

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE



Département d'Automatique

Mémoire pour l'obtention du diplôme Master en  
Automatique

THÈME

*Commande et identification de la station  
FESTO PCS\_COMPACT à l'aide de TIA  
PORTAL*

**Présenté et étudié par :**

*SELLAMI Oussama*

*BENDJOURI Amir Abdelhakim*

**Proposé et dirigé par :**

*Dr.R.Illoul*

Promotion 2013

ENP-10 Avenue Hacen Badi, B.P 182, EL-Harrach, 16200, Alger, ALGERIE

# REMERCIEMENTS

Nous tenons tout d'abord à exprimer nos sincères remerciements à notre encadreur Dr. ILLOUL de nous avoir encadrés durant ce projet et nous avoir conseillés tout au long de ce travail.

Nous remercions aussi les membres du jury pour l'honneur qu'ils nous ont faits en évaluant notre travail.

Nous tenons à remercier particulièrement les enseignants de notre Ecole Nationale Supérieure Polytechnique pour tout ce qu'ils nous ont transmis, leurs efforts et leur disponibilité.

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

À mes parents :Omí wa Abí. . .

À Souhaib. . .

À Salsabil, Manar et ma petite sœur Nousaïba. . .

À ma grande famille. . .

À tous mes Amis (sans exception). . .

Je dédie ce mémoire, à toutes les personnes qui m'ont aidé durant le parcours de ma formation, à mes enseignants, à mes camarades de classe, au staffe de l'école avec ces différentes structures, à tous les SALAFIF de BOURAOUI Ammar que j'ai connus et avec qui j'ai partagé de beaux moments et de magnifiques souvenirs pleins de joie et de respect, à ma grande famille et particulièrement mes chère parents que grâce à dieu puis à eux que j'ai réalisé mon souhait .

*Oussama*

# *DEDICACES*

*Je dédie ce travail à mes parents qui m'ont tant soutenu et encouragé tout au long de mon cursus et sans qui je n'en serais pas là, ainsi qu'à Abdou, Zahira, Nassim et Spiksou.*

*A ma défunte grand-mère*

*A Mounia pour son assistance et sa présence*

*A mes amis de toujours*

*A tous ceux qui m'aiment*

## ملخص:

العمل المنجز في المذكرة يتمحور حول استعمال مسير صناعي مبرمج "سيمنس". عندما اكتسبت دائرة الأوتوماتك للمدرسة الوطنية المتعددة التقنيات نموذج محطة تسيير و ضبط الأنظمة الصناعية مستوى الماء التصريف, الضغط, درجة الحرارة, قمنا باتجار برنامج تسيير, تطابق و ضبط مختلف الأنظمة المحتواة في المحطة.

للتطابق و التعرف على خصائص الطوابط المطبقة استعنا ببرنامج ماتلاب(تون).

الكلمات المفتاحية:

مسير صناعي "سيمنس", تيا بورتال, تون, محطة فسطو.

## RESUME :

Le travail présenté dans ce mémoire est basé essentiellement sur l'utilisation des automates programmables SIEMENS. Le Département d'Automatique de l'Ecole Nationale Supérieure Polytechnique ayant acquis une station de contrôle des processus (débit, niveau, pression et température), FESTO, nous avons entrepris l'identification des différents sous-systèmes constituant cette installation par la méthode des moments simples. Pour la détermination des paramètres des régulateurs (P, PI, PID) appliqués, nous nous sommes basés sur la commande « Tune » travaillant avec la méthode de compensation des pôles et Ziegler-Nichols.

Mots clés :

Automate programmable Siemens S7-313C, STEP7, WinCC, Tia PORTAL, capteurs et actionneurs FESTO.

## ABSTRACT:

The work presented in this paper is based primarily on the use of programmable SIEMENS. Since The Department of Automation of the national polytechnic school have acquired a process control (flow, level, temperature and pressure), FESTO, we undertook a program of identification and control of the various subsystems comprising in the installation.

For the identification and determination of the parameters of regulators (P, PI, PID) applied, we used the commande « Tune » based on the methods of simple moments and Ziegler-Nichols.

Key words:

Siemens PLC S7-313C, STEP7, WinCC, sensors and actuators FESTO.

# Table des matières

<b>Introduction générale</b>	<b>1</b>
<b>1 Modélisation, identification et régulation des sous-systèmes du système didactique de contrôle de processus FESTO</b>	<b>4</b>
1.1 Introduction . . . . .	5
1.2 Système de régulation de débit . . . . .	5
1.2.1 Régulation de débit avec la pompe comme contrôleur . . . . .	6
1.2.2 Régulation de débit avec la vanne proportionnelle comme contrôleur :	11
1.3 Système de régulation de niveau . . . . .	16
1.4 Système de régulation de pression . . . . .	23
1.4.1 Régulation de pression avec la pompe comme actionneur . . . . .	23
1.4.2 Régulation de pression avec la vanne proportionnelle comme actionneur :	28
1.5 Système de régulation de température . . . . .	33
<b>Conclusion générale</b>	<b>35</b>

# Table des figures

1.1	Circuit relatif à la régulation de débit par le biais de la pompe.[1] . . . . .	5
1.2	Circuit relatif à la régulation de débit par le biais de la vanne proportionnelle.[1]	6
1.3	Diagramme électrique de principe de la régulation de débit avec la pompe comme contrôleur.[1] . . . . .	7
1.4	Réponse indicielle du débit (pompe) en boucle ouverte. . . . .	8
1.5	Introduction des données dans l'interface d'identification. . . . .	8
1.6	Résultats des paramètres calculés. . . . .	9
1.7	Schéma SIMULINK en boucle ouverte . . . . .	9
1.8	Simulation de la FT en boucle ouverte . . . . .	9
1.9	Schéma SIMULINK en boucle fermée . . . . .	10
1.10	Calcul des paramètres du régulateur à l'aide de Tune. . . . .	10
1.11	Simulation de la FT en boucle fermée. . . . .	11
1.12	Réponse indicielle du débit réel (pompe) en boucle fermée. . . . .	11
1.13	Diagramme électrique de principe de la régulation de débit avec la vanne proportionnelle comme contrôleur. . . . .	12
1.14	Réponse indicielle du débit (vanne analogique) . . . . .	13
1.15	Réponse réelle et réponse identifiée (vanne analogique). . . . .	13
1.16	Résultats des paramètres calculés. . . . .	14
1.17	Schéma SIMULINK en boucle ouverte . . . . .	14
1.18	Simulation de la FT en boucle ouverte . . . . .	14
1.19	Schéma SIMULINK en boucle fermée . . . . .	15
1.20	Calcul des paramètres du régulateur à l'aide de Tune . . . . .	15
1.21	Simulation de la FT vanne-débit en boucle fermée . . . . .	16
1.22	Réponse indicielle du débit réel (vanne) en boucle fermée . . . . .	16
1.23	Circuit relatif à la régulation de niveau . . . . .	17
1.24	Diagramme électrique du principe de la régulation de niveau analogique . . .	18

1.25 a-Réponse indicielle . . . . .	19
1.26 b-Réponse indicielle . . . . .	19
1.27 Réponse réelle et réponse identifiée (Niveau) . . . . .	19
1.28 Résultats des paramètres calculés . . . . .	20
1.29 Schéma SIMULINK en boucle ouverte . . . . .	20
1.30 Simulation de la FT en boucle ouverte . . . . .	20
1.31 Schéma SIMULINK en boucle fermée . . . . .	21
1.32 Calcul des paramètres du régulateur à l'aide de Tune . . . . .	21
1.33 Simulation de la FT niveau en boucle fermée . . . . .	22
1.34 Réponse indicielle réelle de niveau en boucle fermée . . . . .	22
1.35 Circuit relatif à la régulation de pression avec la pompe comme actionneur .	23
1.36 Circuit relatif à la régulation de pression avec la vanne comme actionneur . .	23
1.37 Diagramme électrique de principe de la régulation de pression avec la pompe comme contrôleur . . . . .	24
1.38 Réponse indicielle du sous-système pression-pompe . . . . .	25
1.39 Réponse réelle et réponse identifiée (Pression-pompe) . . . . .	25
1.40 Résultats des paramètres calculés . . . . .	26
1.41 Schéma SIMULINK en boucle ouverte . . . . .	26
1.42 Simulation de la FT en boucle ouverte . . . . .	26
1.43 Schéma SIMULINK en boucle fermée . . . . .	27
1.44 Simulation de la FT pression-pompe en boucle fermée . . . . .	27
1.45 Réponse indicielle réelle du système pression-pompe en boucle fermée . . . .	28
1.46 Diagramme électrique de principe de la régulation de pression avec la vanne proportionnelle comme contrôleur . . . . .	29
1.47 Réponse indicielle en boucle ouverte de la pression (vanne analogique) . . . .	30
1.48 Réponse réelle et réponse identifiée (vanne analogique) . . . . .	30
1.49 Résultats des paramètres calculés . . . . .	31
1.50 Schéma SIMULINK en boucle ouverte . . . . .	31
1.51 Simulation de la FT en boucle ouverte . . . . .	31
1.52 Schéma SIMULINK en boucle fermée . . . . .	32
1.53 Calcul des paramètres du régulateur à l'aide de Tune . . . . .	32
1.54 Simulation de la FT niveau en boucle fermée . . . . .	32
1.55 Réponse indicielle réelle du système pression-vanne en boucle fermée . . . . .	33



1.56	Circuit relatif à la régulation de température . . . . .	34
1.57	Diagramme électrique de principe de la régulation de température . . . . .	34

# Introduction générale

La compétitivité des entreprises impose un recours à la fois fréquent et intensif à des technologies de production avancées. La productique et la complexité des opérations à exécuter, conduisent à la mise en œuvre de dispositifs et systèmes pour l'automatisation des ateliers de fabrication ou de production.[1]

L'Automate Programmable Industriel (API) est un appareil électronique programmable, adapté à l'environnement industriel et conçue afin de parvenir à piloter des procédés logiques séquentiels. Autrement dit, l'opérateur l'utilise pour le contrôle et essentiellement la commande d'un procédé industriel en assurant l'adaptation nécessaire entre les équipements de grande puissance du procédé industriel et ceux de faible puissance de la commande. L'API réalise des fonctions d'automatisme pour assurer la commande de pré-actionneurs et d'actionneurs à partir d'informations logique, analogique ou numérique.[2]

Dans le but de former ses élèves ingénieurs automaticiens à la maîtrise de cet outil, le Département Automatique de l'ENP, a acquis un système d'apprentissage didactique pour l'automatisation, FESTO, conçu pour répondre à un certain nombre d'exigences de formation professionnelle. En effet le matériel utilisé pour la fabrication de cette station de travail didactique est identique à celui disponible dans l'industrie.

Ce système didactique de contrôle des processus contient quatre sous systèmes (niveau, débit, pression, température), qui grâce à l'automate programmable Siemens S7- 313C, peuvent être utilisés individuellement ou en cascade.[1]

Le but de notre travail est donc l'étude des différents composants (capteurs, actionneurs et convertisseurs. . . ) de cette station afin de proposer une solution, à base d'automates programmable Siemens, permettant la gestion de la station d'un point de vue **d'identification**

des processus et régulation de niveau, débit, pression, et température. La communication entre la station et le pupitre de visualisation se fait via un réseau MPI. Il va sans dire que ce travail a nécessité l'étude préalable du logiciel de programmation des API Siemens STEP7 v11 et le logiciel de conception des interfaces homme-machine, WinCC advanced RT présent tous les deux sous un seul environnement commun et compact le TIA PORTAL.[5]

# Chapitre 1

## Modélisation, identification et régulation des sous-systèmes du système didactique de contrôle de processus FESTO

## 1.1 Introduction

Dans cette mémoire de master, nous décrivons les différents sous-systèmes que nous tenterons d'identifier et de réguler à l'aide des méthodes générales d'identification des processus .

Nous finirons par décrire notre applications qui a pour but de faire la régulation des sous-systèmes ainsi que la supervision de ces derniers.

## 1.2 Système de régulation de débit

Dans un système de canalisation, le débit de l'écoulement doit être contrôlé, pour ce faire deux types de régulation sont possibles :

- Régulation de débit par le biais de la pompe P101.
- Régulation de débit par le biais de la vanne proportionnelle V104.

Deux circuits sont alors possibles comme le montre les synoptiques suivants :

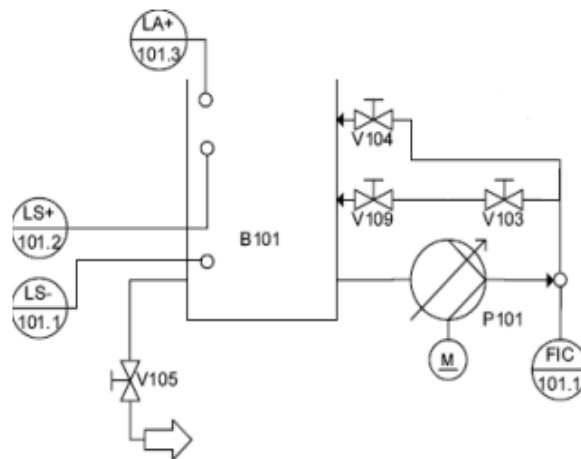


FIGURE 1.1 – Circuit relatif à la régulation de débit par le biais de la pompe.[1]

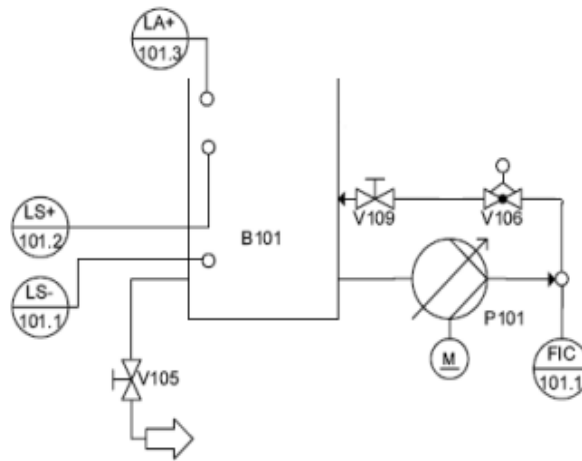


FIGURE 1.2 – Circuit relatif à la régulation de débit par le biais de la vanne proportionnelle.[1]

### 1.2.1 Régulation de débit avec la pompe comme contrôleur

1. **Description du système pompe-débit :** Le débit du fluide délivré par la pompe à travers le système de canalisation est calculé par le biais d'un capteur de débit optoélectronique. Dans ce qui va suivre nous allons étudier le contrôle continu du débit par le moyen de la pompe.[3]

En effet la pompe, utilisée en mode analogique, pompe le fluide du réservoir B101 à travers un système de canalisation pour le réinjecter par la suite dans ce même réservoir. Le débit de l'écoulement doit rester constant et ceci même en présence de perturbations. Ces perturbations peuvent être l'effet de l'ouverture partielle ou complète des vannes manuelles.

Le diagramme électrique, de principe, de la boucle de régulation est schématisé comme suit :

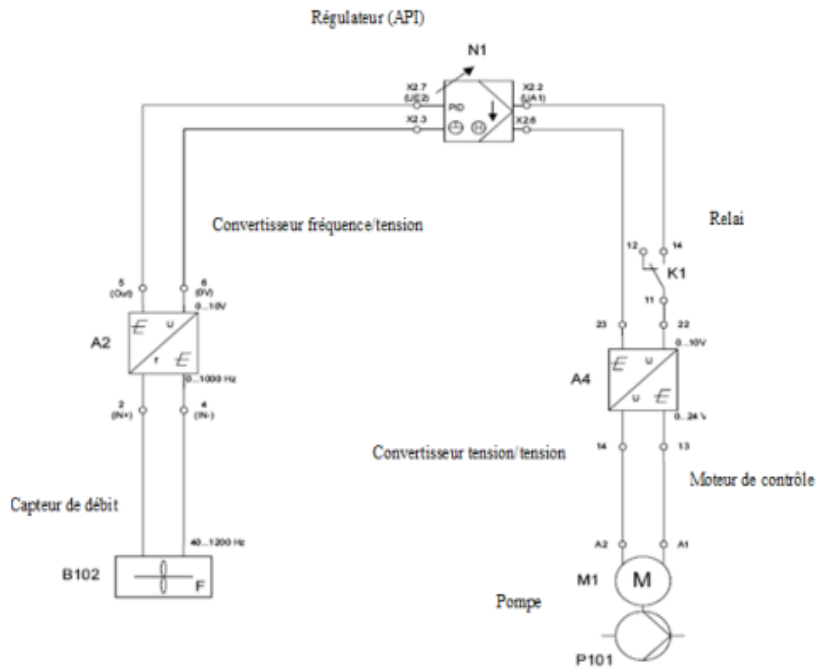


FIGURE 1.3 – Diagramme électrique de principe de la régulation de débit avec la pompe comme contrôleur.[1]

La valeur actuelle du débit de l'écoulement mesurée par le capteur optoélectronique est transmise sous la forme d'une onde carrée (0...1000Hz), et convertie ensuite en une tension standard (0...10V) par le convertisseur fréquence/tension (A2), avant d'être réceptionnée par l'automate programmable à travers le canal UE2 du terminal analogique X2.

La valeur de réglage (0...10V) générée par l'API est transmise au moteur de contrôle (M1) de la pompe par l'intermédiaire d'un relai K1 et d'un convertisseur tension/tension (A4).Ce dernier permettra d'adapter la tension standard (0...10V) en une tension 0...24V.[4]

- 2. Identification du système pompe-débit :** Pour l'identification de ce système, nous nous sommes retrouvés dans l'obligation d'utiliser la réponse indicielle vue l'incapacité d'attaquer nos sous-systèmes par des entrées de type impulsion.On envoie à la pompe un échelon d'amplitude 90%(0.9) après avoir mis la station sous le mode "Manuel" pour travailler en boucle ouverte, et on relève la réponse qui est représentée dans la figure ci-dessous à l'aide de l'interface de paramétrage PID.

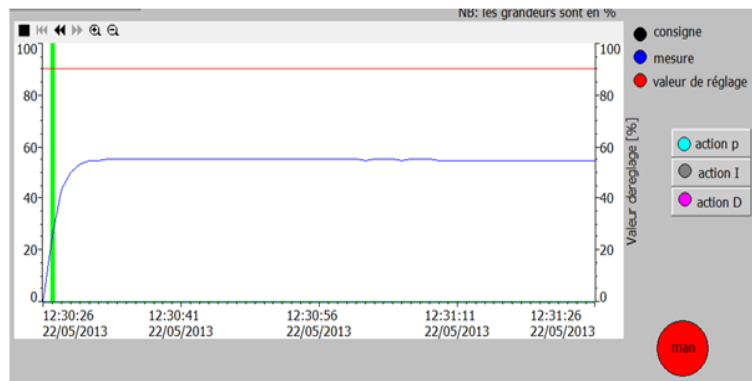


FIGURE 1.4 – Réponse indicielle du débit (pompe) en boucle ouverte.

On assimile la réponse de ce système à celle d'un deuxième ordre fortement amorti dont le coefficient de (S) est prépondérant par rapport à celui de (S<sup>2</sup>).

La fonction de transfert en boucle ouverte est de la forme :  $G(s) = \frac{K}{a_0S^2 + a_1S + a_2}$ .

Nous faisons entrer les valeurs de l'entrée (échelon 0.9) et de la réponse indicielle sous forme de vecteurs X et Y (Temps d'échantillonnage=1s) dans une interface graphique d'identification en boucle ouverte se basant sur la méthode des moments simples.

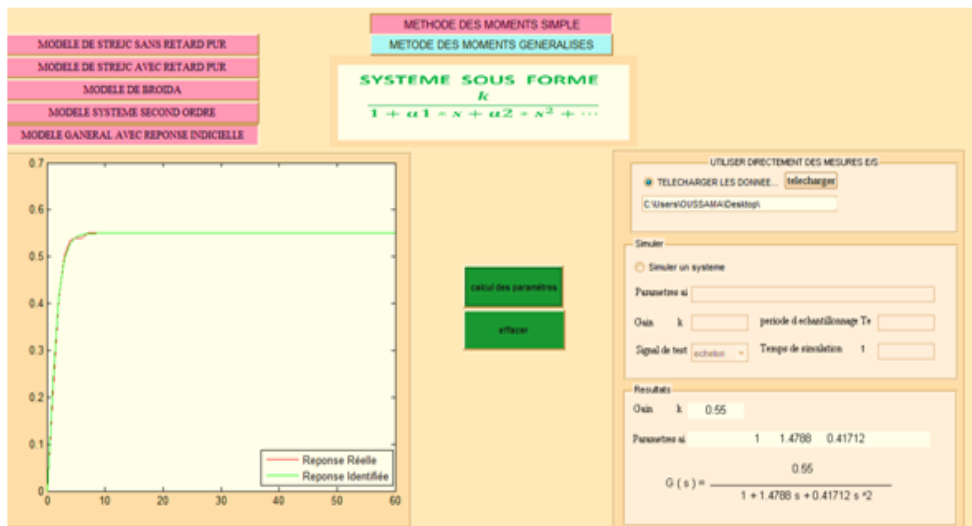


FIGURE 1.5 – Introduction des données dans l'interface d'identification.



Après le calcul des moments simples, nous avons abouti au résultat suivant :

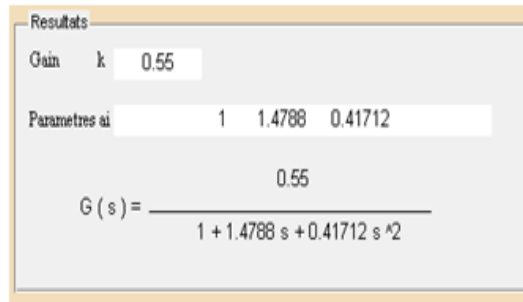


FIGURE 1.6 – Résultats des paramètres calculés.

La simulation de cette fonction de transfert en boucle ouverte à l'aide de Simulink-MATLAB a donné ceci :

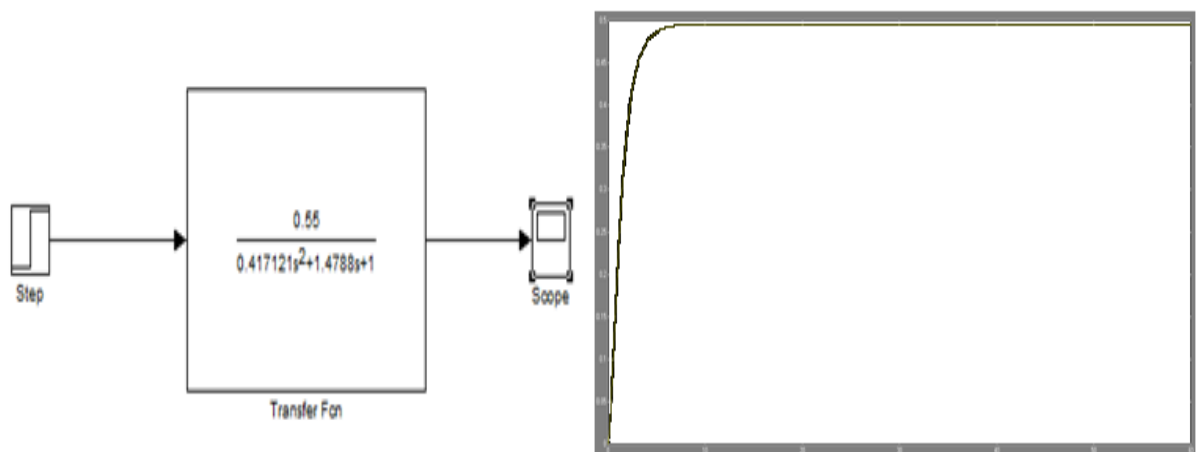


FIGURE 1.7 – Schéma SIMULINK en boucle ouverte

FIGURE 1.8 – Simulation de la FT en boucle ouverte

3. **Synthèse du régulateur PI** : La réponse indicielle de la fonction de transfert pompe-débit que nous avons trouvée est stable mais elle ne suit pas l'entrée (erreur statique), d'où la nécessité d'utiliser un régulateur PI continu de la forme :  $K_p(1 + \frac{1}{\tau_s})$ .

L'utilisation de l'action dérivée n'est pas nécessaire car tous nos sous-systèmes sont rapides (pas lents).

Nous bouclons le système en intégrant un régulateur PI Série et nous utilisons la commande "Tune" afin de pouvoir calculer les valeurs des paramètres de notre régulateur synthétisé.

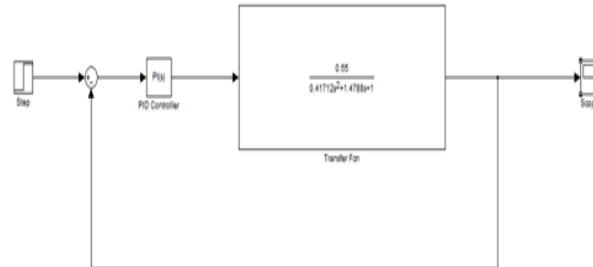


FIGURE 1.9 – Schéma SIMULINK en boucle fermée

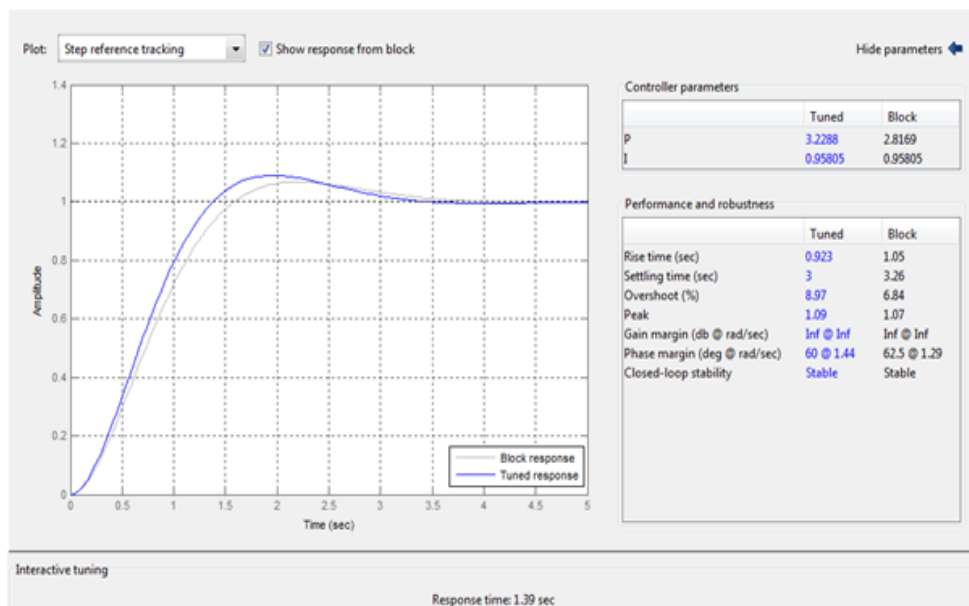


FIGURE 1.10 – Calcul des paramètres du régulateur à l'aide de Tune.

La simulation de notre système en boucle fermée est représentée dans la figure suivante :



FIGURE 1.11 – Simulation de la FT en boucle fermée.

On voit bien que le système est parfaitement régulé et il suit le cahier de charges Imposé avec un temps de réponse qui ne dépasse pas les 2 secondes.

Maintenant, on introduit les valeurs de P et I dans notre fenêtre de paramétrage PID et on met le système sous mode 'Auto'. La figure ci-dessous représente la réponse réelle du système :

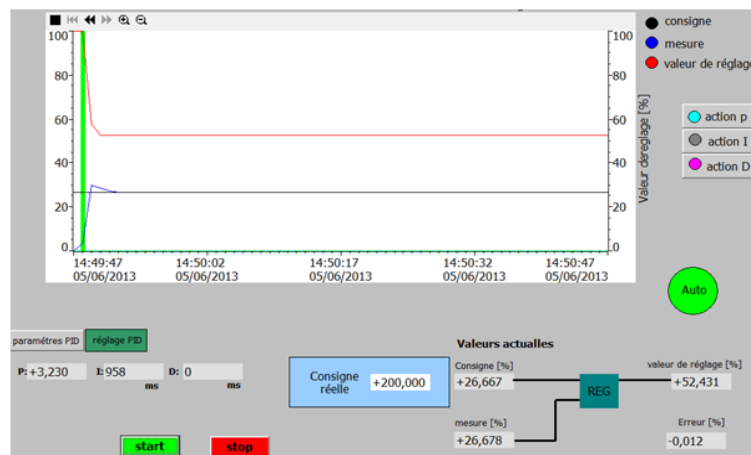


FIGURE 1.12 – Réponse indicielle du débit réel (pompe) en boucle fermée.

## 1.2.2 Régulation de débit avec la vanne proportionnelle comme contrôleur :

1. **Description** : Dans ce qui va suivre nous allons étudier le contrôle continu du débit par le moyen de la vanne proportionnelle. En effet la pompe utilisée à vitesse constante pompe le fluide du réservoir B101 à travers un système de canalisation, passant par la

vanne proportionnelle, pour le réinjecter par la suite dans ce même réservoir. La vanne proportionnelle dont la section de passage est infiniment ajustable permet la variation du débit.

Le diagramme électrique du principe de la boucle de régulation est schématisé comme suit :

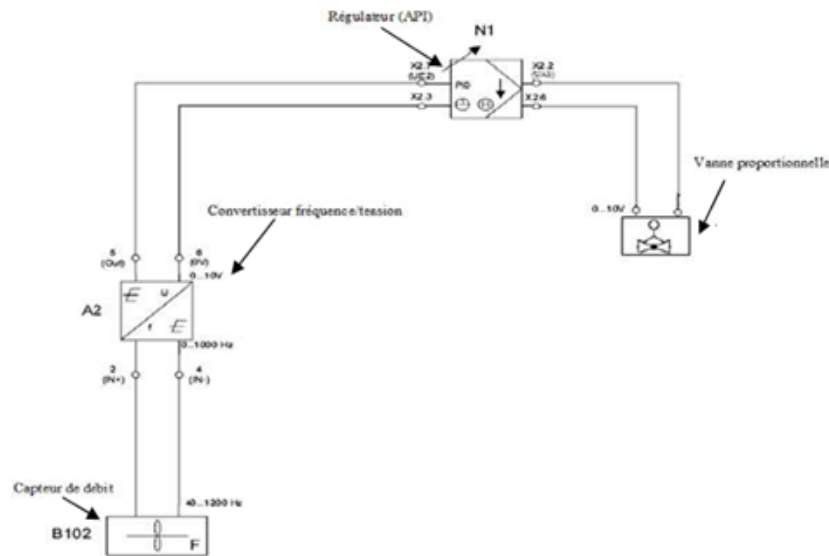


FIGURE 1.13 – Diagramme électrique de principe de la régulation de débit avec la vanne proportionnelle comme contrôleur.

La valeur actuelle du débit de l'écoulement mesurée par le capteur optoélectronique est transmise sous la forme d'une onde carrée (0...1000Hz) et convertie ensuite en une tension standard (0...10V) par le convertisseur fréquence/tension (A2), avant d'être réceptionnée par l'automate programmable à travers le canal UE2 du terminal analogique X2.

La valeur de réglage (0...10V) générée par l'API est transmise directement au contrôleur électronique de la vanne proportionnelle.

- 2. Identification du système vanne-débit :** Tout comme pour la partie précédente, nous nous sommes retrouvés dans l'obligation d'utiliser la réponse indicielle vue l'incapacité d'attaquer nos sous-systèmes par des entrées de type impulsion. On envoie à la vanne un échelon d'amplitude 90%(0.9) après avoir mis la station sous le mode "Manuel" pour travailler en boucle ouverte, et on relève la réponse qui est représentée dans la figure ci-dessous à l'aide de l'interface de paramétrage PID.

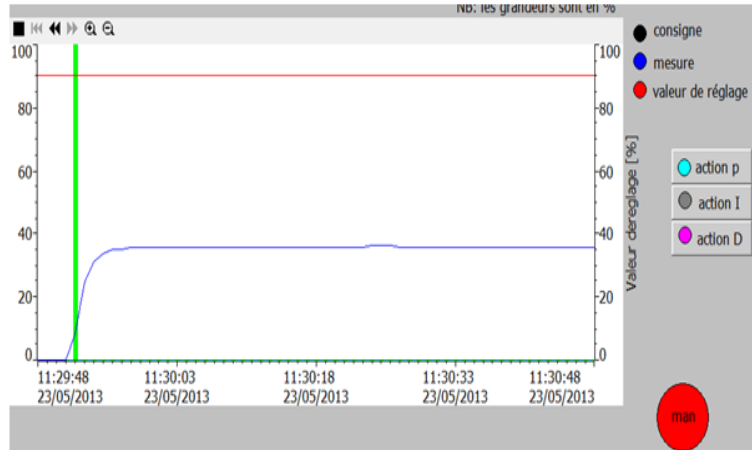


FIGURE 1.14 – Réponse indicielle du débit (vanne analogique)

On assimile la réponse de ce système à celle d'un deuxième ordre à cause du point d'inflexion. La fonction de transfert en boucle ouverte est de la forme :

$$G(s) = \frac{K}{a_0 S^2 + a_1 S + a_2}$$

Nous faisons entrer les valeurs de l'entrée (échelon 90%) et de la réponse indicielle sous forme de vecteurs X et Y (Temps d'échantillonnage=1s) dans une interface graphique d'identification en boucle ouverte se basant sur la méthode des moments simples.

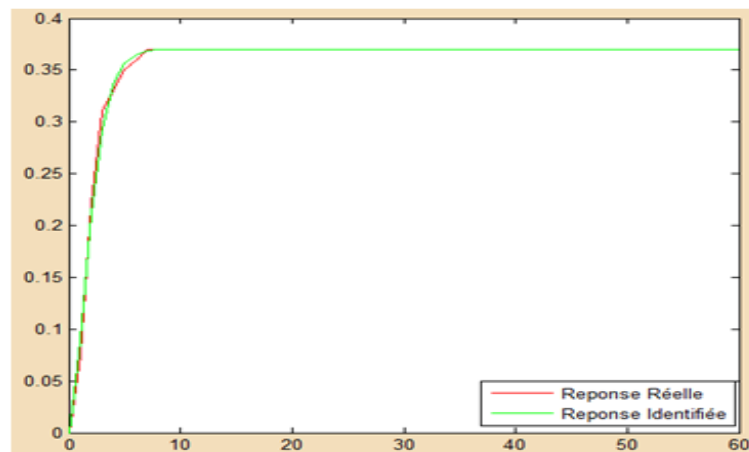


FIGURE 1.15 – Réponse réelle et réponse identifiée (vanne analogique).

Après le calcul des moments simples, nous avons abouti au résultat suivant :

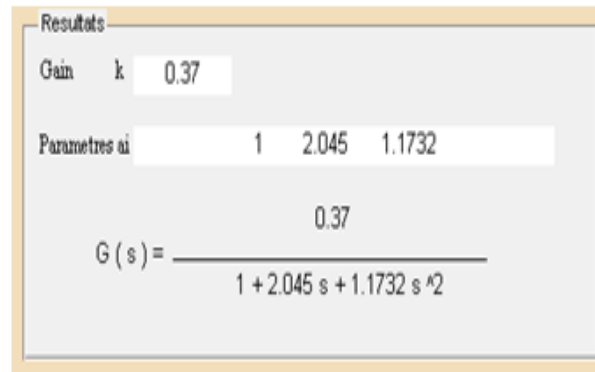


FIGURE 1.16 – Résultats des paramètres calculés.

La simulation de cette fonction de transfert en boucle ouverte à l'aide de Simulink-MATLAB a donné ceci :

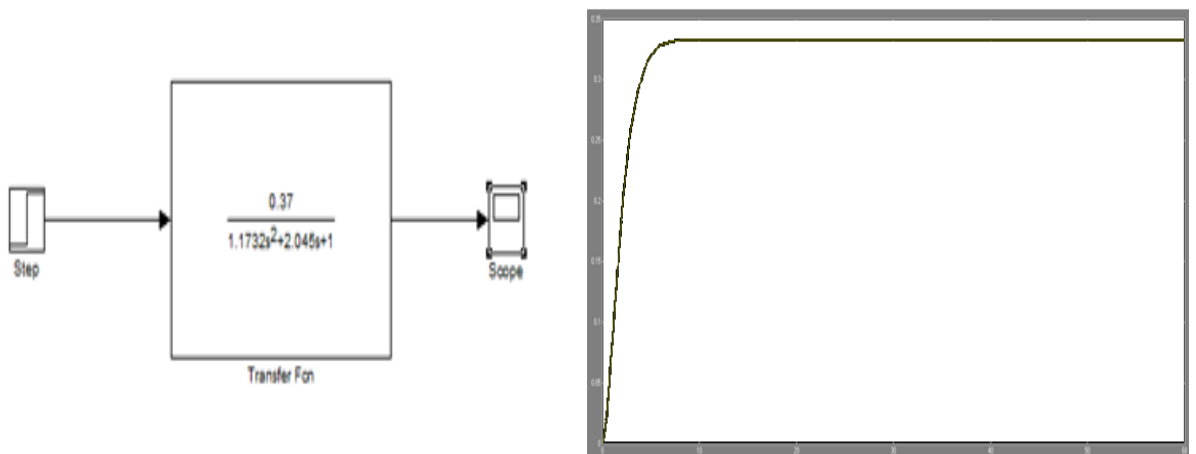


FIGURE 1.17 – Schéma SIMULINK en boucle ouverte

FIGURE 1.18 – Simulation de la FT en boucle ouverte

3. **Synthèse du régulateur PI :** La réponse indicielle de la fonction de transfert vanne-débit que nous avons trouvée est stable mais elle ne suit pas l'entrée (erreur statique), d'où la nécessité d'utiliser un régulateur PI continu de la forme :  $K_p(1 + \frac{1}{\tau_s})$ .

Nous bouclons le système en intégrant un régulateur PI Série et nous utilisons la commande "Tune" afin de pouvoir calculer les valeurs des paramètres de notre

régulateur synthétisé.

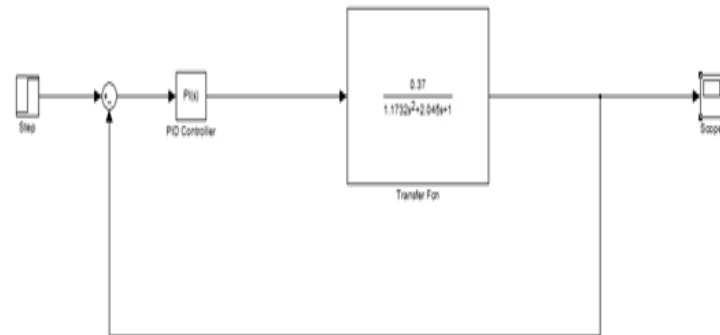


FIGURE 1.19 – Schéma SIMULINK en boucle fermée

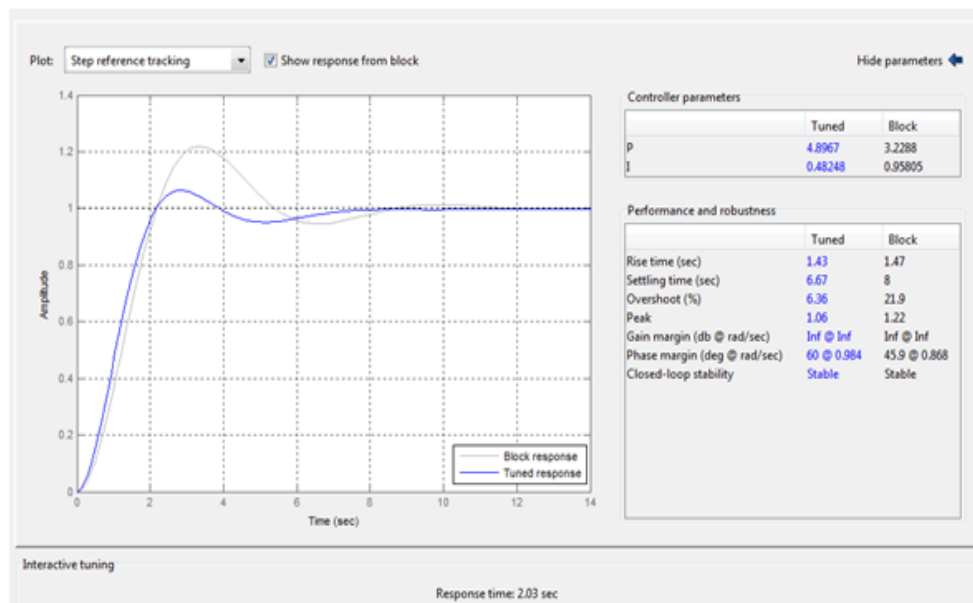


FIGURE 1.20 – Calcul des paramètres du régulateur à l'aide de Tune

La simulation de notre système en boucle fermée est représentée dans la figure suivante :

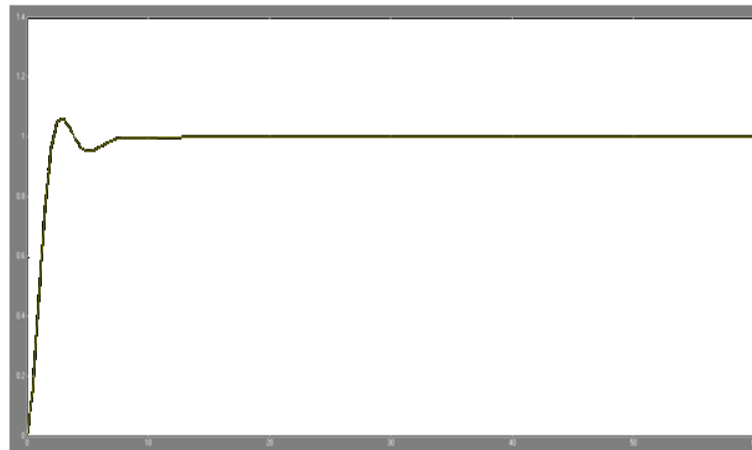


FIGURE 1.21 – Simulation de la FT vanne-débit en boucle fermée

Maintenant, on introduit les valeurs de P et I dans notre fenêtre de paramétrage PID et on met le système sous mode 'Auto'. La figure ci-dessous représente la réponse réelle du système :

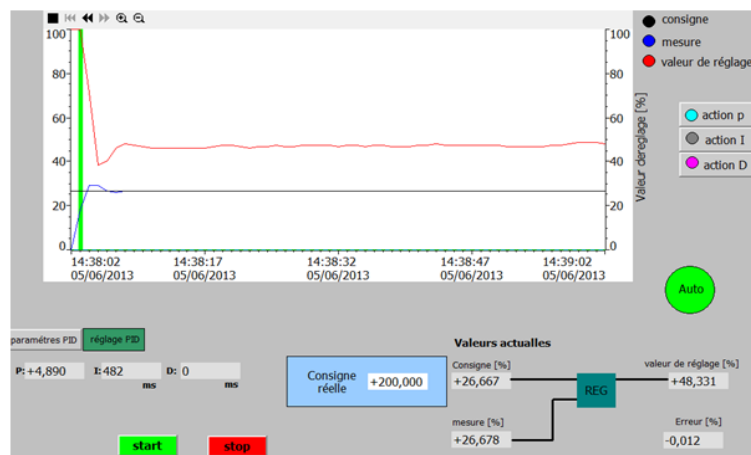


FIGURE 1.22 – Réponse indicielle du débit réel (vanne) en boucle fermée

### 1.3 Système de régulation de niveau

Le rôle du système de régulation de niveau est de contrôler le niveau de remplissage du réservoir B102, deux types de régulation sont alors envisageables :



- Régulation analogique avec la pompe comme élément de contrôle.
- Régulation tout ou rien avec la pompe comme élément de contrôle.

Après avoir effectué les configurations nécessaires, le diagramme synoptique de l'installation devient :

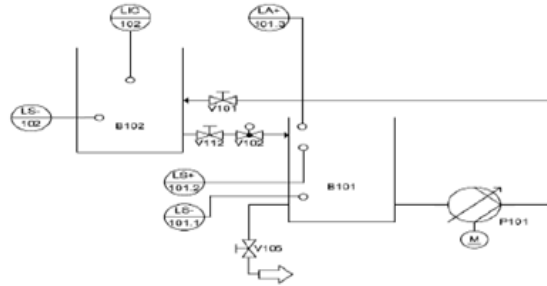


FIGURE 1.23 – Circuit relatif à la régulation de niveau

1. **Description de la régulation de niveau analogique :** Pour cette régulation, Mis à part les informations transmises par les capteurs digitaux cités plus haut, le niveau de remplissage du réservoir B102 est contrôlé par un capteur analogique au point de mesure (LIC102).

En effet la pompe, utilisée en mode analogique, délivre l'eau stockée dans le réservoir B101 vers le réservoir B102 à travers un système de canalisation. Le niveau de remplissage du réservoir B102 doit rester constant même en présence de perturbations. Aussi la valeur de niveau transmise par le capteur analogique doit rester constante.

L'ouverture et la fermeture de la vanne automatique V102 comme moyen de drainage du réservoir B102 vers le B101 peut être considéré comme une perturbation. Le diagramme électrique, de principe, de la boucle de régulation est schématisé comme suit :

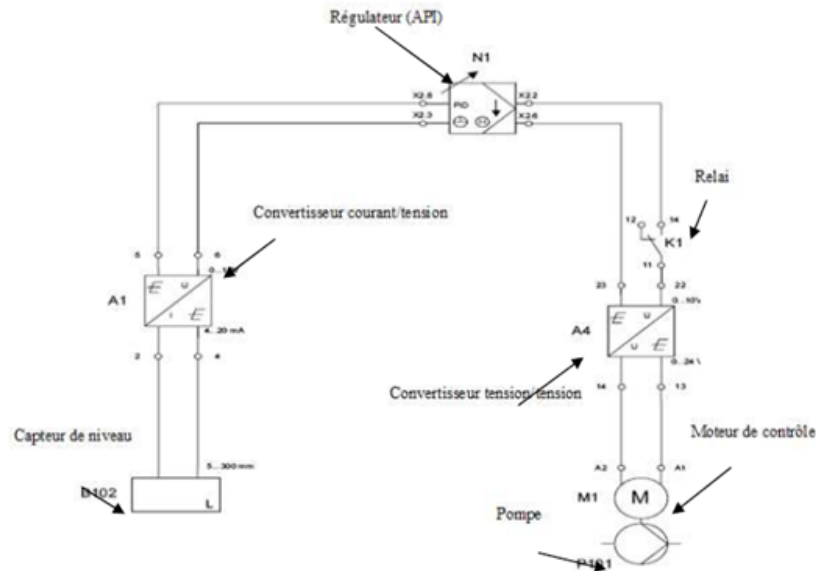


FIGURE 1.24 – Diagramme électrique du principe de la régulation de niveau analogique

La valeur actuelle du niveau de remplissage, mesurée par le capteur ultrasonique, est transmise sous forme de courant (4...20mA), et convertie ensuite en une tension standard (0...10V) par le convertisseur courant/tension (A1), avant d'être réceptionnée par l'automate programmable à travers le canal 0 du terminal analogique X2.

La valeur de réglage (0...10V) générée par l'API est transmise au moteur de contrôle (M1) de la pompe par l'intermédiaire d'un relai K1 et d'un convertisseur tension/tension (A4). Ce dernier permettra d'adapter la tension standard (0...10V) en une tension 0...24V.

2. **Identification du système niveau-pompe** : Comme vu précédemment, on envoie au réservoir un débit sous forme d'échelon d'amplitude 90%(0.9) après avoir mis la station sous le mode "Manuel" pour travailler en boucle ouverte, et on relève la réponse qui est représentée dans la figure ci-dessous à l'aide de l'interface de paramétrage PID.

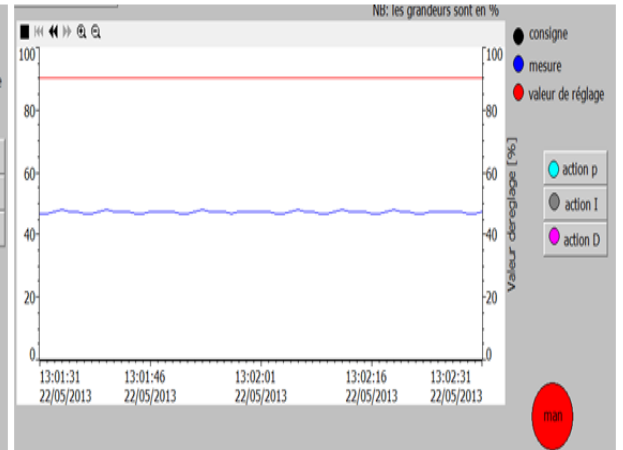
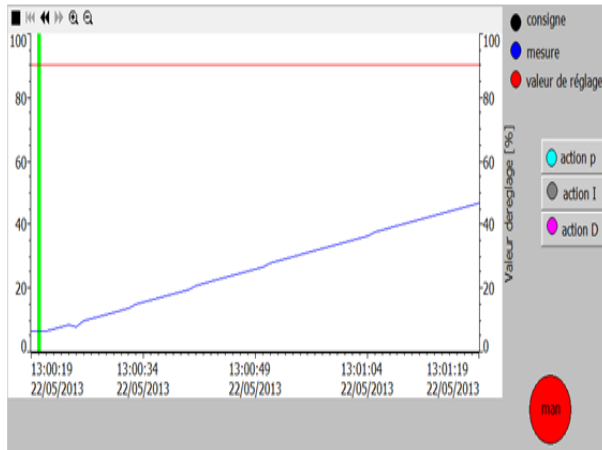


FIGURE 1.25 – a-Réponse indicielle

FIGURE 1.26 – b-Réponse indicielle

On assimile la réponse de ce système à celle d'un deuxième ordre. La fonction de transfert en boucle ouverte est de la forme :  $G(s) = \frac{K}{a_0S^2 + a_1S + a_2}$ .

Nous faisons entrer les valeurs de l'entrée échelon 90(0.9) et de la réponse indicielle sous forme de vecteurs X et Y (Temps d'échantillonnage=1s) dans notre interface graphique d'identification en boucle ouverte se basant sur la méthode des moments simples.

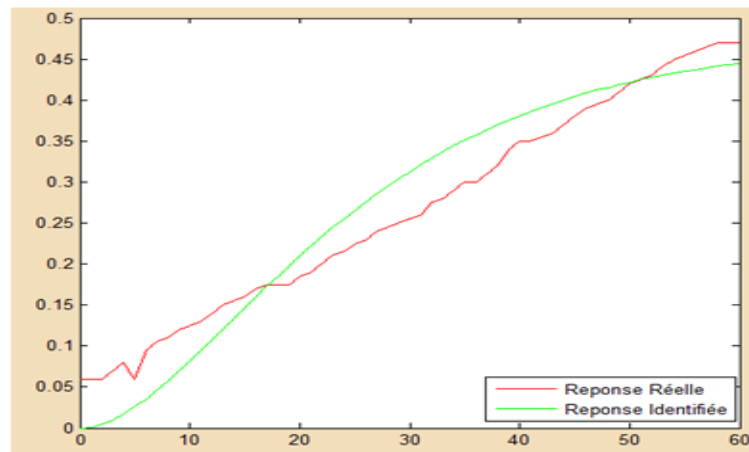


FIGURE 1.27 – Réponse réelle et réponse identifiée (Niveau)

On remarque qu'il y a une légère erreur de modélisation (la distance entre la réponse réel et la réponse identifiée après le calcul des moments)  $\Delta y \leq 0.06$  dû au calcul fastidieux des moments simples qui revient à la nature de données relevées sur la réponse indicielle réelle.

Après le calcul des moments simples, nous avons abouti au résultat suivant :

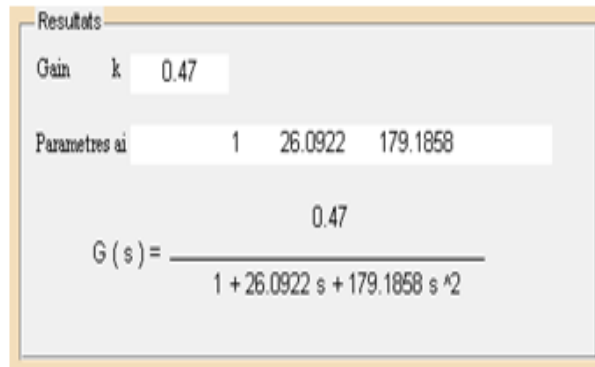


FIGURE 1.28 – Résultats des paramètres calculés

La simulation de cette fonction de transfert en boucle ouverte à l'aide de Simulink-MATLAB a donné ceci :

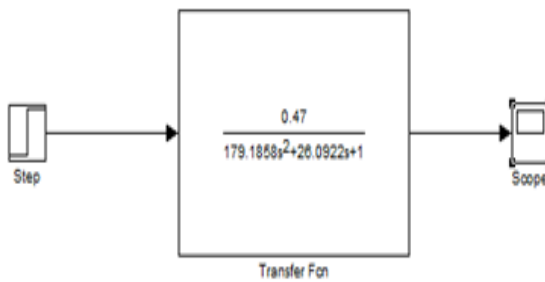


FIGURE 1.29 – Schéma SIMULINK en boucle ouverte

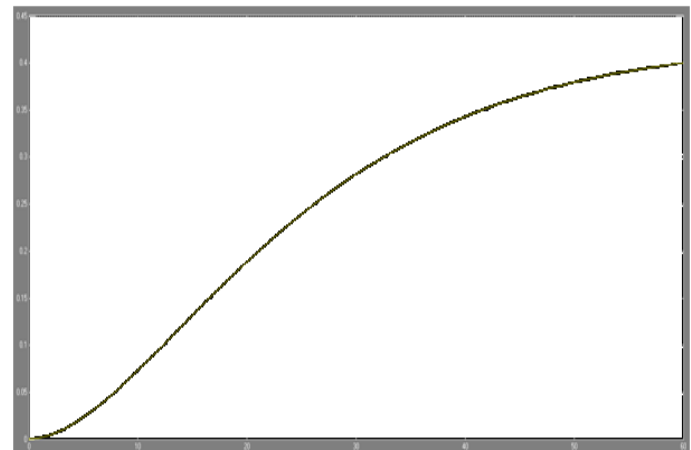


FIGURE 1.30 – Simulation de la FT en boucle ouverte

3. **Synthèse du régulateur PI :** La réponse indicielle de la fonction de transfert de niveau que nous avons trouvée est stable mais elle ne suit pas l'entrée (erreur statique), d'où la nécessité d'utiliser un régulateur PI continu de la forme :  $K_p(1 + \frac{1}{\tau_s})$ .

Nous bouclons le système en intégrant un régulateur PI Série et nous utilisons la commande "Tune" afin de pouvoir calculer les valeurs des paramètres de notre

régulateur synthétisé.

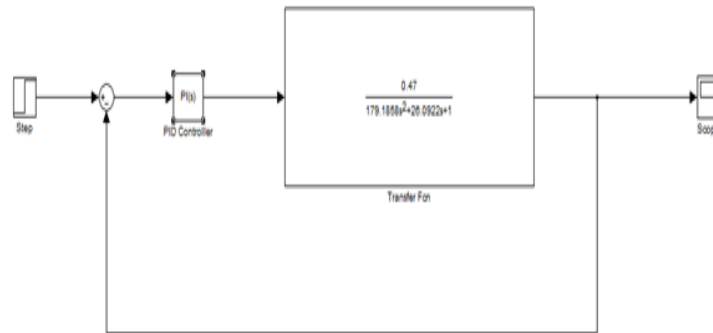


FIGURE 1.31 – Schéma SIMULINK en boucle fermée

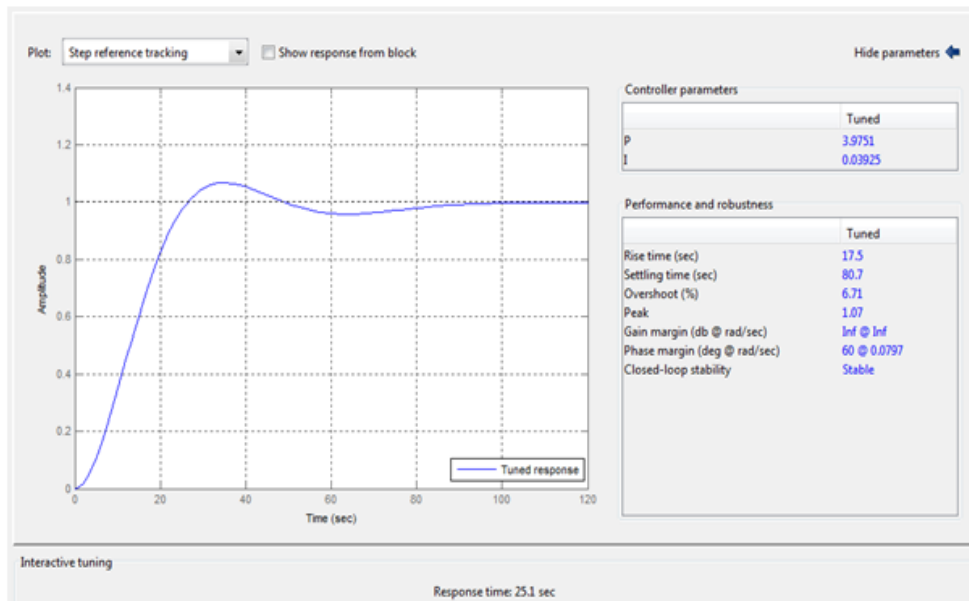


FIGURE 1.32 – Calcul des paramètres du régulateur à l'aide de Tune

La simulation de notre système en boucle fermée est représentée dans la figure suivante :

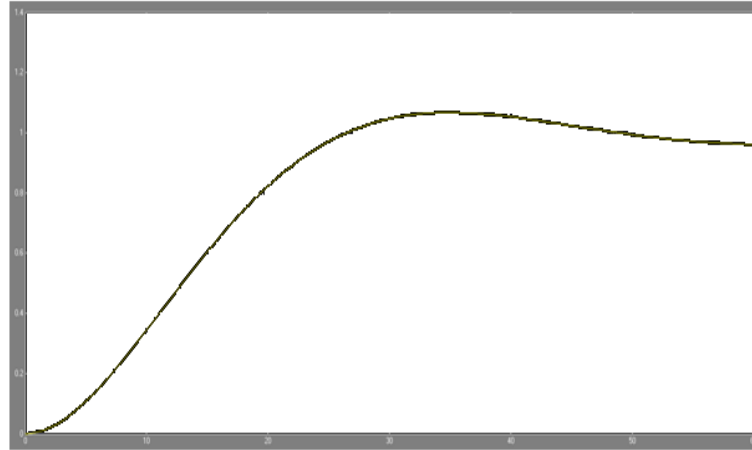


FIGURE 1.33 – Simulation de la FT niveau en boucle fermée

Maintenant, on introduit les valeurs de P et I dans notre fenêtre de paramétrage PID et on met le système sous mode "Auto". La figure ci-dessous représente la réponse réelle du système :

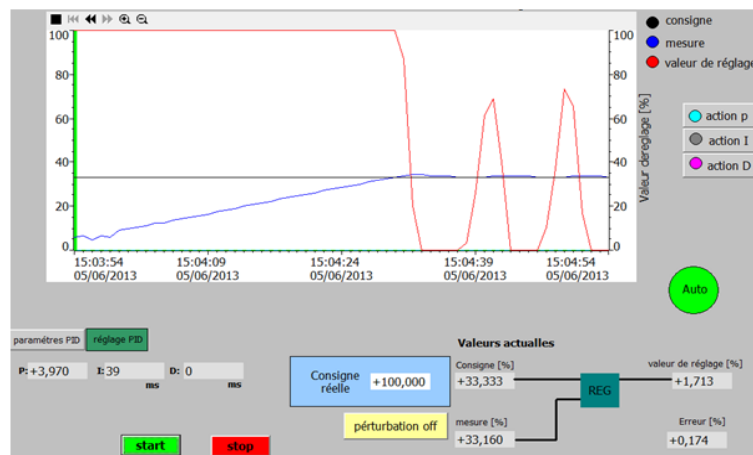


FIGURE 1.34 – Réponse indicielle réelle de niveau en boucle fermée

## 1.4 Système de régulation de pression

Dans un système de canalisation, la pression de l'écoulement doit être contrôlée, pour se faire deux types de régulation sont possibles :

- Régulation de pression par le biais de la pompe P101.
- Régulation de pression par le biais de la vanne proportionnelle V104.

Deux circuits sont alors possibles comme le montre les synoptiques suivants :

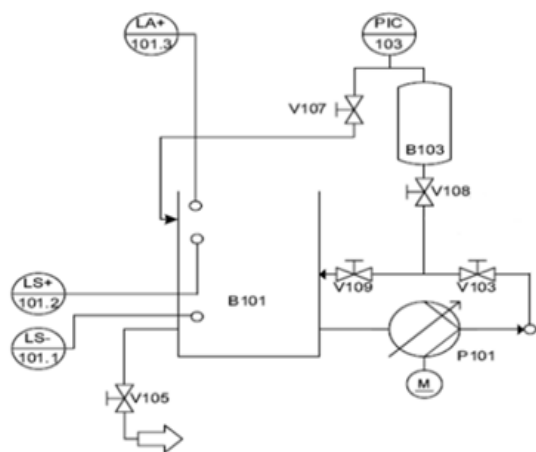


FIGURE 1.35 – Circuit relatif à la régulation de pression avec la pompe comme actionneur

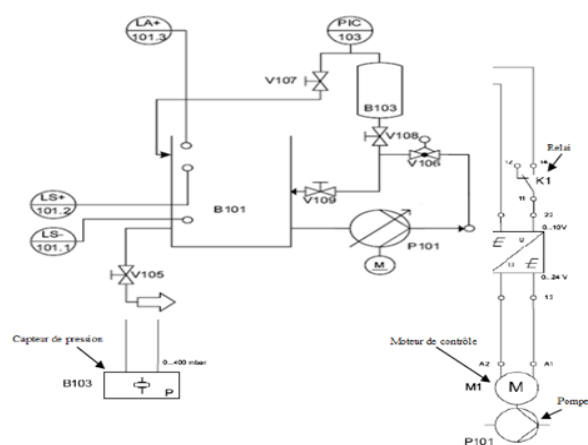


FIGURE 1.36 – Circuit relatif à la régulation de pression avec la vanne comme actionneur

### 1.4.1 Régulation de pression avec la pompe comme actionneur

1. **Description** : La pompe délivre le fluide à travers le système de canalisation vers le réservoir de pression B103 pré rempli d'air à l'aide de la vanne manuelle V107, la pression de l'air, ainsi comprimé est calculée par un capteur de pression piézorésistif. Dans ce qui va suivre nous allons étudier le contrôle continu de la pression dans le réservoir B103 avec la pompe comme élément de contrôle.

En effet la pompe, utilisée en mode analogique, pompe le fluide du réservoir B101 à travers un système de canalisation vers le réservoir B103. La pression de l'air dans le réservoir B103 doit être maintenue constante et ceci même en présence de perturbations. Ces perturbations peuvent être l'effet de l'ouverture partielle ou complète des vannes manuelles.

Le diagramme électrique, de principe, de la boucle de régulation est schématisé

comme suit :

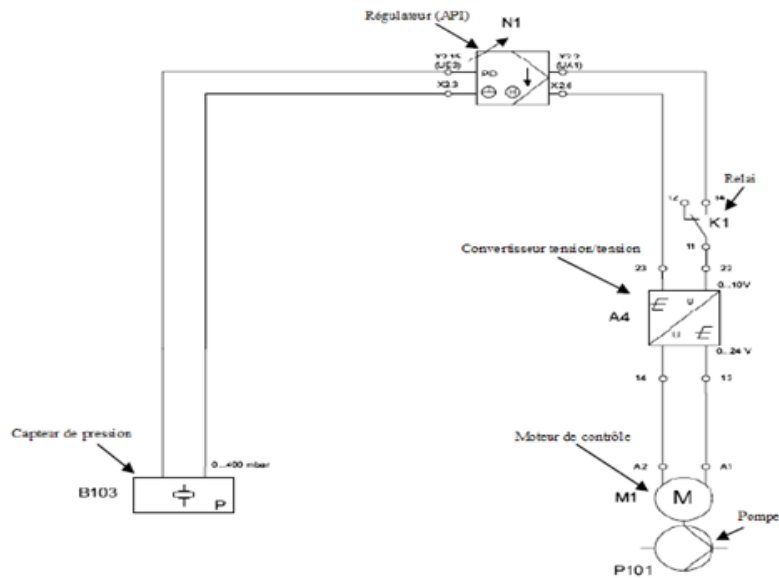


FIGURE 1.37 – Diagramme électrique de principe de la régulation de pression avec la pompe comme contrôleur

La valeur actuelle de la pression de l'air comprimé dans le réservoir B103, mesurée par le capteur de pression, est directement transmise à l'API sous la forme d'une tension standard 0...10V, à travers le canal UE3 du terminal analogique X2.

La valeur de réglage (0...10V) générée par l'API est transmise au moteur de contrôle (M1) de la pompe par l'intermédiaire d'un relai K1 et d'un convertisseur tension/tension (A4). Ce dernier permettra d'adapter la tension standard (0...10V) en une tension 0...24V.

- 2. Identification du système pression-pompe :** Comme à chaque fois, on envoie à la pompe un échelon d'amplitude 90(0.9) après avoir mis la station sous le mode "Manuel" pour travailler en boucle ouverte, et on relève la réponse qui est représentée dans la figure ci-dessous à l'aide de l'interface de paramétrage PID.



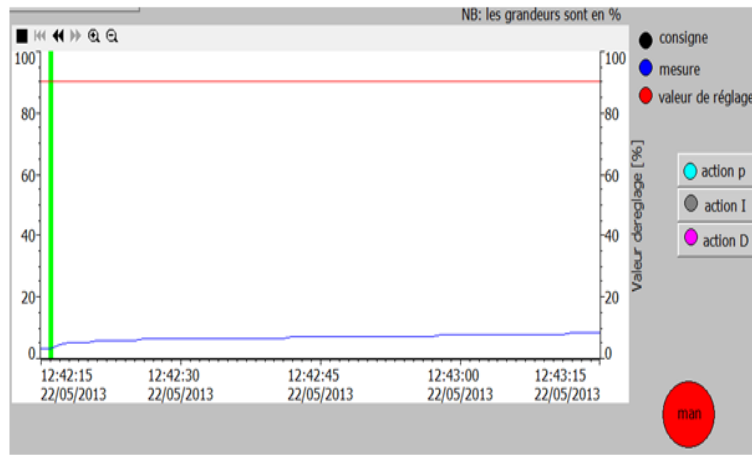


FIGURE 1.38 – Réponse indicielle du sous-système pression-pompe

On assimile la réponse de ce système à celle d'un deuxième ordre. La fonction de transfert en boucle ouverte est de la forme :  $G(s) = \frac{K}{a_0S^2 + a_1S + a_2}$ .

Nous faisons entrer les valeurs de l'entrée échelon 90(0.9) et de la réponse indicielle sous forme de vecteurs X et Y (Temps d'échantillonnage=1s) dans notre interface graphique d'identification en boucle ouverte se basant sur la méthode des moments simples.

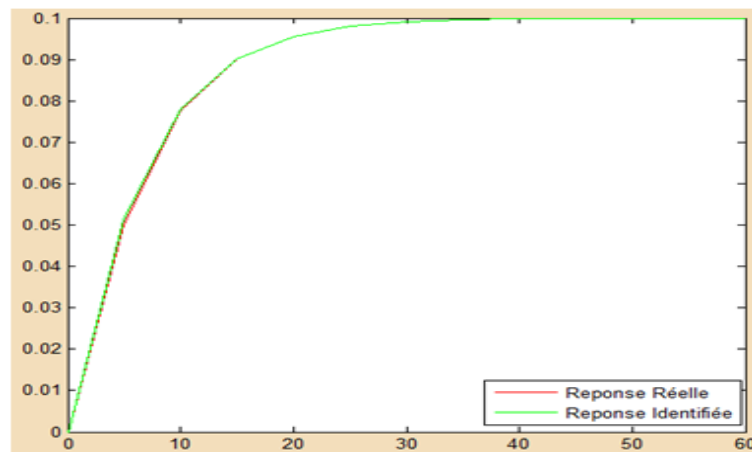


FIGURE 1.39 – Réponse réelle et réponse identifiée (Pression-pompe)

Après le calcul des moments simples, nous avons abouti au résultat suivant :

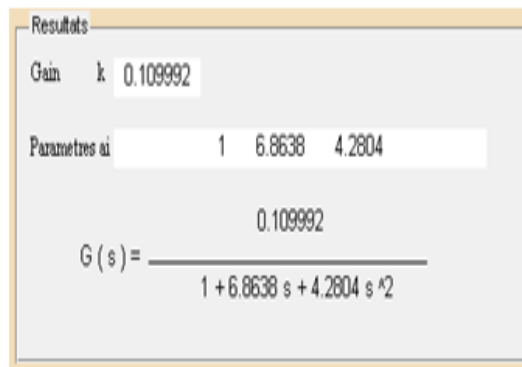


FIGURE 1.40 – Résultats des paramètres calculés

La simulation de cette fonction de transfert en boucle ouverte à l'aide de Simulink-MATLAB a donné ceci :

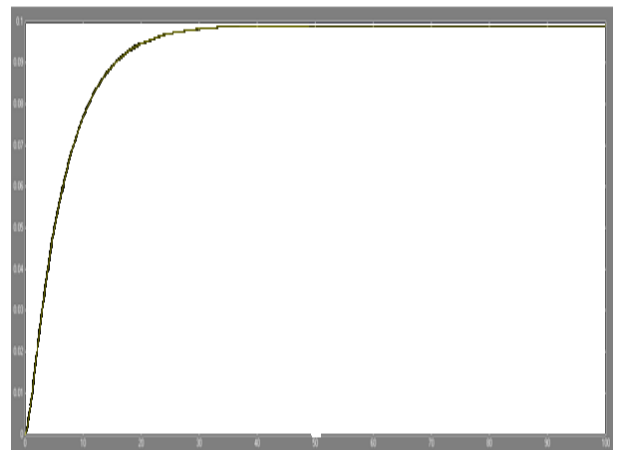
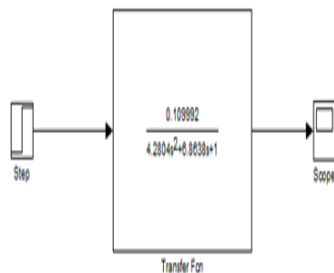


FIGURE 1.41 – Schéma SIMULINK en boucle ouverte

FIGURE 1.42 – Simulation de la FT en boucle ouverte

3. **Synthèse du régulateur PI** : La réponse indicielle de la fonction de transfert de pression-pompe que nous avons trouvée est stable, cependant, elle ne suit pas l'entrée (il y a une erreur statique), d'où la nécessité d'utiliser un régulateur PI continu de la forme :  $K_p(1 + \frac{1}{\tau_s})$ .

Nous bouclons le système en intégrant un régulateur PI Série et nous utilisons la

commande 'Tune' afin de pouvoir calculer les valeurs des paramètres de notre régulateur synthétisé.

On obtient :

$$P = 1.010$$

$$I = 532 \text{ ms} = 0.532 \text{ s}$$

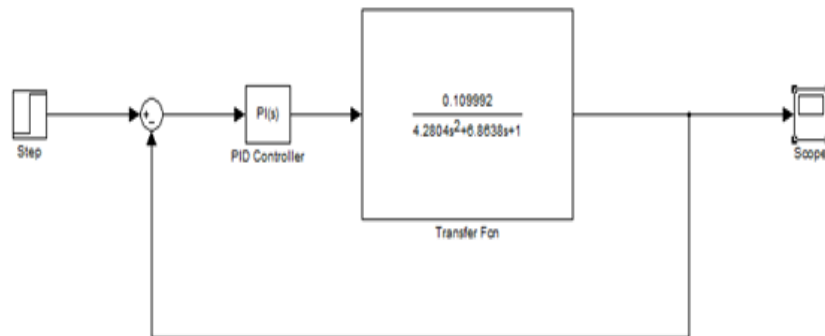


FIGURE 1.43 – Schéma SIMULINK en boucle fermée

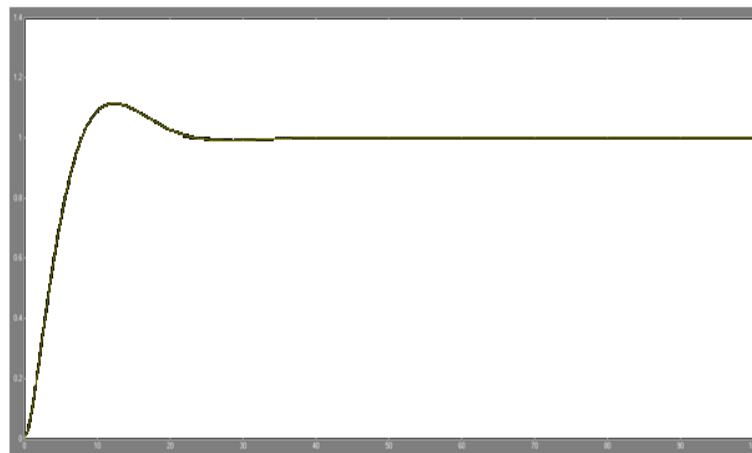


FIGURE 1.44 – Simulation de la FT pression-pompe en boucle fermée

Maintenant, on introduit les valeurs de P et I dans notre fenêtre de paramétrage PID et on met le système sous mode "Auto". La figure ci-dessous représente la réponse réelle du système :

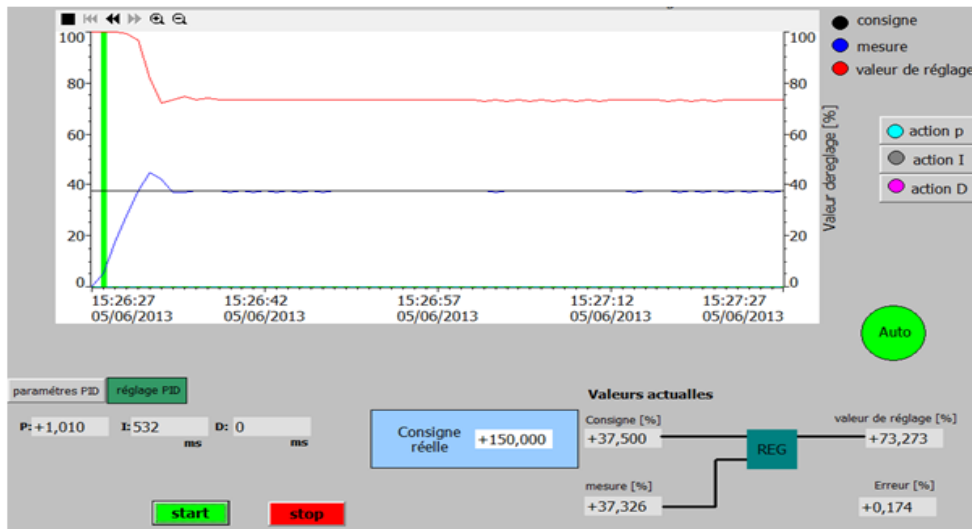


FIGURE 1.45 – Réponse indicielle réelle du système pression-pompe en boucle fermée

On remarque que cette réponse est bonne avec un temps de réponse qui ne dépasse pas les 6 secondes et un dépassement inférieur à 7%. En ayant une commande (valeur de réglage) stable et constante en régime permanent, l'actionneur, en l'occurrence la pompe, travaille en fonctionnement aisé.

## 1.4.2 Régulation de pression avec la vanne proportionnelle comme actionneur :

1. **Description :** Dans ce qui va suivre nous allons étudier le contrôle continu de la pression par le moyen de la vanne proportionnelle. En effet la pompe, utilisée à vitesse constante, pompe le fluide du réservoir B101 à travers un système de canalisation, passant par la vanne proportionnelle, pour l'injecter par la suite le réservoir de pression B103. La vanne proportionnelle, dont la section de passage est infiniment ajustable, permet la variation du débit et ainsi celle de la pression. Le diagramme électrique, de principe, de la boucle de régulation est schématisé comme suit :

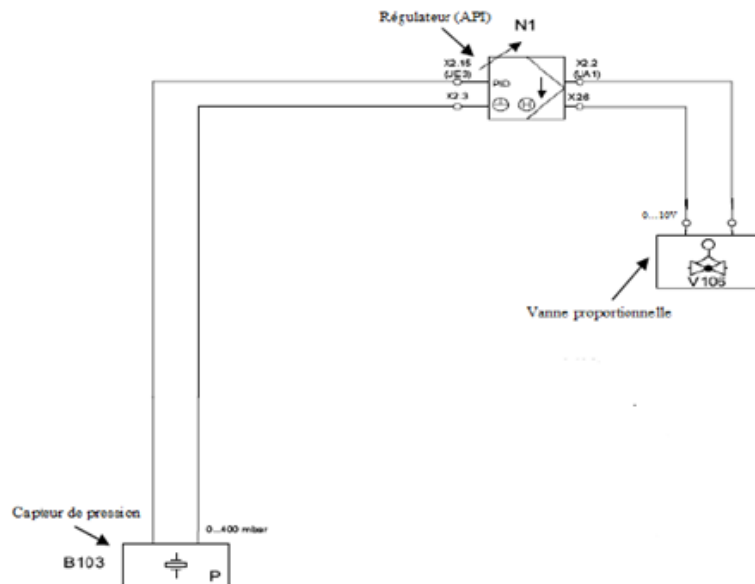


FIGURE 1.46 – Diagramme électrique de principe de la régulation de pression avec la vanne proportionnelle comme contrôleur

La valeur actuelle de la pression de l'air comprimé dans le réservoir B103, mesurée par le capteur de pression, est directement transmise à l'API sous la forme d'une tension standard 0...10V, à travers le canal UE3 du terminal analogique X2.

La valeur de réglage (0...10V) générée par l'API est transmise directement au contrôleur électronique de la vanne proportionnelle.

2. **Identification du système vanne-pression :** Pour l'identification de ce système, on utilise encore une fois la réponse indicielle. On envoie à la vanne analogique un signal d'échelon d'amplitude 90(0.9) après avoir mis la station sous le mode "Manuel" pour travailler en boucle ouverte, et on relève la réponse qui est représentée dans la figure ci-dessous à l'aide de l'interface de paramétrage PID.

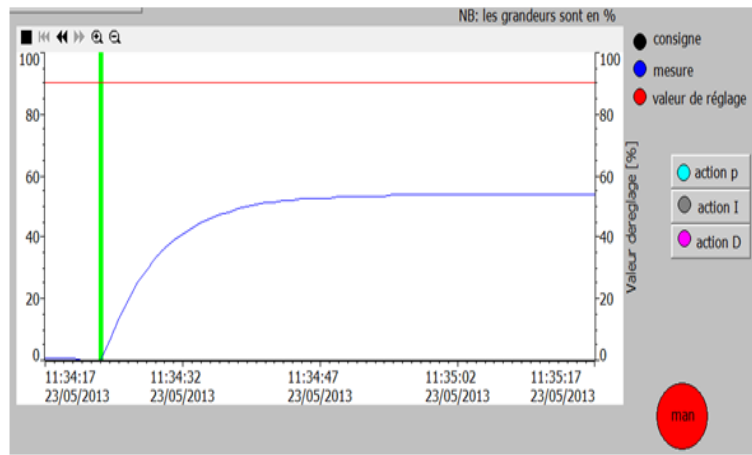


FIGURE 1.47 – Réponse indicielle en boucle ouverte de la pression (vanne analogique)

On assimile la réponse de ce système à celle d'un deuxième ordre. La fonction de transfert en boucle ouverte est de la forme :  $G(s) = \frac{K}{a_0 S^2 + a_1 S + a_2}$ .

Nous faisons entrer les valeurs de l'entrée échelon 90(0.9) et de la réponse indicielle sous forme de vecteurs X et Y (Temps d'échantillonnage=1s) dans notre interface graphique d'identification en boucle ouverte se basant sur la méthode des moments simples.

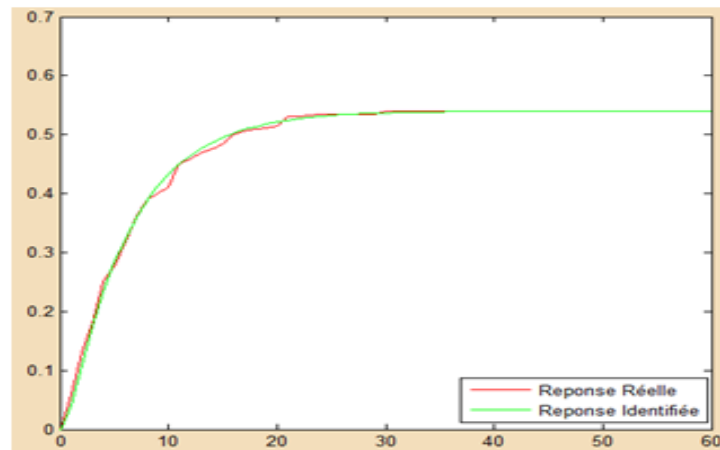


FIGURE 1.48 – Réponse réelle et réponse identifiée (vanne analogique)

Après le calcul des moments simples, nous avons abouti au résultat suivant :

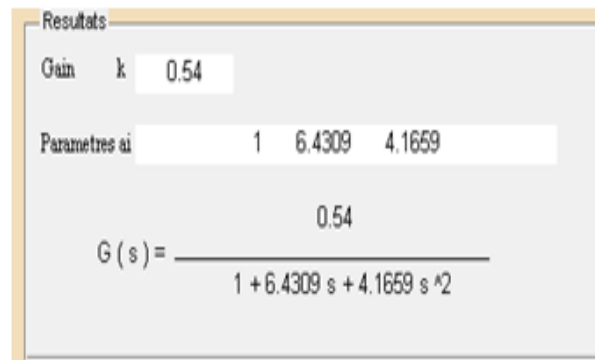


FIGURE 1.49 – Résultats des paramètres calculés

La simulation de cette fonction de transfert en boucle ouverte à l'aide de Simulink-MATLAB a donné ceci :

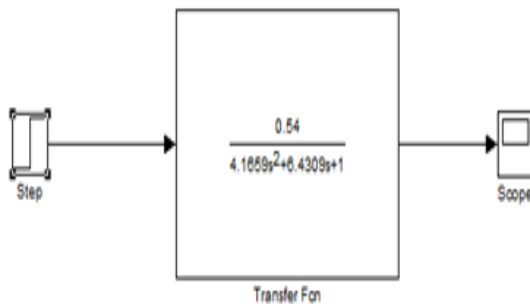


FIGURE 1.50 – Schéma SIMULINK en boucle ouverte

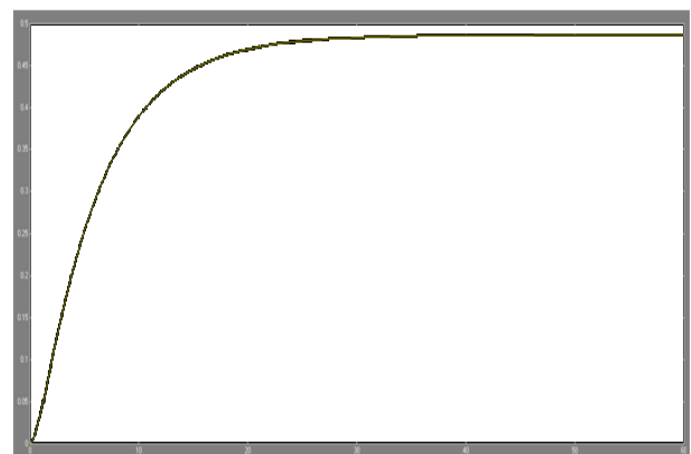


FIGURE 1.51 – Simulation de la FT en boucle ouverte

3. **Synthèse du régulateur PI** : La réponse indicielle de la fonction de transfert pression-vanne que nous avons trouvée est stable mais elle ne suit pas l'entrée (erreur statique), d'où la nécessité d'utiliser un régulateur PI continu de la forme :  $K_p(1 + \frac{1}{\tau_s})$ .

Nous bouclons le système en intégrant un régulateur PI Série et nous utilisons la commande "Tune" afin de pouvoir calculer les valeurs des paramètres de notre régulateur synthétisé.

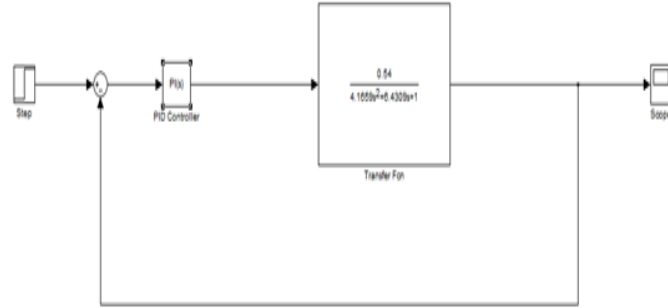


FIGURE 1.52 – Schéma SIMULINK en boucle fermée

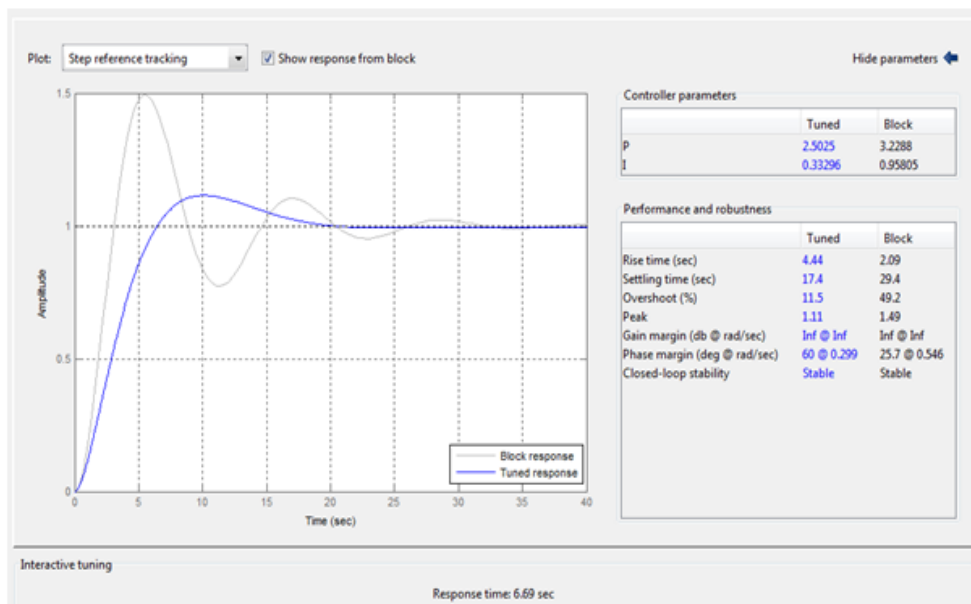


FIGURE 1.53 – Calcul des paramètres du régulateur à l'aide de Tune

La simulation de notre système en boucle fermée est représentée dans la figure suivante :

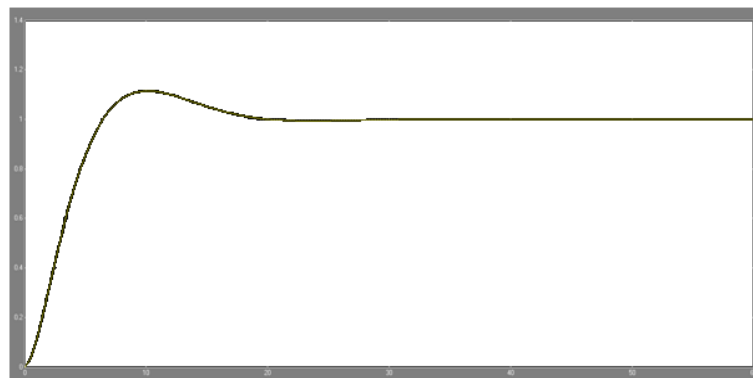


FIGURE 1.54 – Simulation de la FT niveau en boucle fermée



Maintenant, on introduit les valeurs de P et I dans notre fenêtre de paramétrage PID et on met le système sous mode "Auto". La figure ci-dessous représente la réponse réelle du système :

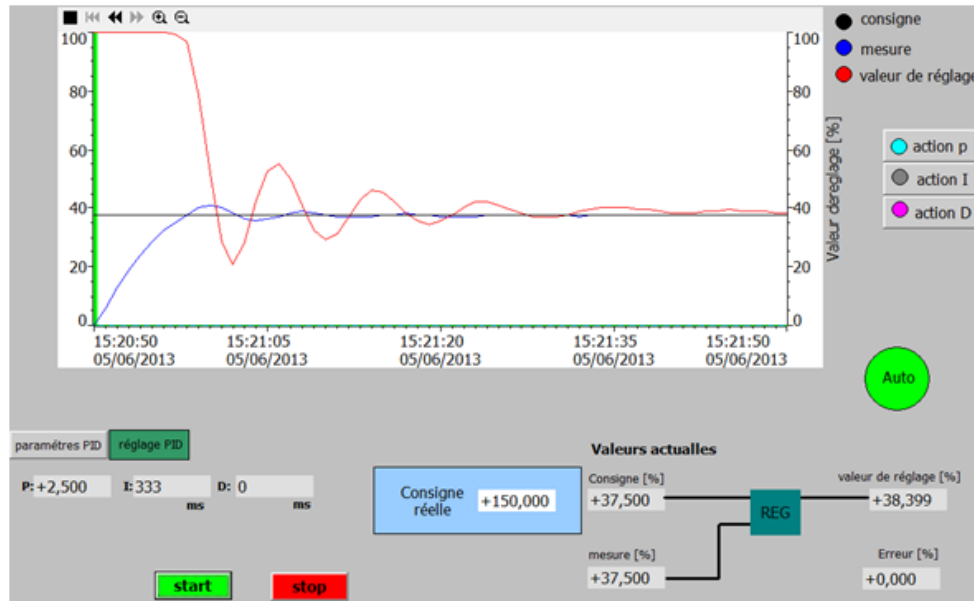


FIGURE 1.55 – Réponse indicielle réelle du système pression-vanne en boucle fermée

## 1.5 Système de régulation de température

Le fluide stocké dans le réservoir B101 peut être chauffé par le moyen d'un échangeur de chaleur E104 et recirculé par le moyen de la pompe (à vitesse constante). Un capteur de température de type PT100 est alors utilisé pour mesurer la température de fluide. Pour se faire il ya quelques mesures à respecter :

- La température opérationnelle du réservoir B101 ne doit pas dépasser les  $65^{\circ}C$ .
- La résistance chauffante ne doit être actionnée que si elle est complètement immergée dans le fluide.

Le circuit utilisé pour cette régulation est le suivant :

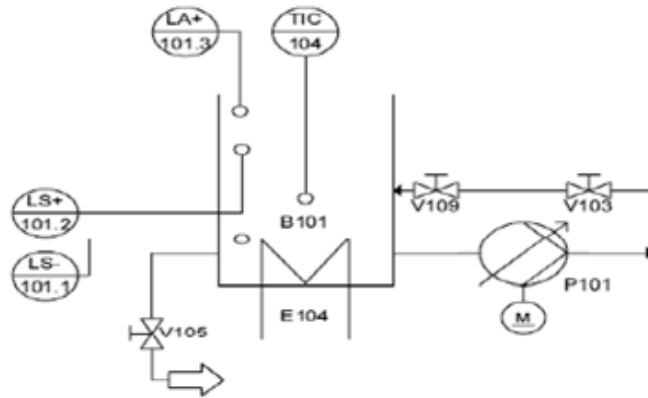


FIGURE 1.56 – Circuit relatif à la régulation de température

La période d’allumage de la résistance chauffante, qui est dans ce cas la variable de contrôle, détermine la quantité de chaleur fournie en sortie par l’échangeur de chaleur E104. Comme perturbations, on peut utiliser un fluide de température différente.

Le diagramme électrique, de principe, de la boucle de régulation est schématisé comme suit :

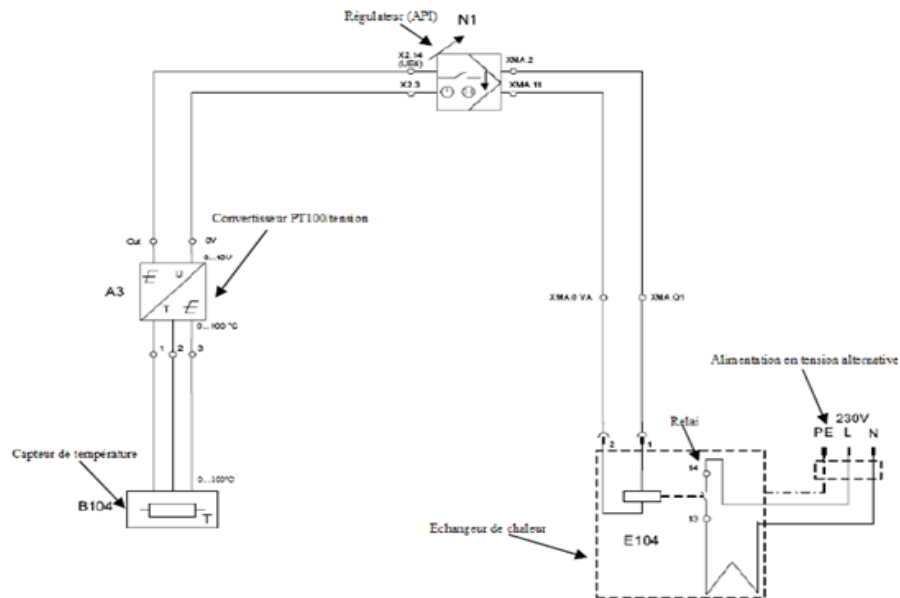


FIGURE 1.57 – Diagramme électrique de principe de la régulation de température

La résistance du capteur de température PT100 est connectée au convertisseur PT100/tension A3, ce dernier change la valeur de la résistance en tension standard 0...10V et ceci à travers

le canal UE4 du terminal analogique X2.

La résistance chauffante de l'échangeur de chaleur est contrôlée par l'intermédiaire d'un relai interne connecté directement à l'API à travers la sortie binaire O1 de XMA1.

# Conclusion générale

Munis d'un logiciel compact très performant TIA PORTAL, les automates programmables industriels Siemens forment des unités de traitement et de commande de grande flexibilité.[2]

En effet, le logiciel de programmation STEP7 permet l'accès de base aux automates programmables de la gamme SIMATIC, pour sa programmation en différents langages.[3]

Il assure également la fonction de moyen de communication en prenant en compte leurs réseaux. Le logiciel de conception des interfaces homme-machine WinCC est quant à lui, un logiciel d'ingénierie et de supervision, qui offre des fonctions de surveillance d'automatismes.

Notre projet nous a permis d'étudier la station didactique de contrôle des processus, FESTO, et de voir les différentes possibilités offertes par les automates programmables : simulation des systèmes continus, calcul numérique, identification des processus, commande et régulation des systèmes continus.

Notre contribution s'est portée sur l'identification, la régulation et la réalisation d'un programme de gestion par la suite, de tous les systèmes de contrôle disponibles sur la station FESTO pour servir de base de départ à d'éventuels travaux pratiques et projets de fin d'études.

Néanmoins notre étude nous a permis de proposer deux améliorations qu'il serait intéressant de développer :

- L'ajout d'un clapet anti-retour à la sortie de la pompe pour éliminer la chute de niveau dans le réservoir
- L'ajout d'un convertisseur, qui permettra de commander la résistance chauffante de

manière analogique.

- La préconisation d'utiliser une vanne analogique (contrôlable) à la place de la vanne manuelle V109.

# Références bibliographiques

- [1] Publication par l'entreprise Festo :<http://www.festo-didactic.com>
- [2] CHERGUI Younes«Commande et supervision de la station FESTO PCS COMPACT avec le TIA PORTAL» ENP,Alger 2012.
- [3] <http://fr.wikipedia.org>.
- [4] SAHAR Belkacem Amine et SOUCHANE Amine«Commande et supervision de la station FESTO PCS COMPACT à l'aide de STEP7 et WinCC» ENP, Alger 2009
- [5] Séminaire sur les automates programmables industriels,IAP-ARZEW,  
Du 19 au 21/02/2013