



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

جامعة وهران 2 محمد بن أحمد
Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed

معهد الصيانة و الأمن الصناعي
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

Département de Maintenance en Instrumentation

MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Génie Industriel

Spécialité : Maintenance des Automatismes et de l'Instrumentation Industriels

Thème

Contrôle d'un système hydraulique par automate programmable Siemens

Présenté et soutenu publiquement par :

HACENE Khaled

et

MEKKI Kawter

Devant le jury composé de :

| Nom et Prénom | Grade | Etablissement | Qualité |
|-------------------------|--------------|----------------------|-------------------|
| AISSANI Nassima | MCA | IMSI-Univ. D'Oran2 | Présidente |
| MEKKI Ibrahim El Khalil | MCA | IMSI-Univ. D'Oran2 | Encadreur |
| KACIMI Abderahmane | MCB | IMSI-Univ. D'Oran2 | Examineur |

Année 2020/2021

REMERCIEMENTS

فالحمد لله على ما أنعمنا علي من إكماله و ألهما

La réalisation de ce mémoire a été possible grâce au concours de plusieurs personnes à qui je voudrais témoigner toute ma gratitude.

Je voudrais tout d'abord adresser toute ma reconnaissance à la directrice de ce mémoire, Monsieur S.MEKKE, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter nous réflexion.

Je désire aussi remercier les professeurs d'ISSE, qui m'ont fourni les outils nécessaires à la réussite de mes études universitaires.

Je tiens à remercier spécialement M.LATOURNE, qui fut parmi les professeurs faire découvrir le sujet qui nous a guidé nous mémoire.

Je voudrais exprimer ma reconnaissance envers les amis et collègues qui m'ont apporté leur soutien moral et intellectuel tout au long de ma démarche.

Un grand merci à Madame M.ASSANI pour ses conseils concernant La programmation, ils ont grandement facilité mon travail.

Enfin, je tiens à témoigner toute ma gratitude à tous les membres du jury pour avoir accepté de nous honorer de leur présence et pour tous le temps qu'ils ont bien voulu consacré pour l'évaluation de ce modeste travail.

Dédicace

*J'ai le grand honneur de dédier ce modeste travail
A ceux qui m'ont encouragé et soutenu moralement et
matériellement pendant les moments plus difficiles*

Durant ma vie.

*...A toi, chère et adorable **Mère***

*...A toi, cher **papa** mon orgueil sur terre....*

*...A mes très chers frères **MOUSTAPHA, MOHAMED***

*...A ma très chère sœur **DOHA, ASMAA**....*

...A toute la famille...

*...A mon mari **DIAA EL HAK**...*

*...A mon binôme **KHALED** ...*

*...A mes très chères amies **CHAHINEZ, KHAOULA***

A tous ceux qui me connaissent et ceux que j'aime

KAWTHER

Dédicace

*J'ai le grand honneur de dédier ce modeste travail
A ceux qui m'ont encouragé et soutenu moralement et
matériellement pendant les moments plus difficiles*

Durant ma vie.

*...A toi, chère et adorable **Mère***

*...A toi, cher **papa** mon orgueil sur terre....*

*...A mes très chers frères **ABDELLAH***

...A ma très chère sœur....

...A toute la famille...

*...A ma binôme **KAWTHER**...*

...A mes très chers amis

A tous ceux qui me connaissent et ceux que j'aime

****KHALED****

Sommaire

| | |
|---|-----------|
| INTRODUCTION GENERALE..... | 1 |
| CHAPITRE1 INSTRUMENTATION ET REGULATION INDUSTRIELLES | 2 |
| Introduction :..... | 2 |
| 1.1. L'instrumentation :..... | 2 |
| 1.2. Régulation:..... | 3 |
| 1.2.1. Principe de Fonctionnement :..... | 3 |
| 1.2.2. L'objectif de la régulation :..... | 3 |
| 1.2.3. Régulation et asservissement :..... | 3 |
| 1.2.4. Fonctionnement en boucle ouverte ou boucle fermée :..... | 4 |
| 1.2.5. Comment caractériser les performances d'un système asservi ou régulé ? | 5 |
| 1.3. Identification des procédés industriels : | 8 |
| 1.3.1. Méthode d'identification en boucle ouverte : | 9 |
| 1.3.2. Méthode d'identification en boucle fermée : | 11 |
| 1.4. Régulation PID : | 12 |
| 1.4.1. Régulateur à action proportionnelle P :..... | 13 |
| 1.4.2. Régulateur à action intégrale (I) : | 14 |
| 1.4.3. Régulateur à action dérivée (D) :..... | 14 |
| 1.4.4. Régulateur PID : | 15 |
| 1.4.5. Réglage du PID (La méthode de Ziegler et Nichols) :..... | 16 |
| 1.4.6. Régulation cascade : | 17 |
| Conclusion : | 19 |
| CHAPITRE 2 : AUTOMATES PROGRAMMABLES INDUSTRIELS SIEMENS..... | 20 |
| INTRODUCTION..... | 20 |
| 2.1 Définition..... | 20 |
| 2.2 Domaines d'emploi des automates | 20 |
| 2.3 Nature des informations traitées par l'automate..... | 20 |
| 2.4 Architecture des A.P.I..... | 20 |

| | |
|---|-----------|
| 2.4.1 Aspect extérieur..... | 20 |
| 2.4.2 Structure interne : | 22 |
| 2.5 Les divers types de langages | 24 |
| 2.6 Les divers types de langages | 24 |
| 2.7 Automates programmables industriels SIEMENS..... | 25 |
| 2.8 La famille SMATIC SIEMENS | 25 |
| 2.9 La sécurité..... | 27 |
| Conclusion..... | 27 |
| | |
| CHAPITRE3 : DESCRIPTION DE LOGICIEL TIA PORTAL..... | 28 |
| | |
| INTRODUCTION | 28 |
| | |
| 3.1 Logiciel "Totally Integrated Automation Portal" | 28 |
| | |
| 3.2 Le progiciel STEP 7 PRO (TIA Portal V16)..... | 28 |
| 3.2.1 Vue du portail : | 29 |
| 3.2.2 Vue du projet : | 30 |
| | |
| 3.3 Création et configuration | 31 |
| 3.3.1 Création de projet | 31 |
| 3.3.2 Configuration et paramétrage de l'appareil | 31 |
| 3.3.3 Adressage des E/S | 33 |
| 3.3.3.1 Adresse Ethernet de la CPU | 33 |
| | |
| 3.4 Compilation et chargement de la configuration matérielle | 34 |
| 3.4.1 Les variables API | 35 |
| 3.4.2 Table des variables API..... | 36 |
| | |
| 3.5 Langage de programmation..... | 37 |
| 3.5.1 CONT et LOG – Langages de programmation graphique..... | 37 |
| 3.5.2 LIST – Liste d'instructions | 38 |
| 3.5.3 SCL (Structured Control Language) – Programmation d'algorithmes complexes | 38 |
| | |
| 3.6 Blocs de programme | 39 |
| 3.6.1 Les blocs d'organisation – OB | 39 |
| 3.6.2 Les fonctions – FC sont des blocs de code sans mémoire | 39 |
| 3.6.3 Les blocs fonctionnels – FB | 39 |
| 3.6.4 Les blocs de données (DB)..... | 39 |
| 3.6.5 Mémentos | 39 |
| | |
| 3.7 WINCC sur TIA PORTAL..... | 39 |

| | |
|------------------------|-----------|
| Conclusion..... | 40 |
|------------------------|-----------|

| | |
|--|-----------|
| CHAPITRE 4 : DESCRIPTION DE LA MAQUETTE FESTO | 41 |
|--|-----------|

| | |
|--------------------------|-----------|
| INTRODUCTION..... | 41 |
|--------------------------|-----------|

| | |
|--|-----------|
| 4.1 Présentation du système didactique du contrôle de processus FESTO | 41 |
|--|-----------|

| | |
|--|-----------|
| 4.2 La conception et le fonctionnement des différents systèmes qui compose l'installation | 46 |
|--|-----------|

| | |
|-----------------------------|----|
| 4.2.1 Les actionneurs | 46 |
|-----------------------------|----|

| | |
|---------------------|----|
| 4.2.1.1 Pompe | 46 |
|---------------------|----|

| | |
|---|----|
| 4.2.1.2 Processus de la vanne à bille | 47 |
|---|----|

| | |
|---|----|
| 4.2.1.3 Eléments de contrôle de niveau tout ou rien | 47 |
|---|----|

| | |
|----------------------------------|----|
| 4.2.2 Capteurs tout ou rien..... | 48 |
|----------------------------------|----|

| | |
|---|----|
| 4.2.2.1 Détecteur de proximité capacitif..... | 48 |
|---|----|

| | |
|---|----|
| 4.2.2.2 Flotteur de sécurité anti-débordement | 49 |
|---|----|

| | |
|------------------------------------|----|
| 4.2.3 Capteurs analogiques : | 50 |
|------------------------------------|----|

| | |
|--|----|
| 4.2.3.1 Capteur de niveau de liquide à ultrasons | 50 |
|--|----|

| | |
|-----------------------------------|----|
| 4.2.3.2 Le capteur de débit | 51 |
|-----------------------------------|----|

| | |
|-----------------------------------|----|
| 4.2.3.3 Capteur de pression | 51 |
|-----------------------------------|----|

| | |
|-------------------------------------|----|
| 4.2.3.4 Capteur de température..... | 52 |
|-------------------------------------|----|

| | |
|---|----|
| 4.2.4 Boucle de régulation sur le modèle..... | 52 |
|---|----|

| | |
|--------------------------------------|----|
| 4.2.4.1 Régulation du niveau : | 53 |
|--------------------------------------|----|

| | |
|----------------------------------|----|
| 4.2.4.2 Réglage du débit : | 55 |
|----------------------------------|----|

| | |
|--|-----------|
| 4.2.4.3 Régulation de la pression : | 56 |
|--|-----------|

| | |
|------------------------|-----------|
| Conclusion..... | 57 |
|------------------------|-----------|

**CHAPITRE 5 : REGULATION DU SYSTEME FESTO « NIVEAU-DEBIT »ERREUR ! SIGNET
NON DEFINI.**

| | |
|---------------------------|-----------|
| INTRODUCTION | 58 |
|---------------------------|-----------|

| | |
|---|-----------|
| 5.1 Boucle de régulation sur la maquette | 58 |
|---|-----------|

| | |
|--------------------------------|----|
| 5.2.1 Régulation de débit..... | 59 |
|--------------------------------|----|

| | |
|----------------------------------|----|
| 5.2.2 Régulation de Niveau | 63 |
|----------------------------------|----|

| | |
|--------------------------------|----|
| 5.2.3 Régulation cascade | 66 |
|--------------------------------|----|

| | |
|---|----|
| 5.2.3 Régulation cascade de Niveau avec le débit..... | 66 |
|---|----|

| | |
|------------------------------|-----------|
| La conclusion : | 67 |
|------------------------------|-----------|

Liste des figures

| | | |
|---|--|---|
| Figure 1: Organes de régulation sur une installation industrielle | 3 | |
| Figure 2: Schéma fonctionnel d'une boucle ouverte | 4 | |
| Figure 3: Schéma fonctionnel d'une boucle ouverte | 5 | |
| Figure 4: Réponse d'un système stable | Figure 5: Réponse d'un système instable..... | 6 |
| Figure 6: Système très amorti | 7 | |
| Figure 7: Système bien amorti..... | 7 | |
| Figure 8: Réponse oscillatoires amorties | 8 | |
| Figure 9: Réponse apériodique | 8 | |
| Figure 10: Identification des systèmes en boucle ouverte (Mode opératoire) | 10 | |
| Figure 11: Identification des systèmes en boucle ouverte..... | 10 | |
| Figure 12: Identification du gain statique en boucle fermée | 11 | |
| Figure 13: Identification paramètres dynamiques θ et τ en boucle fermée | 12 | |
| Figure 14: Réponse indicielle d'une régulation proportionnelle | 13 | |
| Figure 16: Réglage du temps intégral..... | 14 | |
| Figure 15: Influence de bande proportionnelle sur le temps de réponse | 13 | |
| Figure 17: Réglage du temps dérivé..... | 15 | |
| Figure 18: Mise en oscillation un système | 17 | |
| Figure 19: Schéma d'une régulation cascade..... | 18 | |
| Figure 20: LOGO de SIEMENS | 21 | |
| Figure 21: Automate programmable Modulaire | 21 | |
| Figure 22: Structure interne d'un API | 22 | |
| Figure 23: Schéma de principe d'une entrée binaire | 23 | |
| Figure 24: Schéma de principe d'une sortie binaire | 23 | |
| Figure 25: Alimentation Siemens SITOP 24V/10A | 24 | |
| Figure 26: Automate monobloc | 25 | |
| Figure 27: Automate S7-1200 | 26 | |
| Figure 28: Automate S7-1500 | 26 | |
| Figure 29: HMI de SIEMENS | 27 | |
| Figure 30: Totally Integrated Automation V16 | 28 | |
| Figure 31: Vue du portail..... | 29 | |
| Figure 32: Vue du projet..... | 30 | |
| Figure 33: Création de projet..... | 31 | |
| Figure 34: Paramétrage du matériel en vue portail..... | 32 | |
| Figure 35: Paramétrage du matériel en vue projet..... | 32 | |
| Figure 36: Adressage des E/S | 33 | |
| Figure 37: Adresse Ethernet | 34 | |
| Figure 38: Compilation et chargement | 35 | |

| | |
|--|----|
| Figure 39: Connexion API..... | 35 |
| Figure 40: Adresse et les tags | 36 |
| Figure 41: Table des variables API..... | 37 |
| Figure 42: Présentation d'un schéma logique(LOG) | 37 |
| Figure 43: Présentation d'un schéma à contacte(CONT) | 38 |
| Figure 44: Présentation des blocs d'un schéma à contacte(CONT)..... | 39 |
| Figure 45: Vue de WINCC | 40 |
| Figure 46:Maquette didactique FESTO | 42 |
| Figure 47: Schéma synoptique des boucles de système..... | 44 |
| Figure 48: Schéma de connexion API/Panneau de contrôle/Terminal analogique..... | 45 |
| Figure 49: Pompe centrifuge | 46 |
| Figure 50: Processus de la vanne à bille | 47 |
| Figure 51: Détecteurs de proximité capacitifs | 48 |
| Figure 52: Flotteur de sécurité anti-débordement..... | 49 |
| Figure 53: Flotteurs pour la détection des seuils de remplissage..... | 50 |
| Figure 54: Capteur de niveau ultrasonique | 50 |
| Figure 55: Capteur de débit | 51 |
| Figure 56: Capteur de pression | 51 |
| Figure 57: Capteur de température | 52 |
| Figure58: Circuit relatif à la régulation de niveau..... | 53 |
| Figure 59: Diagramme électrique de principe de la régulation de niveau analogique..... | 54 |
| Figure 60: Circuit relatif à la régulation de débit..... | 55 |
| Figure 61: Diagramme électrique de principe de la régulation de débit avec la pompe..... | 55 |
| Figure 62: Circuit relatif à régulation de pression avec la pompe | 56 |
| Figure 63: Diagramme électrique de principe de régulation de pression | 57 |
| Figure 64:Boucle ouverte de régulation de débit..... | 59 |
| Figure 65 : La courbe de débit en boucle ouverte..... | 59 |
| Figure 66:Boucle fermée de régulation de débit avec le gain critique..... | 59 |
| Figure 67: La courbe de débit en pompage..... | 60 |
| Figure 68:Boucle fermée de régulation de débit avec le régulateur action P | 60 |
| Figure 69: La courbe de régulation de débit avec le régulateur action P..... | 61 |
| Figure 70: Boucle fermée de régulation de débit avec le régulateur action PI..... | 62 |
| Figure 71: Boucle ouverte de régulation de niveau | 63 |
| Figure 72: Courbe de niveau en boucle ouverte | 63 |
| Figure 73: Boucle fermée de régulation de niveau avec le gain critique | 64 |
| Figure 74: La courbe de niveau en pompage | 64 |
| Figure 75: Boucle fermée de régulation de niveau avec le régulateur action P..... | 65 |
| Figure 76: La courbe de régulation de niveau avec le régulateur action P | 65 |
| Figure 77: Boucle fermée de régulation de niveau avec le régulateur action PI | 66 |
| Figure 78: La courbe de régulation de niveau avec un régulateur action PI..... | 66 |
| Figure 79 : Boucle fermée de régulation cascade de niveau..... | 67 |
| Figure80 : Boucle fermée de régulation cascade de niveau..... | 67 |
| Figure 81: La comparaison entre la régulation de niveau action P et la régulation action PI..... | 68 |

Figure 82: La comparaison entre la régulation de débit action P et la régulation action PI 68

Liste des tableaux

| | |
|--|----|
| Tableau 1: Structures conventionnelles des régulateurs PID..... | 16 |
| Tableau2: Réglage par la méthode Ziegler Nichols | 17 |
| Tableau 3: Caractéristiques techniques de l'installation | 42 |
| Tableau 4: Instrument de control..... | 43 |
| Tableau 5: Système de contrôle de niveau | 43 |
| Tableau 6: Système de contrôle de débit..... | 43 |
| Tableau 7: Système de contrôle de pression..... | 43 |
| Tableau 8: Système de contrôle de température..... | 43 |
| Tableau 9: Configuration relatives aux différentes boucles de régulation | 58 |

Liste des abréviations

| | |
|-------|---|
| A.P.I | Automate Programmable Industriel |
| PLC | Programmable Logic Controller |
| GS | Gain statique |
| GR | Gain du régulateur |
| GBc | Gain de boucle critique |
| PID | Proportionnelle Intégral Dérivée |
| Ko | Le gain critique |
| TOR | Tout Ou Rien |
| ROM | Read Only Memory |
| PROM | Programmable Read Only Memory |
| EPROM | Erasable Programmable Read Only Memory |
| RAM | Random Access Memory |
| E/S | Entrées/Sorties |
| PO | Partie Opérative |
| LD | Ladderdiagram |
| FBD | Function Bloc Diagram |
| SFC | SequentialFunction Chart |
| IL | Instruction list |
| HMI | Interface Homme-Machine |
| PN/IE | Profinet /Industriel Ethernet |
| IP | Internet Protocol |
| I | Input (Entrée) |
| Q | Output (Sortie) |
| M | Memory (mémoire) |
| SCL | Structured Control Language |
| LIST | Instruction List |
| CONT | Schéma à contacts |
| LOG | Logigramme |
| OB | Organisation Bloc |
| FC | Function Code |
| FB | Functionnal Blocks (Les blocs fonctionnels) |
| DB | Data block (Les blocs de données) |

Introduction générale

Les prochaines années seront marquées par des pressions persistantes sur le coût des facteurs de production et la poursuite de l'appréciation du taux de change, qui devront être compensées par des gains de productivité, Il est donc important d'examiner de près l'évolution de la productivité par secteur.

La compétitivité industrielle, mesurée par la productivité de la main-d'œuvre Pour accélérer le processus de production, il est nécessaire de passer à la régulation et l'automatisation industrielle.

Les systèmes automatisés sont de plus en plus présents dans notre environnement. En effet, ils accomplissent les tâches pénibles et répétitives à notre place. Dans l'industrie, ils remplacent les ouvriers et effectuent des tâches de production, de manutention, de contrôle, de montage, etc.

Pour arriver à satisfaire ces objectifs, l'utilisation des automates programmable industriels (API) est indispensable.

Le développement de la régulation en domaine de l'automatisation il est important pour assurer le fonctionnement d'un procédé selon des critères prédéfinis par un cahier des charges qui sont traduits le plus souvent par des critères quantitatifs (stabilité, précision, rapidité ...) ou bien qualitatifs (gérer un débit d'un fluide, température d'un produit, la hauteur d'un niveau ...)

La commande des processus par l'automate programmable est la solution recherchée de plus en plus dans l'industrie vue la justesse des traitements qu'il effectue pour générer une commande exacte à tout moment et dans toutes les conditions.

Ce mémoire est organisé en cinq chapitres :

Dans le premier chapitre, on a fait une présentation théorique sur la régulation et l'instrumentation.

Dans le deuxième chapitre, étude sur les automates programmables en générale et les automates siemens en particulier.

Dans le troisième chapitre on a consiste a faire une description de Logiciel TIA Portal SIEMENS.

Dans le quatrième chapitre on a fait une description détaillée de la maquette didactique PCS Workstation FESTO.

Le dernier chapitre, a été consacré à l'application des concepts théorique de la régulation et la régulation cascade « niveau –débit »

Chapitre1 Instrumentation et régulation industrielles

Introduction :

Pour garantir les qualités et les quantités du produit fabriqué, il est nécessaire de s'appuyer sur le contrôle industriel englobant les domaines de l'instrumentation et de la régulation.

Ce chapitre commence par les fondamentaux sur l'instrumentation avec un accent sur leurs éléments. La régulation et leurs principaux organes suivront. Enfin, les différents types des régulateurs sont discutés.

1.1. L'instrumentation :

L'instrumentation est un domaine lié à l'observation est assurée par les capteurs, transmetteurs et indicateurs qui fournissent les mesures continues. L'instrumentation permettant l'action concerne les organes de réglage tels que les vannes régulatrices, ventilateurs, les pompes, les résistances de puissance électrique, et les pré-actionneurs comme les convertisseurs de signaux, les variateurs de vitesse (Figure1.1).

Toutes les cartes d'entrées et de sorties des régulateurs et des automates programmables industriels (API) font partie de l'instrumentation



Figure 1: Organes de régulation sur une installation industrielle

1.2. Régulation:

La régulation regroupe l'ensemble des techniques utilisées visant à contrôler une grandeur physique. Exemples de grandeur physique : Pression, température, débit, niveau etc...

La grandeur réglée, c'est la grandeur physique que l'on désire contrôler. Elle donne son nom à la régulation. Exemple : une régulation de température. La consigne est la valeur que doit prendre la grandeur réglée. Ce signal permet de régler le paramètre réglé à la valeur désirée

La grandeur réglante est la grandeur physique qui a été choisie pour contrôler la grandeur réglée. Elle n'est généralement pas de même nature que la grandeur réglée. Les grandeurs perturbatrices sont les grandeurs physiques qui influencent la grandeur réglée. Elles ne sont généralement pas de même nature que la grandeur réglée. L'organe de réglage est l'élément qui agit sur la grandeur réglant. C'est l'actionneur de la boucle (vanne, résistance, moteur...).

1.2.1. Principe de Fonctionnement :

Une fois que toute l'analyse du système est faite, il faut choisir le type de boucle à installer. Il en existe trois:

Boucle ouverte: la grandeur perturbatrice agit sur la grandeur réglante. Cette boucle n'est pas une boucle de régulation mais un complément à la boucle fermée. On l'utilise pour anticiper l'évolution d'une perturbation en agissant directement sur l'organe de réglage. Cette boucle est très rapide mais pas précise.

Boucle fermée: la grandeur à régler agit sur la grandeur réglante. C'est "la" boucle, de régulation de base, on la reconnaît car elle est équipée d'une consigne. Elle peut être seule ou agrémentée d'une boucle ouverte et/ou d'asservissement. Cette boucle est précise mais lente.

Boucle d'asservissement: la grandeur réglante agit sur l'organe réglant. Ce dispositif (esclave) permet de contrôler que l'organe de réglage agit de manière optimale; cette boucle compare la demande de la boucle fermée (maître) avec la mesure réelle du paramètre qui est réglé. Elle ne peut être associée qu'à une chaîne fermée.

1.2.2. L'objectif de la régulation :

L'objectif d'une régulation est d'assurer le fonctionnement d'un système selon des critères prédéfinis par un cahier des charges. Donc elle est capable, de maintenir une grandeur physique à une valeur la plus proche possible de la valeur désirée.

1.2.3. Régulation et asservissement :

Dans un asservissement, la grandeur réglée devra suivre au plus près les variations de la consigne qui change et les grandeurs perturbatrices n'existent pas ou sont très peu influentes sur la grandeur à maîtriser.

1.2.4. Fonctionnement en boucle ouverte ou boucle fermée :

a) Fonctionnement en boucle ouverte :

L'observation n'est pas celle de la grandeur à maîtriser mais celle d'une grandeur incidente. Cette boucle est dite ouverte car l'action ne modifie pas la grandeur observée. Ce n'est pas donc une régulation. L'inconvénient majeur est que l'objectif fixé n'est généralement pas atteint complètement.

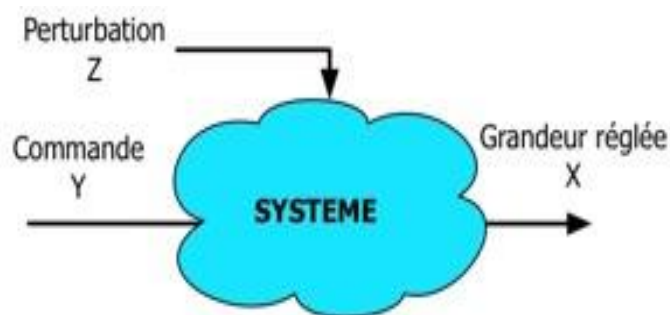


Figure2: Schéma fonctionnel d'une boucle ouverte

b) Fonctionnement en boucle fermée :

L'observation se porte sur la grandeur à maîtriser. L'étape de réflexion détermine l'écart entre la grandeur observée et la grandeur à maîtriser. En fonction de cet écart et des règles l'évolution fixées. Cela veut dire C'est le fonctionnement normal d'une régulation. La mesure de la grandeur réglée permet de mesurer son écart avec la consigne et d'agir en conséquence pour s'en rapprocher.

L'avantage d'une boucle fermée est qu'une variation de la grandeur observée entraîne une variation de l'action ; l'objectif fixé peut alors être atteint.

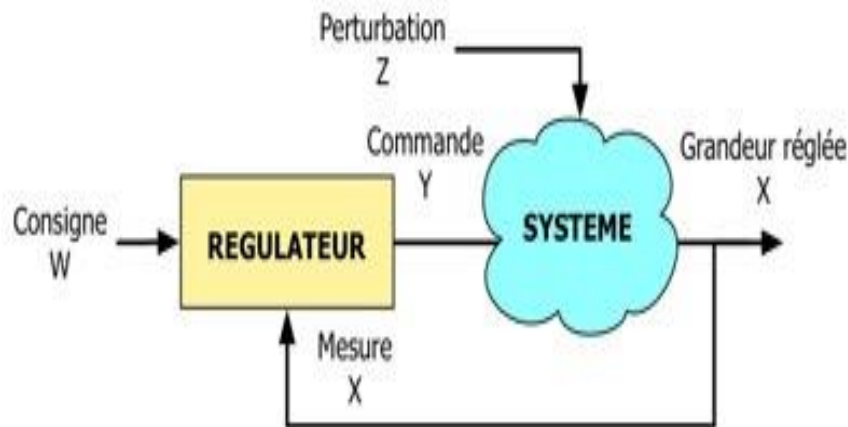


Figure3: Schéma fonctionnel d'une boucle ouverte

1.2.5. Comment caractériser les performances d'un système asservi ou régulé ?

Un système asservi est un système dit suiveur, c'est la consigne qui varie : exemple ; une machine-outil qui doit usiner une pièce selon un profil donné, un missile qui poursuit une cible. Dans le cas d'une régulation, la consigne est fixée et le système doit compenser l'effet des perturbations, à titre d'exemple, le réglage de la température dans un four, de la pression dans un réacteur, le niveau d'eau dans un réservoir.

Pour un système de régulation, les spécifications restent souvent vagues en raison surtout de la grande diversité de problèmes de régulation. Les critères qualitatifs à imposer dépendent d'abord de la nature du processus à régler. A titre d'exemple, on ne peut imposer aveuglément un processus transitoire rapide ou un taux d'amortissement de 0,75 pour n'importe quel système. En effet l'asservissement d'un ascenseur (qui nécessite un confort pour les passagers) ne tolère pas.

Par exemple d'accélération. Les dépassements de la pression réglée dans un réacteur nucléaire ne doivent pas atteindre les seuils limites de tarage des soupapes de sécurité etc... Les performances d'une régulation peuvent se définir à partir de l'allure du signal de mesure suite à un échelon de consigne. Notons toutefois que les critères de performances classiques peuvent se résumer comme suit :

- **Stabilité:** Cette condition est impérative mais avec un certain degré de stabilité (marge de sécurité). En général on impose une marge de gain de 2 à 2.5. L'utilisateur parle en termes de « pompage ».
- **Précision:** L'exploitant demande à ce que le système possède une bonne précision en régime permanent d'où une nécessité de mettre un régulateur PI ou d'afficher un gain important dans le cas d'un régulateur P.
- **Rapidité :** On demande en pratique que le système soit capable rapidement de compenser les perturbations et de bien suivre la consigne.

- **Dépassement:** En général on recommande un système de régulation dont le régime transitoire soit bien amorti et dont le dépassement ne dépasse pas 5 à 10 % la valeur nominale.

a) Stabilité :

Le système constitué du procédé et de la boucle de régulation est dit stable, si soumis à une variation de consigne, la mesure retrouve un état stable, dans le cas contraire le système est dit instable. Pour un système stable, le temps écoulé pour retrouver la stabilité constitue le régime transitoire.

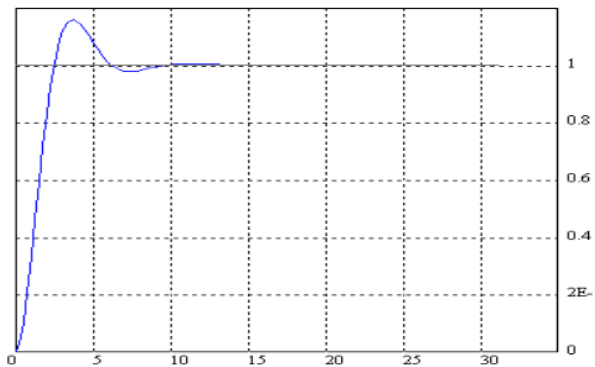


Figure4: Réponse d'un système stable

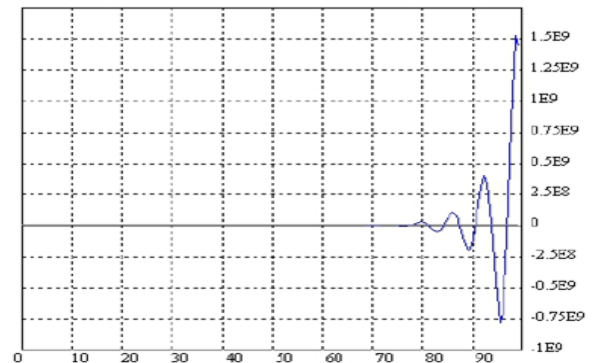


Figure5: Réponse d'un système instable

b) Précision :

Elle est définie à partir de l'erreur statique ϵ en régime stable comme le montre la figure suivante :

$$\text{Erreur de précision (\%)} = (\epsilon/C) \cdot 100$$

Exemple : pour $C = 10 \%$ et $\epsilon = 2 \%$ ϵ erreur de précision est : $(2/10) \cdot 100 = 20 \%$

c) Amortissement :

Il est défini par l'allure de la réponse. Les différents types de réponses sont représentés par les figures suivantes :

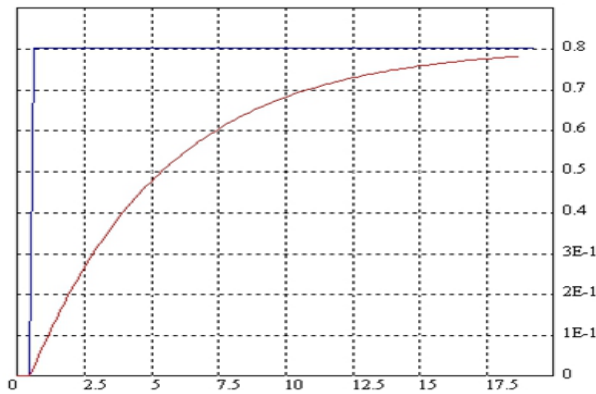


Figure6: Système très amorti

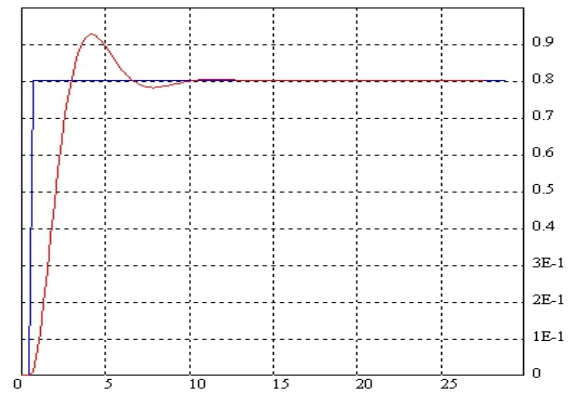


Figure 7: Système bien amorti

L'amortissement s'exprime généralement de deux façons :

Amortissement par période = $D2 / D1$

Dépassement (%) = $D1.100 / \Delta M$

D1, D2 et ΔM sont exprimés par les mêmes unités (mm, %, unité physique)

Elle traduit pratiquement la durée transitoire. Plus précisément, elle s'exprime par le temps de réponse **Te** ou temps d'établissement, qui est le temps mis par la mesure pour atteindre sa valeur définitive à **5 %** de sa variation tout en se maintenant dans cette zone des **5 %**.

Rapidité = temps de réponse **Te**

Les figures suivantes représentent des réponses oscillatoires amorties.

Te : correspond au temps mis pour atteindre **95 %** ou **105%** de la valeur finale de ΔM .

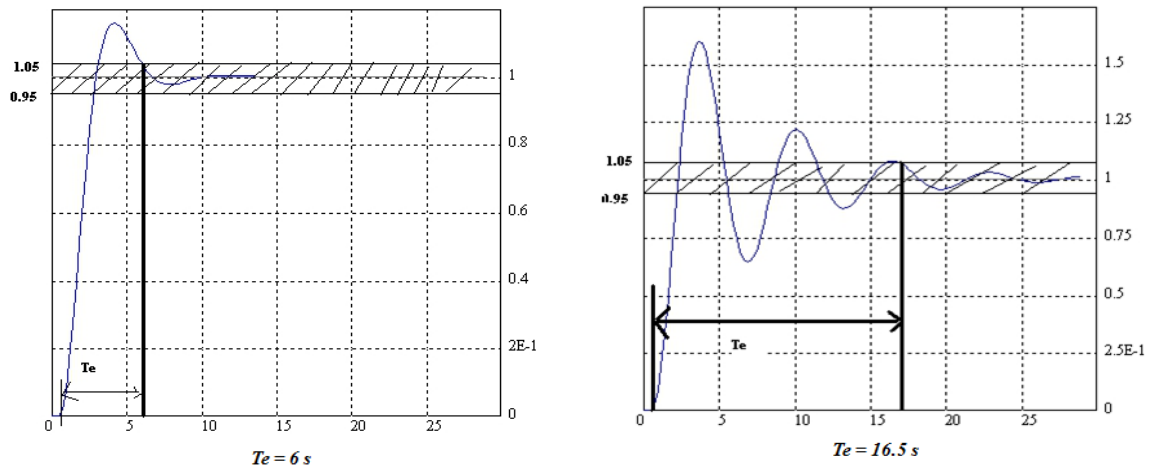


Figure 8: Réponse oscillatoires amorties

La figure suivante illustre le cas d'une réponse apériodique, T_e correspond au temps mis pour atteindre les 95 % de ΔM .

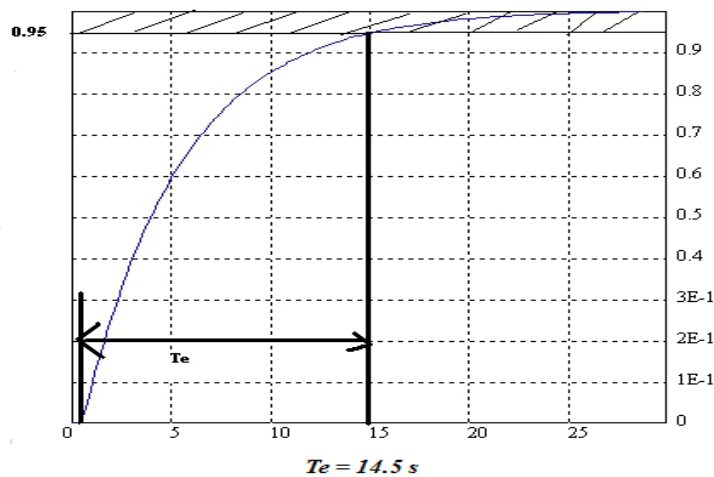


Figure 9: Réponse apériodique

Précision, amortissement, rapidité, permettent d'exprimer les performances d'une Régulation. En règle générale, on cherche à obtenir un temps de réponse T_e et un amortissement par période faibles. On peut retenir le chiffre de 15% comme valeur moyenne acceptable de dépassement. Insistons sur le fait que si la mise au point de la régulation est effectuée à partir d'une réponse due à des changements de consigne, c'est généralement à des variations de grandeurs perturbatrices que la régulation est soumise.

La théorie montre que si la stabilité qui est la condition indispensable, est assurée dans le premier cas, elle le sera dans le second, mais l'allure du transitoire sera différente

1.3. Identification des procédés industriels :

La fonction de transfert réelle d'un procédé industriel est pratiquement impossible à déterminer. Il est alors nécessaire d'utiliser un modèle qui soit le plus représentatif possible de ce procédé.

Identifier un procédé, c'est rechercher à partir d'enregistrements, les paramètres qui caractérisent son modèle. Parmi les nombreuses méthodes d'identification existantes, nous utilisons des méthodes simples applicables sans matériel spécial et sans connaissances théoriques particulières.

On utilise des méthodes d'identification qui permettent de trouver un modèle de comportement traduisant le plus fidèlement le procédé autour d'un point de fonctionnement. La connaissance des paramètres caractéristiques d'un procédé peut-être utile en particulier dans les domaines suivants:

- Réglage des actions dans les boucles de régulation .
- Choix des modes de régulation.
- Modélisation des procédés pour des correcteurs numériques, afin de réaliser des régulations par modèle interne.

1.3.1. Méthode d'identification en boucle ouverte :

a) Mode opératoire :

- Stabiliser la mesure $M(t)$ au point de fonctionnement choisi ou aux conditions moyennes. Le système pouvant présenter des non-linéarités , il est important d'analyser au point de fonctionnement futur.
- Régulateur en manuel \Rightarrow boucle ouverte.
- Faire un échelon ΔU à l'aide de la commande manuelle sur le signal de vanne. Cet échelon doit être suffisamment grand afin d'obtenir une réponse sur l'enregistrement de la mesure exploitable et suffisamment faible afin de ne pas dépasser les limites de linéarité du procédé.
- Exploitation graphique de l'enregistrement du signal de mesure $M(t)$.

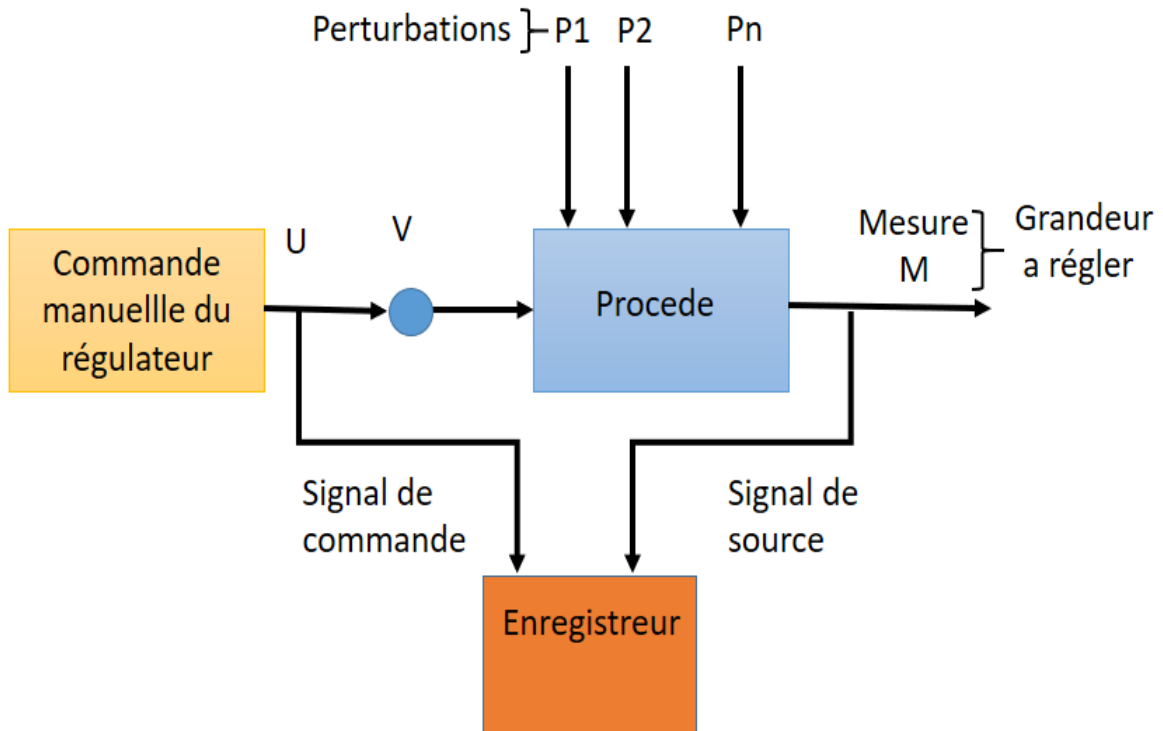


Figure10: Identification des systèmes en boucle ouverte (Mode opératoire)

b) Procédés naturellement stable : Types de réponses :

La figure suivante montre la construction graphique à réaliser, cette construction est basée sur la méthode mise au point par V.BROIDA : recherche des temps t_1 et t_2 correspondants à 28% et 40% de la variation ΔM .

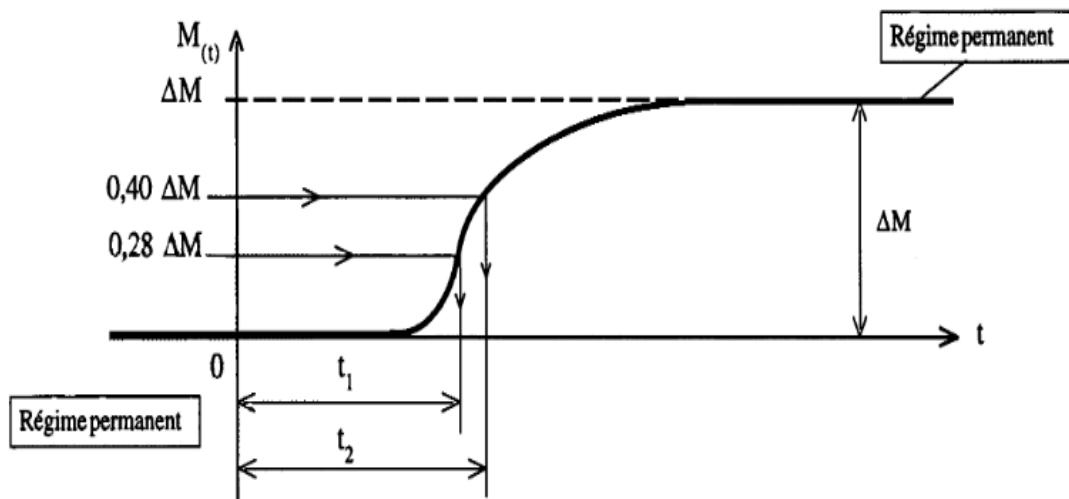


Figure 11: Identification des systèmes en boucle ouverte

Le problème d'identification consistera donc à déterminer les paramètres suivants θ : Constante du temps (sec.) , τ : Temps de retard pur(sec.)

Afin de déterminer des valeurs de ces paramètres, Broïda fait correspondre la réponse indicielle à identifier et la fonction de transfert du 1er ordre affectée d'un retard en deux points t_1 et t_2 d'ordonnées correspondant à 28% et 40% de la valeur finale de la sortie du système.

1.3.2. Méthode d'identification en boucle fermée :

On approximera le procédé à une fonction de transfert du premier ordre avec retard. C'est une identification paramétrique car on choisit à priori un modèle et on cherche par cette méthode, les paramètres de la fonction de transfert du modèle.

La méthode d'identification en boucle fermée nécessite deux essais :

- Premier essai : Recherche du gain statique G_s .
- Deuxième essai : Recherche des paramètres dynamiques θ et τ

a) Premier essai : Recherche du gain statique G_s

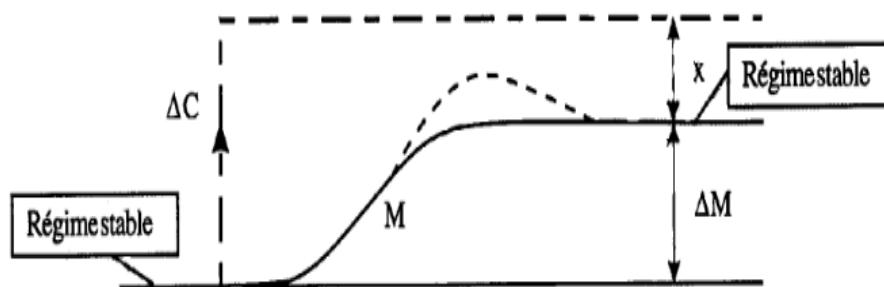


Figure 12: Identification du gain statique en boucle fermée

• Se placer au point de fonctionnement et stabiliser la mesure. Egaler la consigne à la mesure ($C = M$)

- Le régulateur en automatique et en action proportionnelle seule
- Faire un échelon sur la consigne ΔC
- Relever la variation de mesure ΔM et l'écart x ($x = C - M$)
- Calculer le gain statique $G_s G_s = \frac{\Delta M}{x_{GR}}$

b) Recherche des paramètres dynamiques θ et τ :

- Au point de fonctionnement
- Régulateur en automatique et en action proportionnelle seule.
- Augmenter progressivement le gain du régulateur en faisant de petits échelons sur la consigne jusqu'à l'obtention du « pompage » régulier de la mesure.

- Relever la valeur du gain critique du régulateur (GRc) qui occasionne le pompage et la période des oscillations (Tosc) de la mesure M(r) [ou du signal de commande U(t)].
- Calculer Les paramètres dynamiques du modèle.

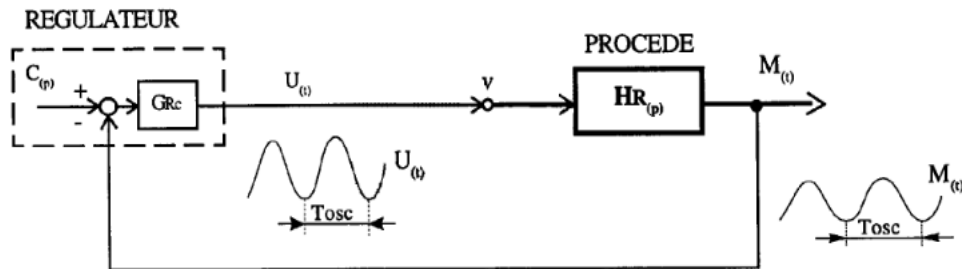


Figure 13: Identification paramètres dynamiques θ et τ en boucle fermée

Gain de boucle critique GBc :

$$GBc = GRc.Gs$$

Constante de temps du modèle θ :

$$\theta = \frac{Tosc}{2\pi} \sqrt{BGc^2 - 1}$$

Temps mort ou retard du modèle τ :

$$\tau = \frac{Tosc}{2\pi} \left(1 - \frac{\text{Arctan } G(\sqrt{BGc^2-1})}{\pi} \right) \text{ Si arc tg est exprimé en radians}$$

$$\tau = \frac{Tosc}{2\pi} \left(1 - \frac{\text{Arctan } G(\sqrt{BGc^2-1})}{180} \right) \text{ Si arc tg est exprimé en degrés}$$

Si $GBc \gg 1$, on peut appliquer $\tau = \frac{Tosc}{4}$

1.4. Régulation PID :

On rappelle que le but d'une régulation ou d'un asservissement est de faire en sorte que la mesure X soit égale à la consigne le plus rapidement possible. L'idée est de venir corriger les imperfections avec trois types de correcteurs:

- Proportionnel (P)
- Intégral (I)
- Dérivé (D)

On parle ainsi de correcteur PID : (P); (P+D); (P+I); (P+I+D). Pour corriger les imperfections, il faut agir sur trois paramètres :

- Kp : le gain proportionnel (paramètre du correcteur proportionnel) ;
- Ti : le temps intégral (paramètre du correcteur intégral) ;

- T_d : le temps dérivé (paramètre du correcteur dérivé)

1.4.1. Régulateur à action proportionnelle P :

Lors d'une variation en échelon de la consigne, le système à une réponse ressemblant à celle représentée sur figure 1.14

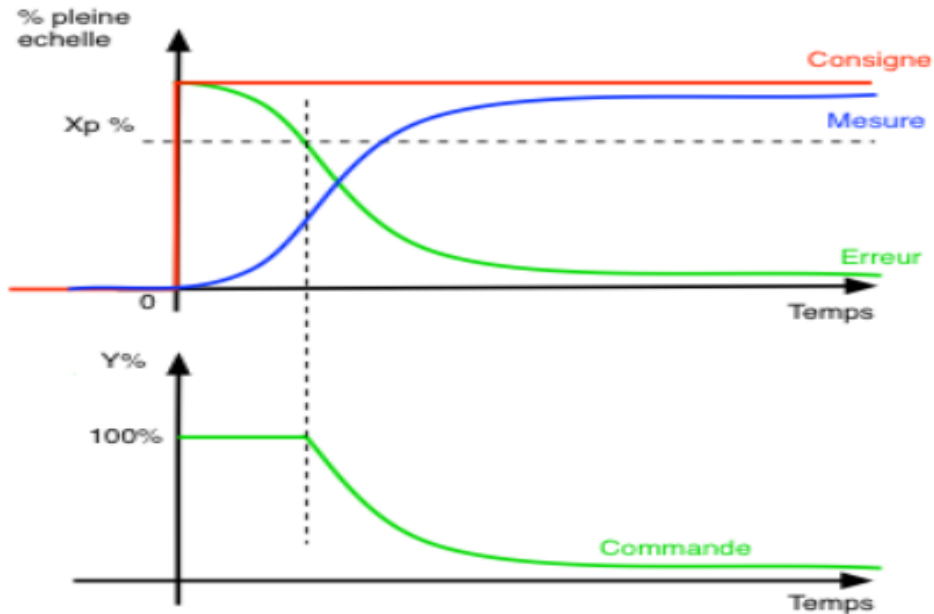


Figure 14: Réponse indicielle d'une régulation proportionnelle

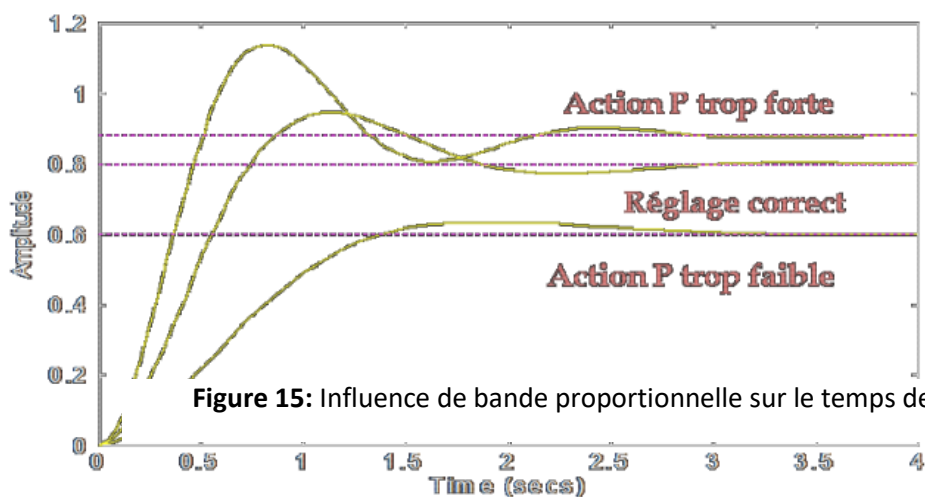


Figure 15: Influence de bande proportionnelle sur le temps de réponse

L'action proportionnelle fait croire à la régulation que l'erreur statique (l'écart) est plus important que réellement, déstabiliser le système quand on augmente trop le gain et elle n'annule pas l'erreur statique.

1.4.2. Régulateur à action intégrale (I) :

L'action intégrale permet d'annuler l'erreur statique. La régulation se termine lorsque la sortie a atteint la valeur de la consigne et le correcteur intégral calcule l'aire sous-tendue entre la consigne et la mesure puis ajoute cette quantité multipliée par le rapport $1 / T_i$ au signal Y.

N.B : Plus le temps T_i est réglé petit et plus le signal Y sera fort ! La conséquence est de risquer d'emmener la régulation dans un régime instable !

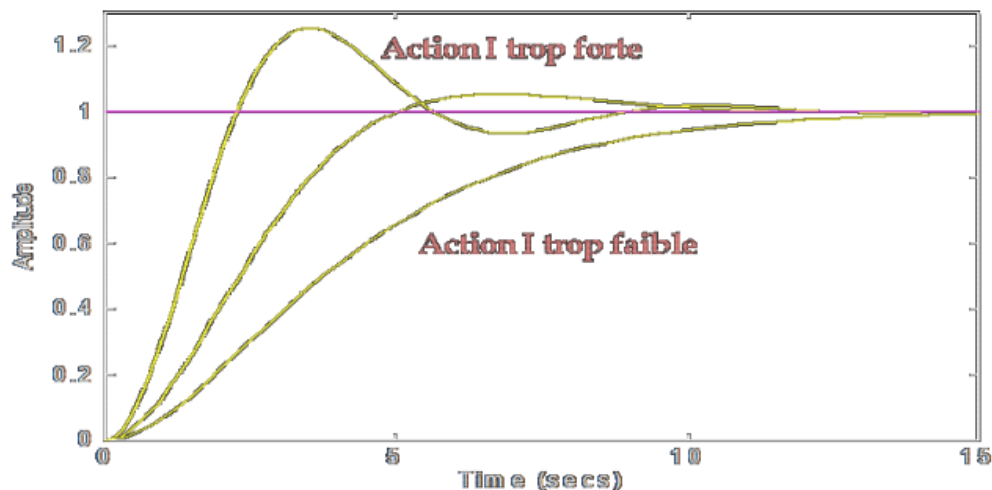


Figure 16: Réglage du temps intégral

L'action intégrale annule l'erreur statique et déstabilise le système quand on augmente le gain intégral (T_i trop faible).

1.4.3. Régulateur à action dérivée (D) :

Le correcteur dérivé quant à lui fait la dérivée de l'écart, il cherche donc à connaître la variation de l'écart par rapport au temps donc à savoir à quelle vitesse la mesure s'écarte de la consigne. Plus la vitesse de variation sera grande et plus la régulation réagira rapidement pour stabiliser la mesure.

Le régulateur D sera inefficace face à une erreur résiduelle permanente, quelle que soit sa valeur. C'est pourquoi ce type de régulateur sera rarement utilisé, il est couramment associé à un régulateur de type P.

L'action dérivée stabilise plus rapidement le système (temps réponse amélioré) et elle n'annule pas l'erreur statique et est sensible aux parasites.

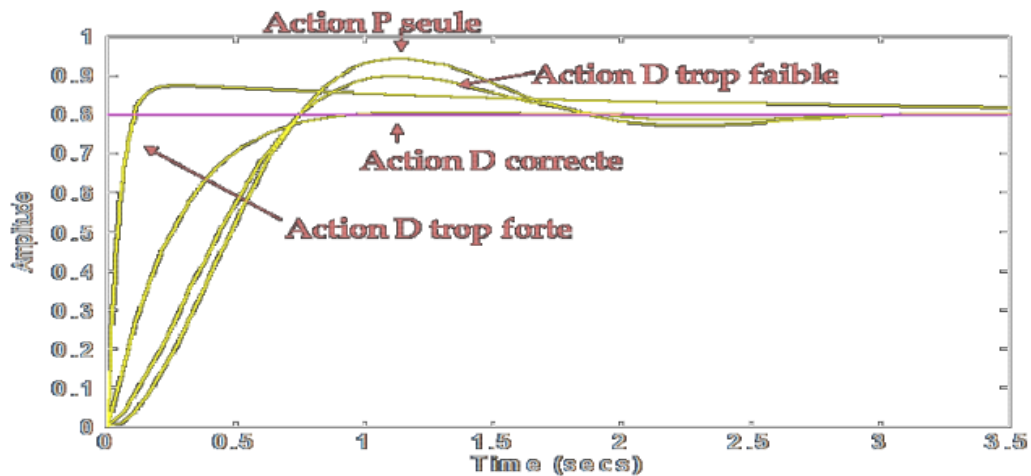


Figure17: Réglage du temps dérivé

Dans le cas d'un signal de mesure bruité, la dérivée amplifie le bruit, ce qui rend son utilisation délicate ou impossible. La solution à ce problème consiste, soit à filtrer le signal de mesure, soit à utiliser un module de dérivée filtrée avec un gain transitoire réglable.

Dans tous les algorithmes PID, la dérivée est filtrée, mais la valeur du filtre (gain transitoire), est rarement réglable sur les régulateurs monoblocs ; elle l'est parfois, sur les modules PID des systèmes numériques.

1.4.4. Régulateur PID :

Le régulateur standard le plus utilisé dans l'industrie est le régulateur PID (proportionnel intégral dérivé), car il permet de régler à l'aide de ses trois paramètres les performances (amortissement, temps de réponse) d'une régulation d'un processus modélisé par un deuxième ordre

Nombreux sont les systèmes physiques qui, même en étant complexes, ont un comportement voisin de celui d'un deuxième ordre, dans une certaine échelle de temps. Par conséquent, le régulateur PID est bien adapté à la plupart des processus de type industriel et est relativement robuste par rapport aux variations des paramètres du procédé, quand on n'est pas trop exigeant pour les performances de la boucle fermée par rapport à celles de la boucle ouverte (par exemple, accélération très importante de la réponse ou augmentation très importante de l'amortissement en boucle fermée). Si la dynamique dominante du système est supérieure à un deuxième ordre, ou si le système contient un retard important ou plusieurs modes oscillants, le régulateur PID n'est plus adéquat et un régulateur plus complexe (avec plus de paramètres) doit être utilisé, aux dépens de la sensibilité aux variations des paramètres du procédé.

La réalisation d'une boucle d'asservissement par PID est un problème très important, car il influence :

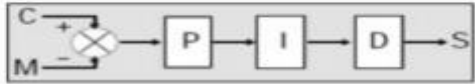
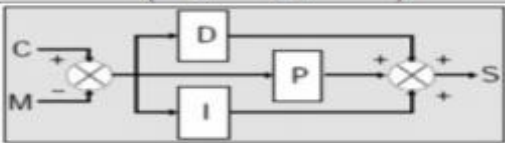
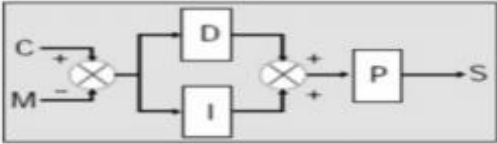
- La qualité de la régulation sur un site industriel.
- Le temps de mise en œuvre de la commande.

Et comporte deux aspects essentiels :

- Le réglage du régulateur PID, pour lequel la connaissance d'un modèle dynamique du procédé d'une part et les performances désirées d'autre part déterminent le choix de la méthode de synthèse ;
- L'implantation du régulateur dans une version analogique ou numérique et dans une configuration série, parallèle ou mixte.

De plus en plus, les régulateurs PID commercialisés offrent la possibilité d'autoréglage, qui

Tableau 1: Structures conventionnelles des régulateurs PID

| Structure du régulateur PID | Schéma et fonction de transfert |
|-----------------------------|---|
| Série |  $K_p \left(\frac{T_i + T_d}{T_i} + \frac{1}{pT_i} + pT_d \right)$ |
| Parallèle |  $K_p + \frac{1}{pT_i} + pT_d$ |
| Mixte |  $K_p \left(1 + \frac{1}{pT_i} + pT_d \right)$ |

réalise le calcul automatique des paramètres, à la demande de l'utilisateur. Le tableau ci-dessous présente les structures conventionnelles des régulateurs PID ainsi leurs fonctions de transferts.

Les paramètres du régulateur PID sont le gain proportionnel K_p , le temps intégral T_i et le temps dérivatif T_d , les temps étant exprimés en secondes.

1.4.5. Réglage du PID (La méthode de Ziegler et Nichols) :

a) Définition:

J.G Ziegler et B Nichols ont été les premiers à montrer comment on peut choisir les paramètres d'un PID à partir d'une réponse à un échelon du procédé. Leur méthode, même si elle n'est pas la meilleure, jouit d'une notoriété telle qu'elle n'est pas possible de l'ignorer. L'avantage de cette

méthode qu'il n'y a pas besoin de connaître la fonction de transfert du système et que le réglage se fait directement sur le site en chaîne fermée.

b) Réglage :

L'idée consiste à approximer la réponse du procédé à un échelon unitaire, que l'on suppose apériodique, il suffit ensuite d'appliquer les relations du Tableau 2 en utilisant un régulateur P, PI ou PID. Ces relations ont été développées empiriquement pour donner une réponse en boucle fermée oscillante, le gain G_r est alors augmenté progressivement jusqu'à obtention du pompage.

Le gain critique K_0 du régulateur le plus petit gain qui permet l'entretien d'oscillations. La période d'oscillation T_0 (figure 1.21). Avec un dépassement initial de l'ordre de 30 à 40%, le premier dépassement D_1 pouvant être trop important, il faut alors légèrement modifier ces réglages

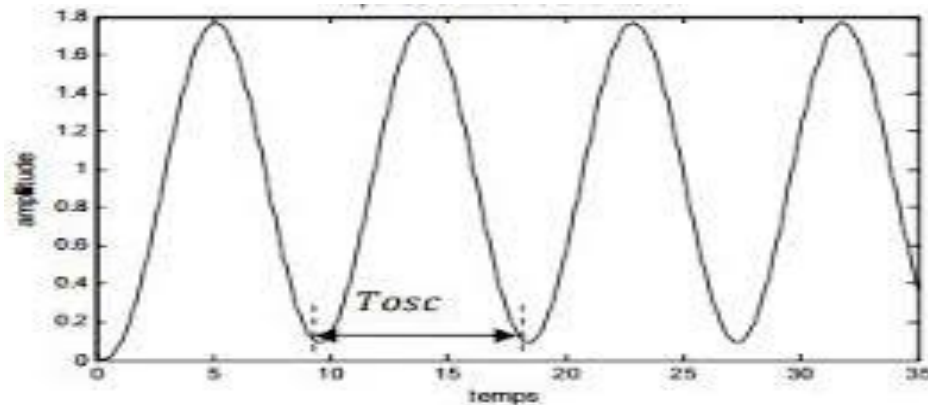


Figure 18: Mise en oscillation un système

Tableau2: Réglage par la méthode Ziegler Nichols

| Type de correcteur | Gain K_r | T_i | T_d |
|--------------------|------------|------------|-------------|
| Proportionnel | $0,5 K_0$ | | |
| PI | $0,45 K_0$ | $0,83 T_0$ | |
| PID | $0,6 K_0$ | $0,5 T_0$ | $0,125 T_0$ |

1.4.6. Régulation cascade :

La régulation cascade (Figure 1.19) est une technique utilisée pour permettre aux procédés qui ont une dynamique lente d'avoir une réponse rapide face aux perturbations extérieures ainsi qu'aux changements de consigne.

Pour cela on utilise des correcteurs numériques ou des boucles multiples ; parmi lesquelles on accorde souvent au procédé une régulation en cascade. La variable intermédiaire M_i généralement

appelée variable d'état, possède la propriété d'être en avance temporelle par rapport à la grandeur de mesure M .

Si par exemple une modification sur l'action U ou une perturbation affectant le sous-système 1, la variable d'état M_i sera la première à être affectée avant la variable de mesure M . En d'autres termes, la grandeur d'état M_i permet de renseigner sur l'état futur de M . Cette forme de prédiction peut être exploitée judicieusement pour réaliser une régulation cascade où :

- Régulateur $R_2(p)$: Régulateur maître
- Régulateur $R_1(p)$: Régulateur esclave

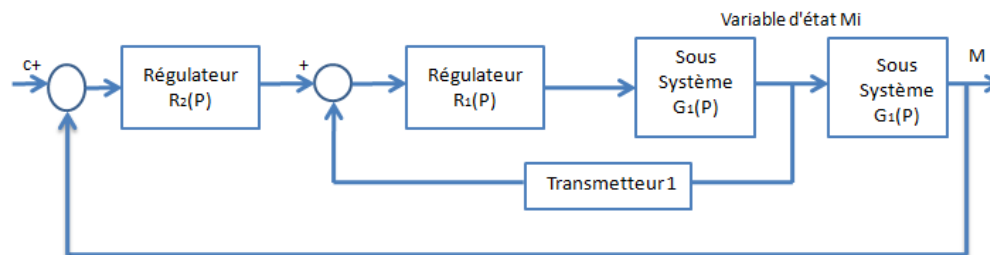


Figure 19: Schéma d'une régulation cascade

a) Rôle de la régulation cascade :

La régulation cascade est une technique utilisée pour permettre aux procédés qui ont une grande constante de temps d'avoir une réponse rapide face aux perturbations extérieures ainsi qu'aux changements de consigne, L'objectif d'une régulation en cascade est de minimiser les effets d'une ou de plusieurs grandeurs perturbatrices qui agissent soit sur la variable réglante, soit sur une grandeur intermédiaire se trouvant en amont de la variable à régler. Tout en minimisant les risques de dépassement de la mesure. Ceci est réalisé en régulant une boucle secondaire plus rapide qui va influencer la boucle principale. Le procédé principal est contrôlé par une boucle PID maître, dont la sortie sert de consigne au procédé secondaire, réglé par une seconde boucle PID. Cette seconde boucle est appelée la boucle "esclave"

Ce type de régulation est intéressant lorsque l'on a affaire à des procédés à grande constante de temps. En effet, quand une perturbation se manifeste, il est nécessaire d'attendre que son influence se ressente au niveau de l'organe de mesure placé en sortie de chaîne de la régulation. Si le temps de réponse est long, la correction n'intervient donc très tardivement, par rapport à la cause qui l'a produite ce retard d'action entraîne un déphasage entre la grandeur réglée et la grandeur réglante, comme s'il s'agit de l'inversion de sens d'action de la régulation. Ce qui conduira à des oscillations entretenues et donc une instabilité de procédé.

b) Mise au point de la régulation cascade :

Les étapes à suivre pour la mise au point d'une régulation cascade sont les suivantes :

- Détermination du sens d'action des régulateurs
- Réglage de la boucle interne (régulateur esclave)
- Mise en service du régulateur asservi (passage de consigne interne en consigne externe sans à-coups)
- Réglage de la boucle externe (régulateur maître)

Conclusion :

Des fondamentaux sur l'instrumentation et régulation industrielles ainsi ont été présentés dans ce chapitre. Ce chapitre a fait état également les méthodes de l'indentification des systèmes.

Ensuite, l'accent a été mis sur les types des régulateurs en décrivant avec plus de détails les régulateurs PID, leurs structures et leurs fonctions de transfert.

Enfin, la régulation en cascade a été présentée, en citant les différentes étapes à suivre pour établir un tel type de régulation.

Chapitre 2 : Automates programmables industriels Siemens

Introduction

Un Automate Programmable Industriel est une machine électronique, programmable par un personnel non informaticien et destinée à piloter en ambiance industrielle et en temps réel des procédés automatiques. Les automates programmables industriels ou **A.P.I.** comme on les appelle le plus souvent ou encore Programmable Logic Controller (**PLC** en anglais), sont apparus aux Etats-Unis vers 1969 où ils répondaient aux désirs des industries de l'automobile de développer des chaînes de fabrication automatisées qui pourraient suivre l'évolution des technologies et des modèles fabriqués. **L'A.P.I.** s'est ainsi substitué aux armoires à relais en raison de sa souplesse, mais aussi parce que dans les automatismes de commande complexe, les coûts de câblage et de mise au point devenaient trop élevés.

2.1 Définition

Un automate programmable industriel, ou API, est un dispositif électronique programmable destiné à la commande des processus industriels par un traitement séquentiel. Il envoie des ordres vers les prés actionneurs (partie opérative ou PO côté actionneur) à partir de données d'entrées (capteurs) (partie commande ou PC côté capteur), de consignes et d'un programme informatique.

2.2 Domaines d'emploi des automates

On utilise les API dans tous les secteurs industriels pour la commande des machines (convoyage, emballage...) ou des chaînes de production (automobile, agroalimentaire ...) ou il peut également assurer des fonctions de régulation de processus (métallurgie, chimie ...). Il est de plus en plus utilisé dans le domaine du bâtiment (tertiaire et industriel) pour le contrôle du chauffage, de l'éclairage, de la sécurité ou des alarmes.

2.3 Nature des informations traitées par l'automate

Nature des informations traitées par l'automate : Les informations peuvent être de type : Tout ou rien (T.O.R.) : l'information ne peut prendre que deux états (vrai/faux, 0 ou 1 ...). C'est le type d'information délivrée par un détecteur, un bouton poussoir ... Analogique : l'information est continue et peut prendre une valeur comprise dans une plage bien déterminée. C'est le type d'information délivrée par un capteur (pression, température ...) Numérique : l'information est contenue dans des mots codés sous forme binaire

2.4 Architecture des A.P.I

2.4.1 Aspect extérieur

Les automates peuvent être de types compact ou modulaire

Type compact : on distinguera les modules de programmation (LOGO de Siemens, ZELIO de Schneider, MILLENIUM de Grouzet...) des micros automates. Il intègre le processeur, l'alimentation, les entrées et les sorties. Selon les modèles et les fabricants, il pourra réaliser certaines fonctions supplémentaires (comptage rapide, E/S analogique...) et recevoir des

extensions. Ces automates, de fonctionnement simple, sont généralement destinés à la commande de petits automatismes.

Type modulaire : le processeur, l'alimentation et les interfaces d'entrées/sorties résident dans des unités séparées (modules) et sont fixées sur un ou plusieurs racks contenant le fond de panier (bus plus connecteurs). Ces automates sont intégrés dans les automatismes complexes ou de puissance, capacité de traitement et flexibilité sont nécessaire.

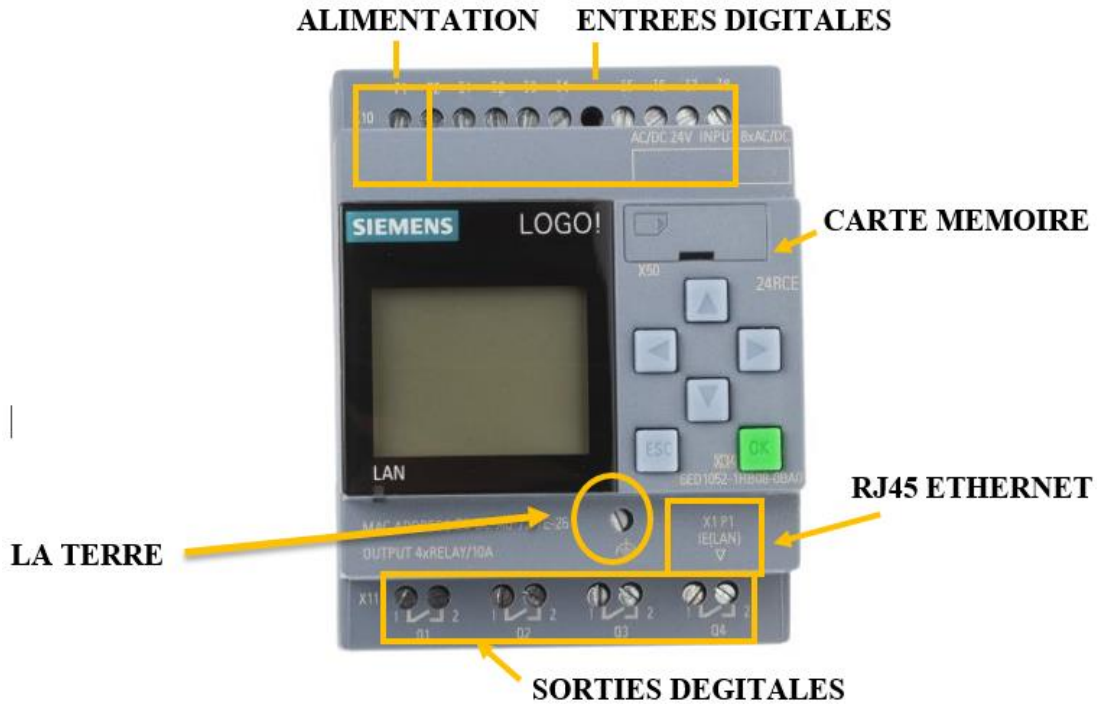


Figure20: LOGO de SIEMENS

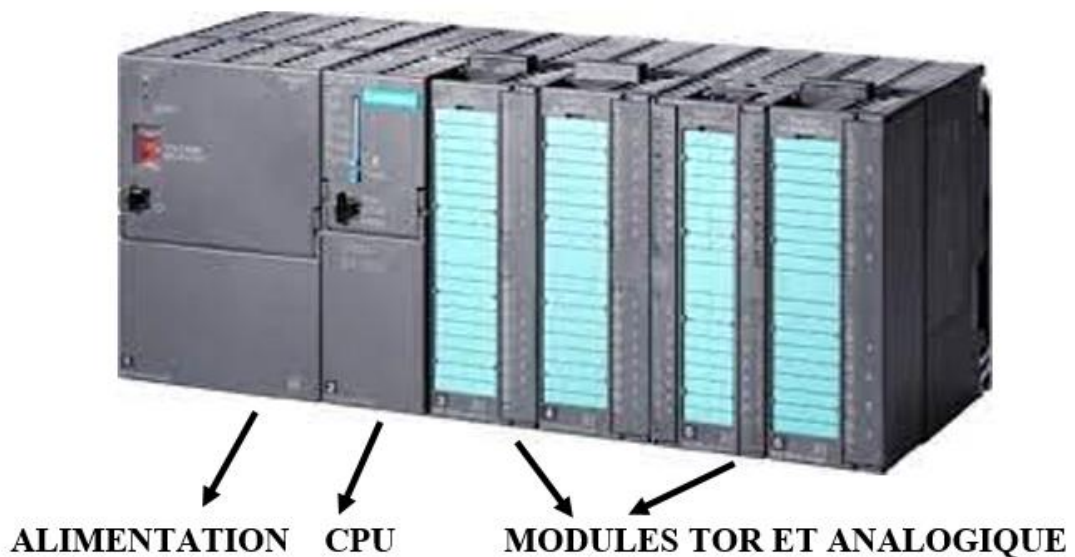


Figure21: Automate programmable Modulaire

2.4.2 Structure interne :

Cette partie comporte quatre parties principales :

- 1- Une mémoire.
- 2- Un processeur.
- 3- Des interfaces d'Entrées/Sorties.
- 4- Une alimentation (240Vac-24Vcc).

Ces quatre parties sont reliées entre elles par des bus (ensemble câblé autorisant le passage de l'information entre ces quatre secteurs de l'API). Ces quatre parties réunies forment un ensemble compact appelé automate.

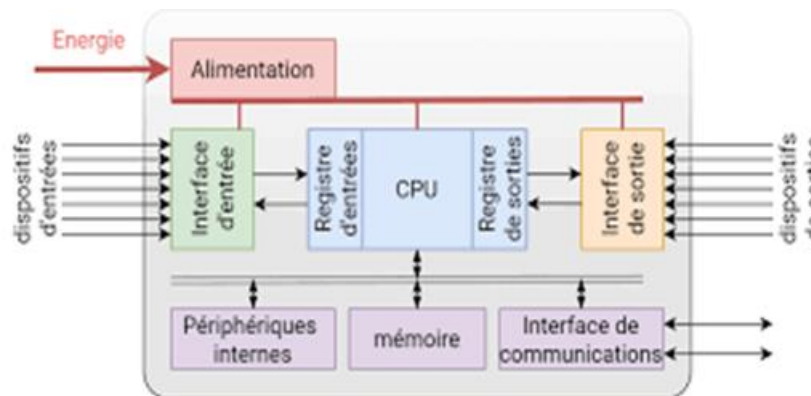


Figure 22: Structure interne d'un API

2.4.2.1 Une mémoire :

La mémoire d'un automate comporte une zone programme (ou mémoire programmes ou utilisateurs), une zone données (ou mémoire données) et une zone réservée au moniteur ou système d'exploitation qui est le logiciel de gestion de l'A.P.I.

Elles permettent de stocker le système d'exploitation (**ROM** ou **PROM**), le programme (**EEPROM**) et les données système lors du fonctionnement (**RAM**).

➤ **ROM ou PROM :**

Les **ROM (Read OnlyMemory)** dont le contenu est défini lors de la fabrication.

Les **PROM (Programmable Read OnlyMemory)** sont programmables par l'utilisateur, mais une seule fois en raison du moyen de stockage, les données sont stockées par des fusibles.

➤ **EPROM :**

La mémoire EPROM (Erasable Programmable Read OnlyMemory signifiant mémoire morte reprogrammable) est un type de mémoire dite morte dont le code peut être modifié dans certaines conditions.

➤ **RAM :**

La mémoire vive, parfois abrégée avec l'acronyme anglais RAM (Random Access Memory), est la mémoire informatique dans laquelle peuvent être enregistrées les informations traitées par un appareil informatique. On écrit mémoire vive par opposition à la mémoire morte.

2.4.2.2 Le processeur :

À base de microprocesseur, elle réalise toutes les fonctions logiques, arithmétiques et de traitement numérique (transfert, comptage, temporisation ...).

Au début de l'apparition des API, les processeurs étaient des processeurs câblés (réalisés par des circuits logiques séparés) ou des processeurs microprogramme (qui utilisait la logique programmable)

2.4.2.3 Des interfaces d'Entrées/Sorties :

L'interface d'entrée comporte des adresses d'entrée. Chaque capteur est relié à une de ces adresses. L'interface de sortie comporte de la même façon des adresses de sortie. Chaque pré-actionneur est relié à une de ces adresses. Le nombre de ces entrées est sorties varie suivant le type d'automate. Les cartes d'E/S ont une modularité de 8, 16 ou 32 voies.

a) Des interfaces d'entrées binaires (T.O.R)

Les informations logiques peuvent être de différente nature :

Alternatif ou Continu, en courants de 1mA à 1A ou tension de 12v à 220v

Le coupleur est alors chargé de rendre compatible ces divers signaux, pour qu'ils soient calibrés en tension et en courant à la logique de l'automate (TTL, CMOS, ...). Le schéma de principe d'une entrée binaire est donné sur la figure 2.4.

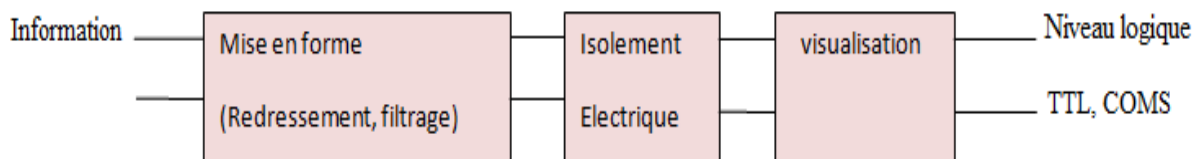


Figure 23: Schéma de principe d'une entrée binaire

Elles sont destinées à :

- Recevoir l'information en provenance des capteurs
- Traiter le signal en le mettant en forme (éliminer les parasites et en isoler électriquement l'unité de commande de la PO).

b) Les interfaces de sorties binaires

Le problème est le même que pour les interfaces d'entrées, mais dans le sens inverse. Le schéma de principe d'une sortie binaire est donné sur la figure 24

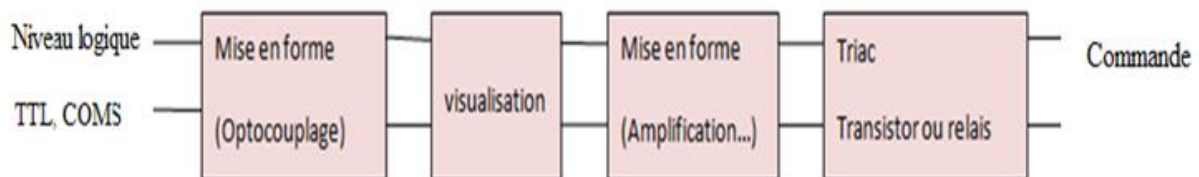


Figure 24: Schéma de principe d'une sortie binaire

Elles sont destinées à :

- Commander les pré-actionneurs et éléments des signalisations du système
- Adapter les niveaux de tensions de l'unité de commande à celle de la PO du système en garantissant une isolation galvanique entre ces dernières.

2.4.2.4 Alimentation :

L'automate est alimenté généralement par le réseau monophasé 230V ; 50 Hz mais d'autres alimentations sont possibles (110V etc. ...). La protection sera de type magnétothermique. Il est souhaitable d'asservir l'alimentation de l'automate par un circuit de commande spécifique (contacteur KM1). De même, les sorties seront asservies au circuit de commande et alimentées après validation du chien de garde.

- Il assure la distribution d'énergie aux différents modules.



Figure 25: Alimentation Siemens SITOP 24V/10A

2.5 Les divers types de langages

Malheureusement il n'y a pas eu d'unicité chez les constructeurs quant au langage de programmation. Néanmoins 4 langages sont parmi les plus utilisés:

- Le langage LADDER (LD : Ladder diagram)
- Le langage booléen (FBD : Function Bloc Diagram)
- Le langage GRAFCET (SFC : Sequential Function Chart)
- Le langage mnémonique (IL : Instruction list)

2.6 Les divers types de langages

Il existe deux types d'automate programmable industriel:

- Le type monobloc
- Le type modulaire

Automate Monobloc :

Le type monobloc possède généralement un nombre d'entrées et de sorties restreint et son jeu d'instructions ne peut être augmenté. Bien qu'il soit parfois possible d'ajouter des extensions d'entrées/sorties, le type monobloc a pour fonction de résoudre des automatismes simples faisant appel à une logique séquentielle et utilisant des informations tout-ou-rien.



Figure 26: Automate monobloc

2.7 Automates programmables industriels SIEMENS

Le groupe Siemens d'origine allemande spécialisé en fourniture de matériel technologique et en ingénierie a été fondé en 1847 par Werner Von Siemens brillant inventeur allemand qui après le décès de son père quitte le lycée et décida de passer le concours du génie militaire de Berlin. En 1847, il fonde avec Johann Georg Halske la société Telegraphenbauanstalt, Von Siemens & Halske qui deviendra par la suite l'entreprise Siemens

Aujourd'hui, le groupe Siemens est un des leaders dans le domaine de l'automatisme industriel avec ses solutions d'ingénierie comme Step7, TIA Portal et Simatic Manager.

2.8 La famille SMATIC SIEMENS

Du petit appareil compact à la commande basée sur PC en passant par l'API hautes performances, vous trouverez dans la gamme SIMATIC l'appareil adapté à chaque entreprise. Tous ont en commun une puissance de traitement élevée dans le plus petit espace, une robustesse contre les effets mécaniques et climatiques les plus sévères, une vitesse élevée et une facilité d'expansion.

On essaiera de lister du plus petit module logique à l'automate haute gamme dédié aux applications plus robustes.

LOGO, S7-200, S7-300, S7-400, S7-1200, S7-1500

Dans notre mémoire on va utiliser les deux automates programmables suivants:

➤ S7-1200

L'automate SIMATIC S7-1200 est un automate compact qui se programme avec le logiciel d'ingénierie TIA Portal de Siemens. L'automate SIMATIC S7-1200 est compatible avec PROFINET IO, et peut être utilisé avec des appareils PROFINET IO pour résoudre diverses

applications. Il est disponible sous forme de kit de programmation comprenant ou pas un IHM. C'est l'automate idéal pour apprendre à programmer des automates Siemens sur TIA Portal. S7-1200 offre la souplesse et la puissance nécessaires pour commander une large gamme d'appareils afin de répondre à vos besoins en matière d'automatisation. Sa forme compacte, sa configuration souple et son important jeu d'instructions en font une solution idéale pour la commande d'applications très variées



Figure 27: Automate S7-1200

➤ S7-1500

C'est la dernière gamme d'automates Siemens. Il se programme sous TIA Portal et dispose d'un petit écran de façade permettant de faire quelques configurations basiques.



Figure 28: Automate S7-1500

➤ HMI

Une Interface Homme-Machine (IHM) **HMI** est une interface utilisateur permettant de connecter une personne à une machine, à un système ou à un appareil. Ce terme définit globalement n'importe quel dispositif permettant à un utilisateur d'interagir avec un appareil en milieu industriel.



Figure 29: HMI de SIEMENS

2.9 La sécurité

Les systèmes automatisés sont, par nature, source de nombreux dangers (tensions utilisées, déplacements mécaniques, jets de matière sous pression ...). Placé au cœur du système automatisé, l'automate se doit d'être un élément fiable car :

- ❖ Un dysfonctionnement de celui-ci pourrait avoir de graves répercussions sur la sécurité des personnes
- ❖ Les coûts de réparation de l'outil de production sont généralement très élevés
- ❖ Un arrêt de la production peut avoir de lourdes conséquences sur le plan financier.

Aussi, l'automate fait l'objet de nombreuses dispositions pour assurer la sécurité :

- Contraintes extérieures: l'automate est conçu pour supporter les différentes contraintes du monde industriel et a fait l'objet de nombreux tests normalisés (tenue aux vibrations, CEM ...)
- Coupures d'alimentation: l'automate est conçu pour supporter les coupures d'alimentation et permet, par programme, d'assurer un fonctionnement correct lors de la réalimentation (reprises à froid ou à chaud)
- Mode RUN/STOP: Seul un technicien peut mettre en marche ou arrêter un automate et la remise en marche se fait par une procédure d'initialisation (programmée)
- Contrôles cycliques: Procédures d'autocontrôle des mémoires, de l'horloge, de la batterie, de la tension d'alimentation et des entrées / sorties
- Vérification du temps de scrutation à chaque cycle appelée Watch dog (chien de garde), ET enclenchement d'une procédure d'alarme en cas de dépassement de celui-ci (réglé par l'utilisateur)
- Visualisation: Les automates offrent un écran de visualisation où l'on peut voir l'évolution des entrées / sorties

Conclusion

Les ordinateurs de l'époque étant chers et non adaptés aux contraintes du monde industriel, les automates devaient permettre de répondre aux attentes de l'industrie. Chaque contrôleur offre des fonctionnalités système intégrées telles qu'une ingénierie efficace, des performances élevées, une conception innovante, des diagnostics fiables, une sécurité intégrée et une technologie intégrée. Cela permet une grande flexibilité dans la conception ou l'adaptation des solutions d'automatisation, sans avoir à accumuler constamment plus de connaissances et d'expérience.

Il ne faut pas négliger la maintenance d'un système automatisé pour assurer un bon fonctionnement et une bonne continuité, alors la télémaintenance consiste en une prise de con

Chapitre3 : Description de Logiciel TIA Portal

Introduction

L'API a pour fonction d'effectuer des tâches de contrôle via des actions de développement En suivant un algorithme approprié basé sur les informations fournies par les instruments. Ensuite, nous présenterons le logiciel TIA portal et PLC Sim, ces derniers permet la programmation et la simulation des programmes d'automatisation avec différentes langues standardisées.

3.1 Logiciel "Totally Integrated Automation Portal"

TIA Portal ou Totally Integrated Automation est un environnement de développement, Tout en un, permettant de programmer l'API, et les afficheurs industriels (IHM). TIA Portal inclut Step7 (permet la programmation d'API) et Win cc (Utilisé pour programmer IHM). Il intègre également la gestion des fonctions faire de régulation, comptage, etc...

La volonté de Siemens est d'intégrer toutes ses lignes de produits dans un seul logiciel. On utilise auparavant la version 2019 du logiciel TIA pour programmer ces automates

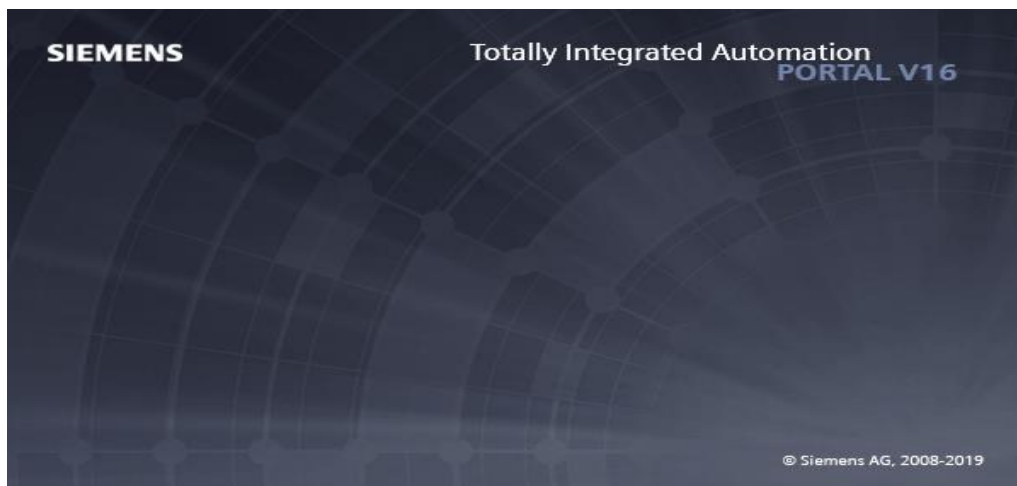


Figure 30: Totally Integrated Automation V16

3.2 Le progiciel STEP 7 PRO (TIA Portal V16)

Est un outil de programmation des automates comme : S7-1500, S7-1200, S7-400, S7-300. Et permet d'utiliser :

Configuration et paramétrage des équipements et communication. Programmation, Charger le programme dans le système cible, Tester l'installation automatisée. Diagnostic en cas de panne du matériel, Documentation, Génération d'écrans avec Win CC.

3.2.1 Vue du portail :

La vue du portail offre une vue d'ensemble du projet et un accès aux outils utilisés pour le développer. On peut trouver rapidement ce qu'on désire et appeler les outils qui seront utilisés pour effectuer les tâches requises. Le changement de la vue du projet est modifié automatiquement pour la tâche sélectionnée. L'objectif principal est de simplifier la préparation et la mise en œuvre du projet.

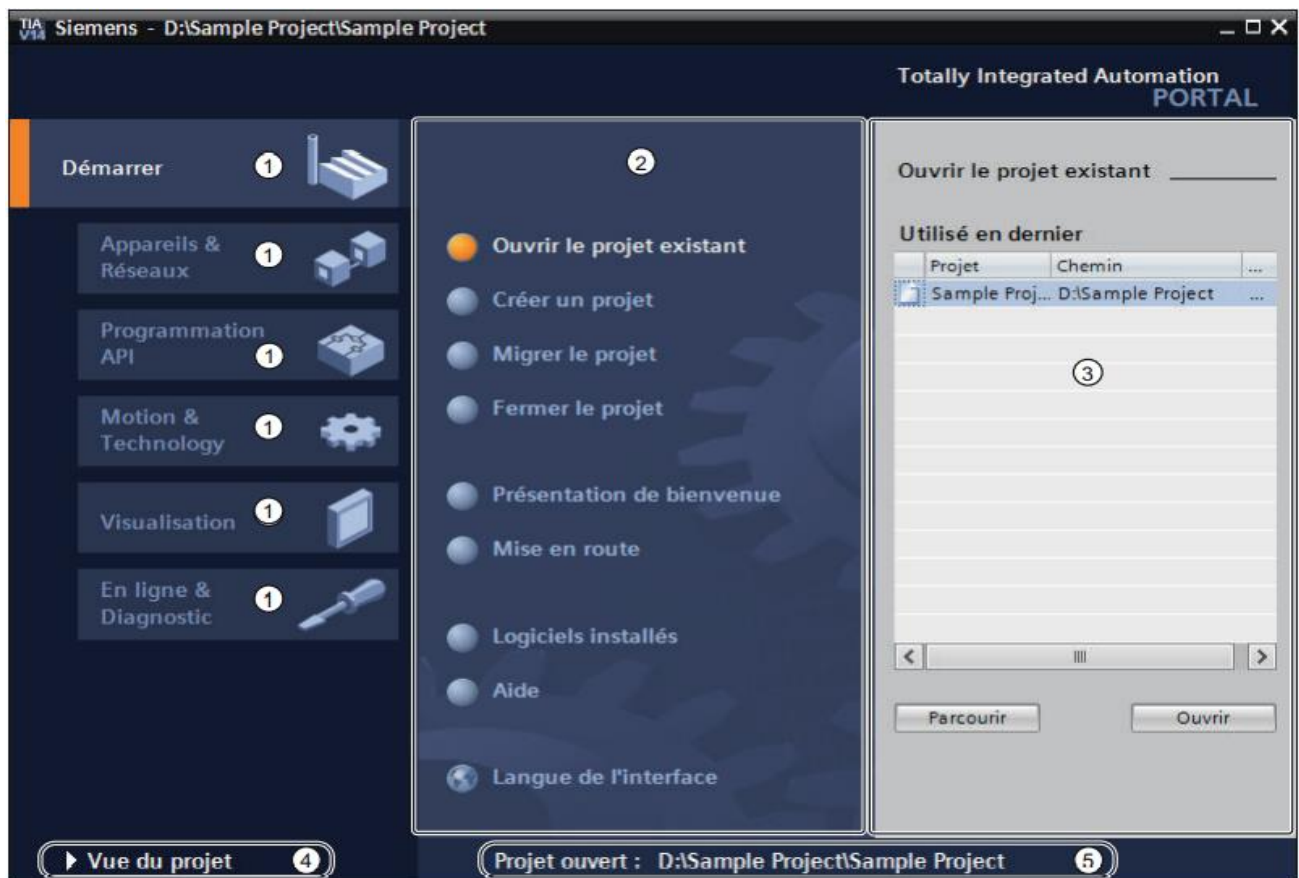


Figure 31: Vue du portail

- ① Portails pour les différentes tâches
- ② Actions correspondant au portail sélectionné
- ③ Fenêtre de sélection correspondant à l'action sélectionnée
- ④ Basculer dans la vue du projet
- ⑤ Affichage du projet actuel ouvert

3.2.2 Vue du projet :

La vue du projet est une vue structurée de tous les éléments qui composent le projet. Barre de menus avec barre des fonctions sont situées en haut de la fenêtre, le navigateur de projet et ces éléments sont sur la gauche, et se trouve le menu associé aux différentes tâches (avec les bibliothèques et les instructions ...) sur la droite.

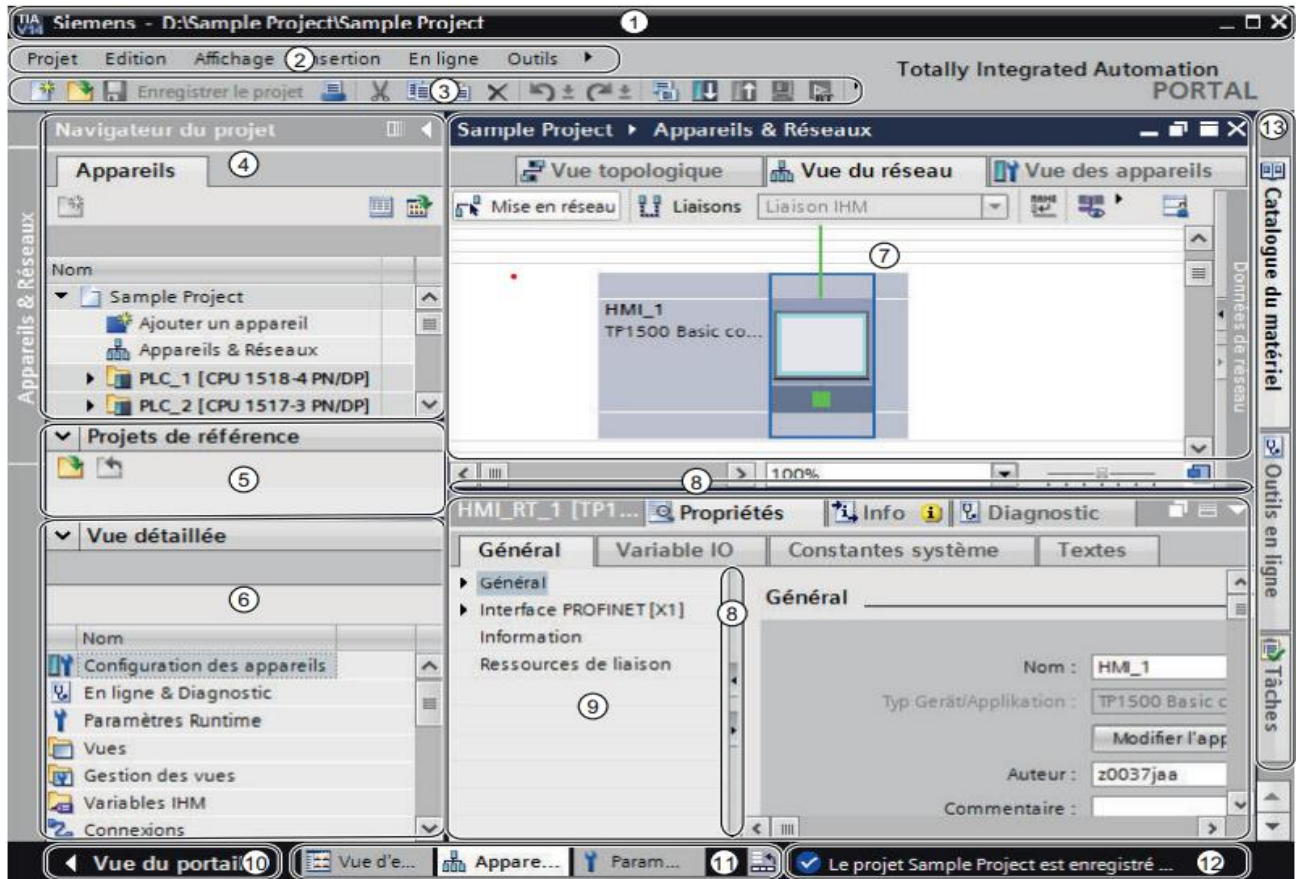


Figure 32: Vue du projet

- | | |
|------------------------|--|
| ① Barre de titre | ⑧ Barre de fractionnement |
| ② Barre des menus | ⑨ Fenêtre d'inspection |
| ③ Barre d'outils | ⑩ Basculer à la vue du portail |
| ④ Navigateur du projet | ⑪ Barre des éditeurs |
| ⑤ Projets de référence | ⑫ Barre d'état avec affichage de progression |
| ⑥ Vue détaillée | ⑬ Task Cards |
| ⑦ Zone de travail | |

3.3 Création et configuration

3.3.1 Création de projet

Pour créer un projet dans la vue du portail, on doit sélectionner l'action (create new project), on peut nommer le projet, choisir le chemin à enregistrer, signaler des commentaires ou redéfinir l'auteur du projet. Après avoir entré ces informations, on clique simplement sur le bouton (Create).

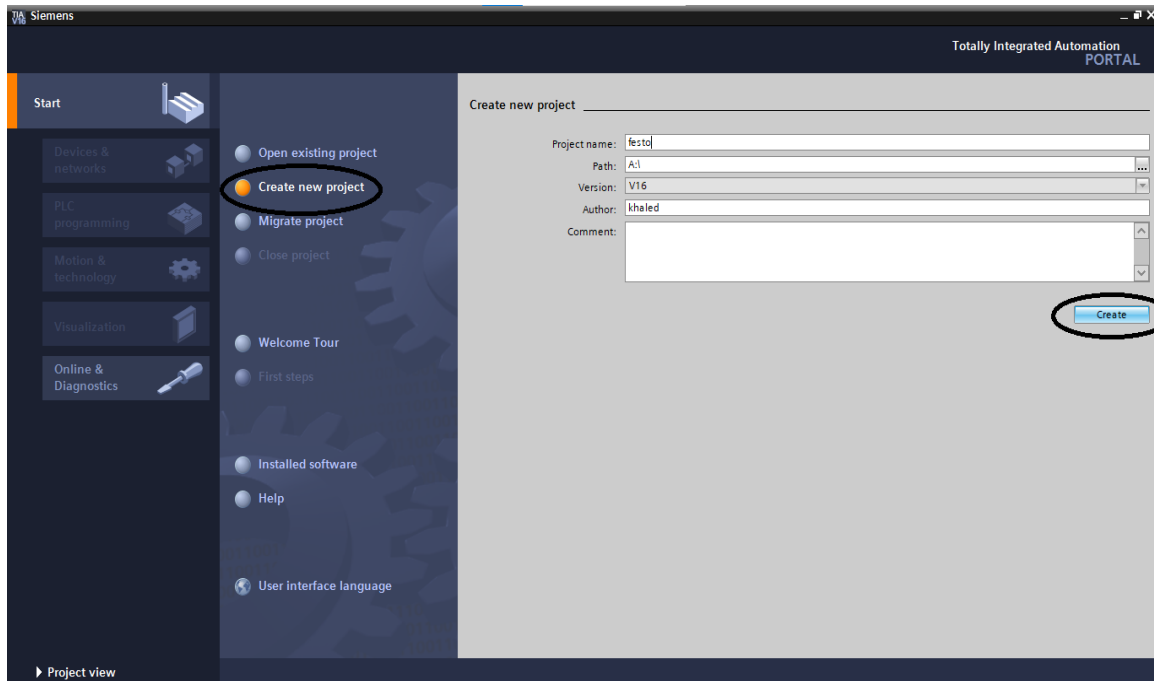
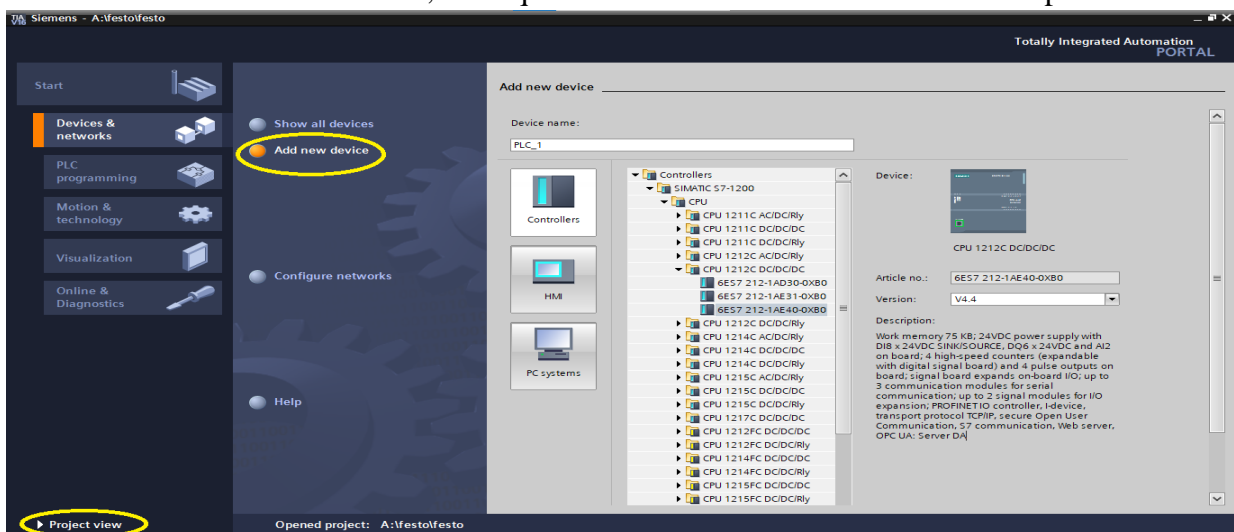


Figure 33: Création de projet

3.3.2 Configuration et paramétrage de l'appareil

Une fois le projet créé, le poste de travail peut être configuré. La première étape consiste à définir le matériel existant. Pour ce faire, on clique sur "add new device" dans le Vue du portail. Une liste



d'éléments pouvant être ajoutés (API, IHM, système PC) apparaît. On va commencer par sélectionner notre CPU puis ajouter d'autres modules.

Figure 34: Paramétrage du matériel en vue portail

On peut utiliser le catalogue dans vue de projet pour ajouter des modules complémentaires d'API. Si on peut ajouter des écrans ou d'autres API, on doit utiliser la commande " add new device " dans le navigateur du projet.

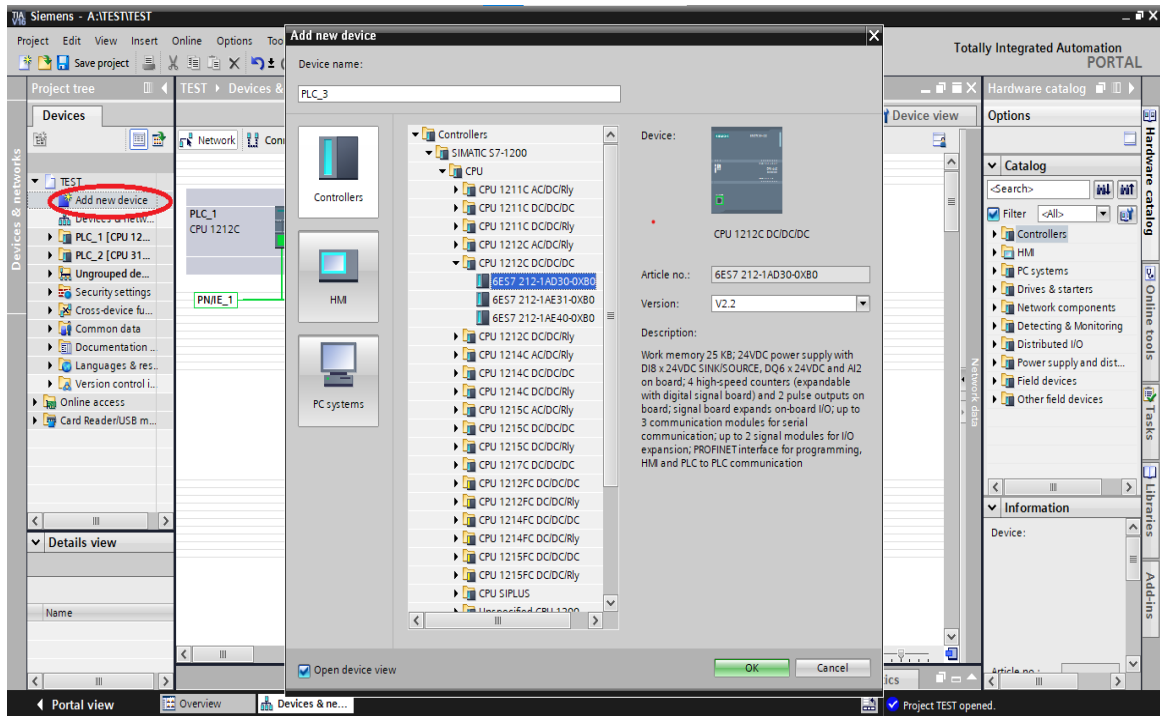


Figure 35: Paramétrage du matériel en vue projet

3.3.3 Adressage des E/S

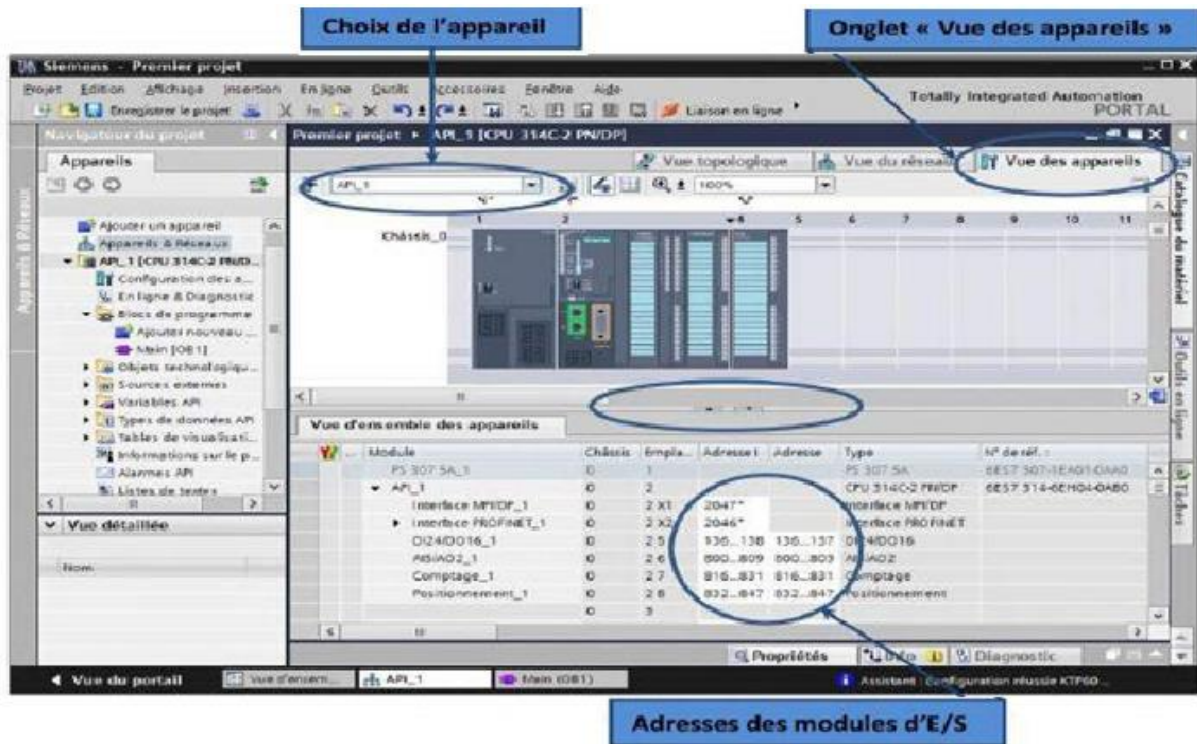


Figure 36: Adressage des E/S

Pour trouver l'adressage des entrées et des sorties présentes dans la configuration matérielle, clique sur "Devices & Network" dans le navigateur du projet. Dans la fenêtre de travail, vérifie que tu sois dans l'onglet "Deviceview" et sélectionne le dispositif désiré.

3.3.3.1 Adresse Ethernet de la CPU

Toujours dans les propriétés de l'unité centrale, il est possible de définir son adresse Ethernet. Un double-clic sur le connecteur Ethernet de la station fait apparaître la fenêtre d'inspection permettant de définir ses propriétés. Pour établir une connexion entre l'unité centrale et la console de programmation, il faut attribuer aux deux appareils des adresses appartenant au même réseau. L'adresse utilisée pour l'automate est 192.168.2.no.de l'automate.

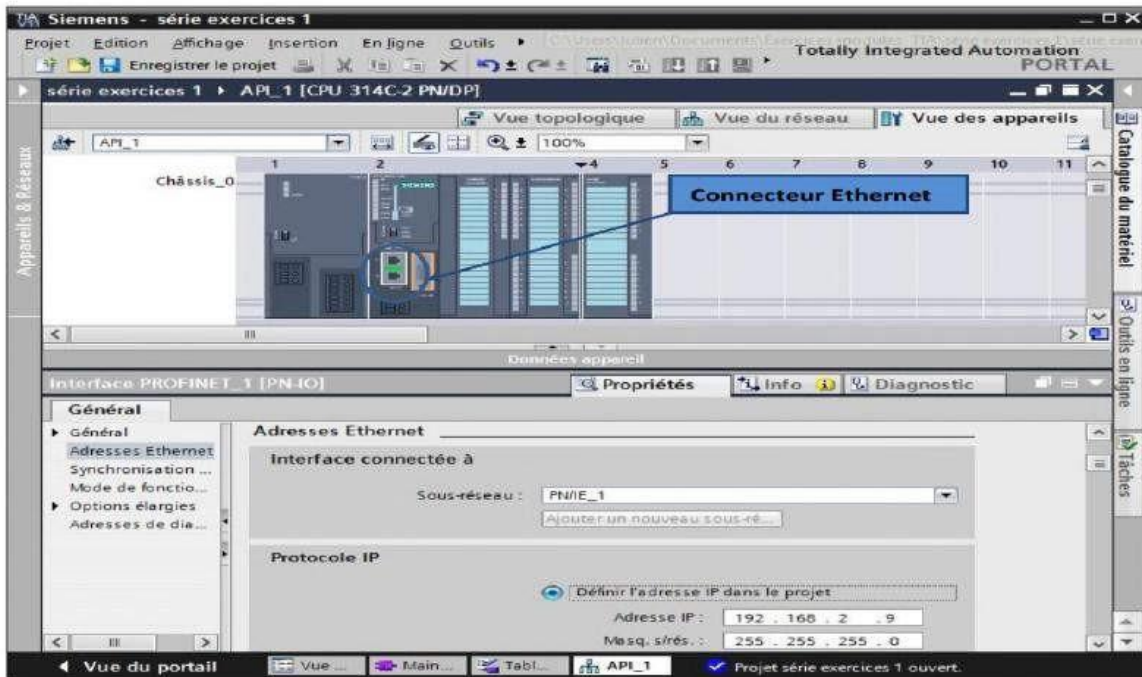


Figure 37: Adresse Ethernet

3.4 Compilation et chargement de la configuration matérielle

Une fois que la configuration matérielle a été créée, elle doit être compilée et chargée dans l'automate. La compilation se fait à l'aide de l'icône « **compile** » dans la barre des tâches. On sélectionne l'automate dans le projet puis on clique sur l'icône "compiler".

Pour charger la configuration dans l'automate, on clique sur l'icône « **charger dans l'appareil** ». La fenêtre ci-dessous s'ouvre et on doit choisir le mode de connexion (PN/IE, Profibus, MPI). Si on choisit le mode PN/IE, l'automate doit avoir une adresse IP.

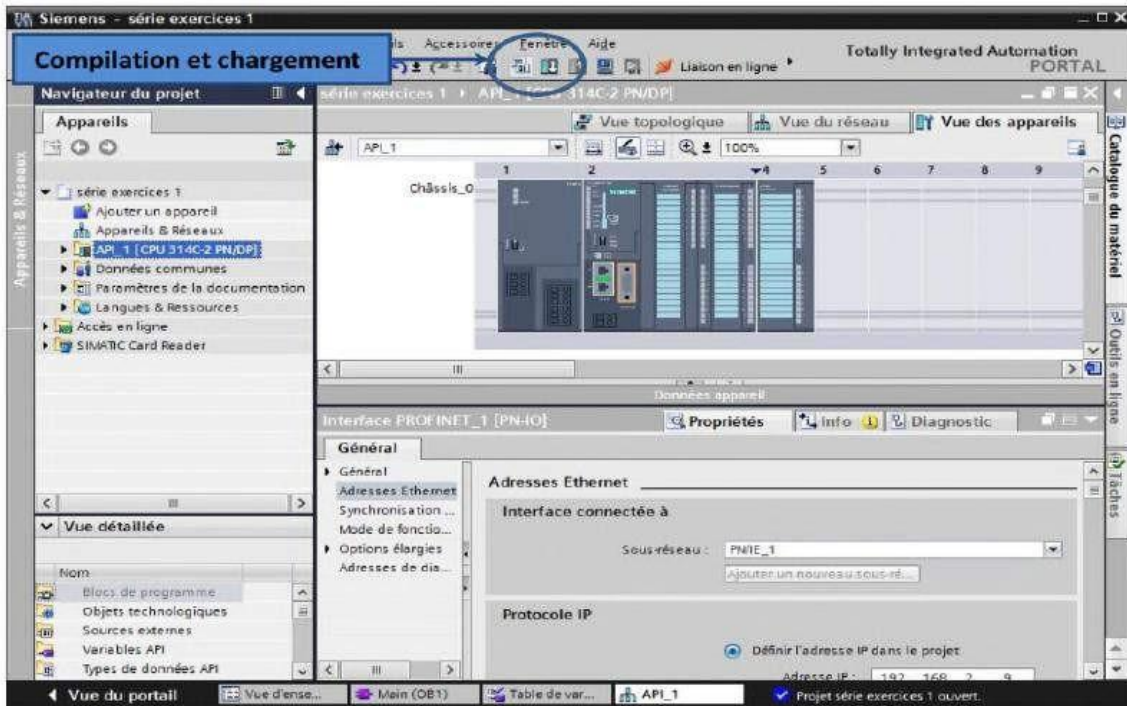


Figure 38: Compilation et chargement

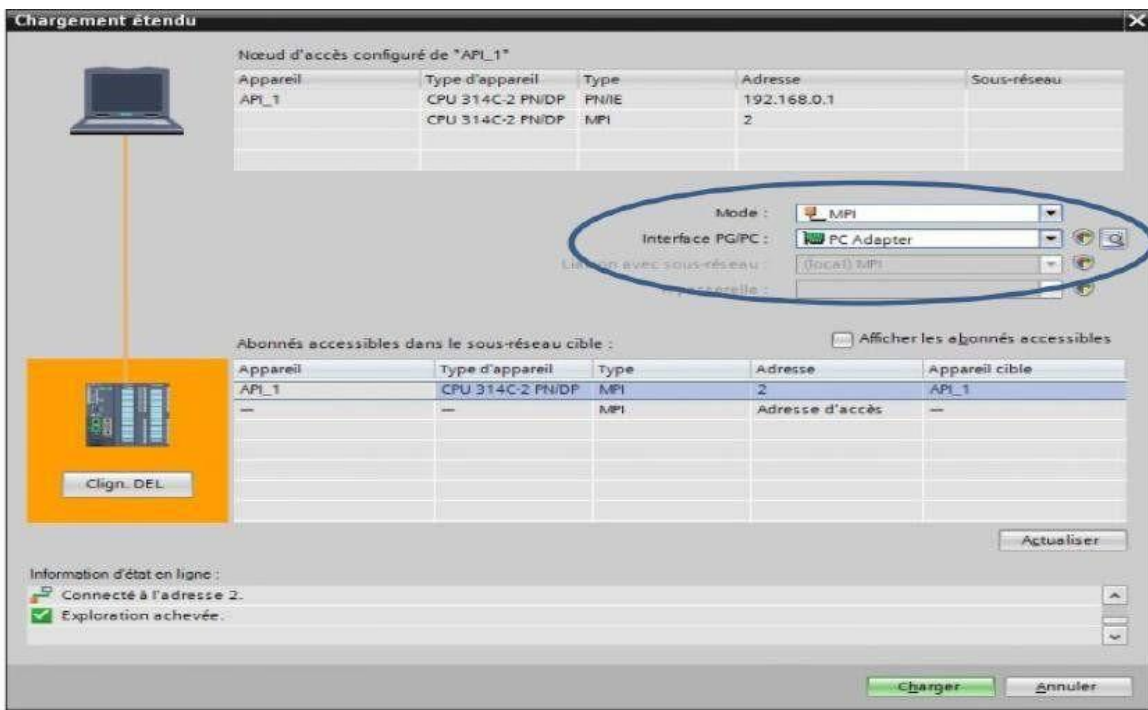


Figure 39: Connexion API

3.4.1 Les variables API

Adresse symbolique et absolue Dans TIA Portal, toutes les variables globales (entrées, sorties, mémentos...) possèdent une adresse symbolique et une adresse absolue.

L'**adresse absolue** représente l'identificateur d'opérande, son adresse et son numéro de bit.

L'adresse symbolique correspond au nom que l'utilisateur a donné à la variable

Le lien entre les adresses symbolique et absolue se fait dans la **table des variables API**. Lors de la programmation, on peut choisir d'afficher les adresses absolues, symboliques ou encore les deux simultanément.

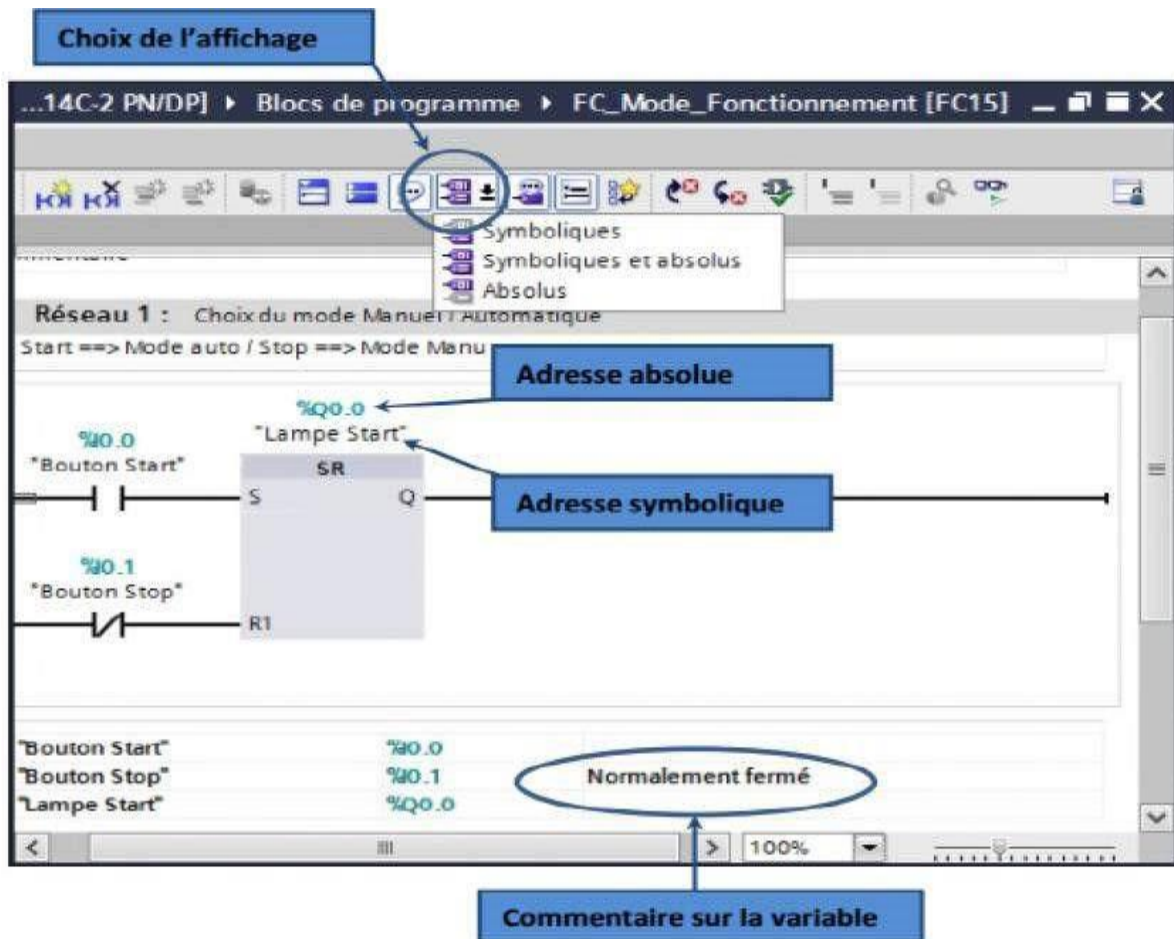


Figure 40: Adresse et les tags

3.4.2 Table des variables API

C'est dans la table des variables API que l'on va pouvoir déclarer toutes les variables et les constantes utilisées dans le programme. Lorsque l'on définit une variable API, il faut définir :

Un nom : c'est l'adressage symbolique de la variable.

Le type de donnée : BOOL, INT,

L'adresse absolue : par exemple Q1.5

On peut également insérer un commentaire qui nous renseigne sur cette variable.

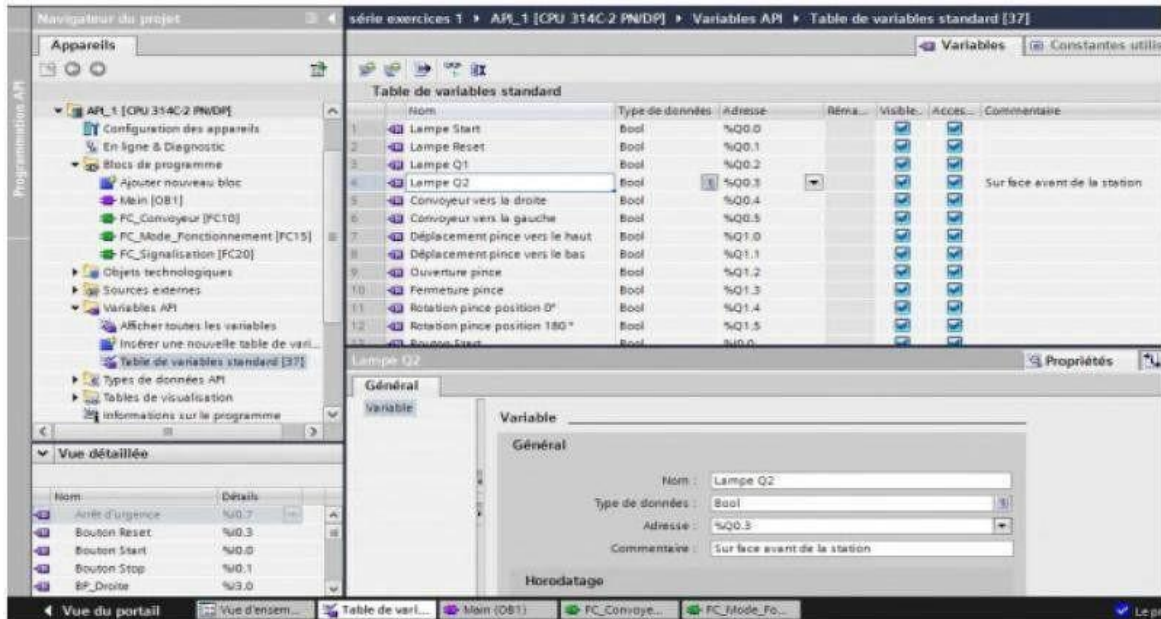


Figure 41: Table des variables API

3.5 Langage de programmation

- Texte structuré (SCL),
- Liste d'instruction (LIST),
- Schéma à contacts (CONT)
- Logigramme (LOG) sont disponibles pour tous les automates

3.5.1 CONT et LOG – Langages de programmation graphique

LOG : Le logigramme (LOG) est un langage de programmation graphique qui utilise les boîtes de l'algèbre de Boole pour représenter les opérations logiques. Les fonctions complexes, comme par exemple les fonctions mathématiques, peuvent être représentées directement combinées avec les boîtes logiques.

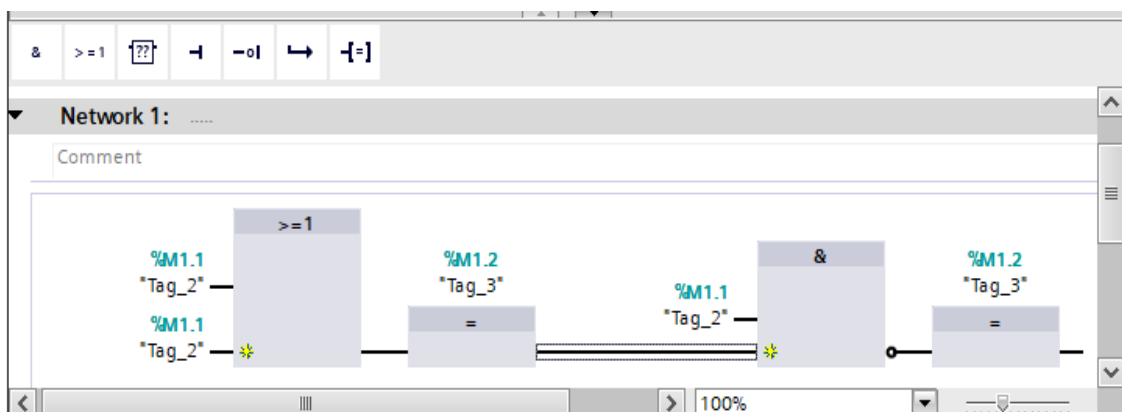


Figure 42: Présentation d'un schéma logique (LOG)

CONT (Ladder) Le langage Ladder où schéma à contacts est un langage de programmation graphique très populaire auprès des automaticiens, Il ressemble un peu aux schémas électriques, et est facilement compréhensible. Il existe 3 types d'éléments de langage :

Les entrées (ou contact) qui permettent de lire la valeur d'une variable booléenne.

Les sorties (ou bobines) qui permettent d'écrire la valeur d'une variable booléenne.

Les blocs fonctionnels qui permettent de réaliser des fonctions avancées,

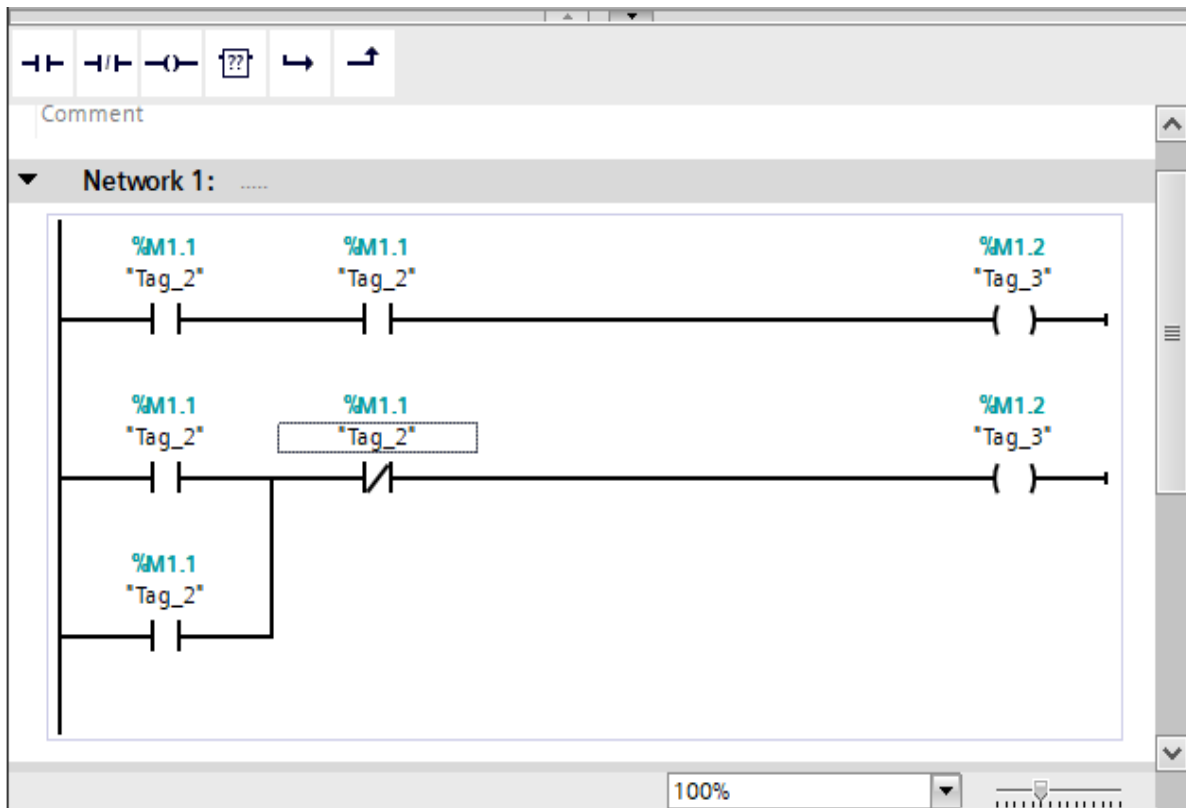


Figure 43: Présentation d'un schéma à contacte(CONT)

3.5.2 LIST – Liste d'instructions

Le langage IL (instruction list) est un langage textuel de bas niveau avec une instruction par ligne. Il est particulièrement adapté aux petites applications. Les instructions s'exécutent toujours sur un résultat courant (ou registre IL). L'opérateur indique le type d'opération à effectuer entre le résultat courant et l'opérande. Le résultat de l'opération est stocké à son tour dans le résultat courant.

3.5.3 SCL (Structured Control Language) – Programmation d'algorithmes complexes

Le Structured Control Language (SCL) correspond au langage textuel de haut niveau ST (StructuredText) défini dans la norme CEI 61131-3.

SCL convient notamment à la programmation rapide d'algorithmes complexes et de fonctions mathématiques ou à des missions augmentant du domaine du traitement des données.

3.6 Blocs de programme

L'automate met à disposition différents types de blocs qui contiennent le programme et les données correspondantes. Selon les exigences et la complexité du processus, il est possible de structurer le programme en différents blocs : OB, FB et FC.

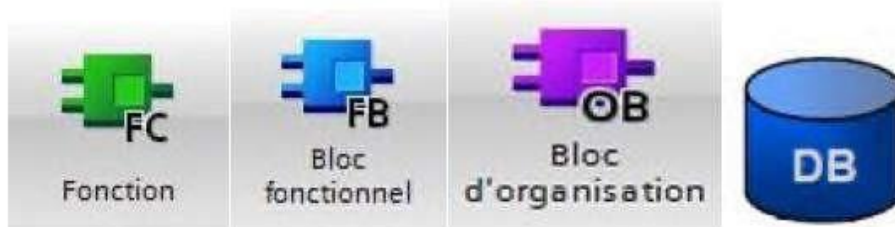


Figure 44: Présentation des blocs d'un schéma à contacte(CONT)

3.6.1 Les blocs d'organisation – OB

Sont appelés par le système d'exploitation en liaison avec les événements suivants : Comportement au démarrage. Exécution cyclique du programme. Exécution du programme déclenchée par des alarmes (cyclique, processus, diagnostic, ...). Traitement des erreurs.

Pour que le traitement du programme démarre, le projet doit posséder au moins un OB cyclique.

3.6.2 Les fonctions – FC sont des blocs de code sans mémoire

Les données des variables temporaires sont perdues après l'exécution de la fonction. Si on veut mémoriser ces données, il faut utiliser des opérandes globaux. Elles sont utilisées pour la programmation de fonctions utilisées plusieurs fois. On simplifie de ce fait la programmation.

3.6.3 Les blocs fonctionnels – FB

Sont des blocs de code qui mémorisent durablement leurs paramètres d'entrée, de sortie et d'entrée/sortie dans des blocs de données d'instance afin qu'il soit possible d'y accéder même après le traitement de blocs.

3.6.4 Les blocs de données (DB)

Sont des zones données du programme utilisateur qui contiennent des données utilisateur.

3.6.5 Mémentos

Des mémentos sont utilisés pour l'opération interne de l'automate pour lesquelles l'émission d'un signal n'est pas nécessaire. Les mémentos sont des éléments électroniques bistables servant à mémoriser les états logiques "0" et "1". Chaque automate programmable dispose d'une grande quantité de mémentos. On programme ces derniers comme des sorties.

3.7 WINCC sur TIA PORTAL

Win CC, intégré au TIA Portal est le logiciel pour toutes les applications IHM – des simples solutions de commande par Basic Panels aux visualisations de processus sur systèmes multipostes à base de PC.

Le SIMATIC Win CC dans le TIA Portal fait partie d'un nouveau concept d'ingénierie intégré qui offre un environnement d'ingénierie homogène pour la programmation et la configuration de solutions de commande, de visualisation et d'entraînement.

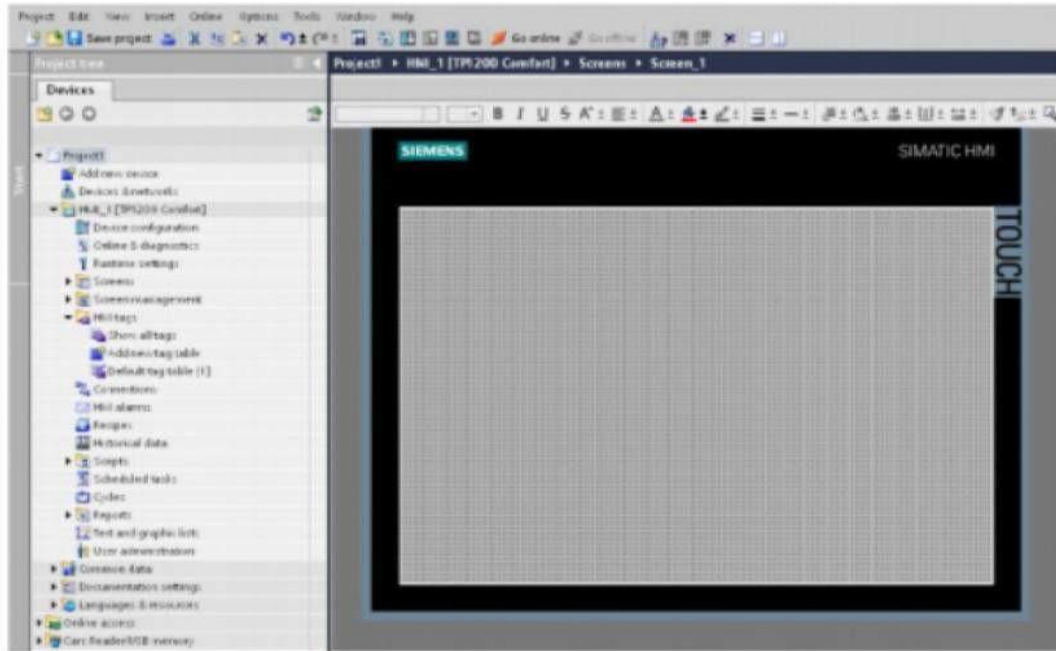


Figure 45: Vue de WINCC

Conclusion

Pour notre programmation nous avons choisi une CPU S7 1500, c'est la dernière génération de la gamme siemens. Nous avons utilisé des modules d'entrée/sortie numérique et analogique, une alimentation, un mode de connexion PROFINET, un langage de programmation graphique (CONT), un IHM Basic panel et nous avons exploité plusieurs blocs avec différentes variables.

Chapitre 4 : Description de la maquette FESTO

Introduction

La station PCS a été développée par FESTO, dans le but de réaliser des applications. Le système automatisé FESTO vise à répondre à certaines exigences de formation professionnelle et les matériaux utilisés pour la fabrication du poste de travail pédagogique Industrie.

Dans ce chapitre, on a essayé d'abord d'étudier le site d'un point de vue instruments, c'est-à-dire divers capteurs et actionneurs utilisés.

4.1 Présentation du système didactique du contrôle de processus FESTO

Le système d'apprentissage didactique pour l'automatisation FESTO est 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.

Le système d'apprentissage didactique pour l'automatisation FESTO est divisé en quatre parties principales:

- Composants de contrôle (automate programmable industriel SIEMENS S7-300).
- Le terminal d'entrées / sorties analogique.
- Le terminal de conversion des signaux analogique.
- L'installation contient différents systèmes de contrôle.

Dans ce qui suit, on va faire une description des éléments constituant la maquette didactique FESTO.

Le terminal analogique d'Entrées/Sorties permet de relier les instruments et l'API. Avant d'être reliés au terminal analogique d'E/S, les différents capteurs et actionneurs passent d'abord par le terminal de conversion des signaux analogiques. Ce dernier est constitué de plusieurs types de convertisseurs analogiques, qui permettent de convertir les signaux envoyés par les différents capteurs analogiques constituant l'installation en signaux standard 0...10V et de transformer les signaux analogiques envoyés par l'API vers les éléments de contrôles en signaux standards (0...24V) ou (0...10V)

L'installation combine quatre systèmes en boucle fermée:

- Système de contrôle de niveau.
- Système de contrôle de débit.
- Système de contrôle de pression.
- Système de contrôle de température.

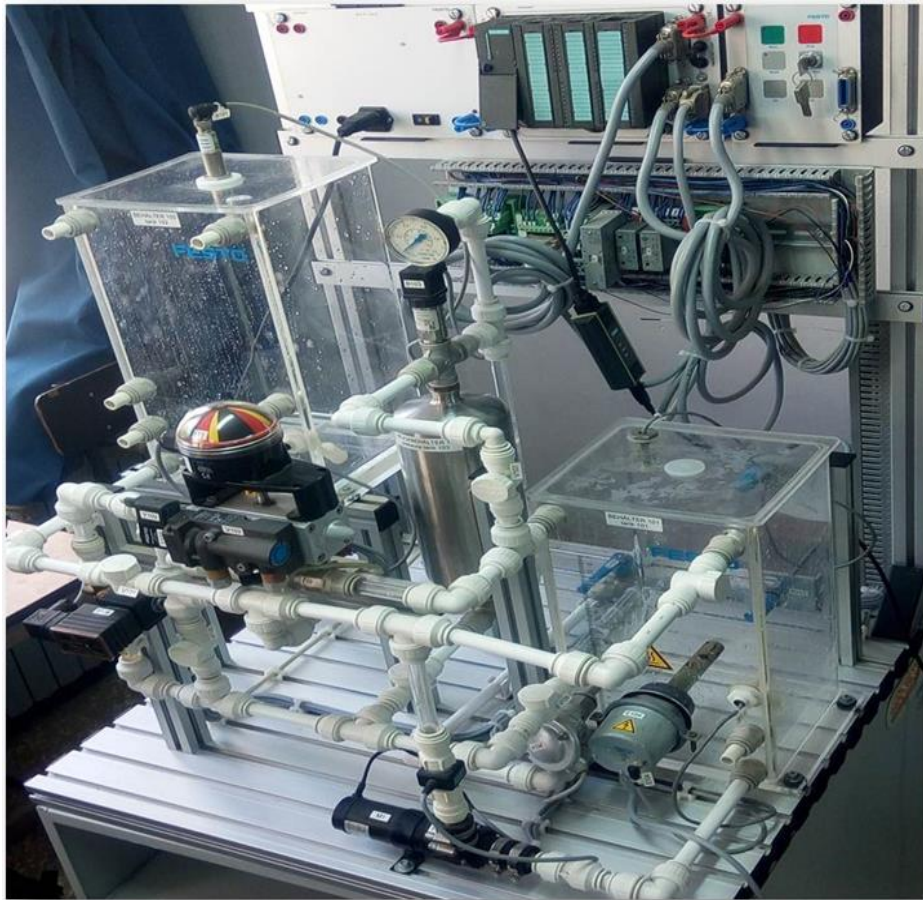


Figure 46:Maquette didactique FESTO

Les tableaux suivants résument les caractéristiques techniques de l'installation :

Tableau 3: Caractéristiques techniques de l'installation

| | |
|----------------------------------|------------------|
| Pression opérationnelle maximale | 50 kPa (0,5 bar) |
| Alimentation | 24 VDC |
| Support | 700 × 700 × 32mm |
| Débit maximal de la pompe | 10L/min |
| Volume des réservoirs | 12Lmax |
| Canalisations flexibles | DN15 (a 15mm) |
| Entrées binaires | 7 |
| Sorties binaires | 5 |
| Entrées analogiques | 4 |
| Sorties analogiques | 2 |
| Nombre de réservoirs | 3 |

Tableau 4: Instrument de control

| | |
|--------------------------------------|------------------------|
| Pompe (0...24 VDC) | 0...10V |
| Vanne proportionnelle 2/2 voies | 0...10V |
| Elément chauffant (230VAC, 1000Watt) | ON/OFF (relai d 24VDC) |

Systèmes en boucle fermée:

Tableau 5: Système de contrôle de niveau

| | |
|---|-------------|
| Plages des valeurs du système de contrôle de niveau | 3...350 mm |
| Echelle de mesure du capteur de niveau | 50...300 mm |
| Type de signal transmis par le capteur de niveau | 4...20 mA |

Tableau 6: Système de contrôle de débit

| | |
|--|--------------|
| Plages des valeurs du système de contrôle de débit | 0...7 L/min |
| Echelle de mesure du capteur de débit | 0.3...9L/min |
| Type de signal transmis par le capteur de débit | 0...1200Hz |

Tableau 7: Système de contrôle de pression

| | |
|---|-------------|
| Plages des valeurs du système de contrôle de pression | 0...0.4 bar |
| Echelle de mesure du capteur de pression | 0...0.1 bar |
| Type de signal transmis par le capteur de pression | 0...10V |

Tableau 8: Système de contrôle de température

| | |
|--|------------------|
| Plages des valeurs du système de contrôle de température | 0...60° C |
| Echelle de mesure du capteur de température | -50°C...+ 150°C |
| Type de signal transmis par le capteur de température | Résistance PT100 |

Le schéma récapitulatif résume les instruments des boucles de contrôle comme ce qui suit :

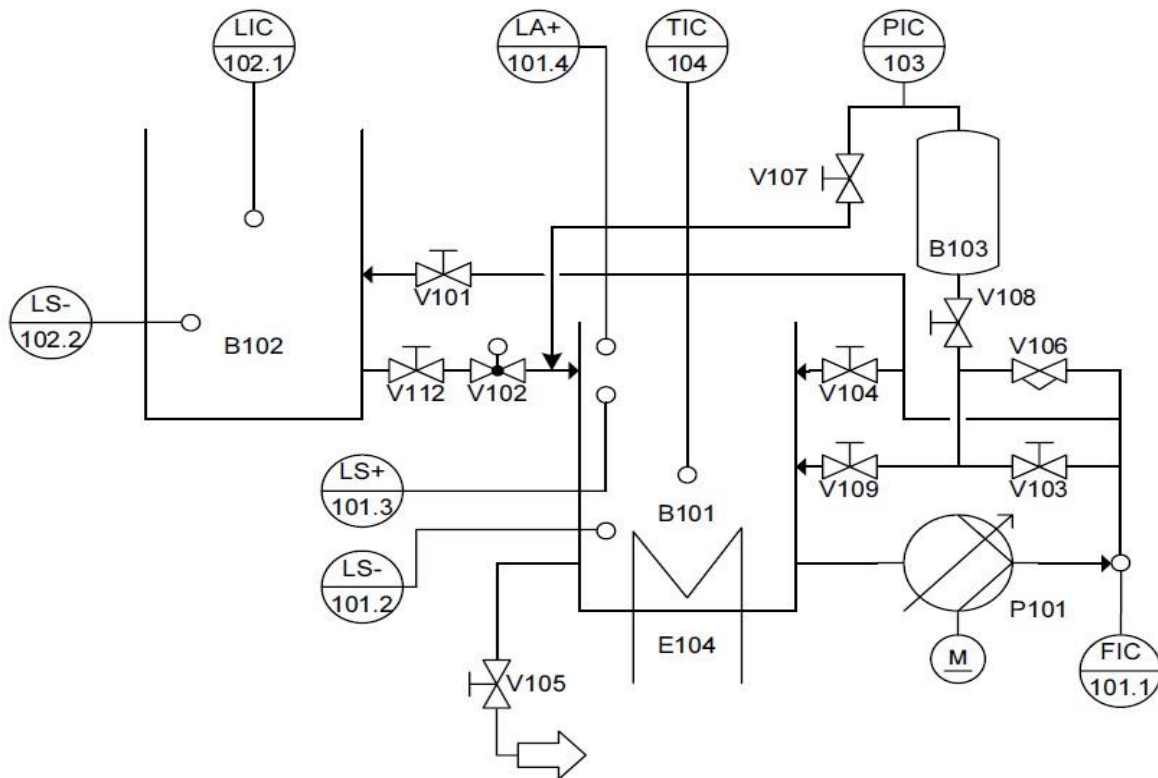


Figure 47: Schéma synoptique des boucles de système

Les éléments de base qui composent la maquette didactique sont les suivants:

- Capteur de niveau ultrasonique (LIC102.1).
- Capteur de débit fréquentiel (FIC101.1)
- Capteur de pression piézo-résistif (PIC 103).
- Jauge de pression 0...1bar.
- Capteur de température de type PT100 (TIC104).
- Deux détecteurs de proximité capacitifs dans le réservoir du bas B101 (LS- 101.2, LS+101.3).
- Un flotteur électromécanique de seuil dans le réservoir du haut (LS-102.2).
- Un flotteur anti-débordement dans le réservoir du bas (LA+101.4).
- Pompe centrifuge (P101).
- Moteur de contrôle pour la pompe (M1).
- Vanne proportionnelle avec un module de contrôle électronique (V106).
- Système de chauffage avec un relai de contrôle intégré (E104).
- Processus de vanne à bille avec un entrainement rotatif pneumatique type (SYPAR) (V102).
- Un terminal Entrées/Sorties.
- Un terminal pour les signaux analogiques.
- Convertisseurs de signaux : courant/tension, fréquence/tension, PT100/tension.
- Automate programmable industriel.

- Panneau de contrôle.
- Canalisations.
- Réservoir de pression (B103).
- Vannes manuelles.
- Robinet de vidange (V105).
- Unité de service pneumatique.
- Support de montage

La fonction de chaque système en boucle fermée provient d'une combinaison spécifique de toutes les vannes manuelles, la programmation et la configuration système contrôlé.

Dans la suite, on va découvrir les différentes connexions entre l'automate programmable SIMENS S7-300, et les différents instruments présents dans l'installation.

- **Connexion API / poste de travail** : la fiche numérique XMA1 de l'API (1 / A) a été connecté à la prise du terminal d'E/S du poste de travail à l'aide d'un câble Sys Link. La Prise analogique (1 / C) de l'API avec X2 du terminal de conversion de signal analogique du poste de travail, à l'aide d'un câble analogique.
- **Connexion API / Panneau de configuration** : La prise de l'API XMG (1 / B) a été connecté X1 à partir du panneau de commande en utilisant un câble Sys Link.
- **Connexion API / source d'alimentation**: la prise d'alimentation de l'API est connectée à l'appareil d'alimentation avec câbles de sécurité bleus et rouges (4 mm).
- **Connexion API / PC**: le PC est connecté à l'API via un câble de programmation MPI.

La figure suivante montre avec précision toutes ces connexions

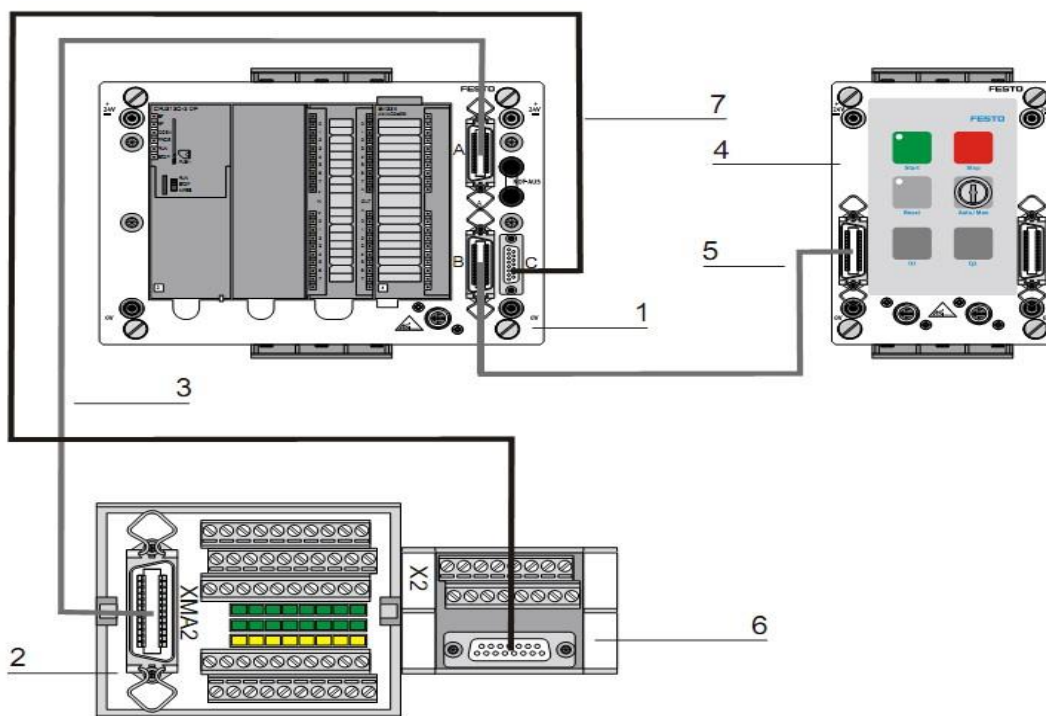


Figure 48: Schéma de connexion API/Panneau de contrôle/Terminal analogique

- 1 : Automate programmable industriel.
- 2 : Terminal E/S.
- 3 et 5 : Câble Sys Link.
- 4 : Panneau de contrôle.
- 6 : Terminal de conversion des signaux analogique.
- 7 : Câble analogique.

4.2 La conception et le fonctionnement des différents systèmes qui compose l'installation

4.2.1 Les actionneurs

4.2.1.1 Pompe



Figure 49: Pompe centrifuge

La pompe centrifuge P101 est un élément de commande commun (actionneur) pour toutes les modes boucles de contrôle. Il est utilisé pour transporter le fluide (eau) du réservoir d'eau inférieur B101, à travers différents systèmes de tuyauterie. La pompe ne doit en aucun cas tourner au ralenti. Et aussi, avant tout démarrage toutes les conduites y menant doivent être remplies d'eau (voir **Figure 4.4**).

La pompe est entraînée par un moteur de contrôle A4 et un relais K1 connecté comme sortie binaire de l'API (O2 dans XMA1) permet de sélectionner le mode de fonctionnement de la pompe.

Si la sortie O2 est réglée en 1, la sortie binaire supplémentaire (O3 dans XMA1) autorise le fonctionnement de la pompe en mode « tout ou rien », la pompe fonctionne à la vitesse maximale.

Si la sortie O2 est maintenant réglée en 0, la sortie analogique CHANEL 0 (UA1 de X2) permet déréglé la vitesse de la pompe sous la forme de tension 0 / 10V.

4.2.1.2 Processus de la vanne à bille

Le composant V102 qui a pour fonction de contrôler l'écoulement du fluide du réservoir haut(B102) vers le bas (B101), représente une vanne à bille actionnée par un processus d'entraînement pneumatique.



Figure 50: Processus de la vanne à bille

1. Vanne en cuivre
2. V101, Y102 : Electrovanne 5/2
3. Actionneur quart de tour
4. S115/S116 : Indicateur de position

Le dispositif de commande comprend une vanne en cuivre, qui ouvre/ferme par un actionneur quart de tour à double effet de type SYPAR, commandé par distributeur (5/2) voies, type NAMUR (2/3). L'indicateur de position comprend deux micro-interrupteurs électroniques avec levier à roulements, ces deux derniers transmettent des signaux 24VDC (S115, S116) vers le terminal E/S XMA1

4.2.1.3 Eléments de contrôle de niveau tout ou rien

Il existe trois types de surveillance de niveau dans l'installation :

- Flotteur de sécurité anti-débordement. (Réservoir B101)
- Bouée utilisée pour détecter le seuil de remplissage. (Réservoir B101, B102)
- Détecteur de proximité capacitif

4.2.2 Capteurs tout ou rien

4.2.2.1 Détecteur de proximité capacitif

Les capteurs de proximité B113 et B114 sont fixés sur la carte derrière la paroi extérieure. En position réservoir (B101), leurs positions sont réglables mécaniquement. Ils fournissent un signal 24V et se connectent à la borne E / S.

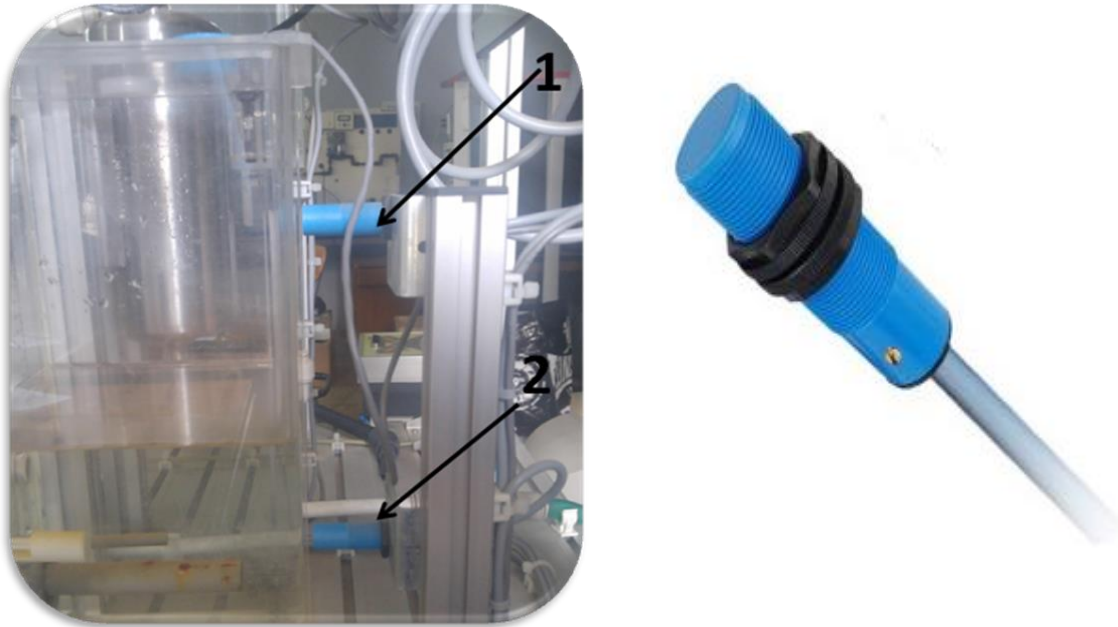


Figure 51: Détecteurs de proximité capacitifs

Le détecteur de proximité du réservoir B101 garantit le plus petit volume de ravitaillement Pour que la résistance chauffante soit complètement immergée dans le fluide, de sorte que Protection. Celui du haut définit le niveau maximal du même réservoir. Après chaque RESET du système les deux détecteurs doivent être activés.

4.2.2.2 Flotteur de sécurité anti-débordement

Le débordement du réservoir d'eau B101 est surveillé par le flotteur S111. Si le niveau d'eau est élevé lorsque le niveau d'eau maximum est dépassé, le cylindre transparent qui constitue le flotteur sera poussé vers le haut et l'aimant dans le cylindre établit un contact électrique.

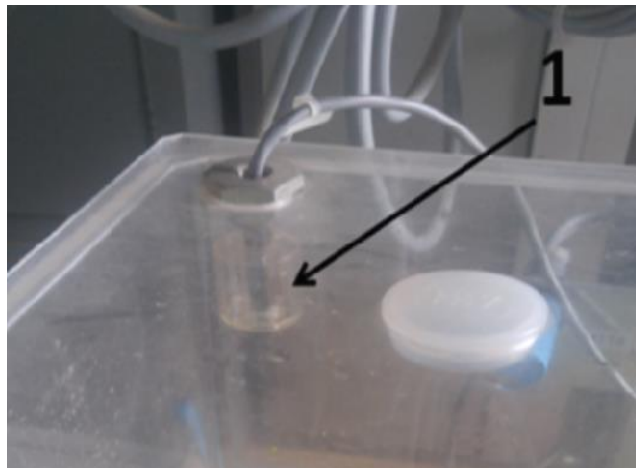


Figure 52: Flotteur de sécurité anti-débordement

Le signal binaire 24 V généré par le flotteur S111 est transmis (normalement ouvert) au borne d'E/S XMA1. Cette entrée peut activer l'alarme dans le programme inclus dans l'API, et cela affecte directement l'arrêt de la pompe P101 ou la fermeture de la vanne V102. La bouée est utilisée pour détecter le seuil de remplissage

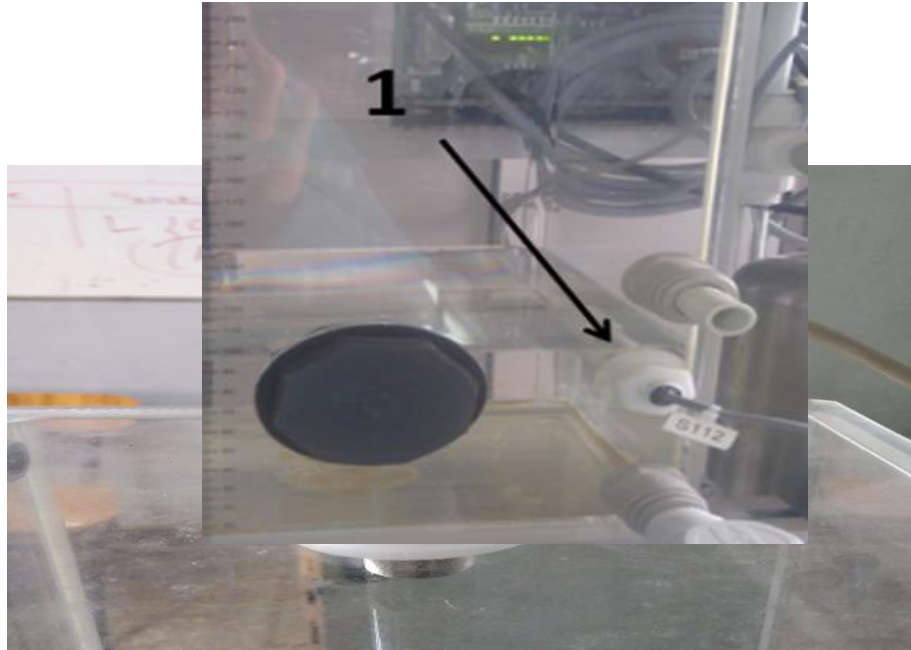


Figure 53: Flotteurs pour la détection des seuils de remplissage

Le flotteur S112 (1) peut être utilisé comme méthode pour contrôler le niveau d'eau Case B102, ou si le niveau d'eau est égal à, on arrête l'action de chauffage de l'eau critique.

Le signal binaire 24V généré par le flotteur (normalement fermé) est transmis à l'entrée dans la borne d'E / S XMA1

4.2.3 Capteurs analogiques :

4.2.3.1 Capteur de niveau de liquide à ultrasons

La fonction du système de contrôle du niveau d'eau est d'ajuster le niveau de remplissage du réservoir B102. Le niveau de liquide dans le réservoir B102 est surveillé à l'aide de capteurs à ultrasons.

Figure 54: Capteur de niveau ultrasonique

Le signal analogique transmis par le capteur à ultrasons est sous forme de courant (4- 20 ma), on passe d'abord le convertisseur courant / tension, puis on transmet au CANAL 0 du canal borne E / S X2 (UE1).

4.2.3.2 Le capteur de débit



Figure 55: Capteur de débit

Le débit de l'écoulement du fluide à travers le système de canalisations est déterminé par le moyen d'un capteur optoélectronique B102 le signal carré transmis par le capteur sous forme d'une onde modulée en fréquence peut soit être connecté directement avec une entrée binaire dans le terminal E/S XMA1, soit connecté au terminal analogique X2 (UE2) après avoir été traité par un convertisseur fréquence/tension.

4.2.3.3 Capteur de pression



Figure 56: Capteur de pression

La pression du fluide circulant dans le système de tuyauterie qui alimente le réservoir pré rempli de gaz comprimé (air) B103, qui peut être mesuré avec un capteur de pression relative "Piézorésistif". Le signal envoyé par ce dernier est directement connecté à la borne analogique X2 (UE3).

4.2.3.4 Capteur de température

L'eau stockée dans le réservoir d'eau B101 est chauffée par l'échangeur de chaleur E104, en utilisant la pompe P101 pour recirculer dans le système de tuyauterie. Le capteur de température PT100 est utilisé pour mesurer la température du système.



Figure 57: Capteur de température

La résistance du capteur de température est connectée au convertisseur PT100/tensions avant la connexion à la borne analogique X2 (UE4), pour l'échangeur de chaleur être contrôlé par sortie binaire (O1 dans XMA1).

4.2.4 Boucle de régulation sur le modèle

Il y a plusieurs types de dispositions pour une installation simple ou en cascade.

4.2.4.1 Régulation du niveau :

Après avoir effectué la configuration nécessaire, le schéma d'installation devient :

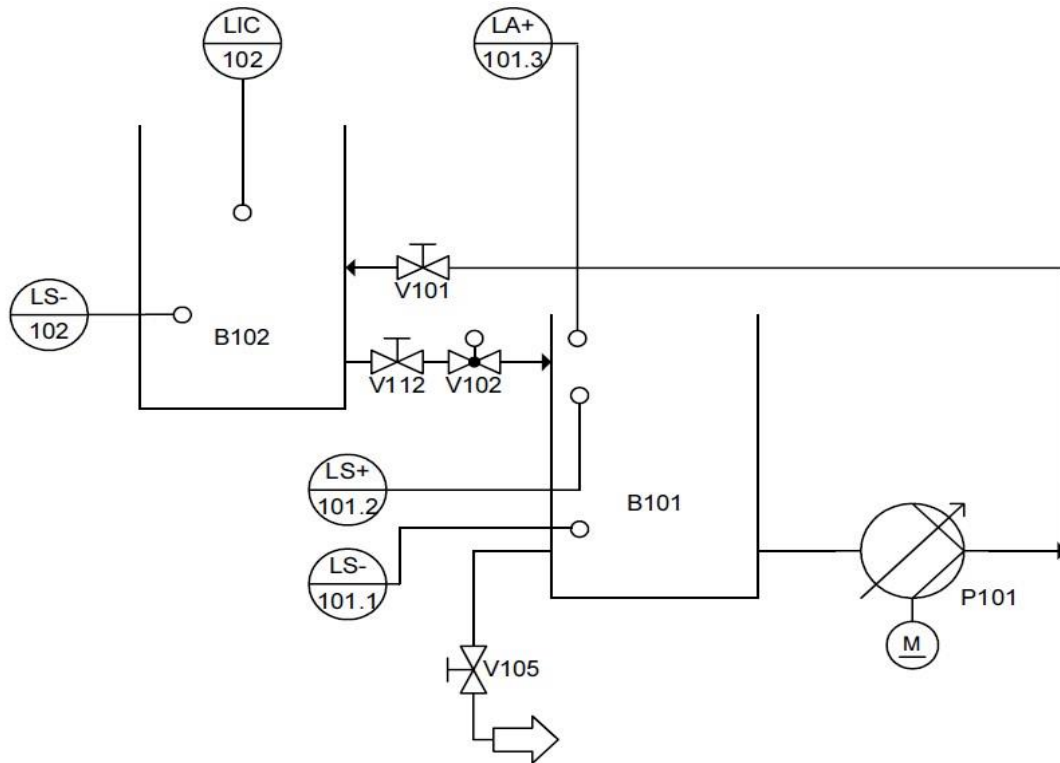


Figure58: Circuit relatif à la régulation de niveau

Pour cette régulation, en plus des informations transmises par le capteur numérique mentionné plus haut, le niveau du réservoir B102 est contrôlé par un capteur analogique au point de mesure (LIC102).

La pompe utilisée en mode analogique refoule l'eau stockée dans le réservoir B101 par le système de tuyauterie jusqu'au réservoir B102.

Le niveau du réservoir B102 doit rester constant, même s'il y a perturbations. L'ouverture et la fermeture de la vanne automatique V102 comme moyen de vidange du réservoir B102 à B101 peut être considérée comme une perturbation. La valeur de niveau de courant mesurée par le

capteur à ultrasons est transmise sous forme de courant (4 ... 20 mA) puis convertie en une tension standard (0 ... 10 V) de la manière suivante :

Le schéma électrique de la boucle de régulation est le suivant :

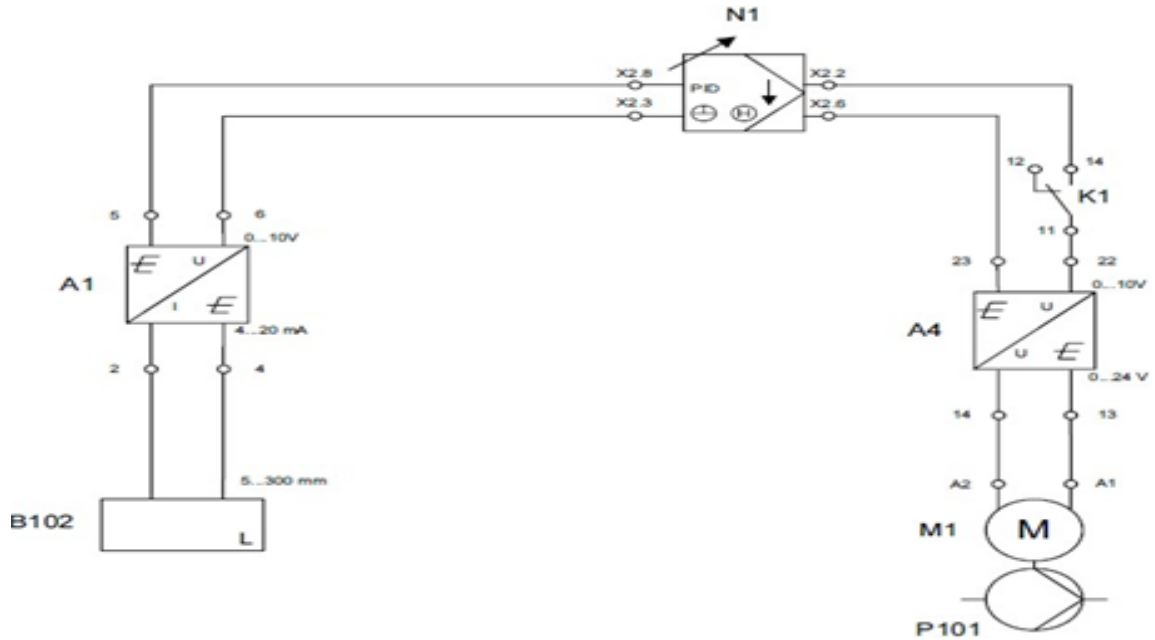


Figure 59: Diagramme électrique de principe de la régulation de niveau analogique

Convertisseur courant/tension (A1), avant d'être reçu par l'automate programmable via le canal 0 de la borne analogique X2. La valeur de consigne (0...10 V) générée par l'automate est transmise au moteur de contrôle (M1) de la pompe via un relai K1 et convertisseur tension/tension (A4). Cela ajuste la tension standard (0 ... 10 V) à une tension de (0 ...24 V).

4.2.4.2 Réglage du débit :

Après avoir effectué la configuration nécessaire, le schéma d'installation devient :

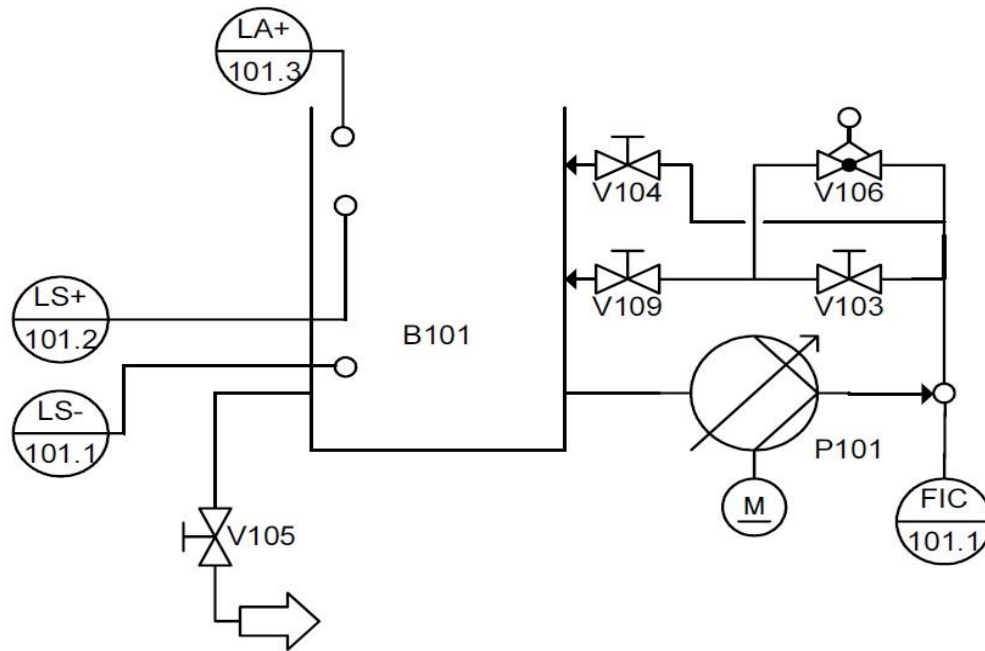


Figure 60: Circuit relatif à la régulation de débit

Le débit de l'eau est transporté par la pompe à travers le système de canalisation par le capteur de débit photoélectrique. On a étudié et contrôlé en continu du débit par la pompe. en effet, le mode pompe utilisé est analogique, pompage de fluide du réservoir B101 à travers un système de tuyauterie pour remplir ensuite le même réservoir d'eau. Le débit doit être maintenu constant et ceci est vrai même en présence de perturbation. Ces perturbations peuvent être l'influence de l'ouverture de la vanne manuelles partielle ou complète.

Le schéma électrique de la boucle de régulation est le suivant :

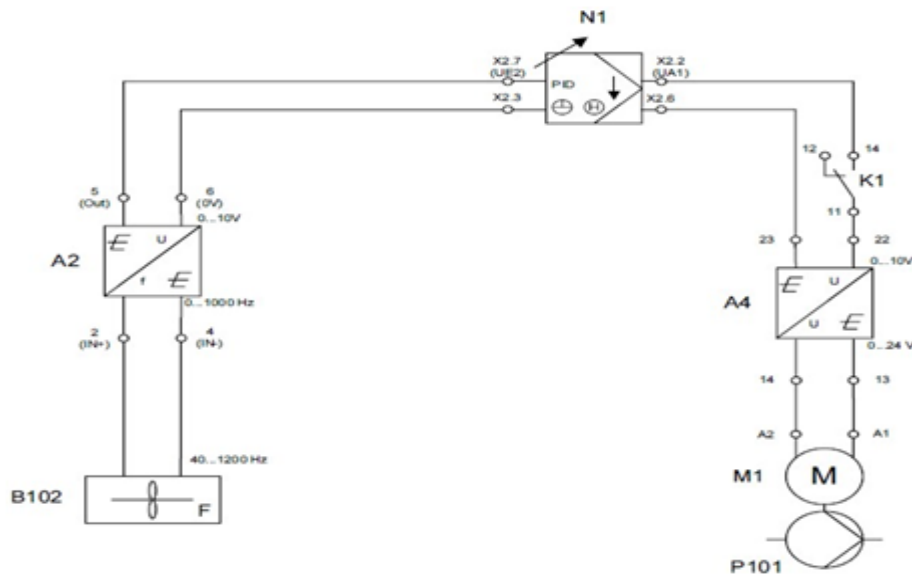


Figure 61: Diagramme électrique de principe de la régulation de débit avec la pompe

La valeur du débit mesurée par le capteur photoélectrique est transmise sous forme d'onde carrée (0...1000Hz) puis convertie en tension standard (0...10V) par convertisseur (A2) fréquence/tension avant réception l'automate passe par le canal UE2 du terminal analogique X2.

La valeur de la commande (0...10V) générée par l'automate est transmise au moteur de commande (M1) de la pompe de la manière suivante via relais K1 et convertisseur tension/tension (A4). Ce dernier permet d'adapter la tension standard (0 ... 10V) à la tension (0... 24V).

4.2.4.3 Régulation de la pression :

La pompe délivre à travers le système de tuyauterie un fluide au réservoir de pression B103 pré charger l'air utilisant la vanne manuelle V107, on pressurise l'air et le comprime calculé par capteur de pression piézorésistif.

Dans la suite, en continu la pression dans le réservoir B103 et étudier le système et on utilise la pompe comme élément de contrôle en continu la pression dans le réservoir B103.

En effet, la pompe utilisée en mode simulation pompe le fluide du réservoir B101 vers le système de tuyauterie menant au réservoir B103. Pression d'air dans le réservoir B103 même s'il y a des interférences, elles doivent rester constantes. Ces perturbations il peut s'agir d'une ouverture partielle ou totale de la vanne manuelle.

Après avoir effectué la configuration nécessaire, le schéma d'installation devient :

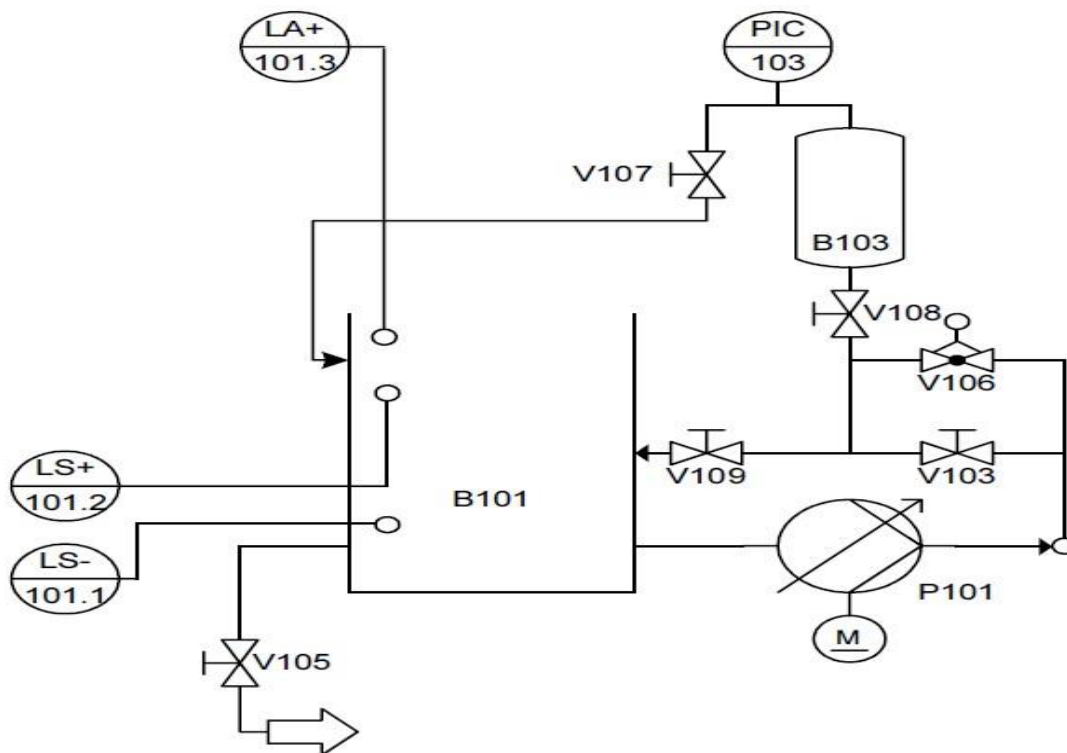


Figure 62: Circuit relatif à régulation de pression avec la pompe

Le schéma électrique de la boucle de régulation est le suivant :

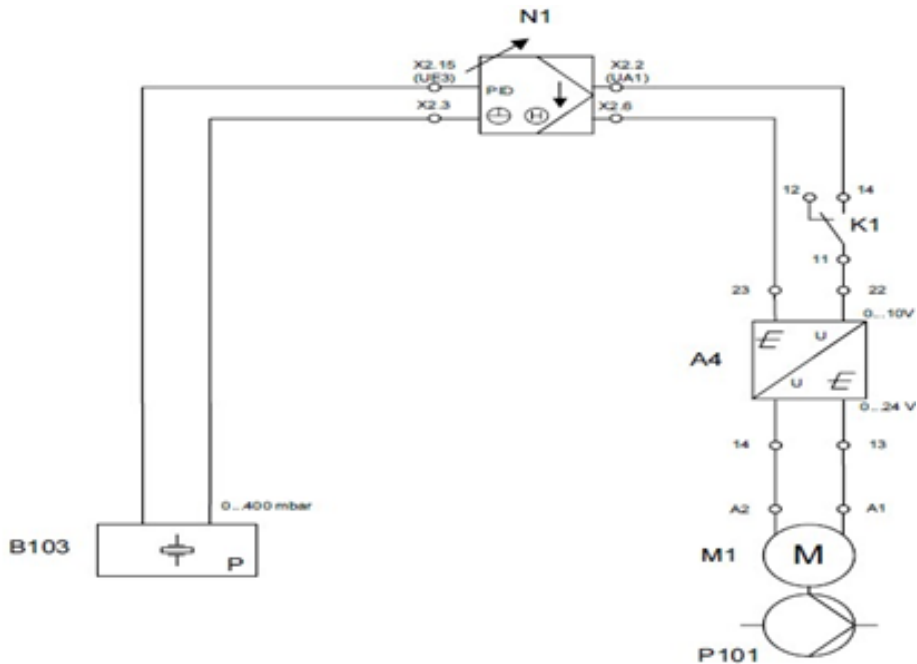


Figure 63: Diagramme électrique de principe de régulation de pression

La valeur actuelle de la pression d'air comprimé dans le réservoir B103 est déterminée par capteur de pression, directement transmis à l'automate sous forme de tension standard 0...10V, via le canal UE3 de la borne analogique X2. La valeur de consigne (0...10V) générée par l'API est transmise au moteur de commande (M1) La pompe passe par le relais K1 et le convertisseur tension/tension (A4). Ce dernier adapte la tension standard (0...10V) à une tension de 0...24V.

Conclusion

Afin de pouvoir exécuter un projet d'automatisation, la première étape c'est faire recherche sur le système que on va l'automatiser.

À travers ce chapitre, on a vu la recherche sur le modèle de contrôle pédagogique de Processus FESTO.

Introduction

Dans ce chapitre nous avons pris les résultats du mémoire des deux étudiants **BOUKARAA.ket KERZAZI. W** sous le titre « **contrôle en temps réel d’un procédé hydraulique par un automate programmable siemens** » soumis l’année **2017**.

Où ils ont fait une identification et un contrôle de systèmes de la maquette **FESTO** des différents paramètres Niveau, Débit et Pression. Pour faire une régulation cascade avec le niveau et le débit on a considéré que le maitre Régulateur de Niveau et l’esclave Régulateur de Débit

5.1 Boucle de régulation sur la maquette

Comme nous l'avons précisé précédemment, il peut y avoir de nombreux types de régulation sur l'installation, individuellement ou en cascade. Avant de mener une étude plus détaillée sur chaque boucle de régulation, nous allons résumer les différents éléments impliqués dans chaque boucle sous forme de tableau :

Tableau 9: Configuration relatives aux différentes boucles de régulation

| Composants | Système de Contrôle de niveau | Système de contrôle de débit | Système de decontrôle de pression | Système de contrôle de température |
|---------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| Point de Mesure | LIC102 B101 | FIC101 B102 | PIC103 B103 | TIC104 B104 |
| Pompe P101 | Elément de contrôle | Elément de contrôle | Elément de contrôle | Mode binaire On |
| Vanne Proportionnelle V106 | OFF | OFF | OFF | OFF |
| Elément chauffant E104 | OFF | OFF | OFF | Elément de contrôle |
| Vanne manuelle V101 | Ouverte | Fermée | Fermée | Fermée |
| Vanne manuelle V103 | Fermée | Fermée | Ouverte | Ouverte |
| Vanne automatique TOR V102 | Ouverte/ Fermée | Fermée | Fermée | Fermée |
| Vanne manuelle V104 | Fermée | Ouverte | Fermée | Fermée |
| Vanne manuelle de drainage V105 | Fermée | Fermée | Fermée | Fermée |
| Vanne manuelle V107 | Fermée | Fermée | Fermée | Fermée |
| Vanne manuelle V108 | Fermée | Fermée | Ouverte | Fermée |
| Vanne manuelle V109 | Fermée | Fermée | Ouverte/ Fermée | Ouverte |
| Vanne manuelle V112 | Ouverte | Fermée | Fermée | Fermée |

5.2.1 Régulation de débit

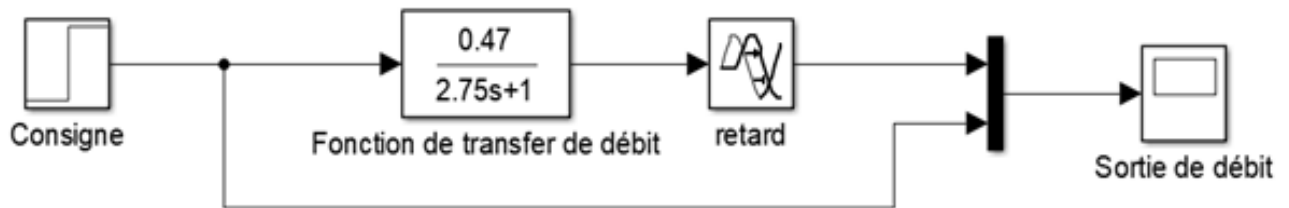


Figure 64: Boucle ouverte de régulation de débit

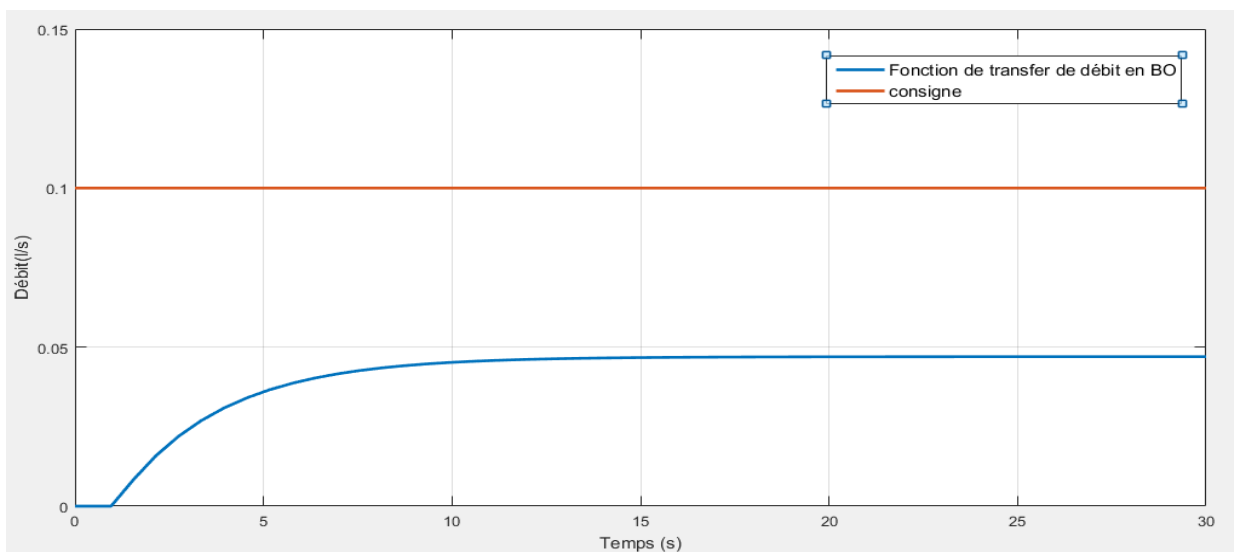


Figure 65 : La courbe de débit en boucle ouverte

On a préféré d'utiliser la méthode de **Ziegler Nichols** en boucle fermée d'abord pour un régulateur avec action proportionnel :

- On place un correcteur proportionnel dans la boucle fermée et on augmente le gain de ce correcteur pour obtenir le phénomène de pompage fig66
- On a arrivé à un gain critique avec lequel on obtient les oscillations est égal à **Kcr=10.5**
- Ensuite on a calculé le Kp

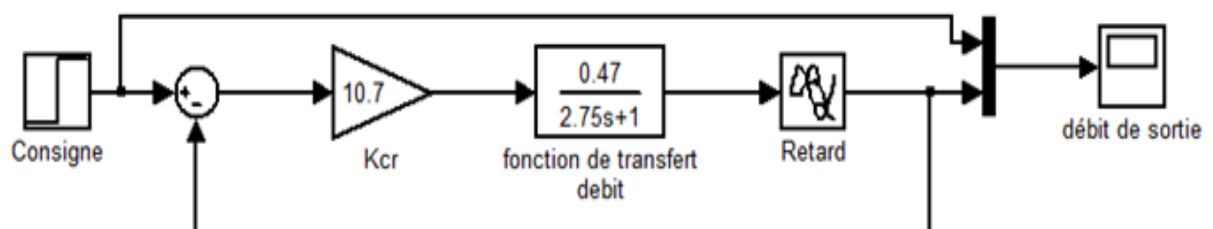


Figure 66: Boucle fermée de régulation de débit avec le gain critique

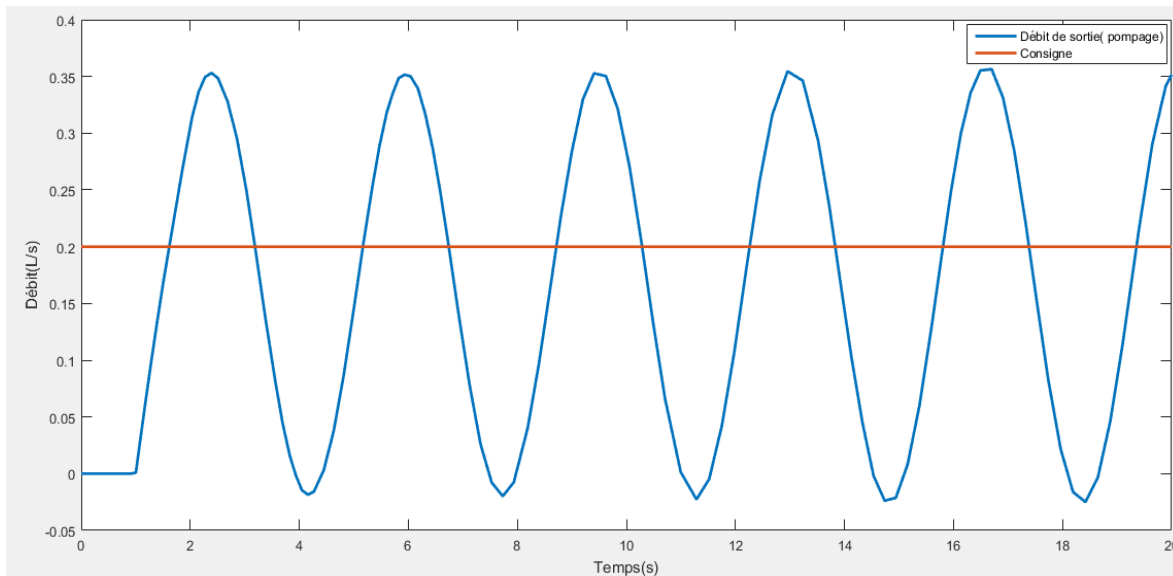


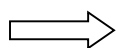
Figure 67: La courbe de débit en pompage

On note :

- ✓ $K_{cr}=10.7$
- ✓ $T_c=3.5$

D'après le tableau de **Ziegler Nichols** en boucle fermée on obtient les résultats suivants :

- ✓ $K_p=0.5 \cdot K_{cr}$
- ✓ $K_p=5.35$



La fonction du correcteur proportionnel P :

$$C(s)=5.8$$

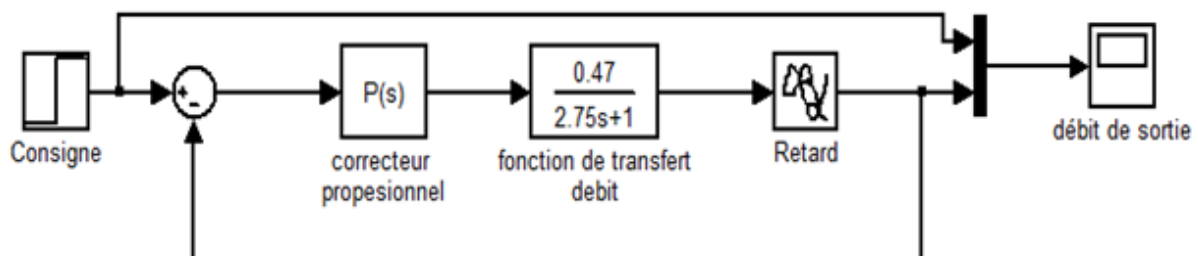


Figure 68:Boucle fermée de régulation de débit avec le régulateur action P

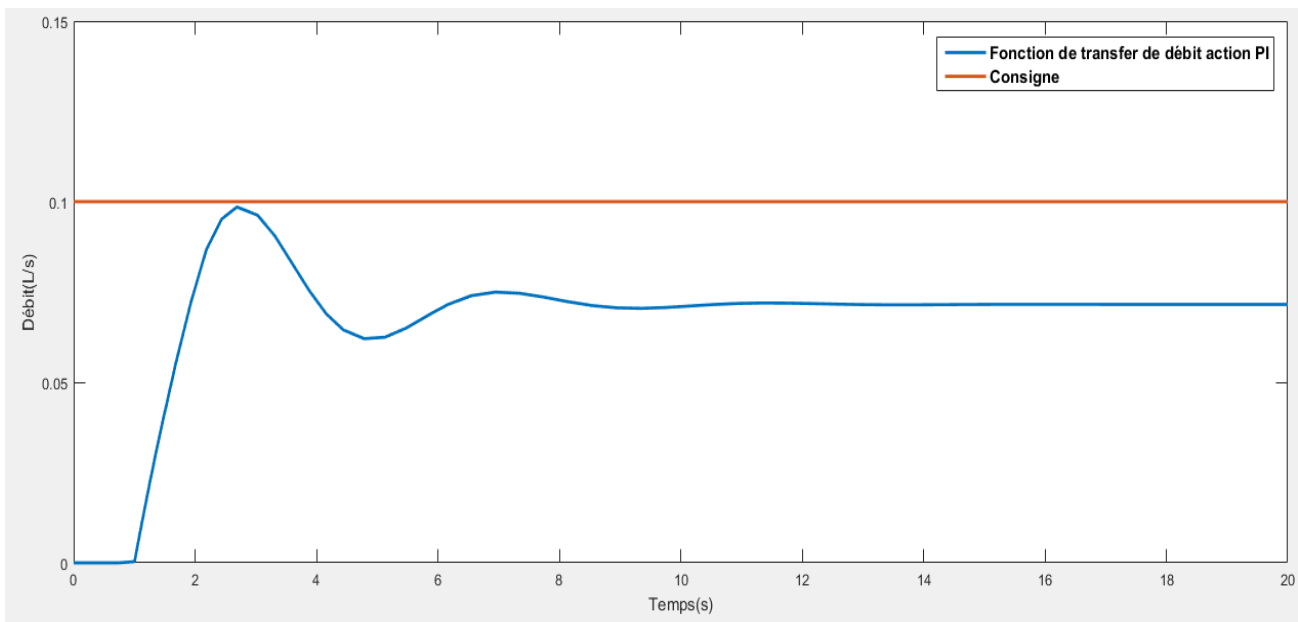


Figure 69: La courbe de régulation de débit avec le régulateur action P

Toujours avec la méthode de **Ziegler Nichols** en boucle fermée, cette fois pour un régulateur avec action proportionnel –Intégrateur :

- On place un correcteur proportionnel dans la boucle fermée et on augmente le gain de ce correcteur pour obtenir le phénomène de pompage
- On a arrivé à un gain critique avec lequel on obtient les oscillations est égal à **Kcr=10.7**
- Ensuite on a calculé le Kp et Ki

On note :

- ✓ Kcr=10.7
- ✓ Tc=3.5

D'après le tableau de **Ziegler Nichols** en boucle fermée on obtient les résultats suivants :

$$\begin{aligned}
 & \checkmark K_p = 0.45 * K_{cr} \quad \Longrightarrow \quad K_p = 4.815 \\
 & \checkmark K_i = K_{cr} / T_i \quad \Longrightarrow \quad T_i = 0.83 * T_c \quad \Longrightarrow \quad K_i = 3.68
 \end{aligned}$$

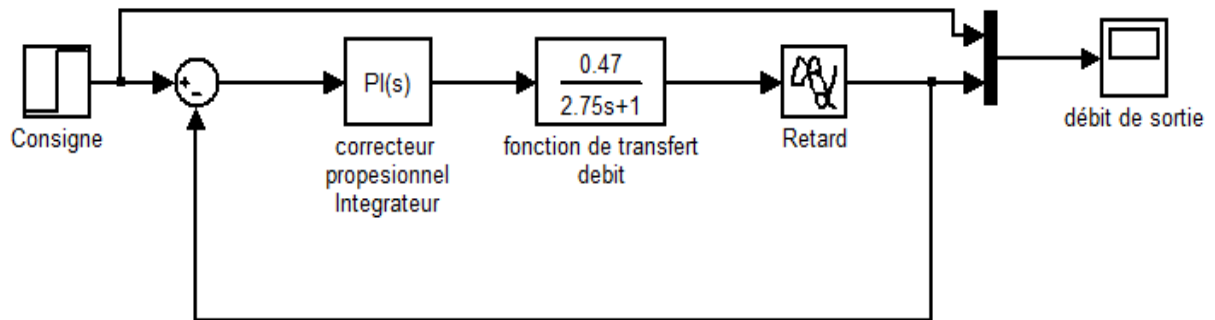


Figure 70: Boucle fermée de régulation de débit avec le régulateur action PI

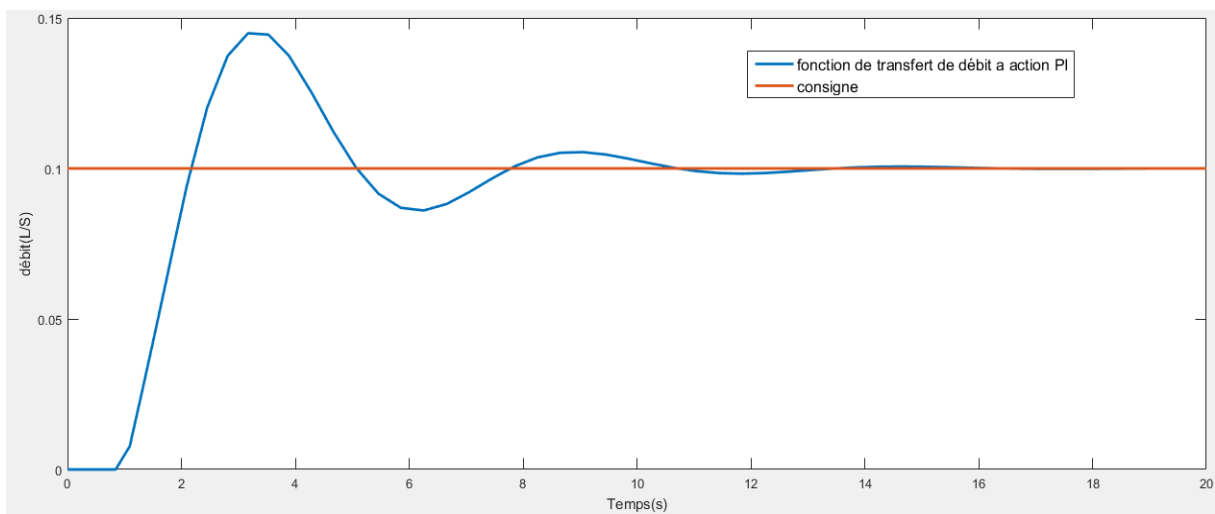
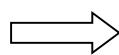


Figure 5.10 : La Courbe de régulation de débit avec un régulateur action PI



La fonction du correcteur proportionnel –Intégrateur PI :

$$C(s) = 4.815 + \frac{3.85}{s}$$

5.2.2 Régulation de Niveau

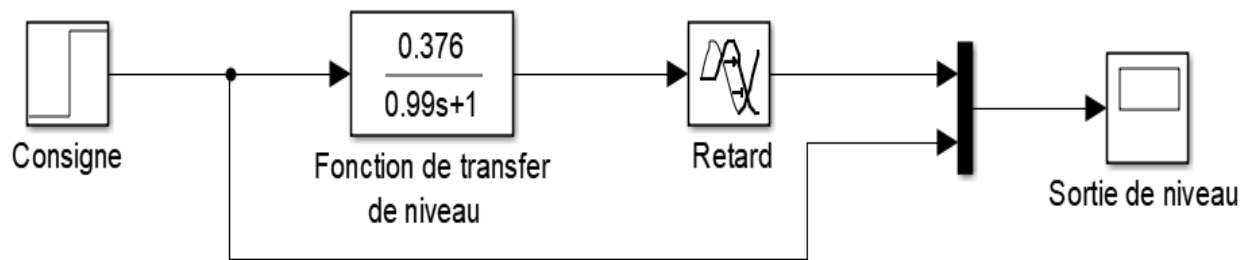


Figure 71: Boucle ouverte de régulation de niveau

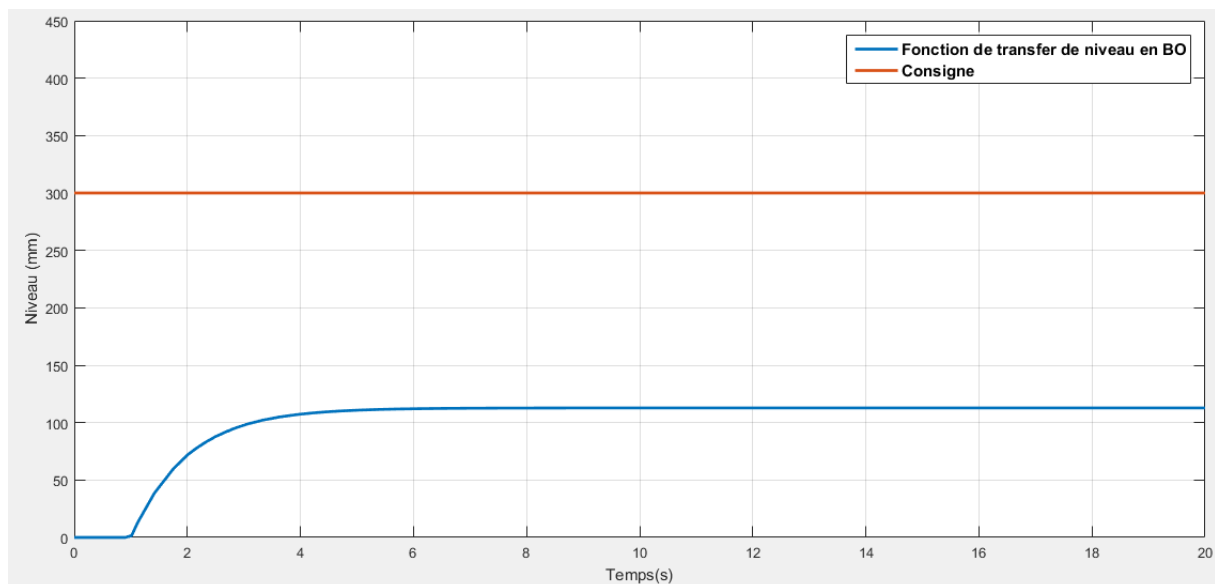


Figure 72: Courbe de niveau en boucle ouverte

On a préféré d'utiliser la méthode de **Ziegler Nichols** en boucle fermée d'abord pour un régulateur avec action proportionnel :

- On place un correcteur proportionnel dans la boucle fermée et on augmente le gain de ce correcteur pour obtenir le phénomène de pompage fig73
- On a arrivé à un gain critique avec lequel on obtient les oscillations est égal à **Kcr=6**
- Ensuite on a calculé le K_p

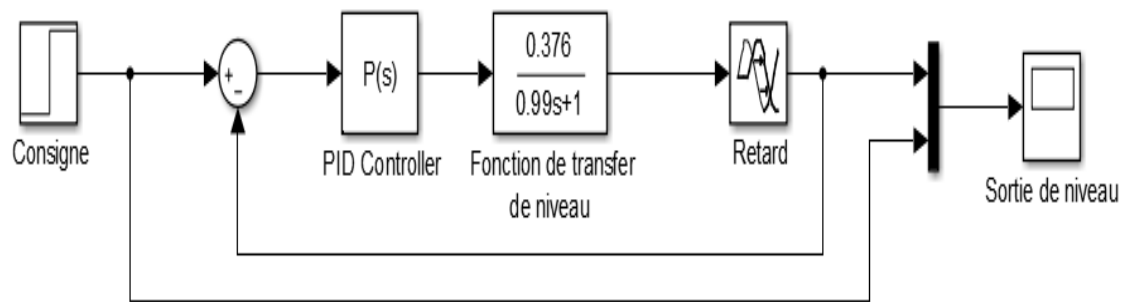


Figure 73: Boucle fermée de régulation de niveau avec le gain critique

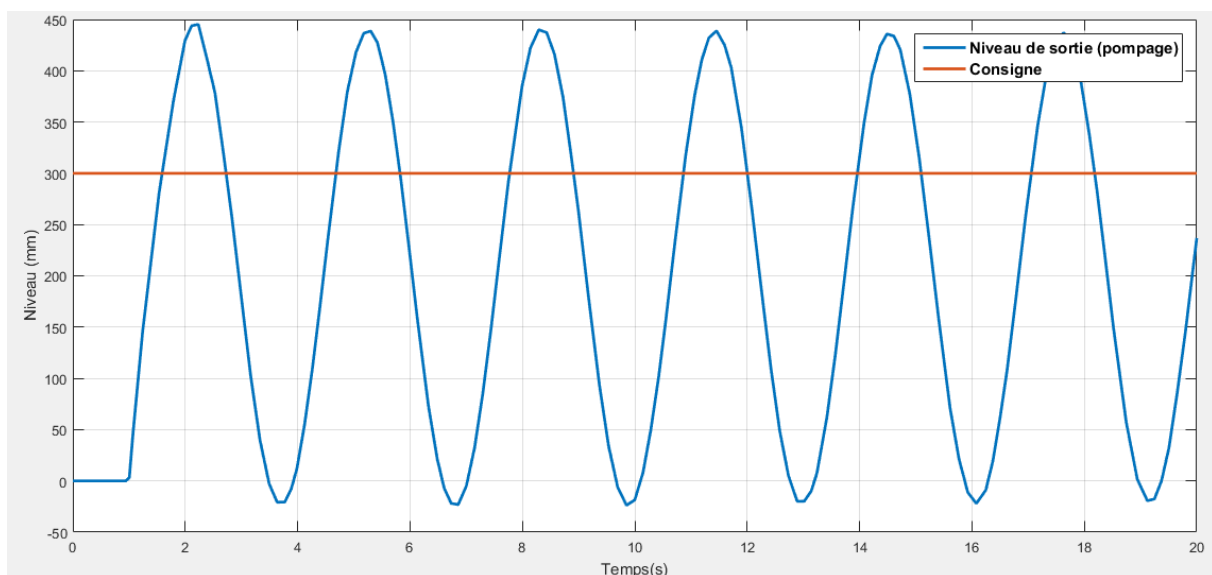


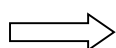
Figure 74: La courbe de niveau en pompage

On note :

- ✓ $K_{cr}=6$
- ✓ $T_c=3.1$

D'après le tableau de **Ziegler Nichols** en boucle fermée on obtient les résultats suivants :

- ✓ $K_p=0.5 \cdot K_{cr}$
- ✓ $K_p=3$



La fonction du correcteur proportionnel P :

$$C(p)=3$$

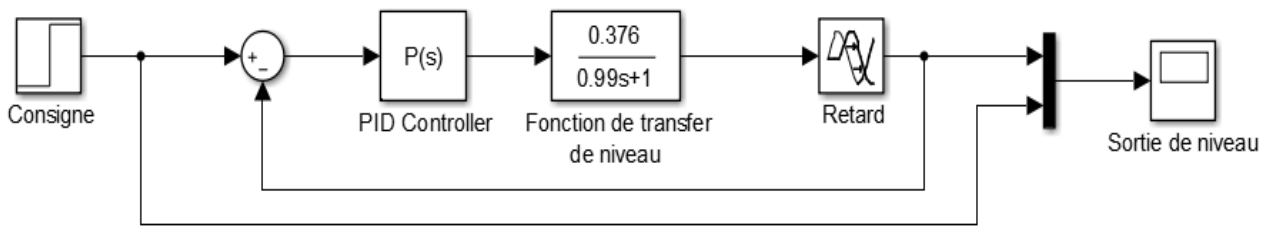


Figure 75: Boucle fermée de régulation de niveau avec le régulateur action P

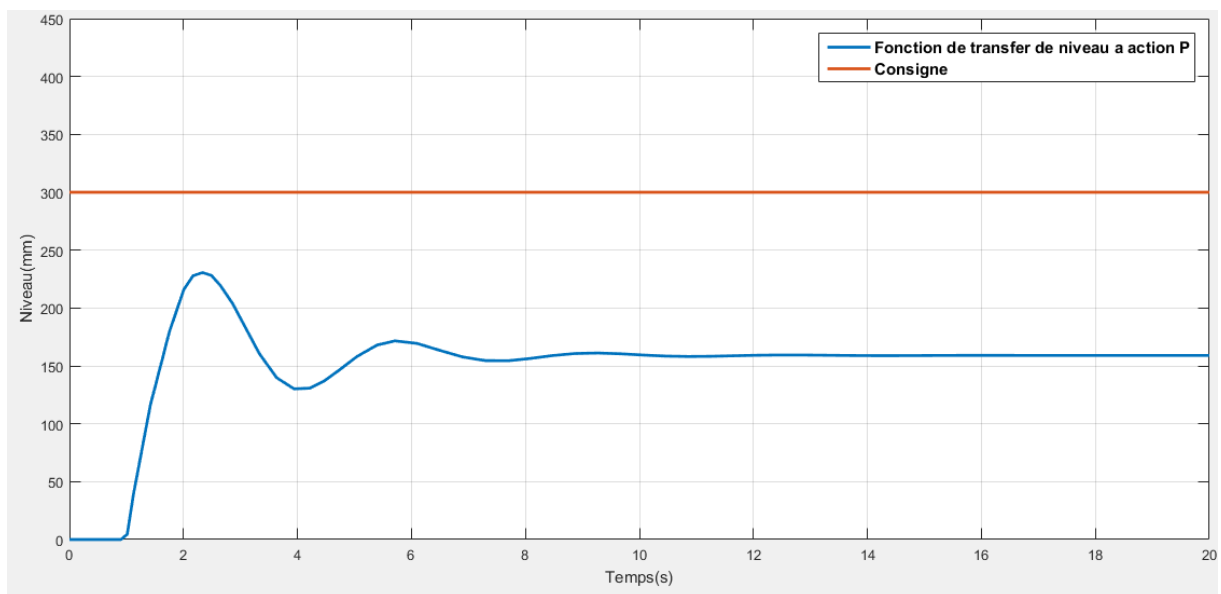


Figure 76: La courbe de régulation de niveau avec le régulateur action P

Toujours avec la méthode de **Ziegler Nichols** en boucle fermée, cette fois pour un régulateur avec action proportionnel –Intégrateur :

- On place un correcteur proportionnel dans la boucle fermée et on augmente le gain de ce correcteur pour obtenir le phénomène de pompage
- On a arrivé à un gain critique avec lequel on obtient les oscillations est égal à **Kcr=6**
- Ensuite on a calculé le K_p et K_i

On note :

- ✓ $K_{cr}=6$
- ✓ $T_c=3$

D'après le tableau de **Ziegler Nichols** en boucle fermée on obtient les résultats suivants :

- ✓ $K_p=0.45*K_{cr}$
- ✓ $K_p= 2.49$
- ✓ $K_i=K_{cr}/T_i$
- ✓ $T_i=0.83*T_c$
- ✓ $K_i=2.57$

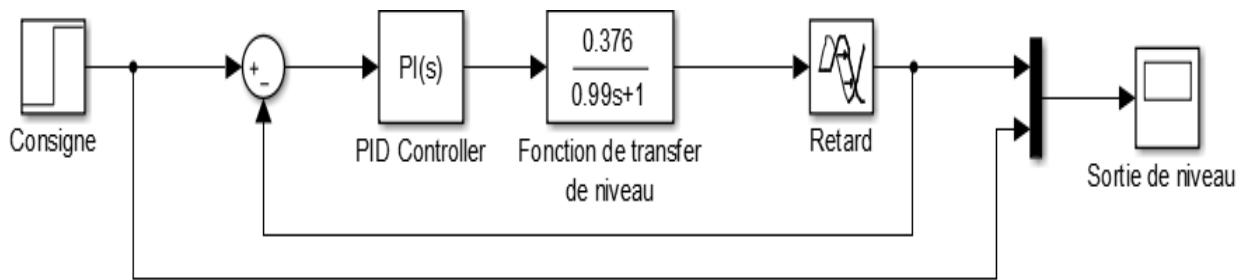
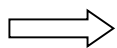


Figure 77: Boucle fermée de régulation de niveau avec le régulateur action PI



La fonction du correcteur proportionnel –Intégrateur PI :

$$C(p) = 2.49 + \frac{2.57}{s}$$

5.2.3 Régulation cascade

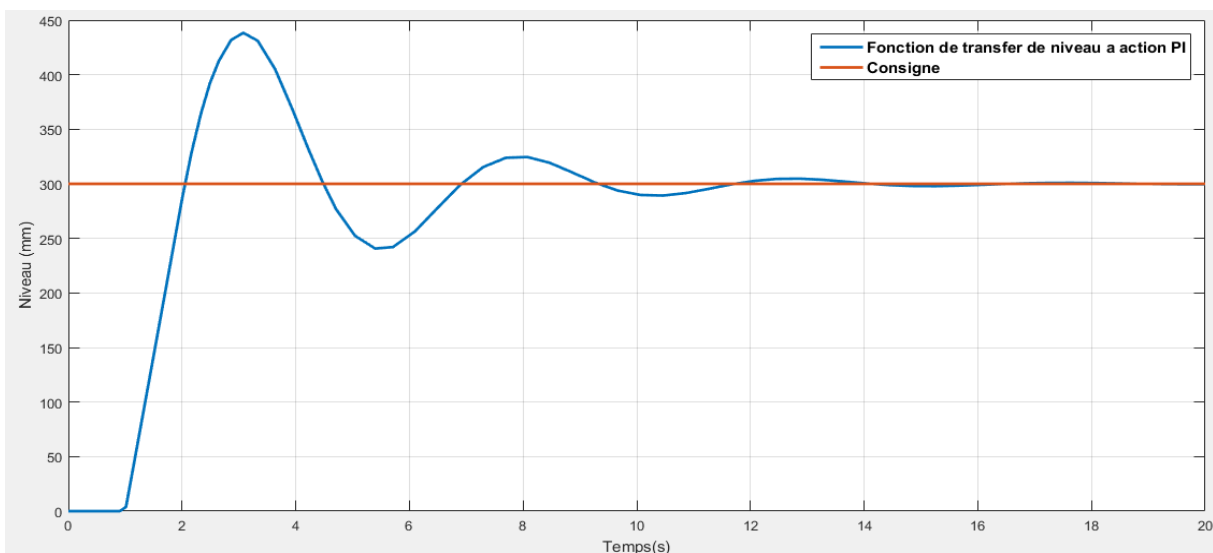


Figure 78: La courbe de régulation de niveau avec un régulateur action PI

5.2.3 Régulation cascade de Niveau avec le débit

Afin d’améliorer le contrôle de niveau, on envisage une régulation cascade en exploitant l’information de débit, si une perturbation affecte le débit, celle-ci sera prise en charge par la boucle interne. Cette boucle doit être bien dimensionnée de manière à ce qu’elle soit rapide c’est pour ça on a choisi un régulateur action proportionnel, et ainsi l’effet de la perturbation peut être neutralisée sans qu’il y’a une répercussion significative sur la grandeur principale. Donc, une condition impérative pour l’efficacité de la boucle cascade est que la boucle interne doit être rapide

et plus précisément, elle doit plus rapide que la boucle externe. D'ailleurs on note d'après la courbe de la boucle cascade fig. 79 Il va de soi que le régulateur de niveau PI doit être paramétré de manière à assurer cette rapidité.

Compte tenu que l'avantage de la boucle cascade est de diminuer le régime transitoire, ce changement de consigne sera traité plus rapidement.

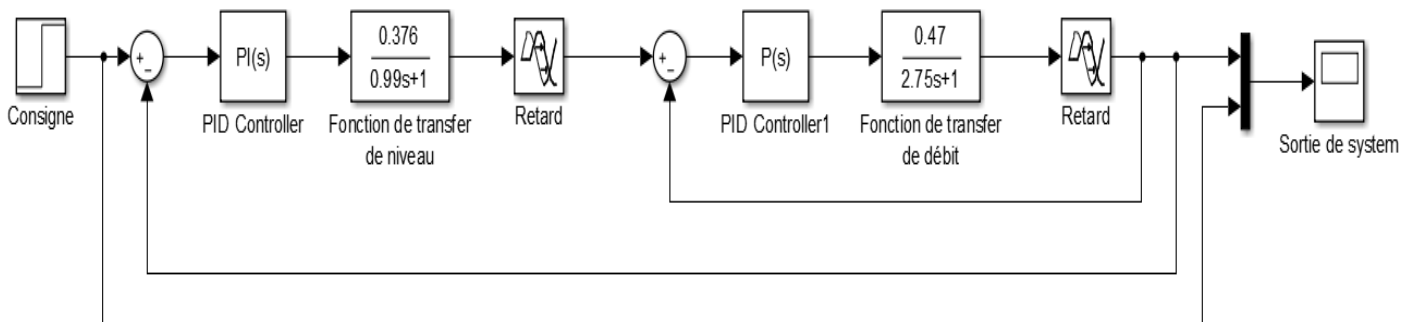


Figure 79 : Boucle fermée de régulation cascade de niveau

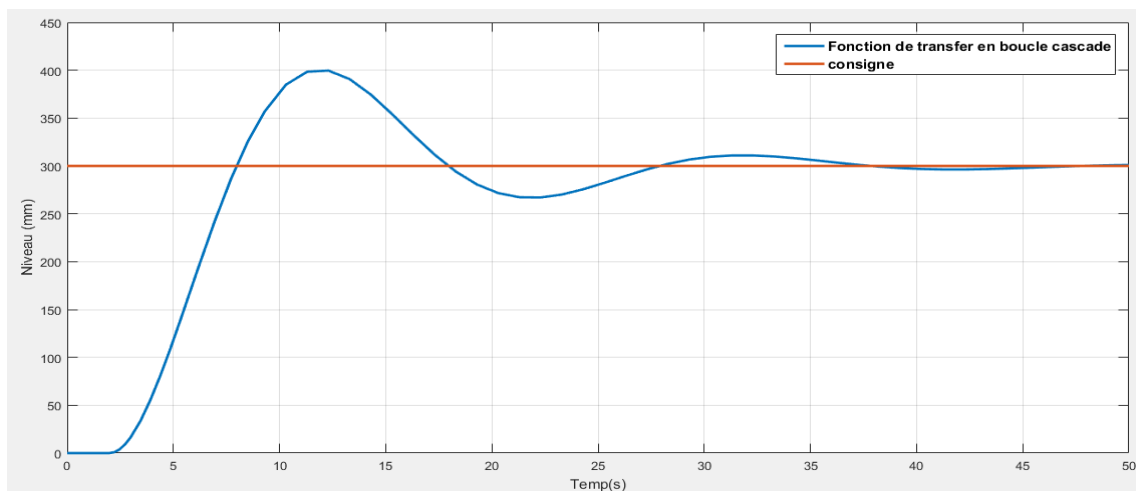


Figure80 : Boucle fermée de régulation cascade de niveau

La conclusion :

- C'est bien le mariage des 2 actions (P et I) qui est le plus adéquat pour répondre à la demande la composante P fait le gros du travail, puis la composante I affine dans le temps. C'est le mode de régulation souvent rencontré dans les systèmes Hydrauliques.
- Pour que la cascade soit justifiée, il faut que la boucle interne soit beaucoup plus rapide que la boucle externe.

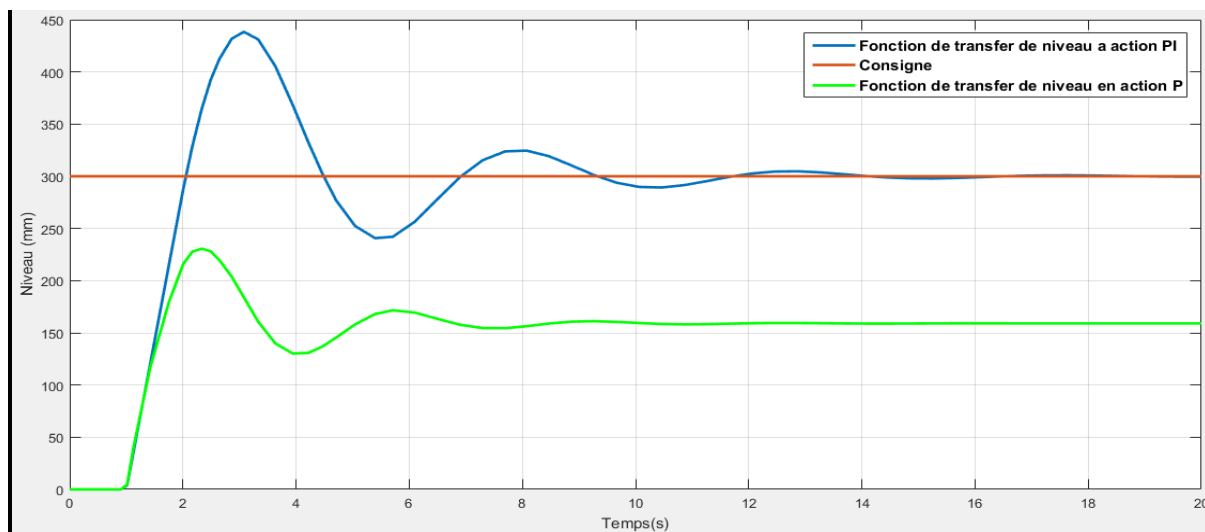


Figure 81: La comparaison entre la régulation de niveau action P et la régulation action PI

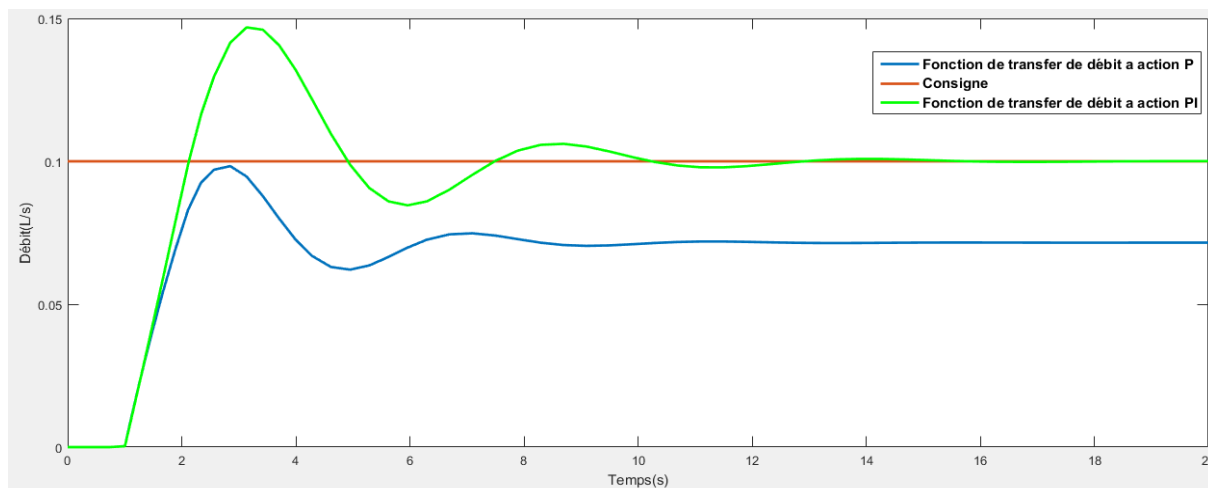


Figure 82: La comparaison entre la régulation de débit action P et la régulation action PI

Conclusion Générale

L'objectif de notre thème est d'implémenter une commande PID a deux systèmes afin de faire une régulation cascade et de comparer les résultats et les performances de chacune.

Pour faire une régulation automatiser avec un automate siemens TIA Portal et pour définis les effets des paramètres PID (P, PI et PID), l'application de la commande PID ainsi la commande cascade et leur efficacité, et une étude comparative entre les deux méthodes et la meilleure solution.

Pour le régulateur PID, on a utilisé le type mixte connu pour ces performances par rapport aux autres types, le calcul des paramètres de ce dernier est fait en utilisant la méthode Ziegler & Nichols dans le domaine fréquentiel.

En dernier et durant ce travail qui nous a été très fructueux, nous avons mis en œuvre les connaissances acquises durant notre formation que ça soit sur le plan théorique que pratique comme il nous a appris à travailler en équipe pour une meilleure maitrise et un aboutissement certain du sujet.

Bibliographies

[1]: JURGEN HELMICH, « PCS compact Workstation manual», FESTO, 2004.

[2]: SIMATIC STEP 7 eT WinCC Engineering V16 Manuel system.

[3]: Logiciel TIA PORTAL ", Logiciel système pour SIMATIC S7-300/400 - Fonctions standard et fonctions système Volume 1/2 Manuel de référence.

[3]: HATRAF Lahcene Mohamed Amine et TOUZALA Abderrahmane; Mémoire de fin d'étude « AUTOMATISATION ET SUPERVISION D'UNE STATION DE REMPLISSAGE DES BOUTEILLES », 2018.

[4]: BOUKARAA KENZA et KERZAZI Wafa; Mémoire de fin d'étude « Contrôle en temps réel d'un procédé hydraulique par un automate programmable Siemens », 2017.

[5]:« <https://www.automation-sense.com/blog/automatisme/les-automates-siemens-pour-les-nuls.html> », consulté le 6 juil. 2021

[6]:« <https://www.automation.siemens.com/sce-static/learning-training-documents/classic/basics-programming/a03-startup-fr.pdf> », 30 juin 2021

[7]: « <http://www.est-usmba.ac.ma/coursenligne/GE-S2-M8.1-Automatismes%20logiques%20Industriels-CRS-EI%20Hammoumi.pdf> », consulté le 29 juin 2021

[8]:« <http://www.est-usmba.ac.ma/coursenligne/GE-S2-M8.1-Automatismes%20logiques%20Industriels-CRS-EI%20Hammoumi.pdf> », consulté le 29 juin 2021

[9]: « http://specialautom.net/spip/IMG/pdf/La_regulation_cascade.pdf », consulté le 14 juin 2021

[10]:« <http://www.isetn.rnu.tn/archives/fr/images/documents/cours/R%C3%A9gulation%20Industrielle%20L2%20S2.pdf> » 14 juin 2021

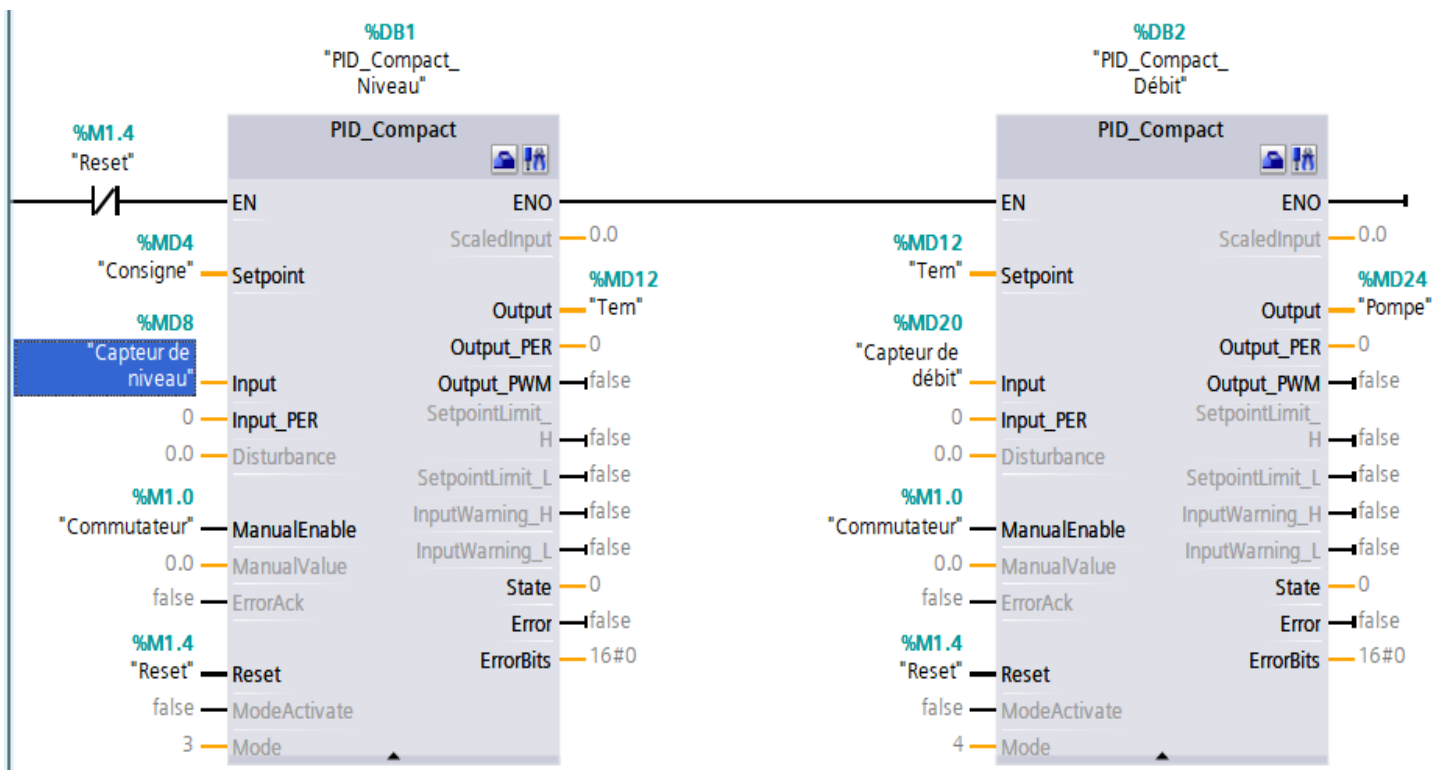
[11]: PATRICK ROUVOT. Automatique contrôle et régulation. DONOD.2004

[11]: PATRICK ROUVOT. Instrumentation et régulation. DONOD.2010

Khaled29bac@gmail.com

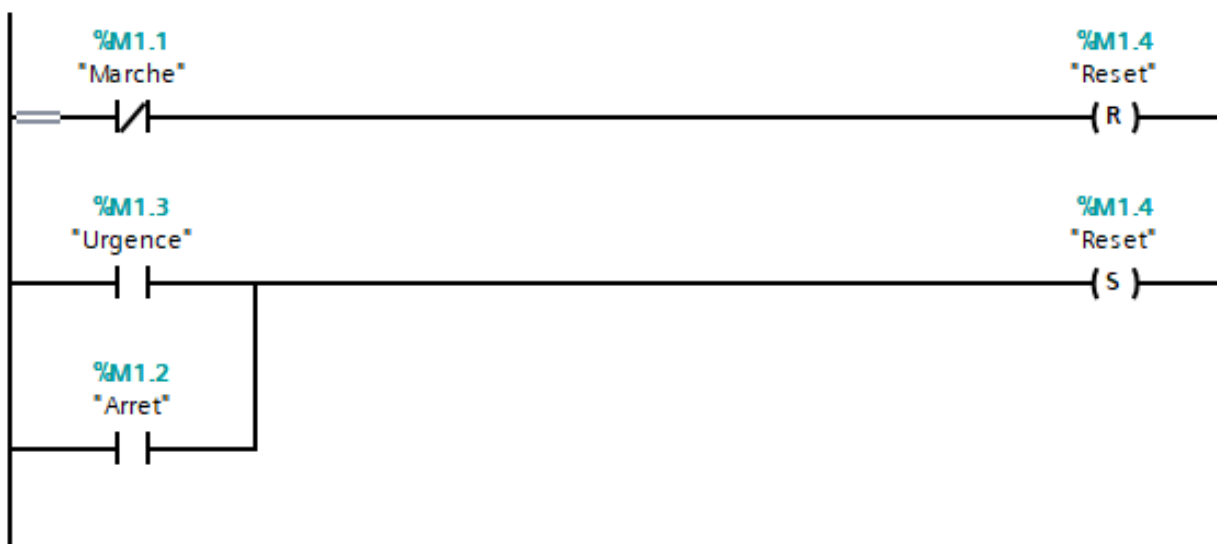
Le block OB 30

Régulation cascade



Le block OB 1

Activation de PID



HMI

La vue principale

