caractéristique statique du capteur de niveau

I.A.3. Les contraintes des différents systèmes de la station CE117

- La pompe possède une zone morte (si la tension de commande de la pompe descend au-dessous de 2V, elle ne délivre plus de débit).
- Le capteur de niveau est non linéaire avec un gain variable.
- La pompe ne peut délivrer que 5.2 (L/min) comme débit maximal.
- La perturbation sur le débit provoqué par la vanne By-Pass peut atteindre 0.7 (L/min), ce qui va réduire le maximum de la référence de débit à 4.5 (L/min).
- Si la pompe délivre un débit avec une pression inférieure à celle de l'air comprimé dans la cuve, le débit s'annule et la pression se stabilise à sa valeur malgré qu'il y ait une tension à l'entrée de la pompe.
- L'automate programmable S7 314 IFM ne dispose que d'une seule sortie analogique, ce qui n'est pas suffisant pour la commande de notre système.

PARTIE B : Identification des différents systèmes du CEE 117 contrôlés par la vanne proportionnelle

En générale, la régulation de l'une des grandeurs (débit-niveau-pression) se fait par l'intermédiaire de deux types d'actionneurs considérés comme contrôleur :

- La pompe.
- La vanne proportionnelle.

I.B.1. Description du système de régulation

Pour réguler les grandeurs (débit – niveau – pression) par les deux actionneurs cités précédemment, on va utiliser la partie droite de notre système qui comporte les éléments nécessaire, c'est-à-dire le circuit de fluide procédé.

La figure suivante montre cette partie en nommant ces différents composants :

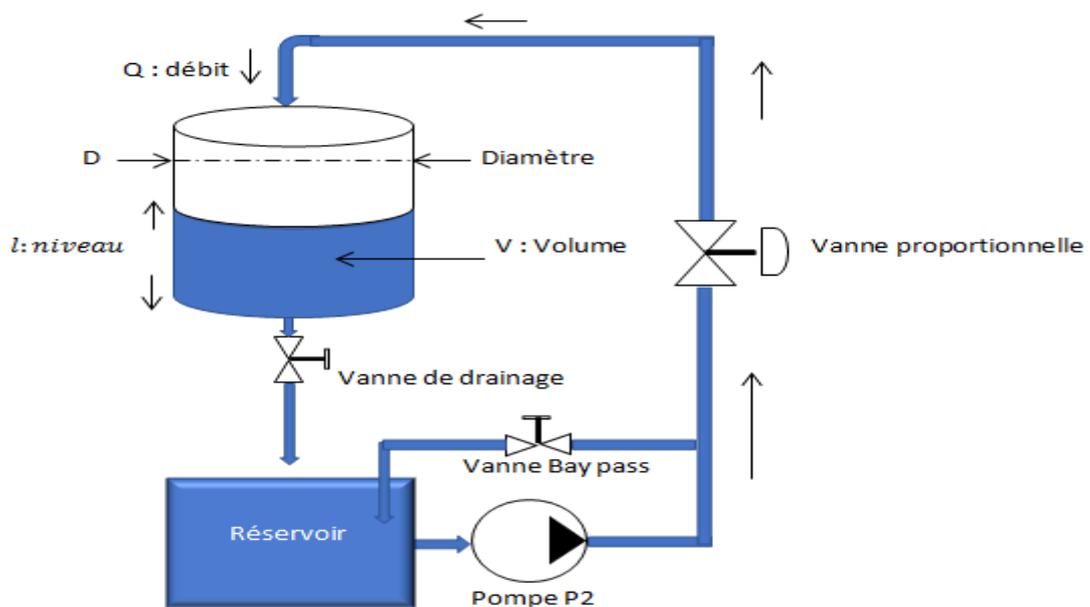


Figure I. 6:Schéma qui présente le circuit fluide procédé

Dans ce circuit, le fluide se dirige depuis le réservoir vers la cuve agitée par le biais de la pompe P2, et cela en traversant le refroidisseur, ensuite le fluide revient au réservoir par la gravité lorsque la vanne de drainage est ouverte. Notre système comporte deux capteurs de température avant et après le refroidisseur et un troisième capteur de débit, capteur de niveau et de pression ainsi qu'une vanne By-pass qui représente la perturbation de notre système.

Dans ce qui va suivre on va étudier le contrôle continue de l'un des grandeurs par la vanne proportionnelle.

La pompe est utilisée à vitesse constante et on régule la grandeur par la vanne proportionnelle, dont la section de passage est infiniment ajustable, permet la variation de la grandeur.

I.B.2. Identification du système vanne – débit

Pour l'identification de ce système, nous nous sommes basés sur l'étude de la réponse indicelle en boucle ouverte. On envoie un échelon à la vanne proportionnel d'amplitude 100% et à l'aide du logiciel CE2000, on relève la réponse qui est la tension image de débit selon la plage de conversion du capteur de débit.

En utilisant la méthode de broïda, on a assimilé la réponse de ce système à celui d'un premier ordre dont la forme de la fonction de transfert est :

$$H(s) = \frac{0.6416}{2.7s+1} \quad (\text{I. 1})$$

Donc le modèle d'état est le suivant :

$$\begin{cases} \dot{x} = -0.3703x + 0.2376u \\ y = x \end{cases} \quad (\text{I. 2})$$

Pour valider le modèle identifié, on a utilisé le logiciel CE2000, pour tracer la réponse réelle et celle de modèle identifié dans la même figure.

La figure ci-dessus représente les résultats de l'identification :

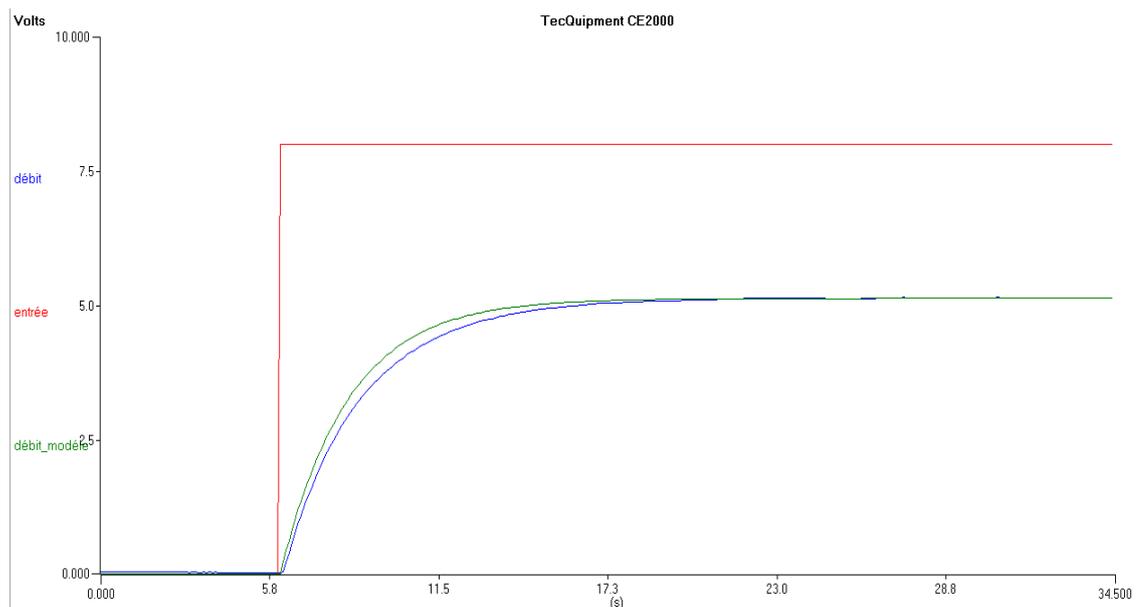


Figure I. 7: Réponse réelle et identifiée du système vanne-débit en boucle ouverte

D'après la figure, les deux réponses, la réponse réelle et la réponse du modèle identifié, sont presque identique, alors l'identification est validée.

I.B.3. Identification du système vanne-niveau

Dans cette partie, on fixe la tension de commande de la pompe à 80%, et on régule le niveau par le taux d'ouverture de la vanne proportionnelle, cette dernière utilisée en mode analogique assure la variation de niveau de la cuve.

Pour l'identification de ce système, nous nous sommes basés sur l'étude de la réponse indicielle en boucle ouverte. On envoie un échelon à la pompe d'amplitude 80% et à l'aide du logiciel CE2000, on relève la réponse qui est la tension image de niveau.

En utilisant la méthode d'identification d'un système naturellement instable, on a assimilé la réponse de ce système à celui d'un intégrateur avec un retard pure qui a la forme suivante :

$$H(s) = \frac{Ke^{-Ts}}{s} \quad (\text{I.3})$$

Après avoir calculé les différentes constantes du modèle, la fonction de transfert du système pompe-niveau est donnée par l'expression suivante:

$$H(s) = \frac{0.0506e^{-0.61s}}{s} \quad (\text{I.4})$$

Pour l'obtention du modèle d'état du système on a fait deux approximations :

1. En négligeant le retard pur, on obtient le modèle suivant :

$$\begin{cases} \dot{x} = 0.0506u \\ y = x \end{cases} \quad (\text{I.5})$$

2. En approximant le retard pur par un premier ordre, on obtient le modèle suivant :

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 \\ \dot{x}_2 = -1.6393x_2 + 0.0829u \\ y = x_1 \end{cases} \quad (\text{I.6})$$

Afin de valider le modèle trouvé on importe les résultats (réponse réel) ainsi le temps échantillonné sous forme un fichier « Bloc note » à partir de logicielle CE2000 et on simule la réponse des deux modèles réel et identifié sur la même figure.

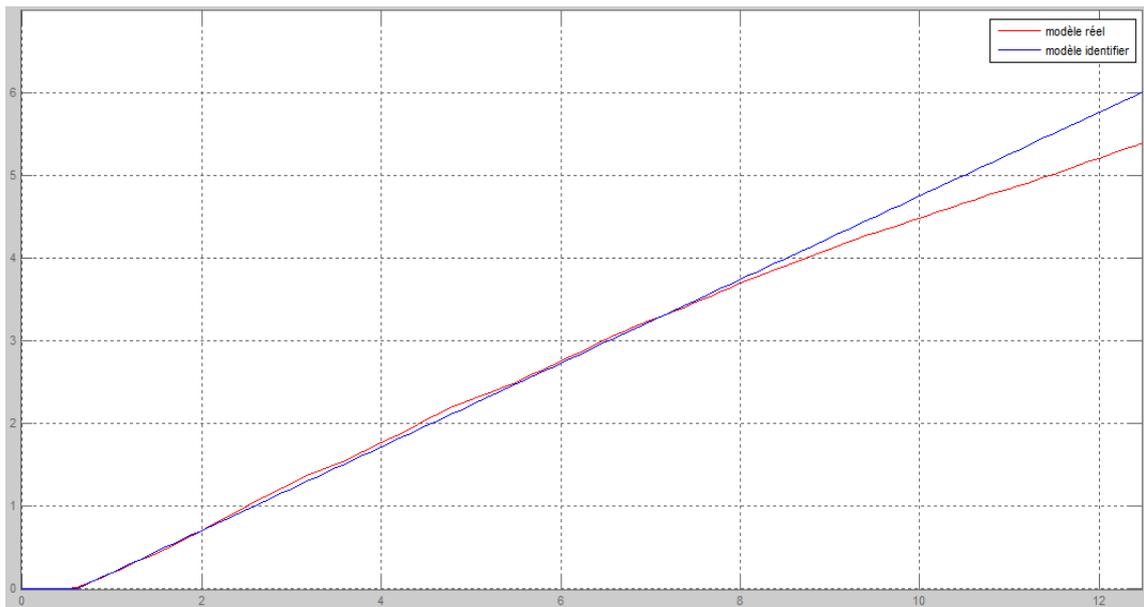


Figure I. 8: Réponse réelle et identifiée du système vanne-niveau en boucle ouverte

I.B.4. Identification du système vanne-pression

Dans cette partie, on fixe la tension de commande de la pompe à 80% et puis on régule la pression par le taux d'ouverture de la vanne proportionnelle, cette dernière utilisée en mode analogique assurant la variation de pression de l'air dans la cuve.

Pour assurer la poursuite de la référence on va synthétiser un régulateur, mais pour le faire il faut d'abord avoir le modèle du système vanne-pression.

Pour l'identification de ce système, nous nous sommes basés sur l'étude de la réponse indicielle en boucle ouverte. On envoie un échelon de 10V à la vanne pour qu'elle s'ouvre à 100% et à l'aide du logiciel CE2000, on relève la réponse qui est la tension image de pression comme montre la figure ci-dessous.

D'après la figure ci-dessous on remarque bien que le système se comporte comme un intégrateur pur au départ, sauf que la réponse se stabilise c'est comme si le système est un premier ordre, mais ce n'est pas le cas puisque premièrement en réalité la pression se stabilise parce que le débit s'annule à cause de la pression de l'air comprimé qui a dépassé celle de débit. Et deuxièmement si on donne une tension nulle à la vanne la pression reste fixe ce qui n'est pas le cas d'un premier ordre.

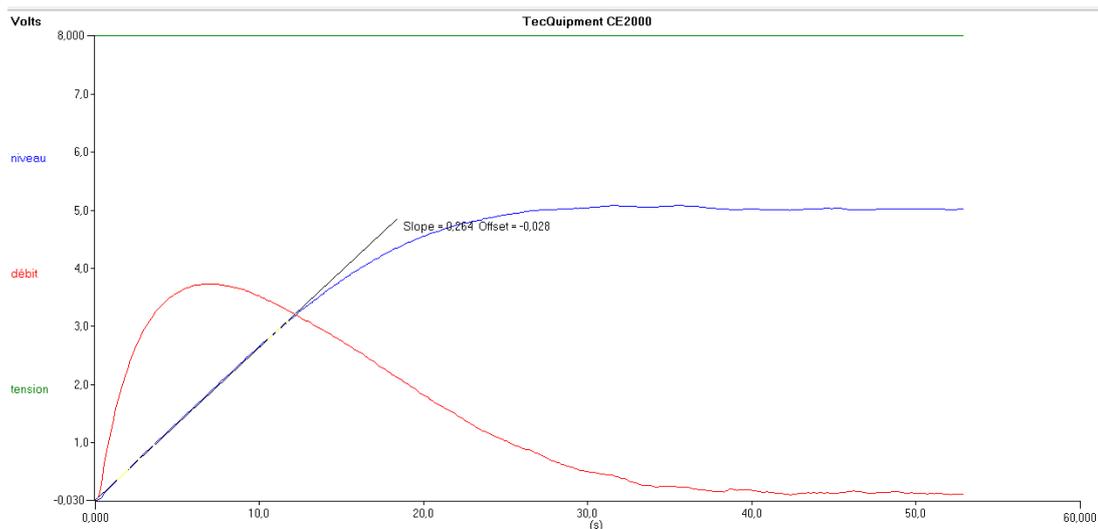


Figure I. 9: Réponse réelle du système vanne-pression en boucle ouverte

En utilisant la méthode d'identification d'un système naturellement instable cité précédemment, on a assimilé la réponse de ce système à celui d'un intégrateur avec un retard pure dont la forme de la fonction de transfert est :

$$H(s) = \frac{K}{s} \quad (\text{I. 7})$$

Après avoir calculé les différentes constantes du modèle on donne la fonction de transfert du système pompe-niveau par l'expression:

$$H(s) = \frac{0.0270}{s} \quad (\text{I. 8})$$

Le modèle d'état de ce système est donné par l'expression suivante :

$$\begin{cases} \dot{x} = 0.027u \\ y = x \end{cases} \quad (\text{I. 9})$$

Afin de valider le modèle trouvé on importe les résultats (réponse réel) ainsi le temps échantillonné sous forme un fichier « Bloc note » à partir de logicielle CE2000 et on simule la réponse des deux modèles réel et identifier sur la même figure.

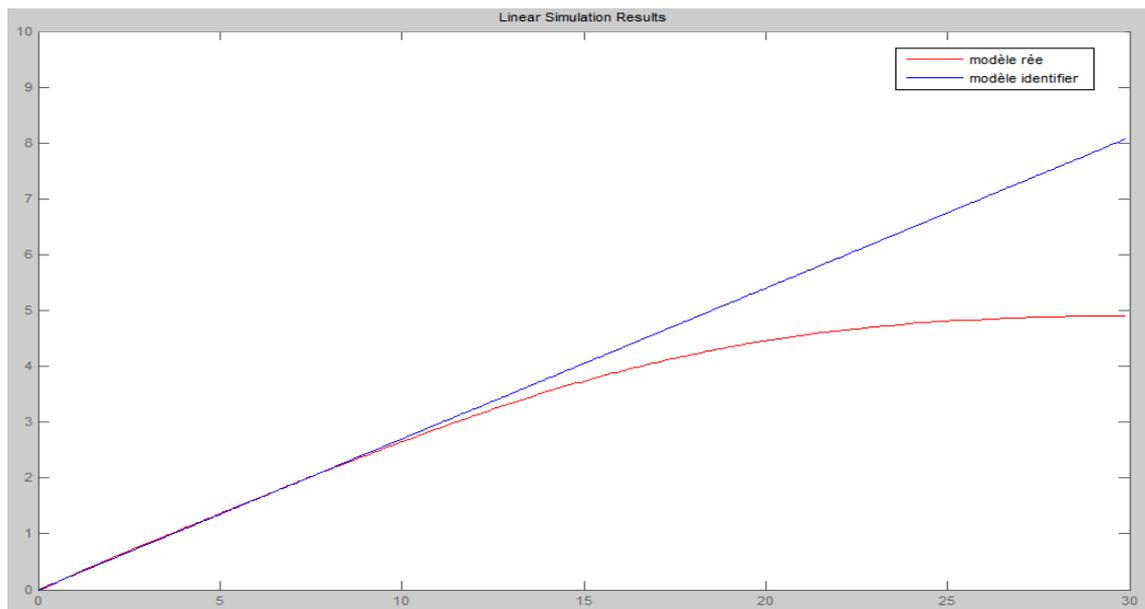


Figure I. 10: Réponse réelle et identifiée du système vanne-pression en boucle ouverte

Conclusion

Ce chapitre nous a permis d'avoir une bonne connaissance sur les différents systèmes qui existe sur la station CE117, ce qui nous aidera par la suite pour la régulation de chaque système.

CHAPITRE II

**Régulation des différents systèmes
De la station Process Trainer (CE117)
contrôlés par la vanne proportionnelle**

Introduction

Dans ce chapitre, on va décrire la commande de Backstepping qu'on synthétisera pour chaque système (constituant la station) contrôlés par la vanne proportionnelle,

On va utiliser l'adaptation par la logique floue pour régler le problème de la variation paramétrique engendré par l'ouverture de la vanne proportionnelle. Et on va présenter brièvement la méthode d'implémentation des commandes par le Step7 et la supervision par le WinCC.

II.1. Commande de Backstepping

La méthodologie du *Backstepping* peut se définir comme une façon d'organiser un système en plusieurs sous-systèmes en cascade. L'exploitation de la méthodologie de conception sur un plan général aboutit à la mise en place d'une loi de commande par rétroaction associée systématiquement à une fonction de Lyapunov ou l'équivalent. [1]

- **Théorie de Lyapunov :**

On annonce dans cette partie la deuxième méthode de Lyapunov qui est venue pour remédier aux inconvénients de la première méthode, cette méthode est basée sur la recherche d'une fonction qui s'appelle fonction de Lyapunov, cette dernière possède une relation avec la norme de la variable d'état du système qui lui permet de décider sur la stabilité du système.

La théorie de Lyapunov a plusieurs types de stabilités, stabilité asymptotique, stabilité au sens de Lyapunov, instabilité.

Stabilité asymptotique est le type de stabilité que nous tâcherons d'obtenir dans notre conception de commande.

- **Stabilité asymptotique :**

S'il est possible de trouver une fonction $V(x)$ de signe définie positive (avec $V(0) = 0$) dans un domaine D comprenant la position d'équilibre, et dont la dérivée totale par rapport au temps v soit définie négative dans le même domaine, l'équilibre sera asymptotiquement stable dans ce domaine.

** $x=0$ de système Σ est asymptotique stable si $\dot{V}(x)$ est fonction définie négative **

Pour éviter les problèmes et faciliter la recherche de la fonction de Lyapunov, on utilise la méthodologie de Backstepping qui permet de synthétiser une commande bien définie.

- **Exemple d'application :**

Soit le système suivant :

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 \\ \dot{x}_2 = x_2 + u \end{cases}$$

Pour ce système, on veut que notre variable d'état x converge vers 0

La synthèse de la commande de ce système s'effectue par deux étapes :

Etape 01: commandé x_1 par la commande fictif x_2

$$v_1 = \frac{1}{2}x_1^2 \quad (\text{FDP sur } \mathbb{R}) \quad (\text{II.2})$$

$$\dot{v}_1 = x_1\dot{x}_1 = -\lambda_1 x_1^2 \quad (\text{II.3})$$

$$x_2 = -\lambda_1 x_1 = \varphi_1 \quad \lambda_1 > 0 \quad (\text{II.4})$$

Etape 02: commandé x_2 par la commande u

$$v_2 = \frac{1}{2}x_1^2 + \frac{1}{2}(x_2 - \varphi_1)^2 \quad (\text{FDP sur } \mathbb{R}^2) \quad (\text{II.5})$$

$$\dot{v}_2 = x_1\dot{x}_1 + (x_2 - \varphi_1)(\dot{x}_2 - \dot{\varphi}_1) = x_1\varphi_1 + (x_2 - \varphi_1)(x_1 + \dot{x}_2 - \dot{\varphi}_1) \quad (\text{II.6})$$

Pour que la dérivé \dot{v}_2 soit FDN, le terme multiplie fois x_2 doit être égale $-\lambda_2 x_2$ tel que $\lambda_2 > 0$

$$x_1 + x_2 + u - \dot{\varphi}_1 = -\lambda_2(x_2 - \varphi_1) \quad (\text{II.7})$$

Et pour atteindre ce résultat, la commande u doit être égale :

$$u = -\lambda_2(x_2 - \varphi_1) - x_1 - x_2 + \dot{\varphi}_1 \quad (\text{II.8})$$

Cette commande qu'on a obtenue assure la convergence de la variable d'état ainsi la stabilité du système.

II.2. régulation par la méthode de backstepping des différents systèmes contrôlés par la vanne proportionnelle

II.2.1. Système Vanne-Débit

Pour synthétiser le régulateur par la méthode de Backstepping, on utilise le modèle d'état qu'on a présenté dans le chapitre précédent :

$$\begin{cases} \dot{x} = -0.3703x + 0.2376u \\ y = x \end{cases} \quad (\text{II.9})$$

$$\text{On prend l'erreur : } e = x - x_r \quad (\text{II.10})$$

On commande la variable d'état x par la commande u

$$v = \frac{1}{2}e^2 \quad (\text{FDP sur } \mathbb{R}) \quad (\text{II.11})$$

$$\text{L'erreur : } e = x - x_r \quad (\text{II.12})$$

Pour assurer la convergence de l'erreur vers 0, il suffit d'assurer que la dérivée de la fonction de Lyapunov soit définie négative

$$\Leftrightarrow \dot{v} = e\dot{e} = -\lambda e^2 \quad (\text{FDN sur } \mathbb{R}) \quad (\text{II.13})$$

$$\Leftrightarrow \dot{e} = \dot{x} = -\lambda e \quad (\text{II.14})$$

$$\Leftrightarrow -0.3703x + 0.2376u = -\lambda e \quad \lambda > 0 \quad (\text{II.15})$$

$$\Leftrightarrow 0.2376u = -\lambda e + 0.3703x \quad (\text{II.16})$$

Et pour atteindre ce résultat, la commande u doit être égale :

$$u = 4.2087(-\lambda e + 0.3703x) \quad (\text{II.17})$$

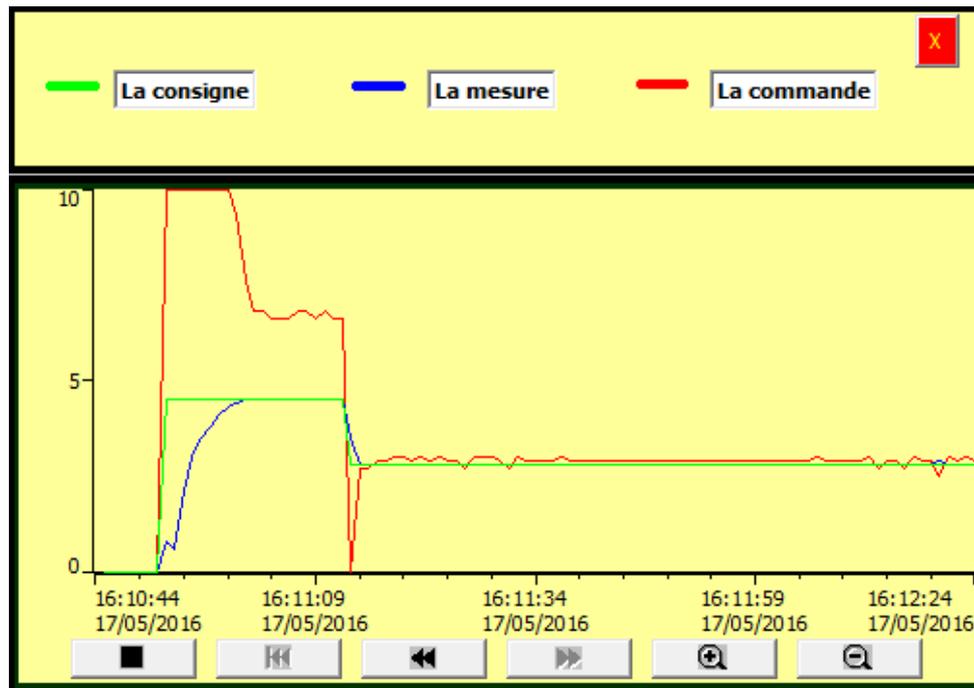


Figure II. 1: La réponse du système vanne-débit commandé par la méthode de Backstepping sous le WinCC

II.2.2. Système Vanne-niveau

Pour synthétiser le régulateur par la méthode de Backstepping, on utilise le modèle d'état suivant dans lequel le retard est négligé :

$$\begin{cases} \dot{x} = 0.0626u \\ y = x \end{cases} \quad (\text{II.18})$$

$$v = \frac{1}{2}e^2 \quad (\text{FDP sur } \mathbb{R})$$

$$\text{L'erreur : } e = x - x_r$$

Pour assurer la convergence de l'erreur vers 0, il suffit d'assurer que la dérivée de la fonction de Lyapunov soit définie négative

$$\Rightarrow \dot{v} = e\dot{e} = -\lambda e^2 \quad (\text{FDN sur } \mathbb{R}) \quad (\text{II.19})$$

$$\Rightarrow \dot{e} = \dot{x} = -\lambda e \quad (\text{II.20})$$

$$\Rightarrow 0.0626u = -\lambda e \quad \lambda > 0 \quad (\text{II.21})$$

Et pour atteindre ce résultat, la commande u doit être égale :

$$u = 15.9744 \lambda e$$

(II.22)

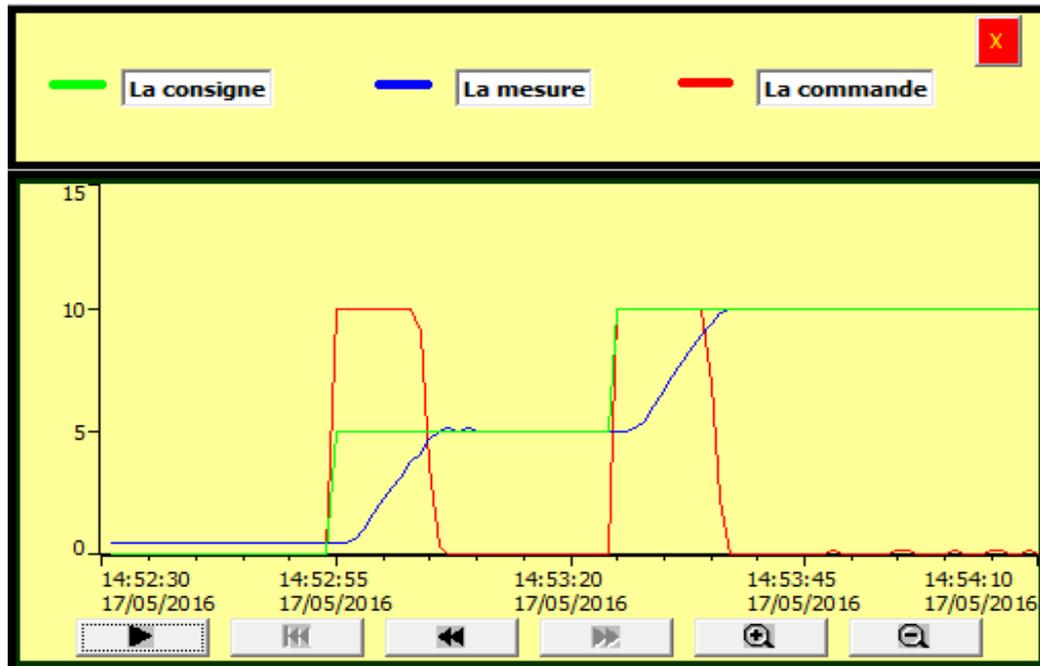


Figure II. 2: La réponse du système vanne-niveau commandé par la méthode de Backstepping sous le WinCC

II.2.3. Système Vanne-pression

Pour synthétiser le régulateur par la méthode de Backstepping, on utilise le modèle d'état qu'on a présenté dans le chapitre précédent :

$$\begin{cases} \dot{x} = 0.027u \\ y = x \end{cases} \quad (\text{II.23})$$

$$v = \frac{1}{2}e^2 \quad (\text{FDP sur } \mathbb{R})$$

L'erreur : $e = x - x_r$

$$\Rightarrow \dot{v} = e\dot{e} = -\lambda e^2 \quad (\text{II.24})$$

$$\Rightarrow \dot{e} = \dot{x} = -\lambda e \quad (\text{II.25})$$

$$\Rightarrow 0.027u = -\lambda e \quad \lambda > 0 \quad (\text{II.26})$$

Et pour atteindre ce résultat, la commande u doit être égale :

$$u = 37.0370 \lambda e$$

(II.27)

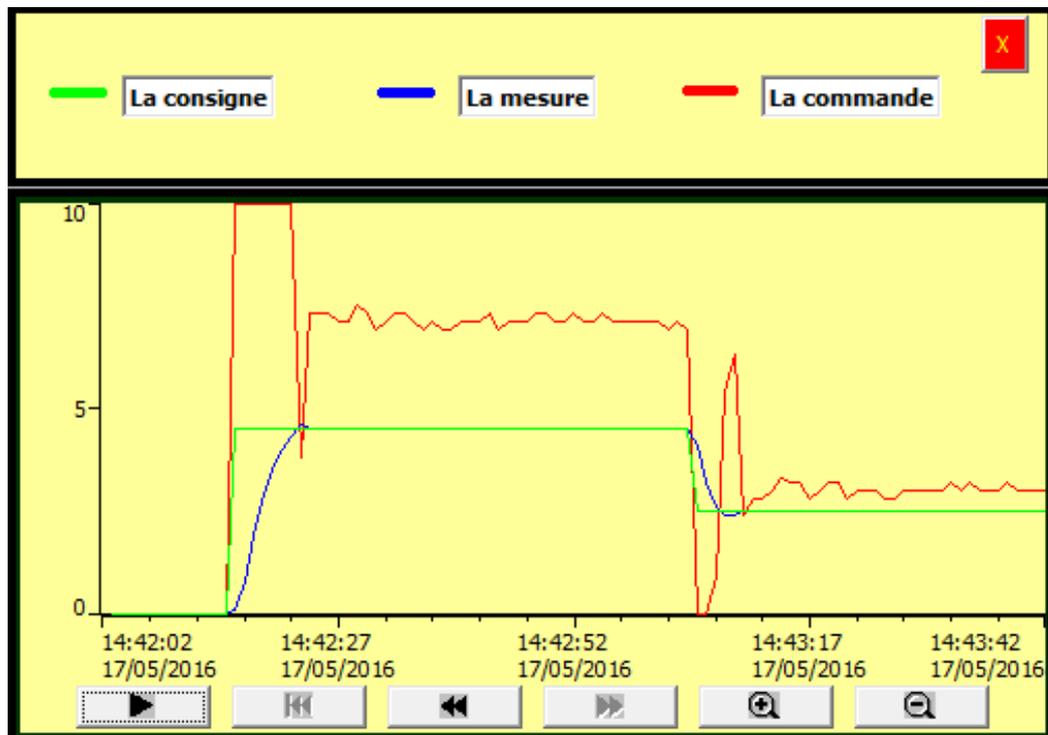


Figure II. 3: La réponse du système vanne-pression commandé par la méthode de Backstepping sous le WinCC

II.3.Problèmes de variations paramétriques et des erreurs de modélisations :

La grandeur de niveau peut être réglée par l'un des deux actionneurs (pompe ou vanne). Alors lors de l'identification, on a fixé l'un des deux et on a identifié le système pour cette valeur. Donc si cette valeur change alors le modèle du système change et ça va engendrer des variations paramétriques.

Si le degré d'ouverture de la vanne change, ceci va engendrer des variations paramétriques qui vont changer le modèle du système. Donc pour la résolution de ce problème, on va utiliser une adaptation des paramètres par la logique floue.

Fuzzification: On transforme l'angle d'ouverture de la vanne " α " en une variable floue α_F qui peut prendre les valeurs floues suivantes : TP, P, M, G et TG avec des fonctions de répartitions suivant la figure ci-dessous :

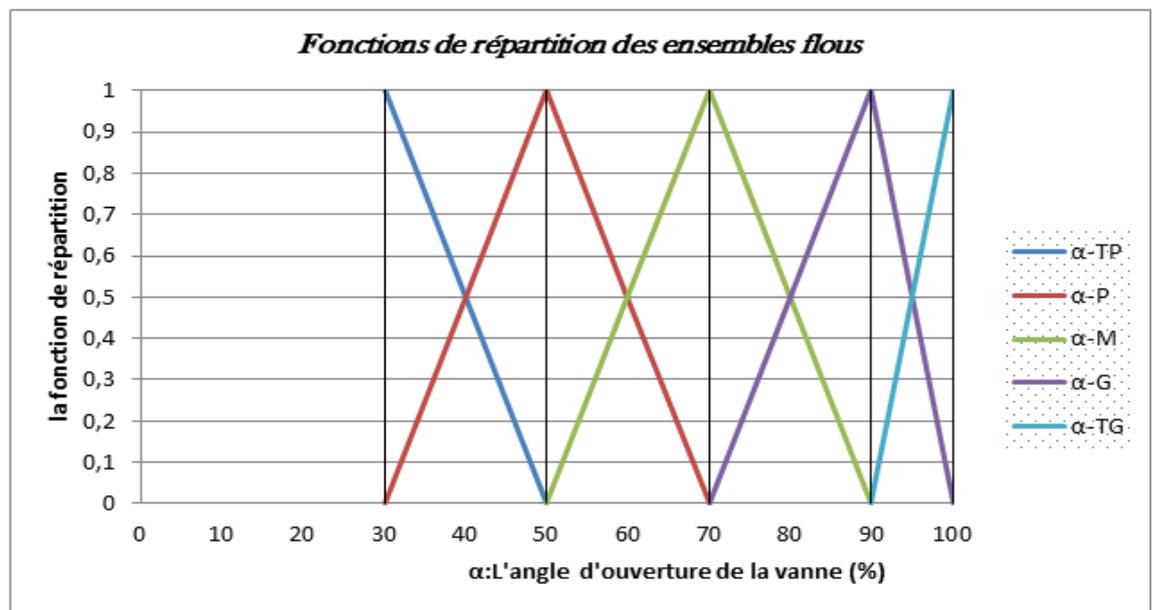


Figure II. 4: Les fonctions de répartition des ensembles flous

1- On établit les règles sous l'approche de TSK :

Règle 1 : si α_F est TP alors $K_1 = 0.5000$

Règle 2 : si α_F est P alors $K_2 = 0.5343$

Règle 3 : si α_F est M alors $K_3 = 0.5775$

Règle 4 : si α_F est G alors $K_4 = 0.5900$

Règle 5 : si α_F est TG alors $K_5 = 0.5993$

Soit α_i : le degré d'activation de la règle i.

$$\text{Règle 1} \rightarrow \alpha_1 = \mu_{TP}(y_F)$$

$$\text{Règle 2} \rightarrow \alpha_2 = \mu_P(y_F)$$

$$\text{Règle 3} \rightarrow \alpha_3 = \mu_M(y_F)$$

$$\text{Règle 4} \rightarrow \alpha_4 = \mu_G(y_F)$$

$$\text{Règle 5} \rightarrow \alpha_5 = \mu_{TG}(y_F)$$

D'après l'approche de TSK, le gain réel du système est donné par :

$$K = \frac{\sum \alpha_i * K_i}{\sum \alpha_i} \quad (\text{II.28})$$

- **Synthèse de régulateur P :**

La fonction de transfert en boucle fermée est donnée par la relation suivante :

$$H(s) = \frac{K}{s(1+Ts)} = \frac{0.0626}{s(1+0.64s)} \quad (\text{II.29})$$

$$G_{bf}(s) = \frac{H(s)}{1+H(s)} = \frac{KK_P}{Ts^2+s+KK_P} \quad (\text{II.30})$$

$$G_{bf}(s) = \frac{1}{\frac{1}{\omega_n^2}s^2 + \frac{2\xi}{\omega_n}s + 1} \quad (\text{II.31})$$

Par identification entre (II.30) et (II.31) on trouve :

$$\frac{1}{\omega_n^2} = \frac{T}{KK_P} \qquad \frac{2\xi}{\omega_n} = \frac{1}{KK_P} \quad (\text{II.32})$$

D'après (II.32) on trouve :

$$\omega_n = \frac{1}{2\xi T}; \qquad K_P = \frac{\omega_n}{2\xi K} \quad (\text{II.33})$$

En imposant $\xi = 0.8$, on trouve : $\omega_n = 0.9765$

Et la fonction de transfert du régulateur est donnée par l'expression suivante:

$$R(s) = \frac{\omega_n}{2\xi K} \quad (\text{II.34})$$

Tel que le gain K c'est le gain qu'on a trouvé par l'adaptation paramétrique par la logique floue

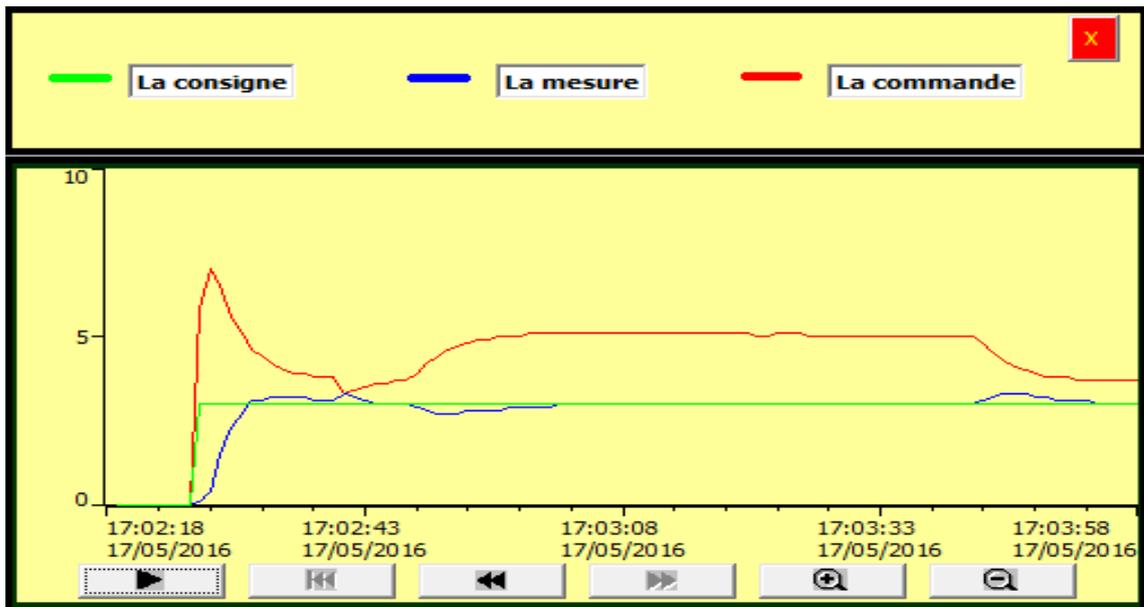


Figure II. 5: La réponse du système vanne-niveau après l'adaptation paramétrique par la logique floue sous WinCC

II.4. Implémentation et supervision des différents processus d'automatisation contrôlés par la vanne proportionnelle.

Pour la mise à l'échelle des entrées qui viennent des capteurs et la sortie qui se dirige vers les actionneurs, on a utilisé les deux fonctions qui se trouvent dans la bibliothèque du Step7 : FC105 et FC106 respectivement.

Adressage des entrées/sorties :

PEW	128	Débits
PEW	130	Niveau
PEW	132	Pression
PEW	134	Température dans la cuve
PAW	128	l'entrée de l'actionneur

Pour l'implémentation de la commande backstepping qu'on a synthétisée, on a créé des blocs fonctionnels en utilisant le langage structuré à partir des fichiers sources, et par la suite on a fait appel à ces blocs dans le programme principale OB1.

Les étapes de l'implémentation des commandes:

1- Création d'un fichier source:

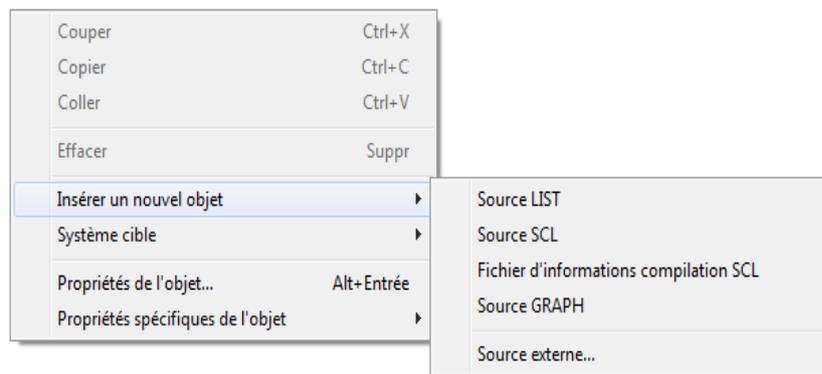


Figure II. 6: La création d'un fichier source

2- Le choix du modèle de bloc :

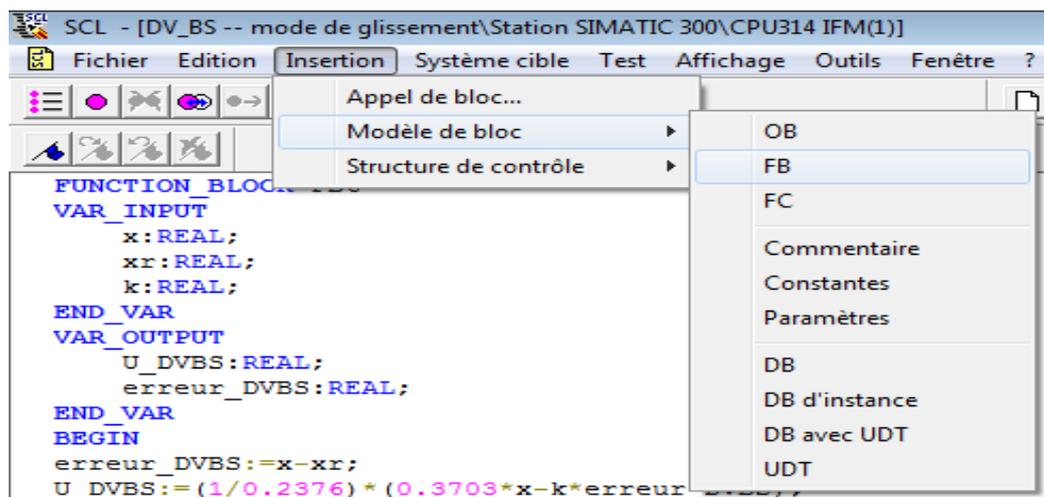


Figure II. 7: Le choix du modèle de bloc

3- La déclaration des variables et la saisie du programme:

Pour la programmation des blocs fonctionnels on a utilisé le langage structuré comme montre la figure:

```
FUNCTION_BLOCK FB6
VAR_INPUT
  x:REAL;
  xr:REAL;
  k:REAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
  U_DVBS:REAL;
  erreur_DVBS:REAL;
END_VAR
BEGIN
  erreur_DVBS:=x-xr;
  U_DVBS:=(1/0.2376)*(0.3703*x-k*erreur_DVBS);
END_FUNCTION_BLOCK
```

Figure II. 8:Programme sous le langage structuré dans un fichier source

4- La compilation du programme:

La compilation sert à détecter les erreurs, et à générer le bloc fonctionnel qui correspond au programme compilé.

5- L'appel du bloc dans le programme principal OB1:

Pour appeler ce bloc dans le OB1 il suffit d'aller sur l'icône FB et de choisir le bloc fonctionnel et de le glisser à l'intérieure du réseau.

6- La création d'un bloc de donné qui correspond au bloc fonctionnel:

Pour choisir la commande de backstepping sur l'interface qu'on a créée sur WinCC il faut choisir les paramètres de réglage de système montré dans la figure suivante :

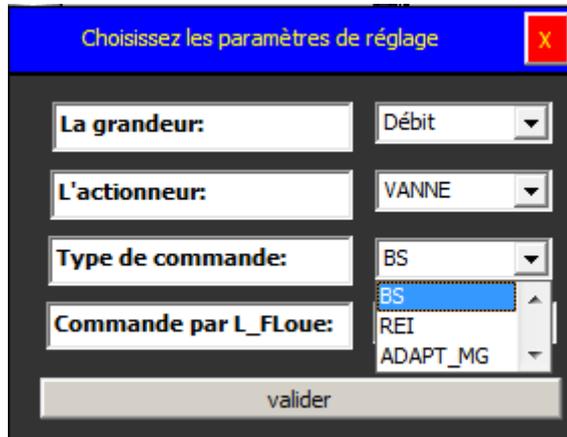


Figure II. 9: Les paramètres de réglage de système

Conclusion

Nous avons pu voir à travers ce chapitre l'application de la commande de backstepping sur des différents systèmes réels contrôlés par la vanne proportionnelle à l'aide des outils de programmation offerts par STEP7 ainsi que la supervision des processus à travers l'interface graphique créé par le WinCC.

Conclusion générale

Nous avons vu dans ce mémoire les différentes étapes de régulations du système hydraulique CE117, équipé par un automate programmable S7 314 IFM qui nous a donné la possibilité de l'implémentation et la supervision de différentes commandes.

Notre travail était partagé en deux chapitres :

Le premier chapitre nous a permis en premier temps d'avoir une bonne connaissance sur les différents systèmes qui existe sur la station CE117 : les contraintes pour chaque système, les caractéristiques des capteurs, les différentes possibilités de réglage et finalement et après l'identification on a pu connaitre le modèle approprié pour chaque système, ce qui nous a aidés par la suite à la synthèse des régulateurs.

Dans le deuxième nous avons pu voir l'application de la commande de backstepping sur des différents systèmes réels contrôlés à l'aide des outils de programmation offerts par STEP7. Nous avons pu voir aussi la supervision des processus à travers l'interface graphique créé sous le WinCC.

En fin, nous espérons que notre travail sera utile aux étudiants en automatique, pour appliquer ce qu'ils prennent aux cours de l'informatique industrielle et d'Automatique avancé et pourquoi pas d'identification, et qu'il participe à forger des ingénieurs automaticien avec beaucoup d'expérience qui leurs permettre de transiter vers une nouvelle phase où ils seront obligés à manipuler des systèmes réels.

Bibliographie

- [1] Niedercorn LT « la Briquerie » 57100 THIONVILLE-Automates programmables-présentation.
- [2] Slim BEN SAOUD : LES AUTOMATES PROGRAMMABLES INDUSTRIELS (API).
- [3] SIEMENS, Notions de base sur les bus de terrain avec SIMATIC S7-300, Annexe IV, Edition 05/2004
- [4] SIEMENS SIMATIC : Programmer avec STEP 7 Manuel
- [5] WinCC flexible 2008 SP2, WinCC flexible Information System.
- [6] www.siemens.com
- [7] : Automatique Contrôle et Régulation / Patrick Prouvost
- [8] FAHED ESHBAIR ‘ ‘ MODÉLISATION ET COMMANDE D'UN SYSTÈME MULTI-MOTEUR PAR LA TECHNIQUE DE COMMANDE *BACKSTEPPING*’ ’ EDITION AOÛT 2005
- [9] M.A.A.FOUKA, B.FERHAOUI, «REALISATION D'UNE MAQUETTE DE STATION DE POMPAGE A BASE D'AUTOMATE PROGRAMMABLE SIEMEN », projet de fin d'étude, Ecole Nationale Polytechnique 2015.
- [10] B.A.SAHAR, A.SOUCHANE «Commande et supervision de la station FESTO PCS_COMPACT à l'aide de STEP7 et WinCC», projet de fin d'étude, Ecole Nationale Polytechnique 2009.
- [11] M.BOUALBANI «Commande et supervision de la station CE117 Process Trainer avec l'automate s7 300», projet de fin d'étude, Ecole Nationale Polytechnique 2015.
- [12] A.ABRICHE, « Réalisation et gestion d'un prototype de station de pompage à base d'automates programmables industriels SIEMENS », projet de fin d'étude, Ecole Nationale Polytechnique 2007.