

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mouloud MAMMERI, Tizi-Ouzou



Faculté de Génie Electrique et d'Informatique
Département d'Electronique

Mémoire de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du diplôme

Master professionnel
Option : Electronique Industrielle

Thème

***Etude de la régulation P, PI et PID de débit sur
le banc didactique de type 38-001***

Proposé et dirigé par :

☞ *M^r. HAMICHE Hamid*

Présenté par :

☞ *TOUCHERIFT Hocine*

☞ *TAOUINT Kocéila*

Promotion 2017



Remerciement

Avant tout, je tiens à remercier le bon Dieu, et l'unique qui nous offre le courage et la volonté nécessaire pour affronter les différentes difficultés de la vie.

Nous tenons également à remercier infiniment notre promoteur M^r. HAMICHE Hamid pour nous avoir offert les conditions nécessaires et nous avoir guidés dans l'élaboration de ce travail et contribuer largement à sa réalisation avec la patience et le dynamisme qui le caractérise et aussi son soutien tout au long de notre projet.

Nous tenons à exprimer notre gratitude et nos remerciements au membre de jury. Veuillez accepter dans ce travail notre sincère respect et notre profonde reconnaissance.

Nous profitons aussi de ce mémoire pour exprimer nos plus vifs remerciements envers tous les enseignants qui nous ont apportés du soutien durant nos études et envers tous nos amis qui ont été toujours près de nous avec leurs encouragements, critiques et conseils.



Dédicace

Nous dédions ce modeste travail

A nos chers parents

Pour leur soutien, leur patience, leur sacrifice

et leur amour, vous méritez tout éloge,

vous qui avez fait de nous ce que nous sommes maintenant.

Nous espérons être l'image que vous avez fait de

nous, que dieu vous garde et vous bénisse.

Nous dédions aussi ce travail à nos chers frères et sœurs,

pour leur affection et leur encouragement qui ont toujours

été pour nous des plus précieux.

Que ce travail soit pour vous le gage de notre profond amour

A tout nos amis

A tous ceux qui nous ont aidés.

A tous ceux que nous aimons, nous dédions ce travail ...

Sommaire

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre I : Généralités sur la régulation PID : analogique et numérique.

I-1 Introduction	4
I-2 Rappels sur l'asservissement et la régulation.....	4
I-2-1 Asservissement	4
I-2-2 Régulation.....	5
I-2-2-1 Objectifs de la régulation.....	6
I-2-2-2 Principe général de la régulation	7
I-2-2-3 Typologie de régulation.....	8
a- Régulation en boucle ouverte	8
b- Régulation en boucle fermée	8
I-2-2-4 Régulation Tout Ou Rien (TOR).....	9
I-3 Etude de régulateur industriel PID.	10
I-3-1 Régulation analogique	11
I-3-1-1 Actions PID	11
a- Action proportionnelle.....	11
b- Action intégral	12
c- Action dérivée.....	12
d- Actions proportionnelle et intégral (PI).....	13
e- Action proportionnelle et dérivée (PD).....	13
f- Actions proportionnelle, intégral et dérivée (PID).....	13
I-3-1-2 Différentes structures des régulateurs PID	13
I-3-2 Régulation numérique :	14
I-4 Etude de la régulation numérique.....	15
I-4-1 Structure générale de la régulation numérique	16
I-4-2 Les caractéristiques de régulateur PID numérique	17

I-4-2-1 Bloqueur	17
I-4-2-2 Les convertisseurs.....	18
a- Le convertisseur analogique numérique	18
b- Le convertisseur numérique analogique	20
I-4-2-3 L'échantillonnage.....	20
a- Choix du pas d'échantillonnage.....	20
I-4-3 Les différentes actions PID numériques	21
a- L'action proportionnelle P	21
b- L'action dérivée D	21
c- L'action intégrale I.....	21
I-4-4 Les différents types de régulateurs numériques	21
a- Le régulateur proportionnel P	21
b- Le régulateur proportionnel dérivé PD	21
c- Le régulateur proportionnel intégral PI	22
d- Le régulateur proportionnel intégral dérivée PID.....	22
I-5 Conclusion :	23
Chapitre II : Etude du banc didactique de type 38-001.	
II-1 Introduction	24
II-2 Les différents blocs de banc didactique 38-001	24
II-2-1 Processus de base 38-100	24
II-2-1-1 Réservoir	25
II-2-1-2 Pompe de circulation	27
II-2-1-3 Débitmètre à zone variable.....	28
II-2-1-4 Servovalve	28
II-2-1-5 L'électrovanne.....	30
II-2-1-6 La vanne manuelle.....	30
II-2-1-7 Transmetteur de niveau flottant 38-401	31

□ Le capteur de niveau de flotteur	32
II-2-1-8 Transmetteur de débit pulsé 38-421	33
□ Le capteur de débit	34
II-2-1-9 Module d'affichage numérique 38-490	35
II-2-2 Interface de processus 38-200	36
II-2-3 Contrôleur de processus 38-300	37
II-2-3-1 ABB (ASEA Brown Boveri).....	38
□ ABB Control-Master CM30	38
II-2-3-2 Le logiciel Espiale.....	42
II-3 Conclusion.....	45
Chapitre III : Etalonnage des différents instruments du banc didactique 38-001.	
III-1 Introduction.....	47
III-2 Calibrage d'interface de processus 38-200.....	47
III-3 Calibrage du contrôleur de processus 38-300	49
III-4 Etalonnage du transmetteur de débit pulsé 38-421	51
III-5 Etalonnage du transmetteur de niveau flottant 38-401	53
III-6 Conclusion	55
Chapitre IV : Application de régulation P, PI et PID de débit sur le banc.	
IV-1 Introduction.....	58
IV-2 Les connexions requises sur le matériel	58
IV-3 L'effet de contrôle sur la servovalve.....	59
IV-4 Contrôle proportionnel.....	59
IV-4-1 Configuration de l'action de contrôle proportionnel.....	60
IV-5 Le contrôle proportionnel intégral	65
IV-5-1 Configuration des actions de contrôle PI.....	66
IV-6 Le contrôle proportionnel intégral dérivé	71
IV-6-1 Configuration des actions de contrôle PID.....	72

IV-7 Conclusion	73
Conclusion générale	74
Bibliographie	77
Annexe	81

Liste des figures

Figure I-1 : Réponse d'un procédé asservi à un échelon de consigne.....	5
Figure I-2 : Réponse d'un procédé régulé à un échelon de perturbation.	6
Figure I-3 : Système en BO.....	8
Figure I-4 : Système en BF.	9
Figure I-5 : Action discontinue.	10
Figure I-6 : Schéma bloc de la boucle de réglage.	11
Figure I-7 : Structure typique de la réalisation.....	16
Figure I-8 : Comportement du bloqueur d'ordre zéro.....	18
Figure I-9 : Modélisation du convertisseur analogique numérique.....	19
Figure I-10 : Modélisation du convertisseur numérique analogique.....	20
Figure II- 1 : Photo du processus de base 38-100.	25
Figure II- 2 : Photo des deux types de réservoir.	26
Figure II- 3 : Illustration de fonctionnement de la pompe.	27
Figure II- 4 : Photo de débitmètre à zone variable.....	28
Figure II-5 : Photo de la servovalve.....	29
Figure II-6 : Photo de l'électrovanne.....	30
Figure II-7 : Photo d'une vanne manuelle.	31
Figure II-8 : Photo d'un transmetteur de niveau flottant 38-401.	31
Figure II-9 : Photo d'un capteur de niveau de flotteur.....	32
Figure II-10 : Relation fonctionnelle entre le transmetteur de niveau flottant 38-401 et le capteur de niveau de flotteur.	33
Figure II-11 : Photo de transmetteur de débit pulsé 38-421.....	33
Figure II-12 : Photo d'un capteur de débit.....	34
Figure II-13 : Schéma fonctionnel entre le transmetteur de débit pulsé 38-421 et le capteur de débit.....	35
Figure II-14 : Photo du module d'affichage numérique 38-490.....	36
Figure II-15 : Photo de l'interface de processus 38-200.....	37
Figure II-16 : Photo du contrôleur de processus 38-300.....	38
Figure II-17 : Photo de l'ABB Control-Master CM30.....	39
Figure II-18 : Présentation de panneau avant ABB CM30 et agrandissement des icônes de contrôle.....	41
Figure II-19 : Présentation du la fenêtre d'Espial Launcher.....	42

Figure II-20 : Présentation des différentes affectations du logiciel Espial.....	43
Figure II-21 : Exemple d'une fenêtre d'affectation.....	44
Figure III-1 : La connexion entre l'interface de processus et le DDM.....	48
Figure III-2 : Diagramme de connexion entre l'interface de processus et le DDM.....	48
Figure III- 3 : les connexions requises pour le calibrage du contrôleur de processus 38-300. 50	50
Figure III- 4 : le diagramme des connexions nécessaires pour le calibrage du contrôleur de processus 38-300.....	50
Figure III- 5 : Les connexions nécessaires pour l'étalonnage du transmetteur de débit pulsé 38-421.....	52
Figure III- 6: Le diagramme des connexions nécessaires pour l'étalonnage du transmetteur de débit pulsé 38-421.....	52
Figure III- 7: Les connexions nécessaires pour l'étalonnage du transmetteur de niveau flottant 38-401.....	54
Figure III- 8: Le diagramme des connexions nécessaires pour l'étalonnage du transmetteur de niveau flottant 38-401.....	54
Figure IV- 1: Présentation des connexions entre les différents blocs du banc didactique 38-001.....	58
Figure IV- 2: Présentation du diagramme des connexions entre les différents blocs du banc didactique 38-001.....	59
Figure IV-3 : Exemple de contrôle proportionnel.....	60
Figure IV-4 : Courbes obtenues pour $K=1$	62
Figure IV-5 : Courbes obtenues pour $K=2$	63
Figure IV-6 : Courbes obtenues pour $K=5$	63
Figure IV-7 : Courbes obtenues pour $K=10$	64
Figure IV-8 : Courbes obtenues pour $K=25$	65
Figure IV-9 : Exemple de contrôle PI.....	66
Figure IV-10 : les courbes obtenues pour $T_r = 1s$	68
Figure IV-11 : Courbes obtenues pour $T_r = 5s$	69
Figure IV-12 : Courbes obtenues pour $T_r = 10s$	69
Figure IV-13 : Courbes obtenues pour $T_r = 60s$	70
Figure IV-14 : Courbes obtenues pour $T_r = 80s$	71
Figure IV-15 : Les courbes obtenues pour $T_r = 1s$ et $T_d = 3s$	73

Liste des tableaux

Tableau I-1 : Différentes structures du régulateur PID.	14
Tableau IV-1 : Présentation des valeurs choisies en pratique.....	62
Tableau IV-2 : Présentation des valeurs choisies en pratique.....	67

Introduction générale

Pour être compétitif, un procédé industriel doit être obligatoirement automatisé. En effet, la compétitivité exige de le maintenir le plus près possible de son optimum de fonctionnement prédéfini par un cahier des charges : conditions ou performances imposées telles que la qualité des produits fabriqués, la flexibilité de la production, la sécurité du personnel et des installations, l'économie de l'énergie et le respect de l'environnement. La régulation occupe généralement la grande partie de l'automatisation d'un procédé industriel [1].

Actuellement, il est impossible de rencontrer un procédé industriel n'utilisant pas de régulation. Cela veut dire que la régulation industrielle est plus qu'indispensable pour le bon fonctionnement et donc pour la compétitivité de tout procédé industriel. Le contrôle en boucle fermée, régulation ou asservissement, est le plus populaire chez la majorité des industriels [2].

Dans le cadre de notre projet de fin d'études, l'objectif du travail qui nous a été proposé est de faire l'étude de la régulation proportionnelle, proportionnelle intégrale et proportionnelle intégrale dérivée sur un banc sur un banc didactique 38-001. Il contient quelques notions sur l'asservissement et la régulation, l'étude sur le banc d'essai 38-001 qui a pour but d'étudier les principes de contrôle de processus, en utilisant le niveau et le débit de liquide comme les variables de processus mesurées, ils contiennent aussi l'étalonnage des différents instruments de ce banc, et l'application de la régulation Proportionnelle (P), la régulation Proportionnelle Intégrale (PI) et la régulation Proportionnelle Intégrale Dérivée (PID) sur le banc afin de contrôler le débit du liquide.

En effet, l'objectif de ce banc est d'extraire la relation entre la section théorique et la pratique en aidant les manipulateurs d'appliquer les notions de la régulation étudiées aux cours, pour mieux comprendre le principe de fonctionnement en pratique et savoir extraire les résultats expérimentalement.

Ce mémoire se compose de quatre chapitres, et est organisé de la façon suivante :

Dans le premier chapitre, nous allons donner quelques rappels sur l'asservissement et sur la régulation et leurs objectifs. Nous allons aussi discuter sur la typologie de la régulation qui

comprend deux types : régulation analogique et régulation numérique qui ont le même principe de fonctionnement.

Dans le second chapitre, nous allons étudier le procédé didacticiel 38-001 en définissant ses blocs qui sont : le processus de base 38-100, l'interface de processus 38-200 et le contrôleur de processus 38-300.

Dans le troisième chapitre, nous allons aborder la partie pratique qu'est l'étalonnage des instruments du banc d'essai 38-001.

Le quatrième chapitre sera consacré à la mise en application du contrôle P, PI et PID de débit sur le banc d'essai.

Enfin, nous terminons par une conclusion générale et quelques perspectives.

Chapitre I

Généralités sur la régulation

**PID : analogique et
numérique**

I-1 Introduction : La régulation est une technique qui consiste le plus souvent à maintenir une grandeur physique ou physico-chimique à une valeur imposée appelée consigne. Ces grandeurs peuvent être de nature très diverses, tel que : température, pression, niveau, débit, densité, etc...[4]

La régulation consiste à annuler l'écart entre la valeur mesurée (grandeur à régler) et la consigne. Par exemple le niveau d'un liquide dans un bac est régi sur le débit d'entrée et le débit de sortie, ceci constitue un système réglé. Le niveau réalisé est la grandeur réglée et le niveau désiré est la valeur de consigne [4].

Dans un procédé industriel, chaque boucle de régulation a pour objectif de maintenir une grandeur physique égale à la consigne, quelles que soient les variations des grandeurs perturbatrices, à l'aide d'un actionneur agissant sur une grandeur réglante. Si on cherche à atteindre une consigne, on parlera sur l'asservissement, si on veut éliminer des perturbations pour qu'une valeur reste constante, on parlera sur la régulation [5].

Dans ce chapitre, nous allons donner quelques rappels sur l'asservissement et la régulation.

I-2 Rappels sur l'asservissement et la régulation :

I-2-1 Asservissement : L'asservissement est un système dont l'objet principal est d'atteindre le plus rapidement possible sa valeur de consigne notée C et de la maintenir constante ($Y(t)$ la valeur mesurée de système qui est présentée en bleu dans la figure I-1), quelles que soient les perturbations externes. Le principe général est de comparer la consigne et l'état du système de manière à le corriger efficacement. On parle également de système commandé en boucle fermée [6]. La figure I-1 illustre la réponse d'un procédé asservi à un échelon de consigne [3].

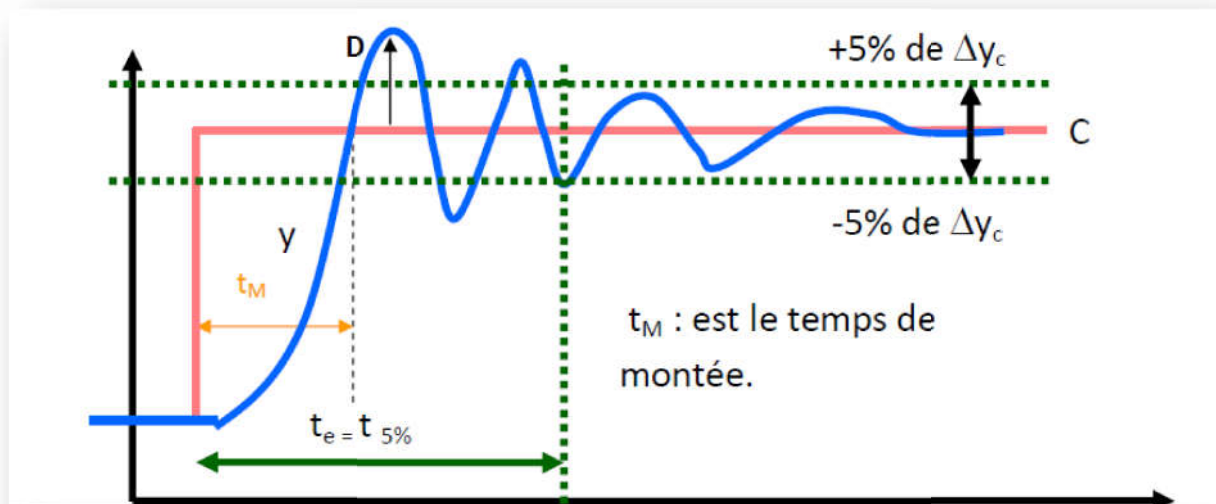


Figure I-1 : Réponse d'un procédé asservi à un échelon de consigne.

➤ **Exemples :** [6]

- Asservissement de température : obtention d'un profil de température en fonction du temps dans un four de traitement thermique.
- Asservissement d'un débit d'air par rapport à un débit de gaz afin d'obtenir une combustion idéale.

I-2-2 Régulation : La régulation est une partie de la science technique appelée automatique, c'est l'ensemble des techniques qui permettent de contrôler une grandeur physique, sans intervention humaine, pour la maintenir à une valeur donnée, appelée consigne notée Y . Cette dernière traduisant l'objectif désiré du procédé, est constante et les grandeurs perturbatrices influencent fortement sur la grandeur à maîtriser notée $y(t)$ [8] [1]. La réponse d'un procédé régulé à un échelon de perturbation est représentée dans la figure I-2 [3].

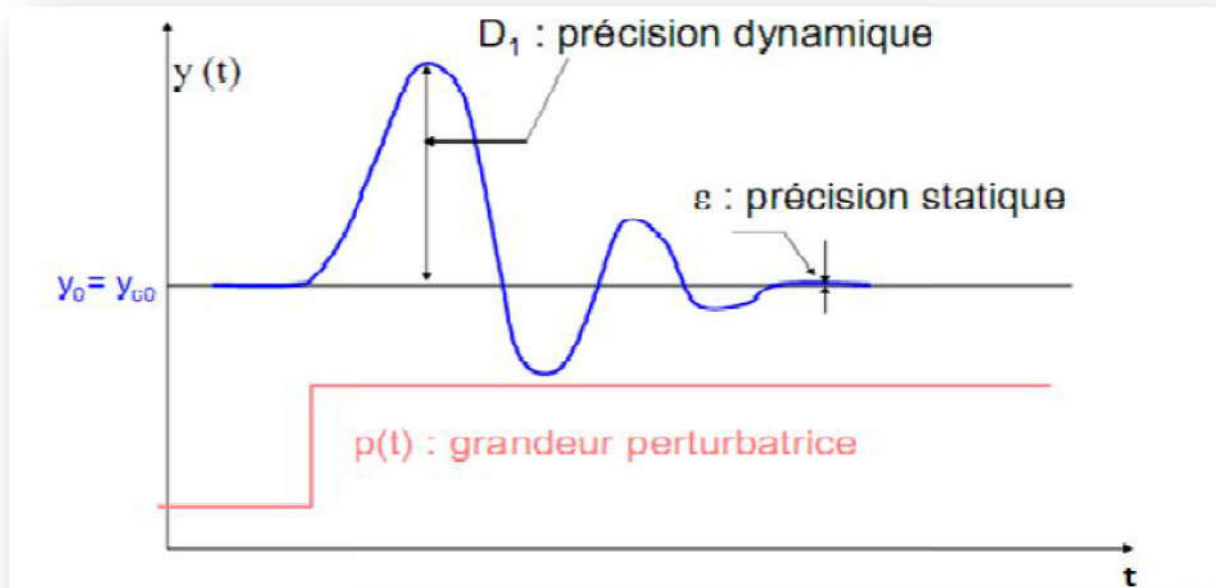


Figure I-2 : Réponse d'un procédé régulé à un échelon de perturbation.

➤ **Exemples :** [7]

- Régulation de température dans un local subissant les variations climatiques.
- Régulation de niveau dans un réservoir dépendant de plusieurs débits d'alimentation et de soutirage.
- Régulation de pH de rejets d'eau destinés à être déversés dans une rivière.

I-2-2-1 Objectifs de la régulation : L'objectif d'une régulation ou d'un asservissement est d'assurer le fonctionnement d'un procédé selon les critères prédéfinis par un cahier de charges. Les aspects de sécurité du personnel et des installations sont à prendre en compte comme ceux concernant l'énergie et le respect de l'environnement. Le cahier des charges définit des critères qualitatifs à imposer qui sont traduits le plus souvent par des critères qualitatifs, comme par exemple, de stabilité, de précision, de rapidité ou de lois d'évolution [1]. Voici quelques exemples d'objectifs qualitatifs : [2]

- Obtenir une combustion air-gaz correcte dans un brûleur.
- Maintenir une qualité constante d'un mélange de produits.
- Obtenir un débit de fluide constant dans une conduite en fonction des besoins.
- Faire évoluer une température d'un four selon un profil déterminé.

I-2-2-2 Principe général de la régulation : Dans la plupart des appareils et installations industrielles, tertiaires et mêmes domestiques, il est nécessaire de maintenir des grandeurs physiques à des valeurs déterminées, en dépit des variations externes ou internes influant sur ces grandeurs. Par exemple, le niveau d'un réservoir d'eau, la température d'un étuve, le débit d'une conduite de gaze, étant de nature variables, doivent donc être réglés par des actions convenables sur le processus considéré. Si les perturbations influant sur la grandeur à contrôler sont lentes ou négligeables, un simple réglage (dit en boucle ouverte) permet d'obtenir et de maintenir la valeur demandée (par exemple : action sur un robinet d'eau). Dans la majorité des cas, ce type de réglage n'est pas suffisant, parce que trop grossier ou instable. Il faut alors comparer, en permanence, la valeur mesurée de la grandeur réglée à celle que l'on souhaite obtenir et agir en conséquence sur la grandeur d'action, dite grandeur réglant [7].

La figure ci-dessous illustre le principe de la régulation.

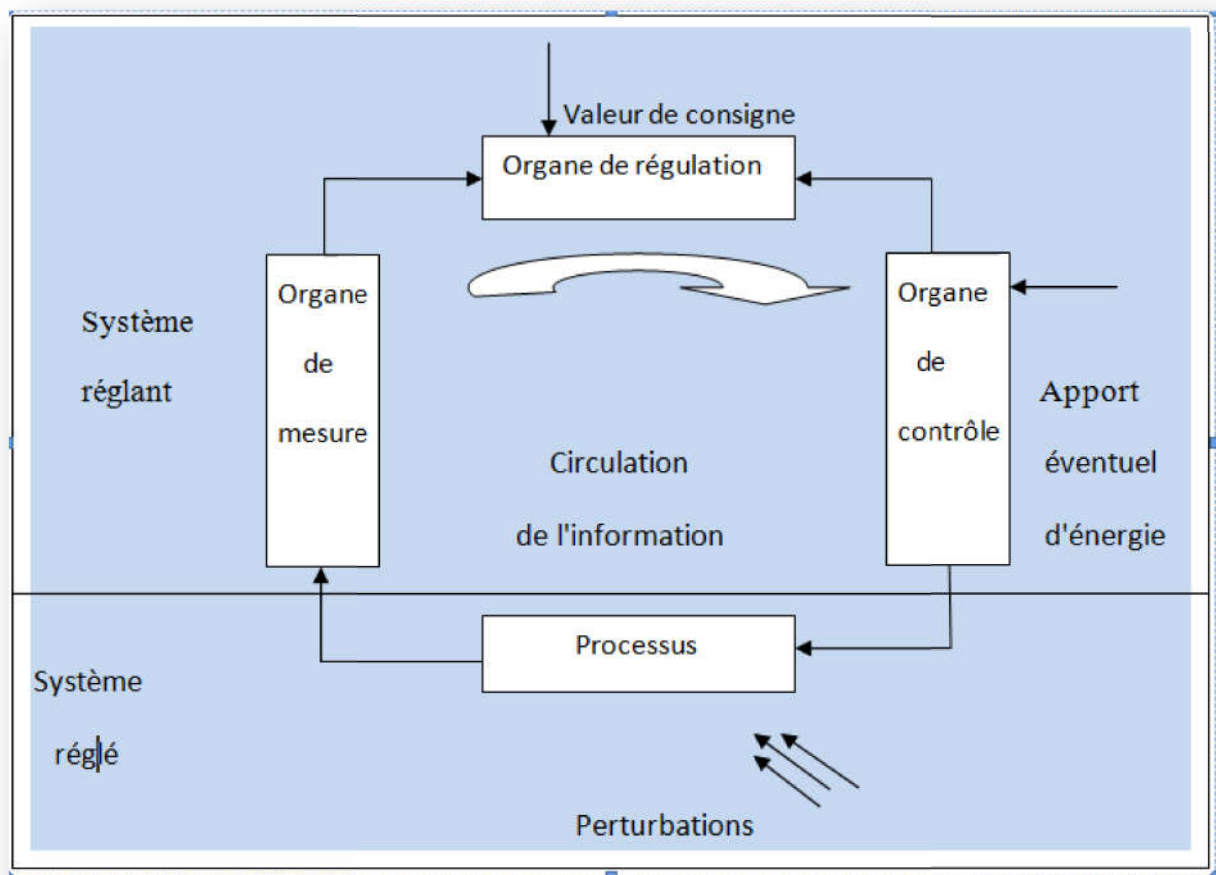


Figure I-3 : Schéma de principe du la régulation.

I-2-2-3 Typologie de régulation : Il existe deux types de boucles de régulation : régulation en boucle ouverte et en boucle fermée.

a- Régulation en boucle ouverte : Un système en boucle ouverte est un système qui ne comporte pas de contre-réaction (feedback) entre la sortie et l'entrée, qui n'implique aucune information sur la sortie. Classiquement, il est composé d'un correcteur, actionneur et un processus. Comme elle montre la figure suivante [9].

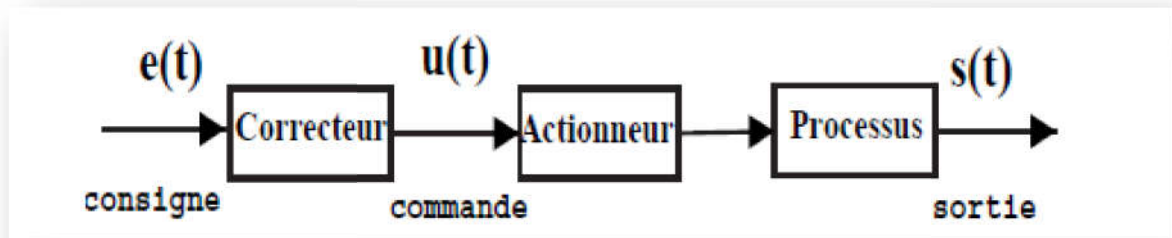


Figure I-3 : Système en BO.

Le système en boucle ouverte contient des avantages et des inconvénients parmi eux :

- les avantages : [7]
 - Permet d'anticiper les phénomènes et d'obtenir des temps de réponse très courts.
 - Il n'y a pas d'oscillation à craindre (car il s'agit d'un système dynamiquement stable).
 - C'est la seule solution envisageable lorsqu'il n'y a pas de contrôle final possible.
- Les inconvénients : [10]
 - Correction impossible : n'ayant aucune information sur la sortie, l'opérateur ne peut élaborer aucune stratégie d'ajustement pour obtenir la sortie désirée.
 - Sensibilité aux perturbations : en admettant que la sortie soit conforme à la consigne; une perturbation peut, à un moment donné, affecter la sortie. L'opérateur ne pourra corriger cette situation.

b- Régulation en boucle fermée : La grandeur réglante exerce une influence sur la grandeur réglée, pour la maintenir dans des limites définies malgré les perturbations. La figure ci-dessous illustre un système en BF [3].

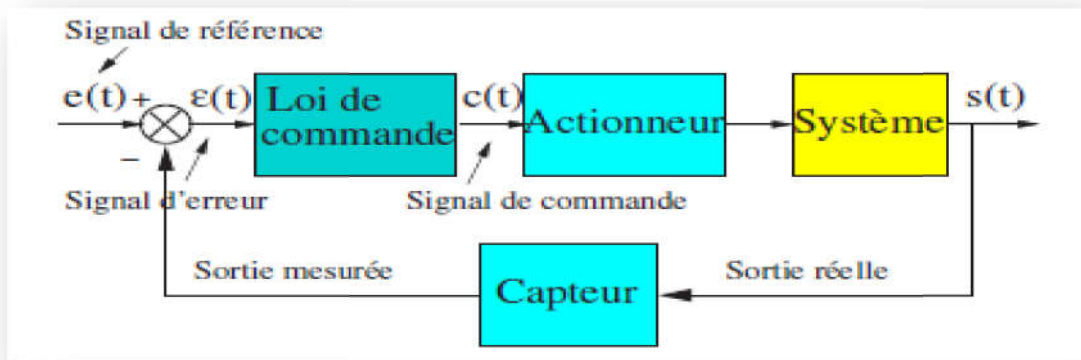


Figure I-4 : Système en BF.

Comme celle en boucle ouverte, la boucle fermée contient aussi un coté positif et un coté négatif :

➤ Coté positif : [7]

- Une bonne partie des facteurs perturbateurs sont automatiquement compensés par la contre-réaction à travers le procédé.
- Il n'est pas nécessaire de connaître avec précision les lois, le comportement des différents composants de la boucle, et notamment du processus.
- La connaissance des allures statistiques et dynamiques des divers phénomènes rencontrés soit utile pour le choix des composants.

➤ Coté négatif : [7]

- Il faut citer le fait que la précision et la fidélité de la régulation dépend de la fidélité et de la précision sur les valeurs mesurées et sur la consigne
- Le comportement dynamique de la boucle dépend des caractéristiques des différents composants de la boucle, et notamment du processus.
- Pour que la régulation envoie une commande à l'organe de contrôle, il faut que les perturbations ou les éventuelles variations de la valeur de consigne se manifestent sur la sortie du processus.

I-2-2-4 Régulation Tout Ou Rien (TOR) : Ce dispositif est utilisé surtout pour les réglages de température ou de niveau, c'est-à-dire pour des processus à forte inertie. La régulation TOR se caractérise par son action sur l'organe de réglage qui ne peut être que fonctionner à 100% ou à 0%. L'action du régulateur peut se présenter comme un contact ouvert ou fermé, aussi

comme un signal de 0V ou bien 24V pour commander une électrovanne [4] [11]. La figure ci-dessous présente une action discontinue d'un régulateur TOR [4].

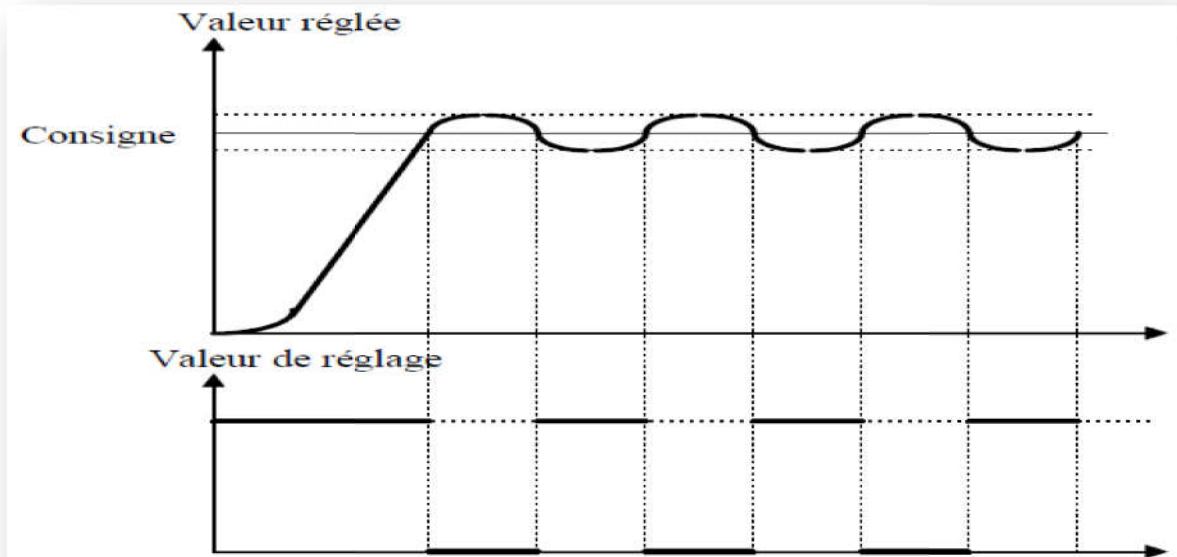


Figure I-5 : Action discontinue.

I-3 Etude de régulateur industriel PID : Le régulateur industriel est un appareil qui a pour rôle essentiel de contrôler le procédé, c'est-à-dire de garantir les comportements dynamique et statique du procédé conformes au cahier des charges défini.

Ceci est réalisé par réglage et adaptation des paramètres de sa fonction de transfert au procédé à contrôler [1]. La figure ci-dessous illustre le schéma bloc de la boucle de réglage [12].

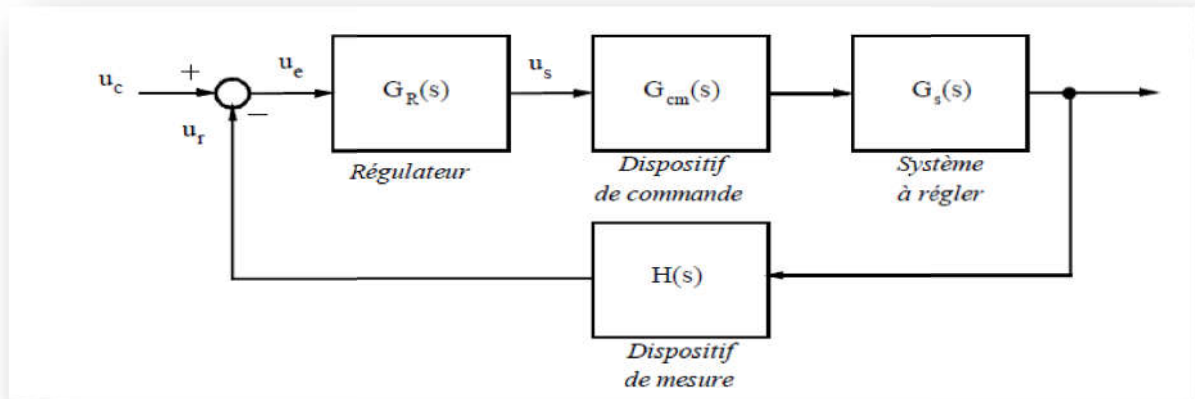


Figure I-6 : Schéma bloc de la boucle de réglage.

Il existe deux types de régulations industrielles :

- Régulation analogique.
- Régulation numérique.

I-3-1 Régulation analogique : C'est un système qui fonctionne à partir d'un signal continu spécifique sous forme de tension, nécessaires à la réalisation des régulateurs analogique. Les valeurs des grandeurs physiques constituant les signaux analogiques doivent être représentés par des nombres.

I-3-1-1 Actions PID : Un régulateur PID est obtenu par l'association de ces trois actions et il remplit essentiellement les trois fonctions suivantes : [7]

- Fonction proportionnelle donne un système plus précis, plus rapide.
- Fonction intégrateur élimine l'erreur statique.
- Fonction dérivée accélère la correction

a- Action proportionnelle : [7] Le rôle de l'action proportionnelle est de minimiser l'écart ϵ entre la consigne et la mesure, elle réduit le temps de montée et le temps de réponse. On constate qu'une augmentation du gain K_c du régulateur entraîne une diminution de l'erreur statique et permet d'accélérer le comportement global de la boucle fermée. On serait tenté de prendre des valeurs de gain élevées pour accélérer la réponse du procédé mais on est limité par la stabilité de la boucle fermée. En effet, une valeur trop élevée du gain augmente l'instabilité du système et donne lieu des oscillations.

La sortie du correcteur est donnée par :

$$Y(t) = K_c \cdot \mathcal{E}(t) \quad \text{I-1}$$

Sa fonction de transfert est donc :

$$C(s) = K_c. \quad \text{I-2}$$

b- Action intégral : L'action intégrale agit proportionnellement à la surface de l'écart entre la consigne et la mesure, et elle poursuit son action tant que cet écart n'est pas nul. On dit que l'action intégrale donne la précision statique (elle annule l'erreur statique). L'action intégrale est conditionnée par le temps d'intégrale T_i , la sortie du correcteur est donnée par [7]:

$$Y(t) = \frac{1}{T_i} \int_0^t \mathcal{E}(\tau) d\tau \quad \text{I-3}$$

Comme dans le cas de l'action proportionnelle, un dosage trop important de l'action intégrale engendre une instabilité de la boucle de régulation. Pour son réglage, il faut trouver un compromis entre la stabilité et la rapidité [7].

L'ajout du terme intégral permet d'améliorer la précision mais en contrepartie, il introduit malheureusement un déphasage de $(-\pi/2)$ ce qui risque de rendre le système instable du fait de la diminution de la marge de phase [11].

La fonction de transfert de l'action intégrale prend la forme générale suivante :

$$C(s) = \frac{1}{T_i \cdot s} \quad \text{I-4}$$

Ti : La constante d'intégration.

c- Action dérivée : [7] C'est une action qui tient compte de la vitesse de variation de l'écart entre la consigne et la mesure, elle joue un rôle stabilisateur, contrairement à l'action intégrale.

En effet, elle délivre une sortie qui varie proportionnellement à la vitesse de variation de l'écart $\mathcal{E}$:

$$Y(t) = T_d \frac{d\mathcal{E}(t)}{dt} \quad \text{I-5}$$

Qui implique sa fonction de transfert donnée comme suit :

$$C(s) = T_d \cdot s \quad \text{I-6}$$

Avec T_d : La constante de dérivation et exprimée en minutes ou en secondes [7].

L'action dérivée va ainsi intervenir sur la variation de l'erreur ce qui augmente la rapidité du système (diminution des temps de réponses). L'action dérivée permet aussi d'augmenter la stabilité du système par un rapport de phase $(+\pi/2)$ ce qui augmente la marge de phase. L'annulation de cette action en régime statique impose donc de ne jamais l'utiliser seule [11].

d- Actions proportionnelle et intégral (PI) : [11] Pour un régulateur intégral pur, le régime dynamique est relativement long. D'un autre côté, le régulateur proportionnel réagit immédiatement aux écarts de réglage mais il n'est pas en mesure de supprimer totalement l'erreur statique. La combinaison des actions proportionnelle et intégrale permet d'associer l'avantage du régulateur **P**, c'est-à-dire la réaction rapide à un écart de réglage, à l'avantage du régulateur **I** qui est l'élimination de l'écart statique.

Sa fonction de transfert est :

$$C(p) = K_c \left(1 + \frac{1}{T_i p} \right) \quad \text{I-7}$$

e- Action proportionnelle et dérivée (PD) : Il combine l'action proportionnelle et l'action dérivée. Cette forme de régulateur n'est pas réalisable, on donne sa fonction de transfert [11] :

$$C(p) = K_c (1 + T_d p) \quad \text{I-8}$$

f- Actions proportionnelle, intégral et dérivée (PID) : L'action PID permet une régulation optimale, en associant les avantages de chaque action : la composante **P** réagit à l'apparition d'un écart de réglage, la composante **D** s'oppose aux variations de la grandeur réglée et stabilise la boucle de régulation et la composante **I** élimine l'erreur statique. Et c'est pour cela que ce type de correcteur est le plus utilisé en milieu industriel [7].

La fonction de transfert (TF) de l'action PID est donnée par rapport à sa structure, en terme d'exemple : la structure mixte sa TF est comme suit [11] :

$$C(p) = K_c \left(1 + \frac{1}{T_i p} + T_d p \right) \quad \text{I-9}$$

I-3-1-2 Différentes structures des régulateurs PID : Dans un régulateur PID, il existe plusieurs façons d'associer les paramètres P, I et D. En effet, le correcteur PID peut avoir une structure série, parallèle ou mixte, qui sont illustrés dans le tableau suivant [13].

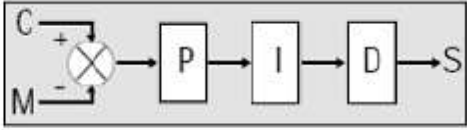
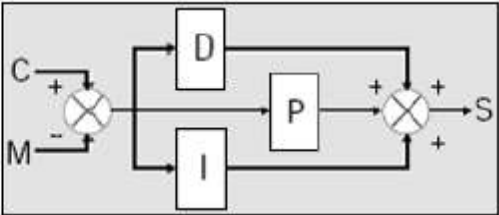
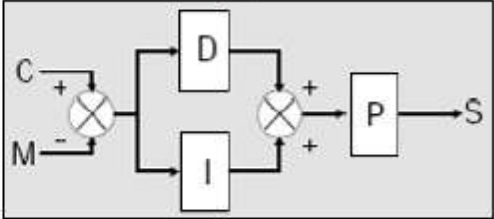
Structure du régulateur PID	Schéma et fonction de transfert
Série	 $K_P \left(\frac{T_i + T_d}{T_i} + \frac{1}{pT_i} + pT_d \right)$
Parallèle	 $K_P + \frac{1}{pT_i} + pT_d$
Mixte	 $K_P \left(1 + \frac{1}{pT_i} + pT_d \right)$

Tableau I-1 : Différentes structures du régulateur PID.

I-3-2 Régulation numérique : Le principe de la régulation numérique est identique à celui de la commande analogique. La structure du système bouclé reste la même dans les deux cas, mais les signaux nécessaires pour le traitement de l'information change, à cet effet, on introduit des dispositifs électroniques qui permettent de transformer les signaux analogiques au numérique et vice versa. Ceci est illustré comme suit [6] :

- Le signal mesuré échantillonné et quantifié est obtenu par un convertisseur analogique/numérique.
- Le signal réglant fourni sous la forme d'une suite de nombres est obtenu par un convertisseur numérique/analogique.

Dans notre travail, nous sommes intéressés à étudier la régulation numérique, elle sera détaillée au dessous.

I-4 Etude de la régulation numérique : [11] Depuis l'apparition et le développement des systèmes informatiques (microprocesseurs, micro-ordinateurs, microcontrôleurs), leur utilisation en commande et régulation des systèmes industriels ne cesse de s'accroître.

Ce développement résulte essentiellement de la souplesse de réalisation de la régulation numérique : la mise au point et le réglage consistent essentiellement à déterminer les coefficients d'une équation dite équation récurrente, qui constitue le cœur d'un programme de calcul exécuté en boucle par un processeur. Le coût de développement et de maintenance d'un tel régulateur est donc nettement plus avantageux que la réalisation de carte analogique spécifique, nécessaires à la réalisation des régulateurs analogiques.

Cependant, le traitement numérique présente quelques différences importantes par rapport au traitement analogique :

- Les valeurs des grandeurs physiques constituant les signaux analogiques doivent être représentés par des nombres.
- Les opérations numériques réalisées par le processeur ne se font pas instantanément : il faut donc introduire la prise en compte de la durée du calcul.

En fait, vu d'un calculateur numérique, le temps ne peut pas s'écouler de façon continue telle qu'on le perçoit dans le monde physique. Le temps se définit sur un ensemble discret d'instants : les instants d'échantillonnage, séparés par un intervalle de temps régulier : la période d'échantillonnage.

Il est donc nécessaire de définir des outils mathématiques nouveaux, adaptés au temps discret, pour représenter ces signaux et les systèmes échantillonnés, puis d'adapter les outils et les méthodes de l'automatique analogique (à temps continu) à la conception des régulateurs numériques.

I-4-1 Structure générale de la régulation numérique : [14] La structure générale de la régulation numérique est illustrée par la figure ci-dessous :

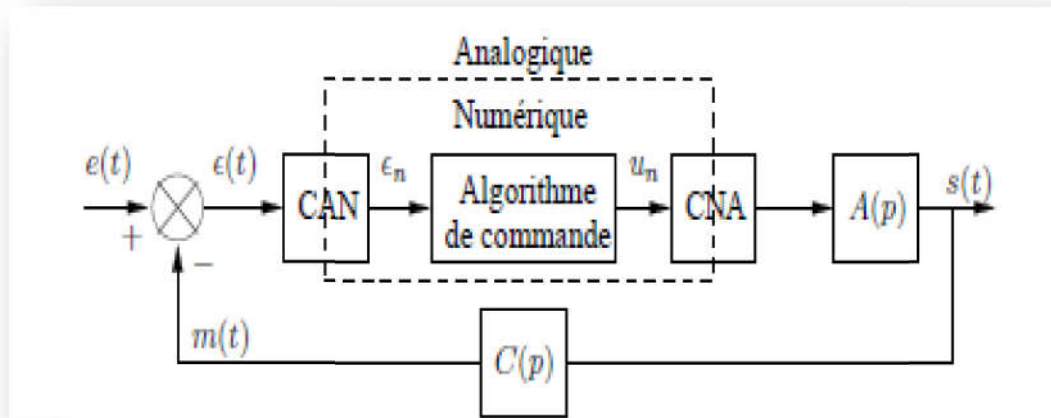


Figure I-7 : Structure typique de la réalisation
d'un asservissement numérique.

La régulation numérique se fait typiquement par le biais d'une structure schématisée par la figure I-8 et composée des objets fondamentaux suivants :

- ❖ **un comparateur** : celui-ci fournit un signal d'écart $q(t)$ qui réalise la différence entre le signal analogique de référence $e(t)$ et le signal analogique de mesure $m(t)$.
- ❖ **Des transmittances $A(p)$ et $C(p)$** : représentant respectivement la dynamique du système et celle du capteur.
- ❖ **un algorithme de commande** : celui-ci manipule des suites de nombres et a pour fonction d'élaborer la loi de commande. Il délivre donc le signal numérique de commande U_n .
- ❖ **Un convertisseur analogique numérique CAN** : celui-ci fonctionne à la période d'échantillonnage $T > 0$. Il fournit à sa sortie le signal numérique d'écart noté e_n .
- ❖ **Un convertisseur numérique analogique CNA** : celui-ci fonctionne à la période d'échantillonnage $T > 0$. Il transforme le signal numérique de commande issu du calculateur en le signal analogique de commande correspondant.

Le bloque qui assure cette conversion est appelé bloqueur d'ordre zéro dit B.O.Z.

I-4-2 Les caractéristiques de régulateur PID numérique : [11] Le régulateur standard le plus utilisé dans l'industrie est le régulateur PID (proportionnel Intégral Dérive), car il permet de régler à l'aide de ses trois paramètres les performances (amortissement, temps de réponse,...) d'un processus.

Nombreux sont les systèmes physiques qui même en étant complexes, ont un comportement voisin de celui d'un deuxième ordre. 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 sur les performances de la boucle fermée par rapport à celles de la boucle ouverte.

Si la dynamique 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, au dépend de la sensibilité aux variations des paramètres du procédé.

I-4-2-1 Bloqueur : [14] Un bloqueur est un dispositif logique utilisé pour la commande des procédés, dans le cas de signaux échantillonnés

Il existe plusieurs sortes de bloqueurs. Leur principe est de « recréer » du signal entre des valeurs discrètes fournies en entrée. Le plus simple est le bloqueur d'ordre 0 dont la sortie garde la même valeur jusqu'à l'arrivée d'une nouvelle valeur en entrée. L'ordre du bloqueur représente la complexité de la section de courbe située entre deux valeurs :

- Pour un ordre 0, la représentation de la sortie donnera un histogramme en barres.
- Pour un ordre 1, on aura des segments reliant directement deux valeurs successives, soit une interpolation linéaire basique.
- Pour un ordre 2, on obtiendra une parabole entre 2 valeurs.
- Pour un ordre n , on obtiendra une courbe d'ordre n entre 2 valeurs successives.

Dans notre cas on s'intéresse à représenter le bloqueur d'ordre zéro (B.O.Z).

❖ **Bloqueur d'ordre zéro :**

Durant un intervalle d'échantillonnage $[nT, (n+1) T]$, le bloqueur d'ordre zéro maintient le signal continu à une valeur constante, égale à la valeur de l'échantillon e_n . Le signal ainsi obtenu est donc constant par morceaux.

On dit aussi que le bloqueur d'ordre zéro permet l'extrapolation linéaire de degré 0 entre

nT et $(n + 1) T$ à partir de la valeur e_n . La figure ci-dessous illustre le comportement du bloqueur d'ordre zéro.

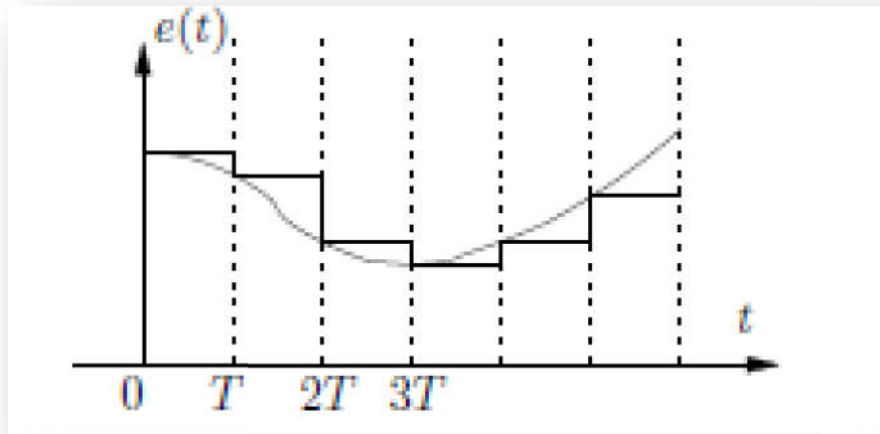


Figure I-8 : Comportement du bloqueur d'ordre zéro.

La fonction de transfert d'un bloqueur d'ordre zéro est donnée par :

$$B_0(p) = \frac{1 - e^{-pT}}{p} \quad \text{I-10}$$

I-4-2-2 Les convertisseurs : [14] Dans le schéma globale, deux blocs ont été présentés, le convertisseur analogique numérique noté CAN, et le convertisseur numérique analogique noté CNA. Ces deux blocs entourent le calculateur numérique. Ce sont ces objets qui réalisent, comme nous allons le voir, l'interface entre le monde du numérique avec celui de l'analogique. Avec les outils présentés dans ce chapitre, nous pouvons proposer une modélisation du comportement technologique réel des convertisseurs.

a- Le Convertisseur analogique numérique : Le fonctionnement du CAN peut être schématisé par la figure ci-dessous :

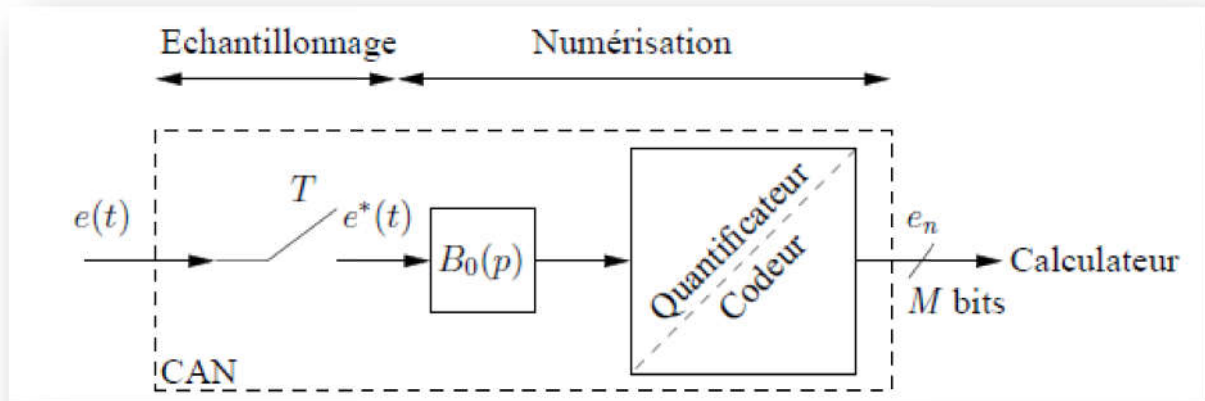


Figure I-9 : Modélisation du convertisseur analogique numérique.

Deux étapes constituant le fonctionnement de convertisseur analogique numérique sont : l'échantillonnage et la numérisation.

❖ **Échantillonnage :** L'échantillonneur crée un signal peigné. Il est schématisé par un interrupteur dont l'ouverture et la fermeture sont cadencées à la période d'échantillonnage par l'horloge du calculateur. En pratique, la fréquence d'horloge est bien plus élevée que la fréquence d'échantillonnage, ceci afin de permettre au calculateur de délivrer le résultat des opérations nécessaires avant l'acquisition de l'échantillon suivant.

❖ **Numérisation :** Le bloqueur d'ordre zéro maintient chaque échantillon de signal pendant la durée d'échantillonnage. Cela permet au quantificateur d'avoir le temps d'associer à l'échantillon une valeur dans un intervalle de nombres entiers $[0, 1, \dots, 2^M - 1]$ sous forme binaire, où M est nombre entier caractérisant le nombre de bits utilisés pour quantifier le signal analogique, définissant ainsi le nombre de niveaux disponibles pour quantifier le signal. Le nombre entier issu du quantificateur est alors associé par le codeur à un autre nombre binaire mais dont la valeur a un sens au regard des coefficients programmés dans le calculateur, c'est-à-dire tenant compte de son signe ou de la virgule flottante.

La quantification est une opération mathématique visant à affecter à un signal analogique possédant une infinité de valeurs différentes à un nombre fini de valeurs.

b- Le Convertisseur numérique analogique : Le fonctionnement du CNA peut être schématisé par la figure ci-dessous :

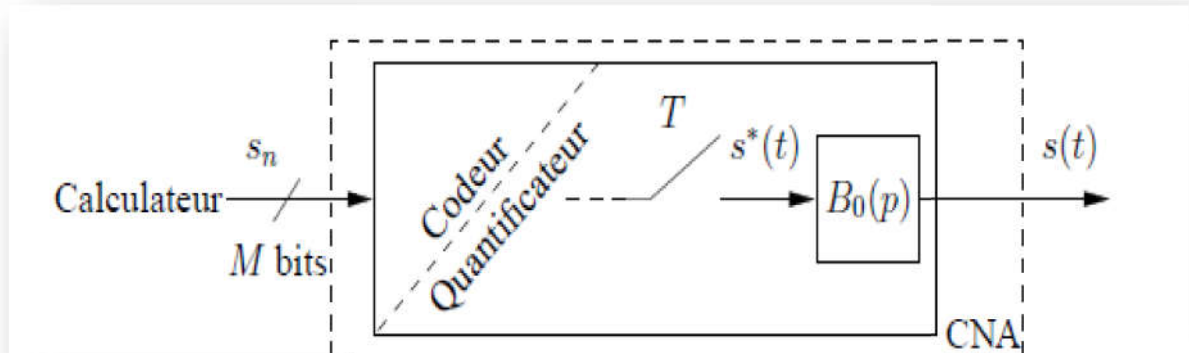


Figure I-10 : Modélisation du convertisseur numérique analogique.

Le calculateur fournit une valeur codée sous forme binaire mais tenant compte du signe ou de la virgule flottante du nombre traité. Le codeur transforme ce nombre en un autre nombre binaire "lisible" par le quantificateur qui le transforme à son tour en un signal analogique échantillonné de valeur adéquate. Ce signal est généralement maintenu constant durant toute la période d'échantillonnage. On retrouve ainsi un comportement de bloqueur d'ordre zéro précédé d'un échantillonneur.

I-4-2-3 L'échantillonnage : La valeur fournie par le capteur est mesurée de manière régulière suivant une fréquence. Entre deux échantillonnages, la mesure considérée à une valeur fixe égale à la valeur prise lors de l'échantillonnage s'effectue à une fréquence double de la fréquence du signal à étudier [11].

a- Choix du pas d'échantillonnage : [7] La fréquence d'échantillonnage $f_e = \frac{1}{\Delta}$ est un paramètre essentiel à régler : elle correspond au nombre d'échantillons du signal que l'ordinateur peut prélever pendant une seconde d'acquisition.

Plus la fréquence d'échantillonnage est élevée et plus celui-ci sera capable de capter des phénomènes rapides. A titre d'exemple, une fréquence d'échantillonnage de 2G écha /s pourra prélever un échantillon toutes les 500 Ps : c'est la période d'échantillonnage (1 / fréquence d'échantillonnage).

Δ ne doit pas être trop petit si non l'ordinateur consacre inutilement trop de temps aux systèmes qu'il pilote, en le corrigeant par petits coups souvent répétés, et il ne doit pas être trop grand si non l'ordinateur ne recevra pas certaines informations importantes.

I-4-3 Les différentes actions PID numériques : [11] [15] Lorsque le processus est numérique, on parlera de commande numérique. Tous les signaux sont numériques et échantillonnés à la période Δ .

Pour chercher une loi de commande on doit donc calculer le correcteur nécessaire. Dans la commande numérique, il s'agit de produire $u(k)$. Dans se qui vient, on va déterminer la loi de commande $u(k)$ pour chaque action P, I et D.

a- L'action proportionnelle P : Dans le cas discret, la sortie du régulateur est déduite à partir de la relation :

$$u(k) = K_C \cdot \mathcal{E}(k) \quad \text{I-11}$$

K_C : est le coefficient de proportionnalité à régler de façon manuelle.

b- L'action dérivée D : Elle délivre une sortie variant proportionnellement à la vitesse de variation de l'écart $\mathcal{E}$. Dans le cas discret on a la formule suivante :

$$u(k) = Z_o U(k-1) + N \mathcal{E}(k) - N \mathcal{E}(k-1) \quad \text{I-12}$$

c- L'action intégrale I : Pour le cas discret, on aura la formule suivante :

$$u(k) = U(k-1) + \frac{\Delta}{T_i} \mathcal{E}(k-1) \quad \text{I-13}$$

I-4-4 Les différents types de régulateurs numériques : [11] [15] On distingue quatre types de régulateurs numériques : P, PI, PD et PID.

a- Le régulateur proportionnel P : Le régulateur proportionnel permet d'améliorer le temps de réponse du système. La commande de ce régulateur est proportionnelle à l'erreur. Sa fonction de transfert est:

$$u(k) = k_c \cdot \mathcal{E}(k) \quad \text{I-14}$$

b- Le régulateur proportionnel dérivé PD : La commande de ce régulateur est proportionnelle à l'erreur, mais aussi proportionnelle à la dérivée de l'erreur. La dérivée de l'erreur correspond à la variation de l'erreur d'un échantillon à l'autre et se calcule en faisant

la différence entre l'erreur courante et l'erreur précédente (c'est une approximation linéaire et locale de la dérivée). La FT du régulateur PD est:

$$u(k) = K_c \cdot \mathcal{E}(k) + T_d \cdot (\mathcal{E}(k) - \mathcal{E}(k-1)) \quad \text{I-15}$$

T_d : est la constante de temps dérivée. Il faut régler cette constante manuellement.

c- Le régulateur proportionnel intégral PI : Pour un régulateur intégral pur, le régime dynamique est relativement long. D'un autre côté, le régulateur proportionnel réagit immédiatement aux écarts de réglage mais il n'est pas en mesure de supprimer totalement l'erreur statique. La combinaison des actions proportionnelles et intégrales permet d'associer l'avantage du régulateur P, c'est-à-dire la réaction rapide à un écart de réglage, à l'avantage du régulateur I qui est la compensation exacte de la grandeur pilotée.

La commande de ce régulateur est proportionnelle à l'erreur, mais aussi proportionnelle à l'intégrale de l'erreur. On rajoute donc à la commande générée le régulateur proportionnel, la somme des erreurs commises au cours du temps.

On donne l'algorithme de commande du régulateur PI :

$$u(k) = K_c \cdot \mathcal{E}(k) + T_i \cdot \sum \mathcal{E}(k) \quad \text{I-16}$$

Avec T_i : constante de temps intégrale.

d- Le régulateur proportionnel intégral dérivée PID : régulateur PID est obtenu par l'association de trois action P, I et D est il remplit les trois fonctions suivantes :

- Il fournit un signal de commande en tenant compte de l'évolution du signal de sortie par rapport à la consigne.
- Il élimine l'erreur statique grâce au terme intégrateur.
- Il anticipe les variations de la sortie grâce au terme dérivateur.

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

On donne l'algorithme de commande du régulateur PID :

$$u(k) = K_c \mathcal{E}(k) + T_i \sum \mathcal{E}(k) + T_d (\mathcal{E}(k) - \mathcal{E}(k-1)) \quad \text{I-17}$$

I-5 Conclusion : Nous avons vu dans ce premier chapitre les notions d'asservissement et de régulation avec ses deux types (analogique et numérique). On a déduit que Le régulateur PID (action proportionnelle, intégrale et dérivée) est une combinaison d'un régulateur P, un régulateur I et un régulateur D. Aussi on a vu les équations pour les quatre régulateurs P, PI, PD et PID dans les deux types de régulation.

Dans le prochain chapitre, nous allons présentés le banc didactique de type 38-001 utilisé dans notre mémoire.

CHAPITRE II

**Etude du banc didactique
de type 38-001**

II-1 Introduction : [16] [17] Le système de contrôle de niveau / débit est un système à boucle unique permettant l'étude des principes de contrôle de processus, en utilisant le niveau et le débit de liquide comme les variables de processus mesurées. Le système est un circuit d'écoulement d'eau à faible pression, entièrement autonome, supporté sur un banc panneau, ce qui le rend approprié pour le travail individuel pour étudiant ou pour des démonstrations de groupe. Il comprend un réservoir de traitement à double compartiment, réservoir de soupape par vannes à commande manuelle et solénoïde. L'eau est acheminée du réservoir jusqu'au bac de stockage par le biais d'un débitmètre à surface variable et une vanne de commande motorisée. Le niveau est mesuré dans le réservoir de traitement. Le débit est mesuré à l'aide d'un débitmètre à impulsions optiques. En outre, le système contient une sélection de capteurs de niveau, de débit et indicateurs, débit contrôlé par vanne de régulation motorisée linéaire, la commande marche / arrêt est proportionnelle, une régulation P, PI et PID complète avec réglage automatique. L'eau est utilisée comme fluide de processus. Cet instrument est conçu par la société Feedback qui développe des instruments et équipements à vocation didactique, qui sont utilisés dans les collèges et les établissements ou organismes d'enseignement technique du monde entier. Des platines électroniques de base aux systèmes industriels complexes, Feedback propose les matériels les plus appropriés pour manipuler et apprendre avec réalisme dans la généralité des disciplines techniques enseignées aujourd'hui. Dans le cadre de notre mémoire, nous intéresserons à étudier le banc didactique de type 38-001 avec ses divers instruments, il sera détaillé ci-dessous.

II-2 Les différents blocs de banc didactique 38-001 : Ce type de banc se compose principalement de trois blocs qui sont reliés entre eux par un système de câblage est qui sont :

- Processus de base 38-100.
- Interface de processus 38-200.
- Contrôleur de processus 38-300.

II-2-1 Processus de base 38-100 : [17] Le processus de base 38-100 consiste principalement en un circuit d'écoulement d'eau à basse de pression qui est complètement autonome. Les composants constituant ce bloque sont :

- Réservoir de vidange.
- Réservoir de traitement à double compartiment.
- Pompe de circulation.

- Capteur de niveau du flotteur.
- Débitmètre à zone variable.
- Servovalve.
- 03 électrovannes (SV1, SV2 et SV3).
- 05 vannes manuelles (MV1, MV2, MV3, MV4 et vanne de vidange).
- Transmetteur de niveau flottant 38-401.
- Transmetteur de débit pulsé 38-421.
- Module d'affichage numérique 38-490.

La figure ci dessous représente le processus de base 38-100.

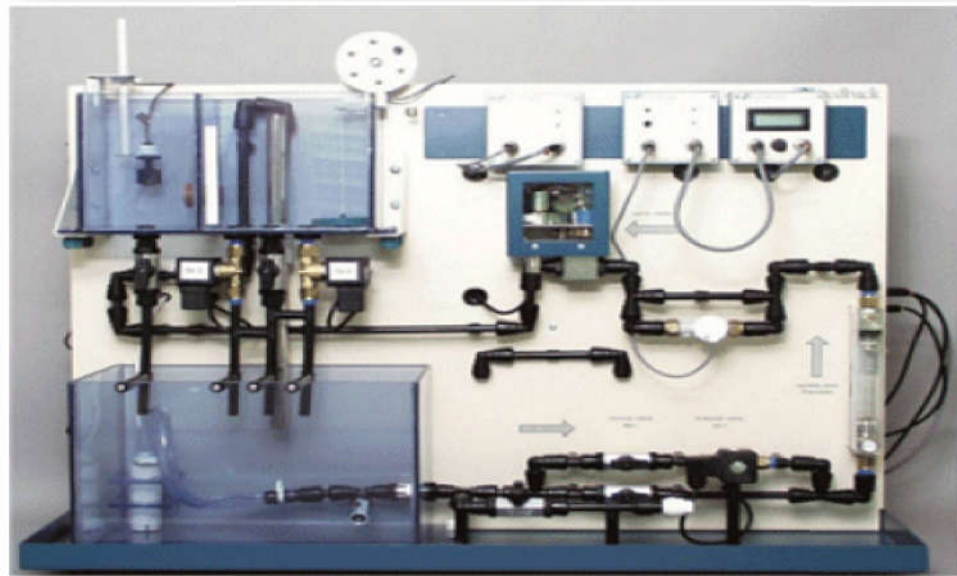


Figure II- 1 : Photo du processus de base 38-100.

II-2-1-1 Réservoir : [18] [19] Il existe deux types de réservoirs dans cet appareil : réservoir de vidange et réservoir de traitement à double compartiment. La figure ci-dessous présente les deux types de réservoir.

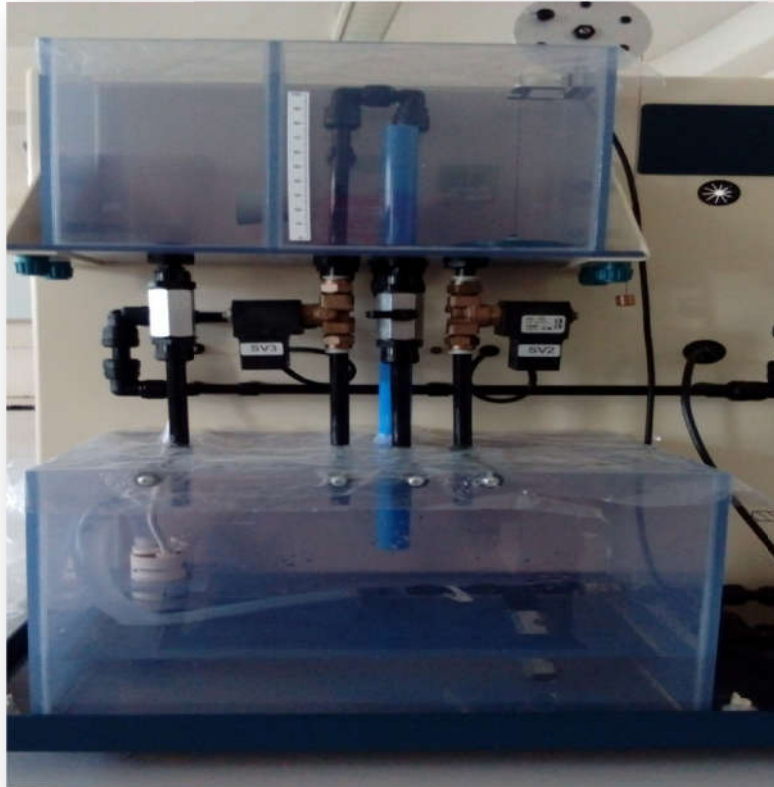


Figure II- 2 : Photo des deux types du réservoir.

❖ **Réservoir de vidange :** Le réservoir contient du liquide pour alimenter un procédé. Le procédé étant fourni nécessite une tête de liquide constante et un système de commande est donc nécessaire pour maintenir le niveau du réservoir constant. Il contient à l'intérieur une pompe qui sert à servir le liquide vers le réservoir de traitement à double compartiment (le réservoir supérieur droit). Lorsqu'on fait la régulation de niveau, le réservoir de vidange accueille liquide qui dépasse le niveau désiré dans le réservoir supérieur droit.

❖ **Réservoir de traitement à double compartiment :** Le réservoir supérieur est composé de deux compartiments qui peuvent être isolés l'un de l'autre à l'aide du bouchon en caoutchouc fourni, la création d'un réservoir supérieur gauche et droit. Pour cette application, le réservoir supérieur droit sera utilisé. Le réservoir supérieur est de forme régulière, de section rectangulaire, cela permet de calculer facilement le volume du réservoir à partir de ses dimensions. Pour un volume d'eau donné dans le réservoir, la profondeur (ou niveau) peut être obtenue simplement à partir d'une échelle montée à l'avant du fond vers le haut du réservoir. Les deux autres dimensions, la longueur et la largeur, peuvent être mesurées avec un

instrument correctement calibré. Le plus simple des équipements disponibles pour calibrer les instruments mesurant les débits de liquide est le réservoir calibré.

II-2-1-2 Pompe de circulation : [18] La pompe de processus de base est une pompe submersible protégée contre l'inflammation, installée au bas du réservoir inférieur. La tâche de la pompe est de déplacer l'eau du réservoir inférieur vers le réservoir supérieur à travers le réseau de tuyauterie.

Un moteur électrique à courant continu entraîne l'activation ou désactivation de la pompe et aucune valeur intermédiaire ne peut être réglée. Le moteur est alimenté par l'interface de traitement des sorties d'alimentation AC (commutée ou continue) sur le panneau arrière du l'interface de traitement. La puissance de la pompe est de 48 W (12 V DC/ 4 A).

La pompe utilisée est de type centrifuge par opposition au type à déplacement positif qui comprend les pompes à mouvement alternatif et rotatif.

La pompe centrifuge a accompli sa poussée de pression en communiquant l'énergie cinétique au fluide. Un fluide à basse pression entre dans l'ensemble de pompe à la base du rotor. Le fluide circule autour de la cavité et est aspiré à travers la pompe par l'action du rotor et le profil de la cavité. La figure ci-dessous illustre le fonctionnement de la pompe utilisée :

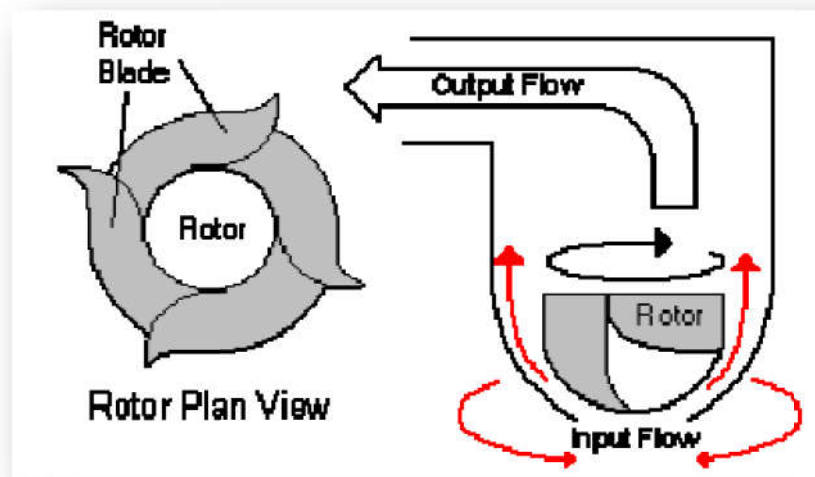


Figure II-3 : Illustration de fonctionnement de la pompe.

Une pompe centrifuge est utilisée dans les cas où des débits élevés et des têtes basse pression sont nécessaires. Si les écoulements doivent être coupés à zéro, la pompe centrifuge peut être simplement purgée en fermant la vanne manuelle MV2.

II-2-1-3 Débitmètre à zone variable : [18] Le débitmètre à zone variable fournit une indication de l'écoulement, allant de 0,4 à 4,4 litres / minute, et ne convient que pour l'eau.

Ce type d'instrument donne une indication visuelle du débit et il est donc d'aucune utilité dans les systèmes de contrôle automatique. Cependant, il est fiable, pas cher et largement utilisé dans toute l'industrie. Il est constitué d'un tube conique, plus large en haut, dans lequel se déplace librement du bas vers le haut, un flotteur spécialement profilé. Le produit traverse le cône de bas en haut et soulève le flotteur, jusqu'à ce qu'il y ait un espace annulaire entre la paroi du tube et le flotteur et que l'équilibre des forces appliquées au flotteur ait été atteint. La figure ci-dessous illustre un débitmètre à zone variable.



Figure II-4 : Photo du débitmètre à zone variable.

II-2-1-4 Servovalve : [18] [20] La servovalve est un organe de contrôle proportionnel au débit ou une pression à sa sortie, modulée par un signal de commande électrique à son entrée. Elle est basée sur une idée très simple, elle utilise une grille pour bloquer le trajet du liquide à travers la vanne et puisque la grille est effectivement abaissée à la demande, elle peut prendre

n'importe quelle position entre 100% ouverte et 100% fermée. La figure ci-dessous présente le type de servovalve utilisée dans le processus de base 38-100 :

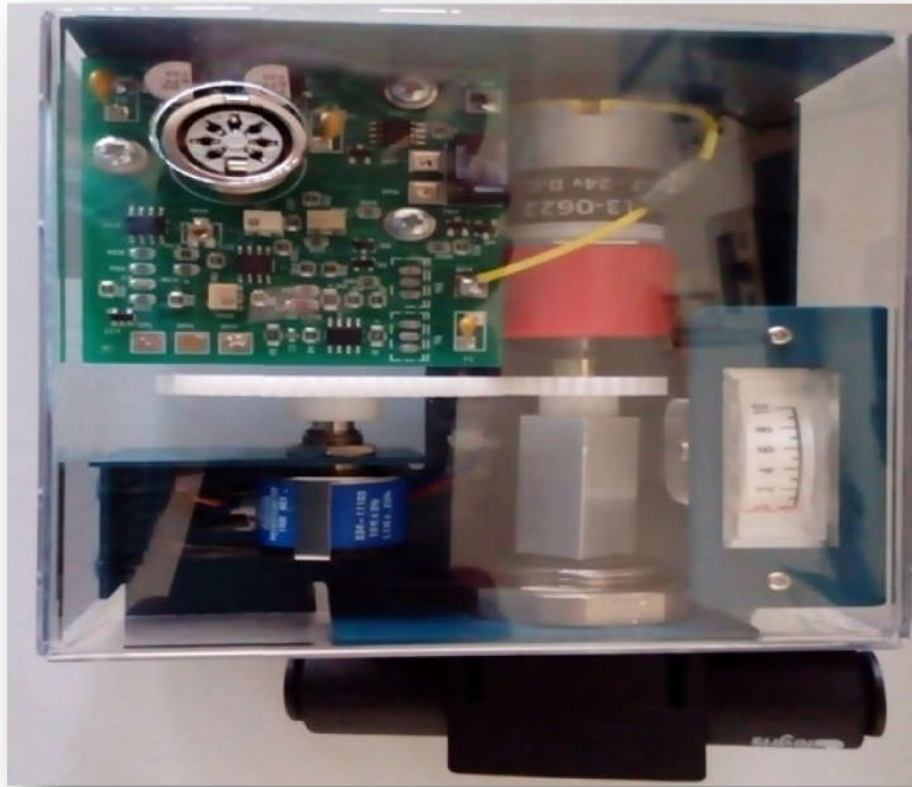


Figure II-5 : Photo de la servovalve.

La servovalve est contrôlée par un signal de 4-20 mA, fourni dans cette pratique par la source de courant généré par l'interface de processus 38-200. À 4 mA, la grille est complètement abaissée, fermant ainsi le débit, tandis que le signal de 20 mA ouvre complètement la soupape. La servovalve est complètement linéaire, le courant appliqué sur elle est approximativement proportionnel avec le taux de débit. La servovalve peut être utilisée à la place de la vanne manuelle, elle est utilisée dans les systèmes de contrôle automatique, contrairement à la vanne manuelle. Elle est constituée d'un moteur à courant continu qui fait tourner la grille via un axe, d'un capteur de position relié avec le moteur par des grenades, ce capteur convertit la position de la grille en un signal électrique vers la carte électronique qui est incluse dans la servovalve pour le traiter, puis il sera envoyé au contrôleur de processus 38-300 pour délivrer un signal de commande utile pour positionner la vanne à la position nécessaire.

II-2-1-5 L'électrovanne : [18] Une électrovanne, contrairement à la vanne manuelle ou à la servovalve, ne peut être ouverte ou fermée. C'est une vanne électromécanique commandée par un courant électrique à travers une bobine de solénoïde électrique qu'est l'élément principal de la vanne. Les électrovannes sont les éléments de commande les plus utilisés en fluidique, elles sont adaptées à l'automatisation car elles peuvent être contrôlées à distance. Le stade normal d'une électrovanne est fermé ou elle est ouverte en faisant passer un courant à travers la bobine. La figure ci-dessous présente l'électrovanne utilisée dans le processus de base 38-100 :



Figure II-6 : Photo du l'électrovanne.

II-2-1-6 La vanne manuelle : [18] Une vanne manuelle est un dispositif destiné à contrôler (stopper ou modifier) le débit d'un fluide liquide ou gazeux en milieu libre ou en milieu fermé. Une vanne manuelle est complètement ouverte lorsque son bouton de réglage est parallèle au tube qui le retient et complètement fermé lorsque le bouton est perpendiculaire au tuyau. La dimension de l'orifice de soupape est variable entre ces deux extrêmes, ce qui permet de contrôler la quantité (ou le volume) d'eau qui traverse la soupape dans un temps donné, c'est-à-dire le débit. Ce type de contrôle est clairement faible en précision, puisqu'il repose sur l'observation et la réaction humaines, mais il est utilisé pour démontrer un système de contrôle manuel. La figure suivante illustre une vanne manuelle.



Figure II-7 : Photo d'une vanne manuelle.

II-2-1-7 Transmetteur de niveau flottant 38-401 : [21] L'émetteur du niveau flottant est un dispositif qui prend des informations de niveau à partir du capteur de niveau de flotteur dans le réservoir et le transmet à l'interface de processus. La figure ci-dessous présente une photo d'un transmetteur de niveau flottant 38-401.



Figure II-8 : Photo d'un transmetteur du niveau flottant 38-401.

❖ **Le capteur du niveau de flotteur** : Le capteur du niveau de flotteur est un potentiomètre relié à une alimentation basse tension. Le potentiomètre est tourné par un disque flottant. La figure ci-dessous illustre un capteur de niveau de flotteur [22] :

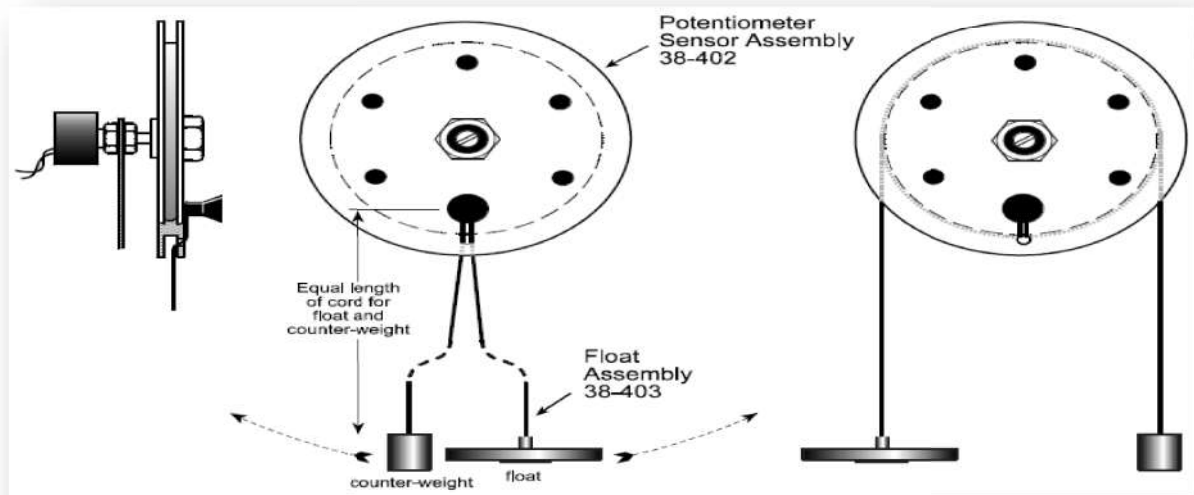


Figure II-9 : Photo d'un capteur du niveau de flotteur.

Comme le niveau d'eau dans le réservoir change, le disque tourne le potentiomètre qui change la tension à travers. C'est cette tension qui est transmise à l'émetteur.

L'émetteur de niveau de flotteur le convertit ensuite en signal de courant du format 4-20mA et transmette-le à l'interface de traitement. En se convertissant au format de signal 4-20 mA, la communication n'est plus limitée à de très courtes distances, ce qui est une préoccupation pour des grandes installations de traitement dont les salles de contrôle sont situées loin des appareils de mesure. La figure suivante illustre la relation fonctionnelle entre le transmetteur de niveau flottant 38-401 et le capteur de niveau de flotteur [23] :

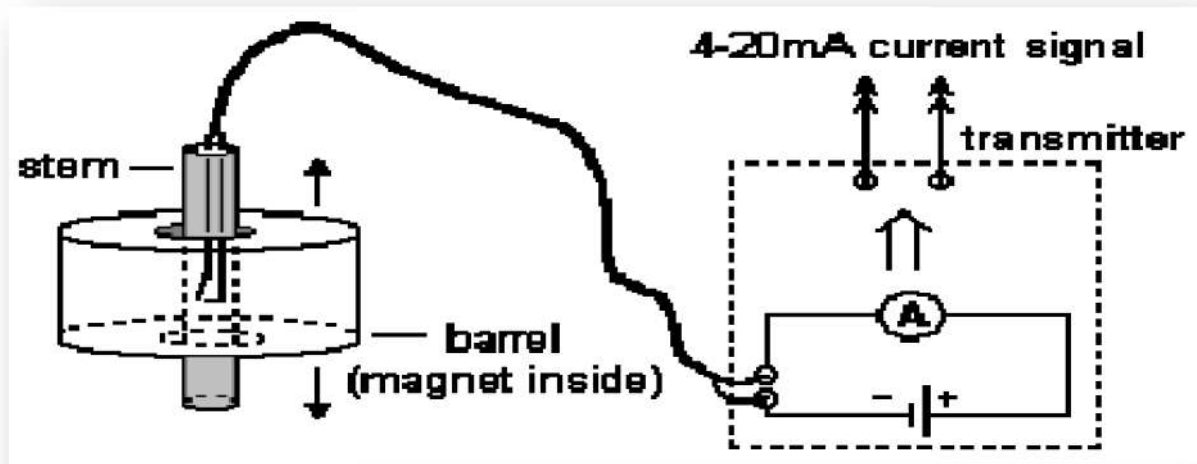


Figure II-10 : Relation fonctionnelle entre le transmetteur du niveau flottant 38-401 et le capteur du niveau de flotteur.

II-2-1-8 Transmetteur du débit pulsé 38-421 : [24] L'émetteur de flux d'impulsions est un dispositif qui prend des informations de débit d'écoulement provenant du capteur de flux d'impulsions (capteur de débit) dans le réseau de conduites et le transmet à l'interface de traitement. La figure ci-dessous présente la photo de transmetteur de débit pulsé 38-421.



Figure II-11 : Photo de transmetteur du débit pulsé 38-421.

❖ **Le capteur de débit** : Ce capteur est une petite roue d'eau à l'intérieur d'un tuyau, qui est tourné par le flux de fluide à travers le tuyau. La vitesse de la roue est proportionnelle à la vitesse du fluide à travers elle, plus le fluide est rapide, plus la roue est rapide. La figure suivante présente un capteur de débit.



Figure II-12 : Photo d'un capteur du débit.

Un détecteur infrarouge détecte son mouvement à travers la roue. Lorsque la roue tourne, se sont des lames qui rompent le faisceau réduisant la sortie. Lorsque la rotation de la roue produit une forme d'onde d'impulsion qui s'appelle un train d'impulsions, dont la fréquence est proportionnelle à la vitesse de rotation (la vitesse d'écoulement). Ce train d'impulsions sera transmis à l'émetteur où il est converti en un signal de courant 4-20 mA dont la grandeur dépend de la fréquence de la forme d'onde. Ce signal de courant est alors transmis à l'interface de traitement.

En se convertissant au format de signal 4-20 mA, la communication n'est plus limitée de très courtes distances, ce qui est une préoccupation lorsque l'on traite avec de grandes installations de traitement avec des salles de contrôle situées à l'écart des appareils de mesure.

En outre, en convertissant au format de signal 4-20 mA, les signaux provenant du capteur de débit pulsé sont compatibles avec tous les autres dispositifs. L'équipement est devenu standardisé et la mise en place du matériel est plus souple. La figure suivante illustre la relation de fonctionnement entre le transmetteur de débit pulsé 38-421 et le capteur de débit.

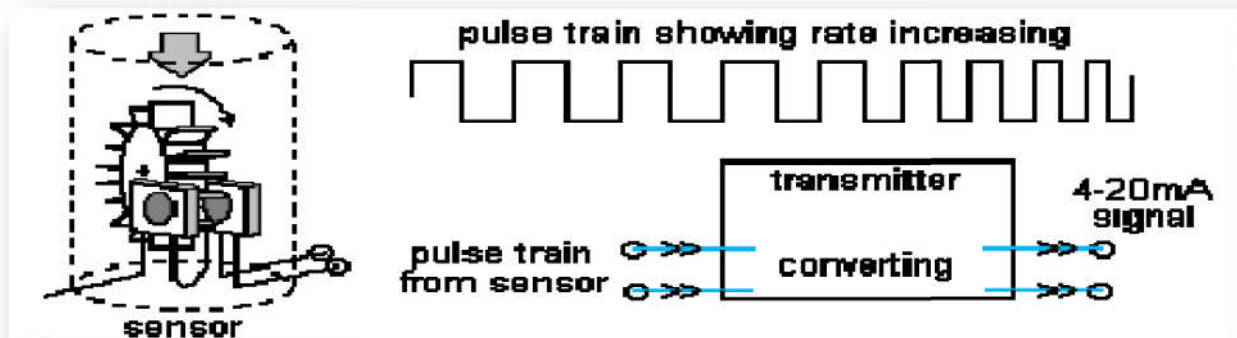


Figure II-13 : Schéma fonctionnel entre le transmetteur du débit pulsé 38-421

et le capteur de débit.

Le capteur d'écoulement d'impulsions est le second dispositif à produire des informations sur l'état du processus, qui peut ensuite être utilisé pour déterminer le fonctionnement futur de ce processus. Ceci, de la même manière que le capteur de niveau et l'émetteur rencontrés dans l'affectation précédente, permet d'utiliser la commande par rétroaction.

II-2-1-9 Module d'affichage numérique 38-490 : Le module d'affichage numérique (en anglais, Digital Display Module, 'DDM') est un milliampère simple, qui sera utilisé beaucoup dans les travaux ultérieurs. La valeur de débit pour un courant particulier est maintenue à partir du débitmètre visuel, tandis que la valeur du courant est obtenue à partir du module d'affichage numérique connecté en série avec la servovalve. Le module d'affichage numérique, lorsqu'il est inclus dans la boucle de courant, indique la valeur du courant dans la boucle en mA ou en pourcentage (%) du courant maximal. Ainsi, 4 mA correspond à 0% et 20 mA à 100%. Ce genre d'afficheur n'est pas un appareil de mesure très précis, mais le but est d'illustrer le processus d'étalonnage et de fournir une précision suffisante aux travaux pratiques qui suivent [19] [20]. La figure suivante présente la photo de module d'affichage numérique 38-490 [20] :

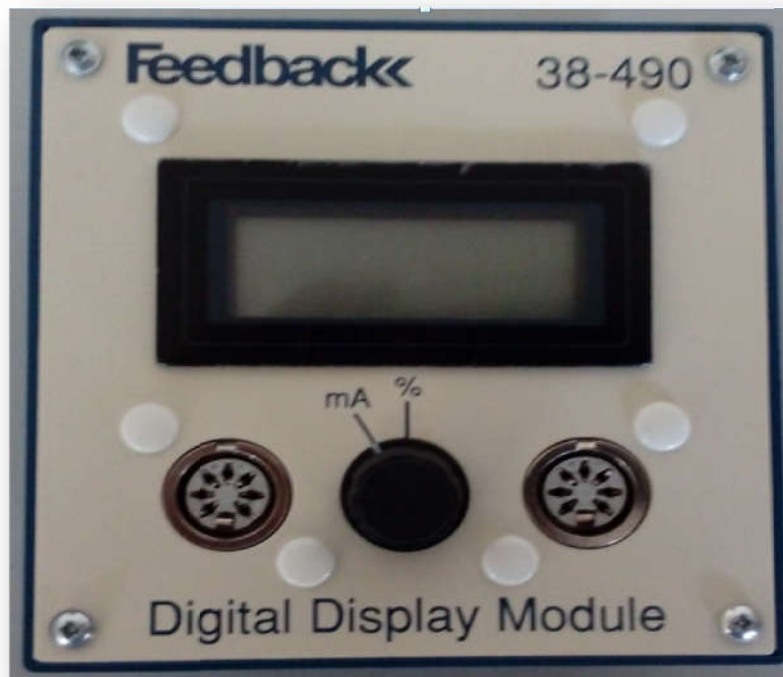


Figure II-14 : Photo du module d'affichage numérique 38-490.

II-2-2 Interface de processus 38-200 : [20] L'interface de processus (en anglais, Process Interface, 'PI') est connectée au système et fournit toutes les prises de courant nécessaires pour le processus de base, capteurs et le contrôleur de processus. Il accepte jusqu'à quatre entrées de signal d'émetteur 4-20 mA et permet afin que différents schémas de commande puissent être rapidement configurés. Il fournit également une valeur de courant de 4-20 mA, deux convertisseurs courant-tension et un comparateur de tension à hystérésis réglable qui peut être utilisé pour fournir une boucle de commande à 2 états simple en plus de la boucle de contrôleur principal. La protection est fournie par un disjoncteur différentiel. La figure ci-dessous présente l'interface de processus 38-200.

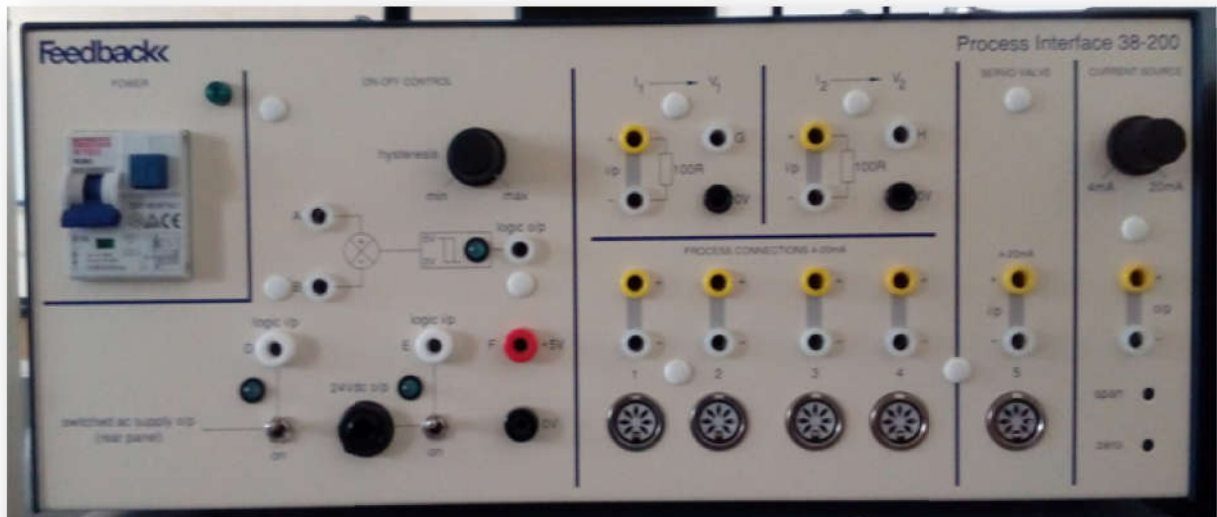


Figure II-15 : Photo du l'interface de processus 38-200.

II-2-3 Contrôleur de processus 38-300 : [16] [25] Le contrôleur de processus (en anglais, Process Controller, 'PC') industriel ABB contenu dans le contrôleur de processus est basé sur un microprocesseur. Il est facilement configurable par l'utilisateur pour fournir une gamme de fonctions de commande allant du 2 états du contrôle à 3 termes de contrôle PID. Il comporte également une consigne locale ou à distance, la retransmission de la consigne ou de la variable de processus, 4 entrées logiques, 4 sorties relais, rampe / trempage (séquençage de profils) et un dispositif d'autotest qui permet d'analyser les exigences d'un processus et de configurer les paramètres de contrôle pour une performance optimale. L'ensemble avec l'interface de processus, fournit un moyen simple et pratique pour commander le système.

Un ensemble des connexions Ethernet est inclus en standard sur le panneau arrière de 38-300. Lorsqu'il est connecté directement à un PC ou connecté via un réseau à un PC, cela signifie qu'un ordinateur peut communiquer avec lui et le contrôle du processus est réalisé à l'aide du logiciel Espial. Le 38-300 contient des convertisseurs analogique-numérique et numérique-analogique. Le temps d'échantillonnage de ces dispositifs doit être plus rapide que la dynamique du processus pour que le contrôleur puisse faire fonctionner le système d'une manière fiable. La figure suivante présente le contrôleur de processus 38-300 :



Figure II-16 : Photo du contrôleur de processus 38-300.

Dans ce qui suit, on va expliquer le fonctionnement du contrôleur de processus industriel ABB et le logiciel Espial.

II-2-3-1 ABB (ASEA Brown Boveri) : ABB est une entreprise helvético-suédoise dont le siège social est basé à Zurich, en Suisse. Elle est un acteur majeur des technologies de l'énergie et de l'automatisation. ABB est l'une des plus grandes sociétés d'ingénierie, mais aussi l'un des plus grands conglomérats au monde. Elle est un leader de la technologie d'avant-garde qui travaille en étroite collaboration avec les clients publics, l'industrie, le transport et l'infrastructure pour écrire l'avenir de la digitalisation industrielle et de réaliser la valeur. Il existe plusieurs types d'afficheurs ABB, mais dans notre banc didactique de type 38-001 le concepteur a utilisé le type ABB Control-Master CM30. L'étude de ce type d'afficheur sera détaillée ci-dessous [26].

❖ **ABB Control-Master CM30 :** [27] Le Control-Master CM30 est un contrôleur de processus universel PID, très polyvalent. Des informations détaillées sur les processus sont présentées clairement sur l'écran couleur TFT du CM30 et une interface utilisateur intuitive simplifie la configuration et le fonctionnement. Facilement évolutif en termes de fonctionnalités matérielles et logicielles, un CM30 peut être spécifié facilement pour répondre aux besoins pratique de n'importe quelle application de contrôle de processus simple ou avancée. Des fonctions de contrôle puissantes telles que le contrôle adaptatif, les

mathématiques, la totalisation offre une flexibilité de résolution de problèmes et rend le CM30 approprié pour une large gamme d'applications de processus. Entièrement configurable via les menus du panneau avant et est facile à naviguer avec le logiciel de configuration Espial, le CM30 peut être mis en service rapidement et ensuite accordé via la fonction d'autoréglages avancé.

La figure ci-dessous montre le panneau avant du module de contrôleur ABB CM30 qui est la partie principale du contrôleur de processus 38-300.



Figure II-17 : Photo du l'ABB Control-Master CM30.

Les boutons du contrôleur trouvés sous l'affichage sont décrits en détail ci-dessous.



Bouton gauche de navigation

Touche d'accès au niveau opérateur.



Bouton local set / remote set point

Ce bouton permet de sélectionner un point de consigne local ou distant.



Bouton haut

Ce bouton permet de déplacer le curseur vers le haut et d'augmenter les valeurs lors du réglage des paramètres sur le contrôleur. La pression continue sur ce bouton provoque le taux de changement de la variable affichée pour augmenter. Pour faire de petits réglages, appuyons brièvement sur le bouton.



Bouton Bas

Ce bouton permet de déplacer le curseur vers le bas et de diminuer les valeurs lors du réglage des paramètres sur le contrôleur. La pression continue sur ce bouton provoque le taux de changement de la variable affichée pour augmenter. Pour faire de petits réglages, appuyons sur le bouton momentanément.



Bouton mode auto / manuel

Ce bouton est utilisé pour régler le module de commande sur le mode automatique ou manuel. Si on veut configurer en mode automatique on appuie sur l'icône supérieur, en mode manuel on appuie sur l'icône qui se trouve au dessous.



Bouton droit de navigation

Touche programmable.

La figure ci-dessous décrit le panneau avant ABB CM30 avec l'agrandissement des icônes de contrôle.

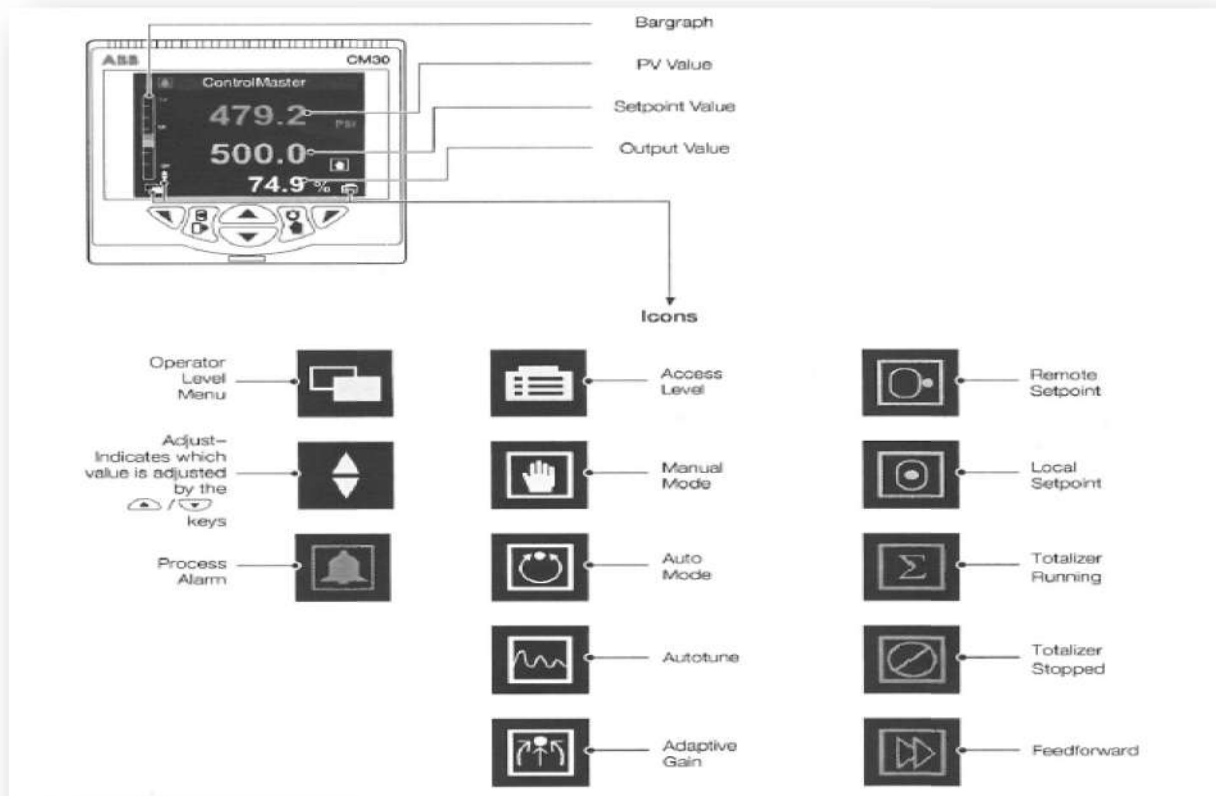


Figure II-18 : Présentation de panneau avant ABB CM30

et agrandissement des icônes de contrôle.

II-2-3-2 Le logiciel Espial : [22] Le logiciel Espial peut être utilisé dans des environnements autonomes, réseau et internet. C'est un logiciel de simulation très utilisé dans l'industrie pour étudier le comportement de la machine, aussi il nous aide à relier les différents blocs de banc sur lequel on travaille. Bien que l'environnement du laboratoire Espial soit très facile à utiliser, ces notes nous aideront à utiliser tous ses équipements plus rapidement. S'il existe une affectation de démonstration, les contrôles du curseur dans le logiciel exécutent des fonctions, cela serait normalement effectué sur le matériel.

Pour lancer le logiciel Espial, on fait un double-clic sur l'icône Espial Environnement sur le bureau. Espial Launcher présentera la liste des logiciels Espial installés sur le PC. La figure ci-dessous présente la fenêtre d'Espial Launcher.

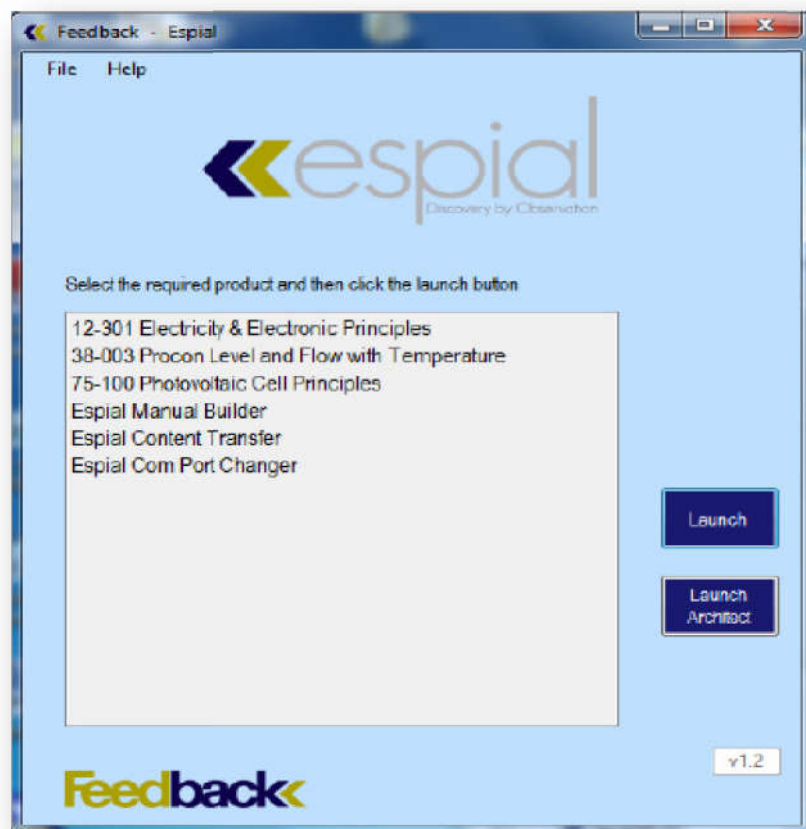


Figure II-19 : Présentation du la fenêtre d'Espial Launcher.

Une fois qu'un écran de démarrage «Espial Courseware» a été brièvement affiché, une fenêtre s'ouvre, elle montre toutes les affectations disponibles pour le produit comme illustré ci-dessous :



Figure II-20 : Présentation des différentes affectations du logiciel Espial.

Il peut y avoir un nombre différent d'affectations disponibles pour l'utilisateur que celles indiquées. Le précis d'apparence de cette fenêtre, comme le choix des couleurs et la façon dont les boutons sont arrangés, est déterminé par votre précepteur. Notons qu'on ne peut pas fermer cette fenêtre pendant que l'affectation est ouverte, et on ne peut pas avoir qu'une seule tâche ouverte à tout moment.

Une fois qu'une boîte de dialogue "Charger l'affectation" a été brièvement affichée, la fenêtre d'affectation devrait apparaître. La fenêtre d'affectation se compose d'une barre de titre en haut, d'une barre latérale d'affectation au bord droit et la zone de travail principale. Par défaut, les objectifs d'affectation globale sont initialement affichés dans la zone de travail principale chaque fois qu'une affectation est ouverte. La fenêtre d'affectation occupe l'espace entier de l'écran et ne peut pas être redimensionnée mais elle peut être déplacé en «glissant» sur la barre de titre, et il peut être minimisé dans la barre des tâches. La barre de titre inclut le nom de l'affectation sélectionnée. La barre latérale contient les pratiques et toutes les ressources supplémentaires qui sont pertinentes pour l'affectation sélectionnée. La barre latérale est ancrée sur le bord droit de la fenêtre d'affectation, elle ne peut pas être repositionnée.

Un exemple d'une fenêtre d'affectation est illustré ci-dessous :

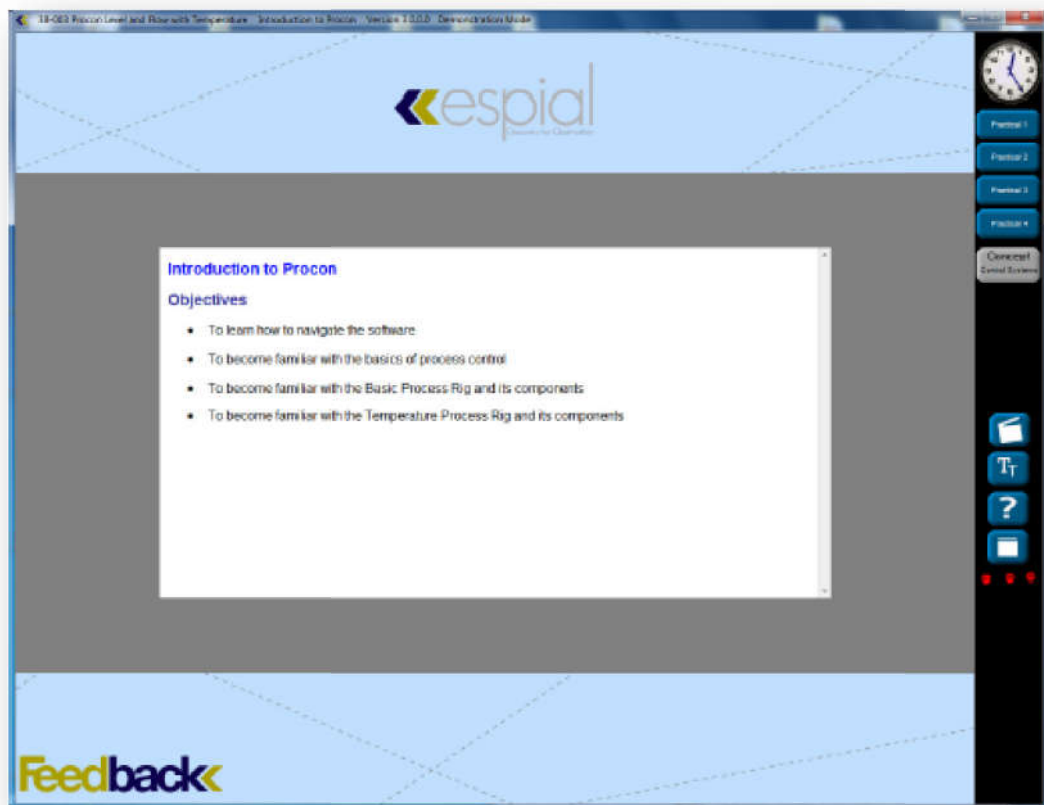


Figure II-21 : Exemple d'une fenêtre d'affectation.

Il existe un certain nombre de boutons de ressources disponibles dans la barre latérale d'affectation. Ceux-ci sont pertinents à l'affectation sélectionnée. En général, les ressources disponibles varieront selon les affectations. Par exemple, certaines affectations ont des clips vidéo et d'autres ne le font pas. Cependant, les boutons des termes techniques, de l'aide et de la position automatique ont une fonctionnalité identique dans chaque affectation. Les utilisateurs peuvent cliquer sur n'importe quelle ressource dans n'importe quel ordre, les fermer à nouveau ou minimiser-les pour convenir à leur façon de travailler. Les pratiques sont listées dans l'ordre numérique dans la barre latérale. Lorsque vous déplacez la souris sur un bouton pratique, son titre approprié sera brièvement affiché dans un outil-tip. Il peut y avoir jusqu'à quatre pratiques dans toute tâche. Vous ne pouvez avoir qu'une seule fenêtre pratique ouverte à tout moment.

II-3 Conclusion : Dans ce chapitre, on a défini le banc didactique 38-001, et le rôle de chacun de ses trois blocs qui sont : processus de base 38-100, l'interface de processus 38-200 et le contrôleur de processus 38-300. Ensuite, nous avons présenté le logiciel Espial qui a rôle de nous informer sur le comportement du banc lorsqu'on lui applique la régulation en générale. Dans le chapitre qui suit, nous allons calibrer les instruments du banc didactique 38-001 : l'interface de processus 38-200, contrôleur de processus 38-300, transmetteur de débit pulsé 38-421 et transmetteur de niveau flottant 38-401.

CHAPITRE III

**Etalonnage des différents instruments
du banc didactique 38-001**

III-1 Introduction : Avant d'aborder l'application de la régulation, nous devons d'abord calibrer les instruments de banc didactique 38-001 : l'interface de processus 38-200, contrôleur de processus 38-300, transmetteur de débit pulsé 38-421 et transmetteur de niveau flottant 38-401. Chaque instrument possède des étapes d'étalonnages que nous devons suivre, elles seront décrites ci-dessous.

III-2 Calibrage d'interface de processus 38-200 : [28] Dans cette pratique, nous calibrons la source actuelle de l'interface de processus IP. Nous configurerons une boucle de courant, afin que le module d'affichage numérique (DDM) puisse être inclus dans la boucle et indiquer la valeur de la sortie source actuelle.

Nous calibrons ensuite la source actuelle à partir de DDM. Pour ce faire, deux ajustements doivent être faits :

➤ **Calibrer pour zéro :** on ajustera, à l'aide d'un tournevis approprié, le contrôle zéro, situé dans la section source actuelle sur le panneau avant de l'interface de processus, de sorte que exactement 4 mA ou 0% est indiqué sur le DDM.

➤ **Calibrer pour span :** on utilisera un tournevis approprié pour ajuster le contrôle de portée, situé dans la section source actuelle sur le panneau avant du l'interface de processus, de sorte que le DDM affiche exactement 20 mA ou 100%.

Pour faire ces deux ajustements, on doit relier l'interface de processus avec le DDM. La figure ci-dessous illustre la façon de câblage entre ces deux instruments.

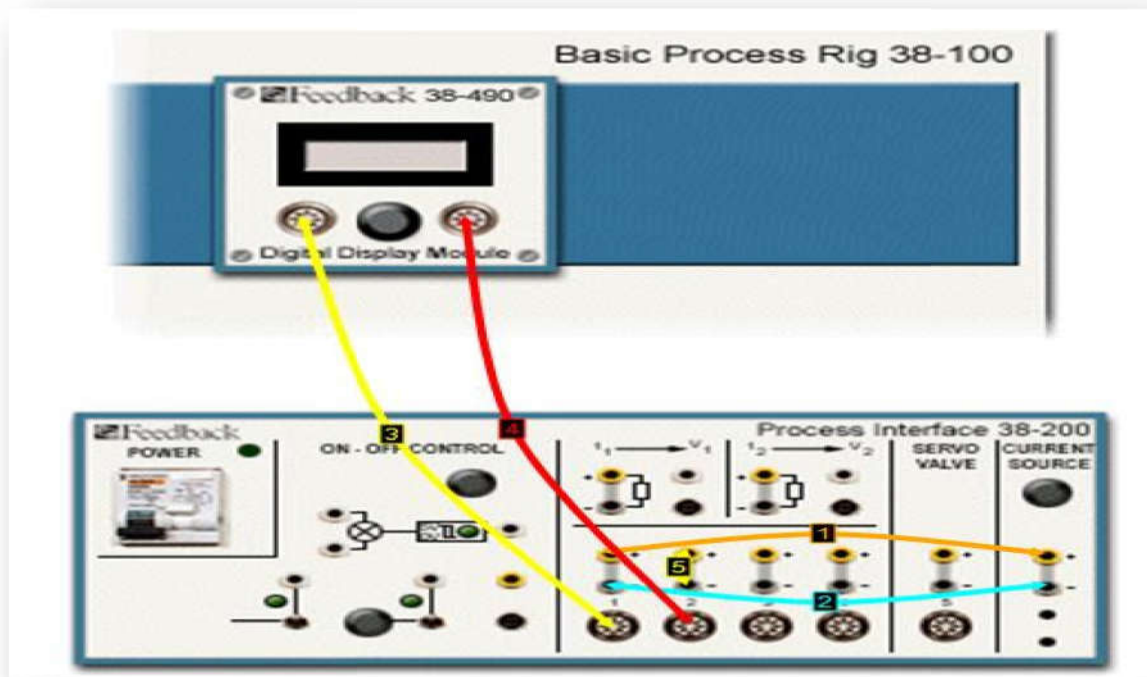


Figure III-1 : La connexion entre l'interface de processus et le DDM.

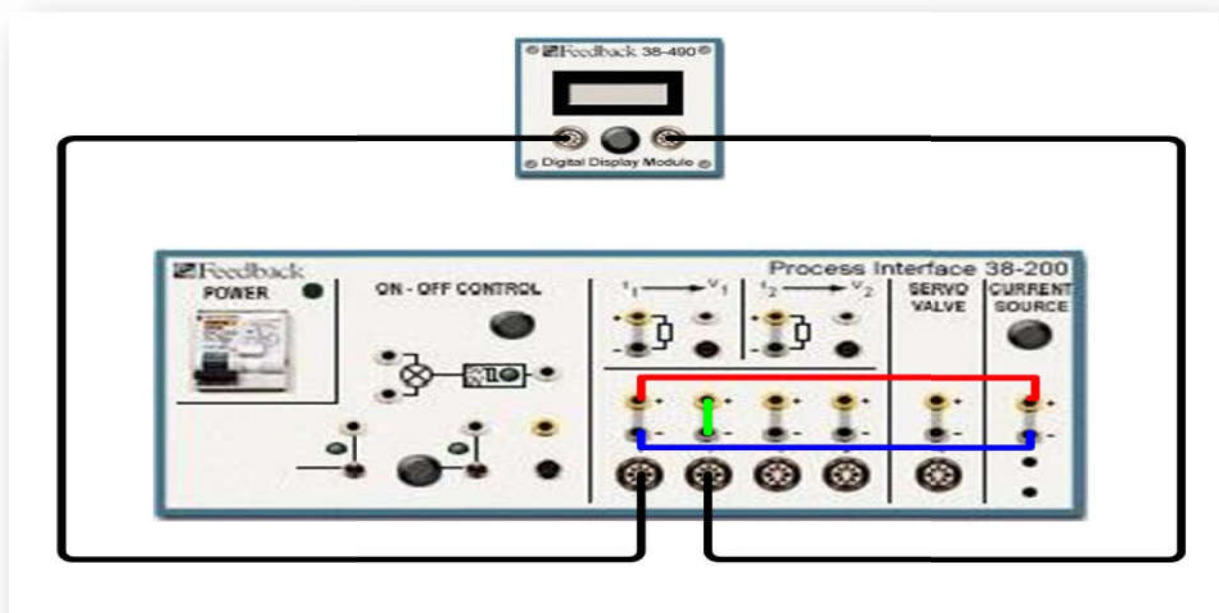


Figure III-2 : Diagramme de connexion entre l'interface de processus et le DDM.

Après avoir relié les deux instruments, on passe à l'étape suivante qui est l'étalonnage de l'interface de processus. On procède comme suit :

- On allume l'interface de processus et on règle le DDM en mA.
- On tourne le bouton source actuelle complètement dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, au réglage 4 mA. Notant la valeur de courant dans la boucle montrée par le DDM, on ajuste le réglage de zéro, en utilisant un petit tournevis, de sorte que la valeur du courant affichée sur le DDM soit exactement de 4 mA.
- Ensuite, on tourne le bouton source actuelle complètement dans le sens des aiguilles d'une montre, jusqu'à 20 mA. Encore une fois, notant le DDM la valeur du courant en boucle, on ajuste le réglage de la portée, en utilisant un petit tournevis, de sorte que le DDM montre exactement 20 mA.
- Maintenant, nous avons calibré la source actuelle par DDM.

III-3 Calibrage du contrôleur de processus 38-300 : [25] En ce qui concerne le contrôleur 38-300, des mesures sont effectuées pour surveiller un paramètre de processus (servovalve) et pour déterminer l'effort de contrôle qui devrait être appliqué lors de la commande d'un processus. De telles mesures garantissent le bon fonctionnement du système de traitement.

L'étalonnage consiste à comparer la valeur mesurée, comme indiqué par le contrôleur calibré, avec la valeur ou le niveau connu du paramètre, comme mesuré par un instrument standard de précision connue. Pour faire le calibrage du contrôleur de processus 38-300, il faut d'abord faire les connexions qui sont illustrées dans la figure suivante.

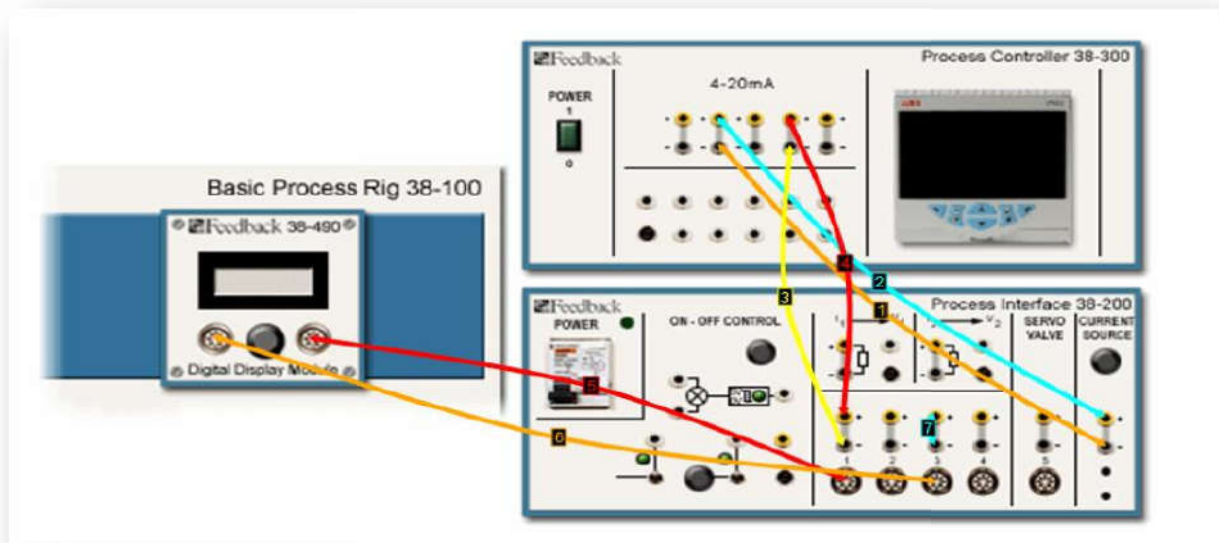


Figure III- 3 : les connexions requises pour le calibrage du contrôleur de processus 38-300.

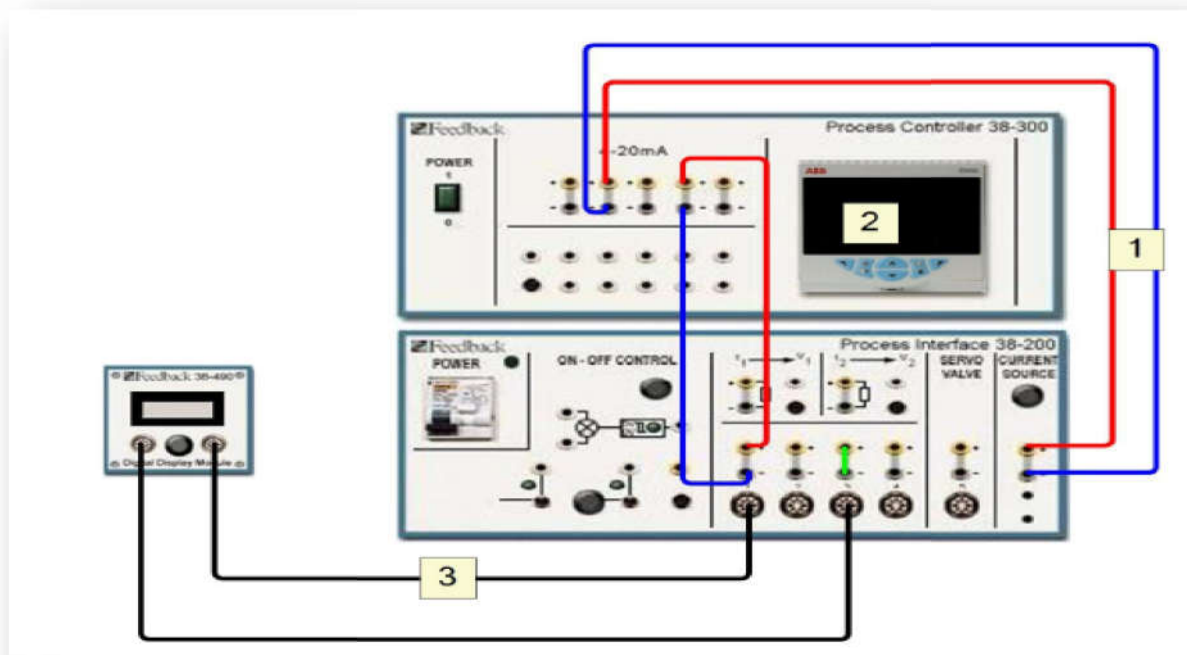


Figure III- 4 : le diagramme des connexions nécessaires pour le calibrage du contrôleur de processus 38-300.

Après avoir fini les connexions, on passe à l'étape suivante qui est le calibrage du contrôleur de processus 38-300. On procède comme suit :

Le contrôleur a été configuré automatiquement. Si une erreur survient lors de l'initialisation, on vérifie la connexion Ethernet et on assure que le contrôleur est réglé sur l'opération manuelle mode.

On ouvre l'enregistreur de données et l'affichage de la barre. L'enregistreur de données affiche l'entrée du contrôleur (bleu), la sortie du contrôleur (orange) et la valeur de consigne (jaune).

Lentement, on modifie la sortie de source actuelle de l'interface de processus et on observe la réponse sur l'affichage de l'enregistreur de données (bleu). Ceci affiche l'entrée variable de processus pour le 38-300.

La barre de contrôle supérieure contrôle le niveau de consigne du 38-300 (jaune). On assure que le 38-300 affiche le point de consigne SP dans l'affichage de ABB. On change cette barre de contrôle et on observe son effet sur le niveau de consigne dans le 38-300. La fenêtre montre la valeur de la barre de contrôle.

La sortie du 38-300 (orange) peut être contrôlée par les boutons haut / bas. La sortie est envoyée au DDM. On modifie le réglage avec les boutons et on observe l'effet, tel que lu par le DDM.

Remarque : Si la valeur du point de consigne est modifiée à l'aide des touches haut / bas du 38-300, la barre de suivi restera à la valeur définie lors de la dernière utilisation, bien que l'affichage de l'enregistreur de données montre le changement.

III-4 Etalonnage de transmetteur de débit pulsé 38-421 : [24] Lors de l'utilisation du capteur de débit impulsionnel et de l'émetteur, les mesures sont effectuées pour surveiller un paramètre de processus, à savoir le débit de fluide. Cette mesure est surveillée et utilisée pour déterminer l'effort de contrôle qui devrait être appliqué pour contrôler le processus correctement. De telles mesures permettent de maintenir le bon fonctionnement du système de traitement. Pour cette raison, la précision de ces mesures doit être garantie par un bon étalonnage des instruments. Pour faire l'étalonnage de transmetteur de débit pulsé 38-421, il faut d'abord faire les connexions qui sont illustrées dans la figure suivante.

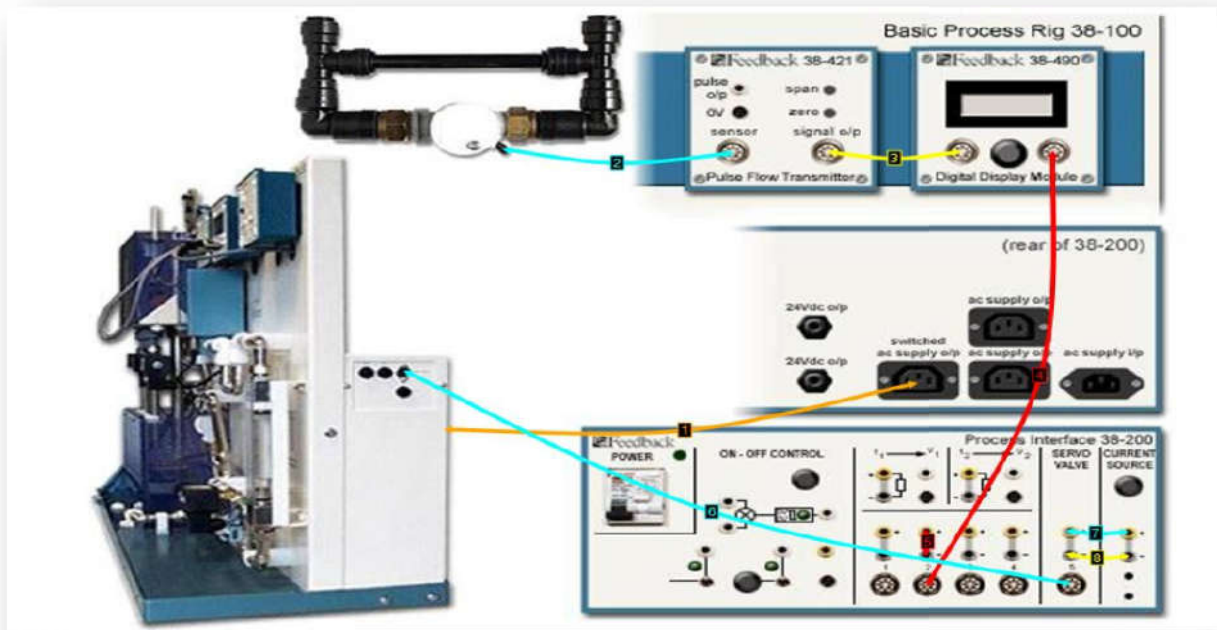


Figure III- 5 : Les connexions nécessaires pour l'étalonnage du transmetteur de débit pulsé 38-421.

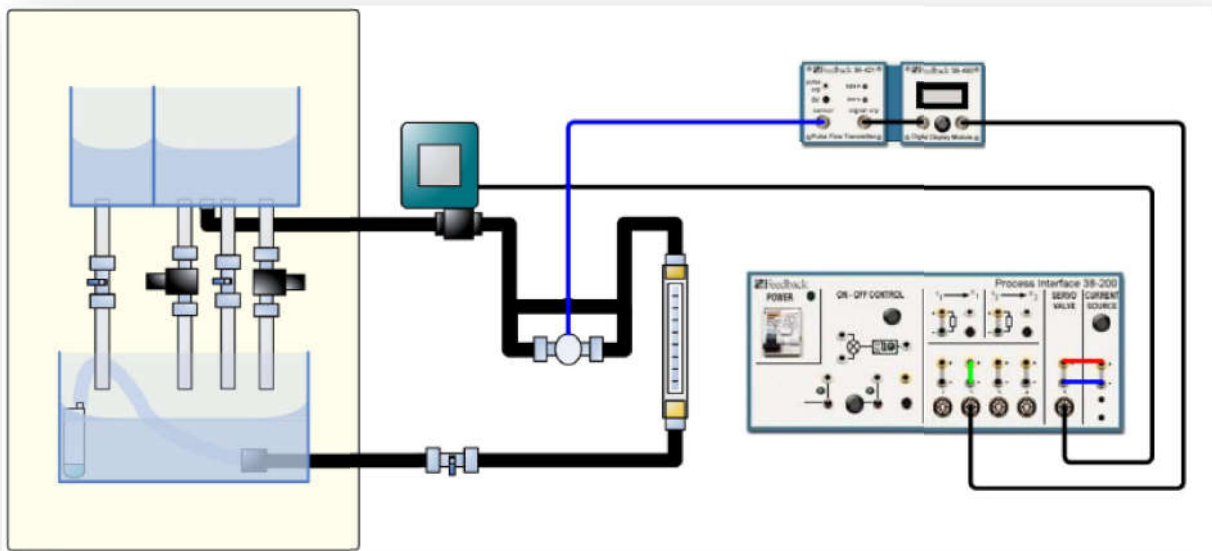


Figure III- 6: Le diagramme des connexions nécessaires pour l'étalonnage du transmetteur de débit pulsé 38-421.

Après avoir fini les connexions, maintenant on passe à l'étalonnage de transmetteur de débit pulsé 38-421. On procède comme suit :

On allume l'IP, mais on n'allume pas encore la pompe. On assure que la soupape manuelle MV2 est complètement ouverte.

Étape 1 : on ajuste la vis zéro sur l'émetteur à impulsions avec un petit tournevis, pour que le DDM lit 4.0 mA. Lorsque la pompe n'est pas allumée, il n'y a pas de débit, donc c'est l'état nul.

Étape 2 : on allume la pompe et la source actuelle jusqu'à 20 mA afin que le taux de débit est à son maximum. On règle la vis de portée sur l'émetteur de flux d'impulsion afin que le DDM lit 20 mA. Il s'agit du courant maximal correspondant à taux maximal de débit dans le réseau de tuyaux.

Le capteur de débit et l'émetteur sont maintenant étalonnés. Un courant entre 4 mA et 20 mA sera produit directement proportionnel au débit de fluide. Les signaux produits sont au même format que le reste du contrôle instruments.

III-5 Etalonnage de transmetteur de niveau flottant 38-401 : [21] Lorsque nous utilisons le capteur de niveau de flotteur et la combinaison de l'émetteur, les mesures sont effectuées pour surveiller un paramètre de processus, à savoir le niveau de liquide de réservoir. Cette mesure est surveillée et utilisée pour déterminer l'effort de contrôle qui devrait être appliqué pour contrôler le processus correctement. De telles mesures permettent de maintenir le bon fonctionnement du système de traitement. Pour cette raison, la précision de ces mesures doit être garantie par un bon étalonnage des instruments. Pour faire l'étalonnage de transmetteur de niveau flottant 38-401, il faut d'abord faire les connexions qui sont illustrées dans la figure suivante :

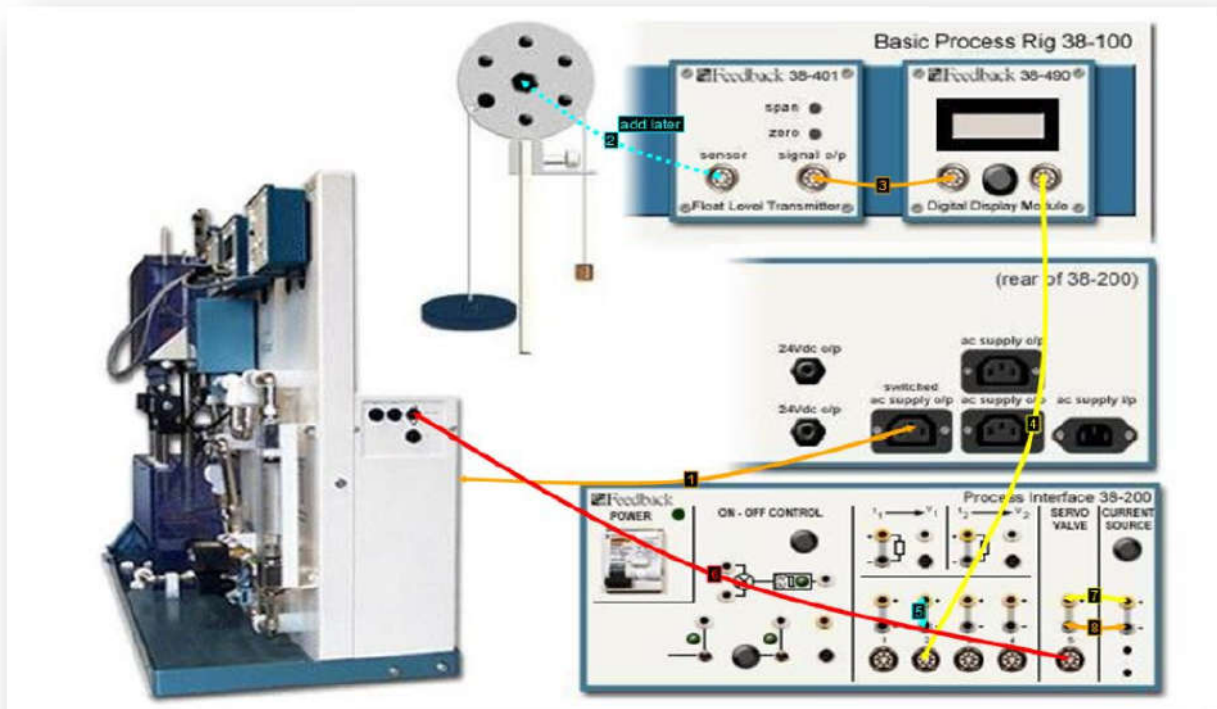


Figure III- 7: Les connexions nécessaires pour l'étalonnage du transmetteur de niveau flottant 38-401.

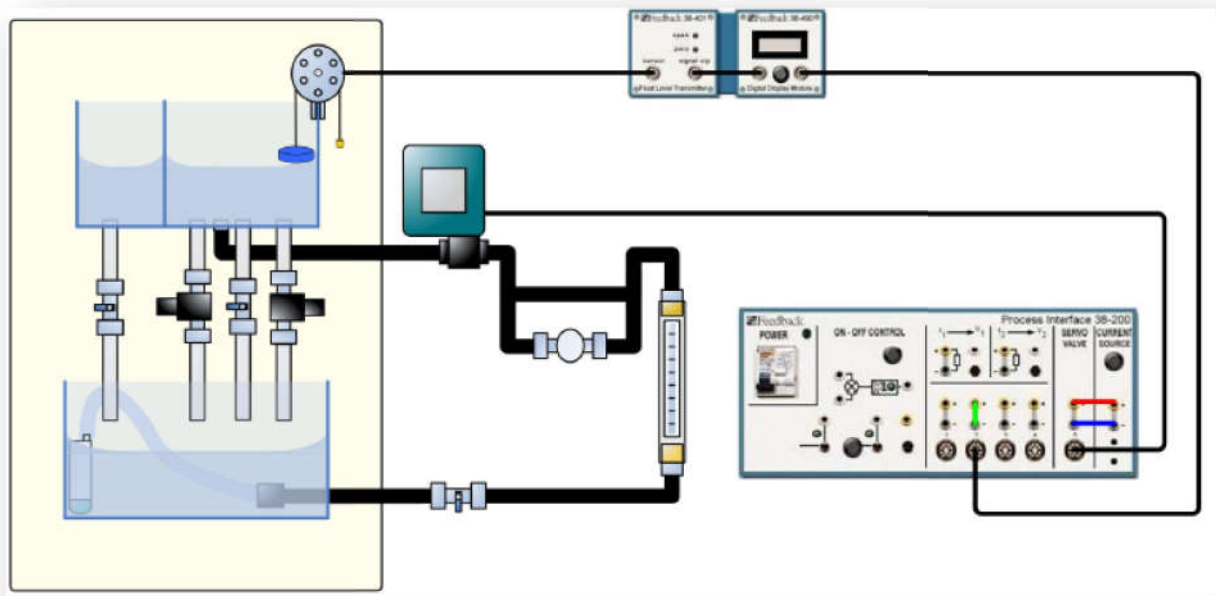


Figure III- 8: Le diagramme des connexions nécessaires pour l'étalonnage du transmetteur de niveau flottant 38-401.

Après avoir fini les connexions, on commence l'étalonnage du transmetteur de niveau flottant 38-401 qui procède comme suit :

On assure que la soupape d'asservissement est complètement ouverte en tournant complètement le contrôle de la source de courant dans le sens des aiguilles d'une montre jusqu'à 20 mA. On allume la pompe avec l'interrupteur de sortie d'alimentation AC sur le devant d'interface de processus. On ouvre complètement MV2.

On ouvre la vanne manuelle MV2, de sorte que le réservoir supérieur soit rempli au-dessus du niveau zéro. On ferme MV2 puis on ouvre brièvement MV3 jusqu'à ce que le niveau d'eau soit exactement sur zéro.

Étape 1 : on retire le câble du capteur de niveau de flotteur du transmetteur de niveau flottant 38-401. On ajuste le zéro, on visse sur l'émetteur du flotteur avec un petit tournevis pour que le DDM lit exactement 4,0 mA. Ceci est maintenant calibré à zéro.

Étape 2 : on reconnecte le câble du capteur de niveau de flotteur à l'entrée de transmetteur de niveau flottant 38-401, et on assure que le niveau du réservoir est à 0 sur l'échelle du réservoir. On ajuste la vis au centre de la roue du capteur de niveau flottant afin que le DDM lit 4 mA à nouveau. Cela a calibré le potentiomètre du capteur à zéro. Un courant de 4 mA signalera un vide (zéro niveau).

Étape 3 : On ferme la valeur manuelle MV3 et on ouvre MV2 afin que le réservoir remplisse, soulevant le niveau de capteur. Permettre au niveau d'atteindre 100 (valeur maximale) sur l'échelle du réservoir. On ferme MV2 et on règle la vis de portée sur le transmetteur de niveau flottant 38-401 afin que le DDM soit en lecture de 20 mA. C'est le courant maximal correspondant au niveau d'eau maximum dans le réservoir.

Le capteur de niveau de flotteur et l'émetteur sont maintenant calibrés à partir de réservoir supérieur. On produira un courant entre 4 mA et 20 mA directement proportionnel au niveau de l'eau dans le réservoir. Les signaux produits sont au même format que le reste du contrôle d'instruments.

III-6 Conclusion : Dans ce chapitre, nous avons présenté les différentes étapes permettant de calibrer les instruments du banc didactique 38-001 : l'interface de processus 38-200, contrôleur de processus 38-300, transmetteur de débit pulsé 38-421 et transmetteur de niveau

flottant 38-401. Il est à noter que durant notre mémoire, toutes ces tâches ont été menées avec succès.

Le prochain chapitre est consacré à l'application de la régulation P, PI et PID de débit sur le banc étudié. Une étude comparative entre les différentes actions sera donnée.

CHAPITRE IV

Application de régulation P,

PI et PID de débit

sur le banc

IV-1 Introduction : On se propose dans ce chapitre d'appliquer la régulation P, PI et PID de débit sur le banc didactique 38-001. Le but de notre régulation sera d'obtenir un bon rejet de perturbations ainsi qu'une bonne robustesse aux erreurs du modèle. Ceci permettra de mettre en évidence les différents composants d'une boucle de régulation et de comprendre les actions PID du régulateur pour atteindre des performances désirées.

Dans notre pratique, la servovalve c'est l'organe contrôlé par le contrôleur de processus 38-300, pour faire la régulation d'une manière automatique. Malheureusement, la servovalve de ce banc didactique qui est incluse dans le processus de base 38-100 est endommagée, ce qui nous a obligés de faire la régulation manuellement, en ajustant la position de MV2 avec les mains.

IV-2 Les connexions requises sur le matériel : [28] La figure suivante illustre les connexions entre les différents blocs du banc didactique 38-001 pour faire la régulation proportionnelle, proportionnelle intégrale et proportionnelle intégrale dérivée de débit.

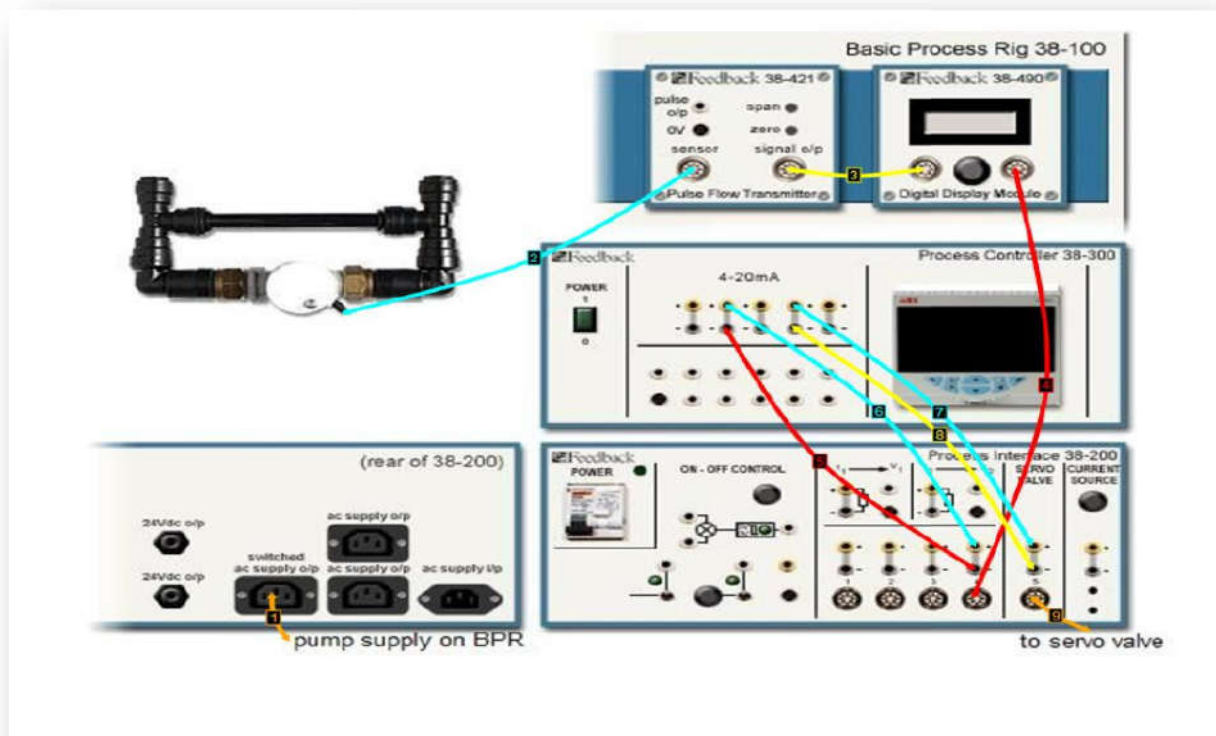


Figure IV- 1: Présentation des connexions entre les différents blocs du banc didactique 38-001.

La figure suivante illustre le diagramme des connexions entre les différents blocs du banc didactique 38-001.

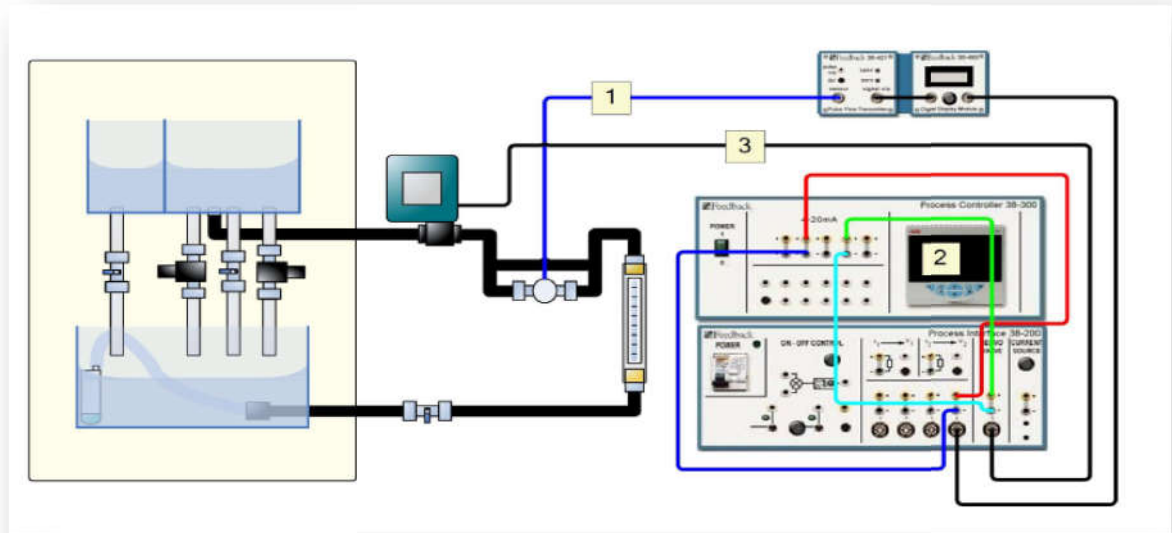


Figure IV- 2: Présentation du diagramme des connexions entre les différents blocs du banc didactique 38-001.

IV-3 L'effet de contrôle sur la servovalve : La pratique montre un système de contrôle entièrement fonctionnel, surveillant le taux réel d'écoulement à travers le réseau de tuyaux, en comparant ce débit à un débit désiré (le point de consigne) et en modifiant la position de la servovalve dans le but d'atteindre le point de consigne. Le capteur de débit d'impulsions produit un train d'impulsions, dont la fréquence est proportionnelle au débit d'eau faisant tourner la roue à l'intérieur du capteur. Ce train d'impulsions est converti au format de signal 4-20 mA par le transmetteur de débit pulsé 38-421 et est alimenté au 38-300 comme variable de processus de contribution. Ce signal est la valeur mesurée du système.

Le 38-300 utilise une commande proportionnelle et contrôle la position de la servovalve avec un signal de sortie de courant 4-20 mA. La taille exacte de ce signal de sortie est proportionnelle à l'écart de l'entrée de la variable de processus mesurée à partir du point de consigne.

IV-4 Contrôle proportionnel : [28] La tâche d'un contrôleur est de maintenir une performance du système souhaitée, de faire face aux perturbations du système. Un contrôleur simple est le contrôleur proportionnel. L'effort de contrôle est directement proportionnel à l'écart entre la valeur mesurée et le point de consigne (valeur souhaitée). Pour en savoir plus sur un système de contrôle proportionnel de base et les principes impliqués, il faut

comprendre le fonctionnement du contrôle proportionnel par mesure du débit avec le transmetteur de débit pulsé 38-421, en comparant la valeur mesurée avec le point de consigne et en produisant un effort de contrôle à partir de l'écart ε déterminé par la loi de contrôle. La figure ci-dessous montre un exemple de contrôle proportionnel.

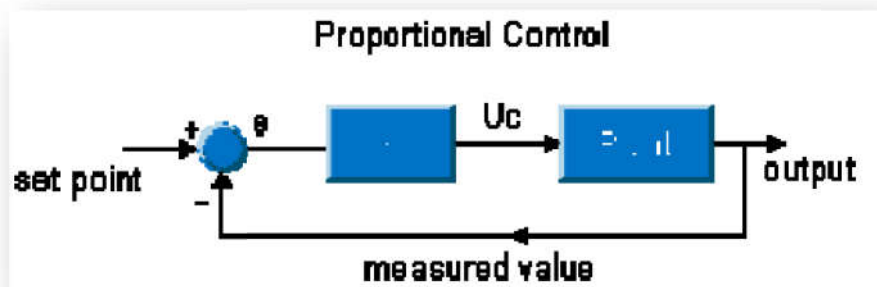


Figure IV-3 : Exemple de contrôle proportionnel.

Dans la pratique était l'idée de discuter du gain K en termes de bande proportionnelle qui représente la variation de la valeur mesurée qui générera 100% de changement dans l'effort de contrôle. Elle peut également être représentée comme la déviation qui générera un changement de 100% dans l'effort de contrôle. Le gain et la bande proportionnelle sont inversement liés, de sorte que le gain croissant, la bande proportionnelle diminue. L'équation suivante illustre la relation entre eux :

$$BP\% = \frac{1}{K} 100 \quad \text{II-18}$$

Ce gain de système déterminera comment le processus appliquera un gros effort de contrôle pour corriger un écart. En réduisant considérablement la bande proportionnelle, le contrôleur a été obligé de produire un grand effort de contrôle. Si un grand effort de contrôle est capable de produire une variation considérable de la valeur mesurée, il est très probable que la valeur mesurée sera portée au-delà du point de consigne qui réduira l'écart. Ceci, à son tour, produira un effort de contrôle large, forçant les mesures valorisées à nouveau. C'est le comportement oscillatoire qui peut être exposé sur le signal de contrôle.

IV-4-1 Configuration de l'action de contrôle proportionnel : Pour configurer l'action de contrôle :

- On entre à la configuration mode du module de contrôleur, à partir de l'affichage opérationnel principal d'ABB.
- On accède à la page de menu contrôle et on appuie sur sélectionner.
- On avance à la commande « Loop1 » et on appuie sur sélectionner.
- On avance à « l'action de contrôle » et on appuie sur sélectionner.
- On modifie ceci pour montrer l'inverse puis revenir en arrière à la page principale.
- Tous les instruments doivent également être calibrés avant le début. Le 38-300 sera mis en place automatiquement par l'ordinateur.
- On ouvre la vanne manuelle MV3 à la moitié et on ouvre complètement MV2.
- On n'allume pas la pompe jusqu'à ce que la servovalve soit installée.
- On modifie le 38-300 au contrôle automatique (appuyer une fois sur « auto/ manuel »).
- On allume la pompe.
- On ouvre « data logger » dans logiciel Espial et on observe l'affichage affichée, la valeur mesurée (bleu), le point de consigne (jaune) et le signal de commande (orange).
- On observe l'action du 38-300 car elle applique un contrôle proportionnel.
- Le point de consigne est variable avec la barre de suivi ci-dessous. Nous devrions explorer la gamme complète des valeurs de consigne.
- On respecte ce qui suit lorsque le fonctionnement pratique: courant par la boucle tel qu'indiqué par le DDM, la sortie du 38-300 sur son propre écran et sur l'enregistreur de données, l'entrée du 38-300 qui est la valeur mesurée de capteur de débit et la consigne du 38-300.

Le tableau ci-dessous illustre la plage des valeurs de gain qu'on a choisi de faire dans la pratique pour visualiser la sortie et voir la variation de l'écart avec l'apparition et l'annulation des oscillations.

Figure	1	2	3	4	5
Gain	1	2	5	10	25
BP %	100	50	20	10	4

Tableau IV-1 : Présentation des valeurs choisies en pratique.

Les figures ci-dessous présentent les résultats expérimentaux obtenus par les valeurs données dans le tableau ci-dessus :

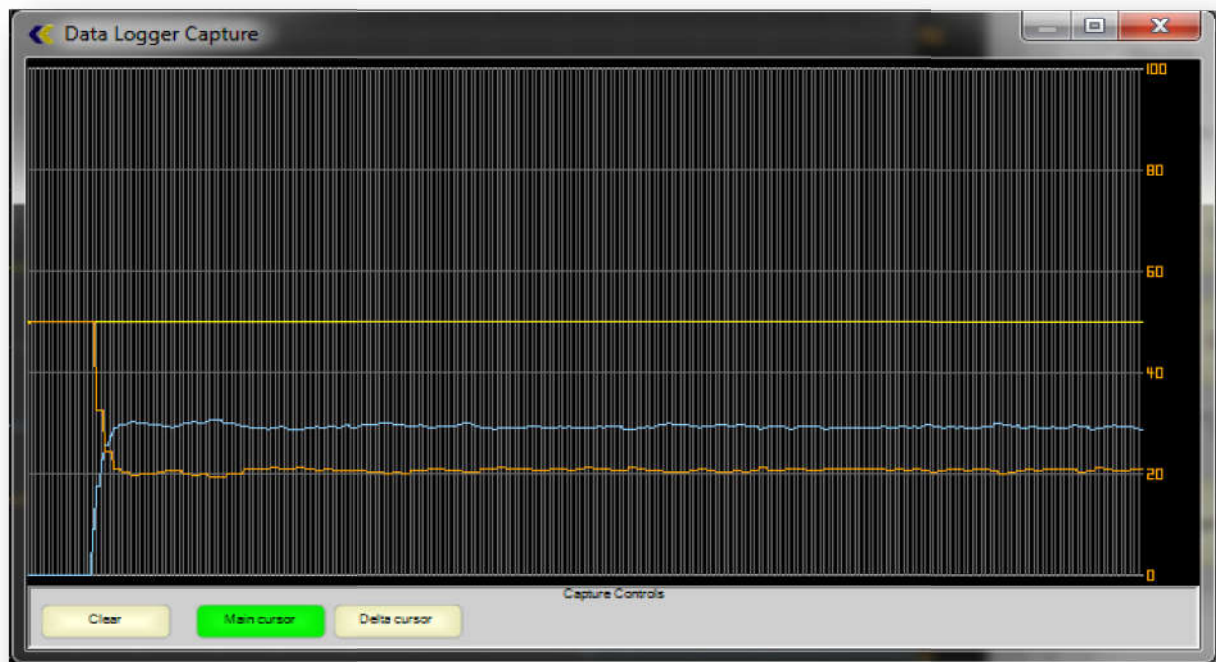


Figure IV-4 : Courbes obtenues pour $K=1$.

Pour $K = 1$ et $BP = 100\%$: l'écart entre la valeur mesurée (bleu) et la consigne (jaune) est très important, qui signifie l'absence de la précision, et le signal de commande (orange) est faible et en terme d'économie (l'énergie électrique) est préférable.

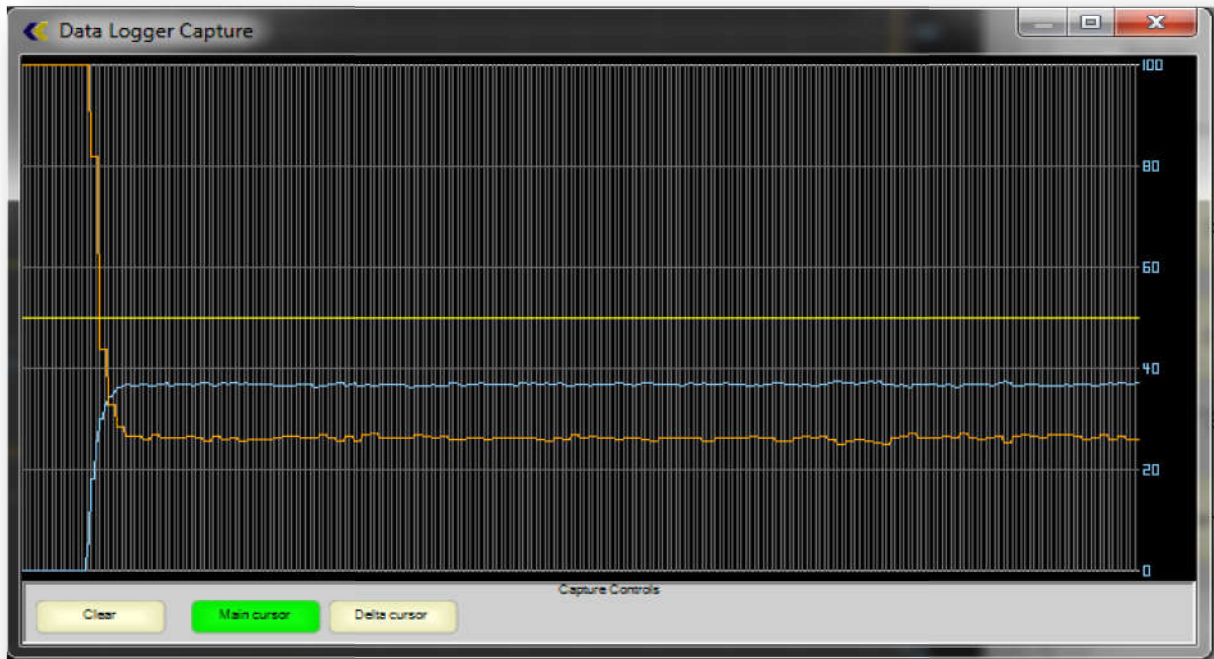


Figure IV-5 : Courbes obtenues pour $K=2$.

Pour $K = 2$ et $BP = 50\%$: on remarque que l'écart se diminue par rapport au premier cas, qui signifie que la valeur mesurée s'approche à la consigne, et l'effort de contrôle est élevé par rapport à $K = 1$.



Figure IV-6 : Courbes obtenues pour $K=5$.

Pour $K = 5$ et $BP = 20\%$: on remarque que l'effort de contrôle est important avec l'apparition des oscillations par rapport au précédent, qui signifie la réduction de l'écart, malgré ça le système est loin de la précision.



Figure IV-7 : Courbes obtenues pour $K=10$.

Pour $K = 10$ et $BP = 10\%$: l'écart entre la valeur mesurée et la consigne se décroît plus qu'avant avec l'apparition des fortes oscillations sur l'effort de contrôle. En termes d'économie le contrôleur a besoin beaucoup d'énergie, ce qui n'est pas souhaitable dans notre cas.



Figure IV-8 : Courbes obtenues pour $K=25$.

Pour $K = 25$ et $BP = 4\%$: la valeur mesurée s'approche au maximum à la consigne, mais avec l'apparition de très fortes et grandes oscillations sur le signal de commande. De même, ceci est très mauvais en termes d'économie.

N.B : Lors de la mesure et du contrôle du débit, il a été constaté que le gain du système doit être beaucoup plus petit, donc la bande proportionnelle doit être beaucoup plus grande. Car, en augmentant excessivement le gain du contrôleur, ceci permet de réduire l'écart statique mais ceci peut provoquer des oscillations à la sortie du contrôleur. Donc, le bon fonctionnement du système doit être compris de sorte que la bande proportionnelle ne soit jamais réalisée assez petite pour provoquer une oscillation.

IV-5 Le contrôle proportionnel intégral : [30] L'effort de contrôle nécessaire pour corriger une erreur est directement proportionnel à cette erreur et donc un écart minimal possible est fini. La façon d'annuler cet écart est d'utiliser une action de contrôle de type intégrale. Cela se fait en introduisant un composant supplémentaire dans l'effort de contrôle qu'est l'intégrale de l'écart. Cela continue à changer jusqu'à ce que l'écart soit nul, en supprimant ainsi complètement l'écart. Les contrôleurs qui utilisent une action intégrale sont décrits comme des contrôleurs de réinitialisation automatique. Ils afficheront une action

proportionnelle et une action intégrale (l'action intégrale est souvent appelée l'action de réinitialisation).

La figure suivante décrit un exemple de contrôle proportionnel intégral :

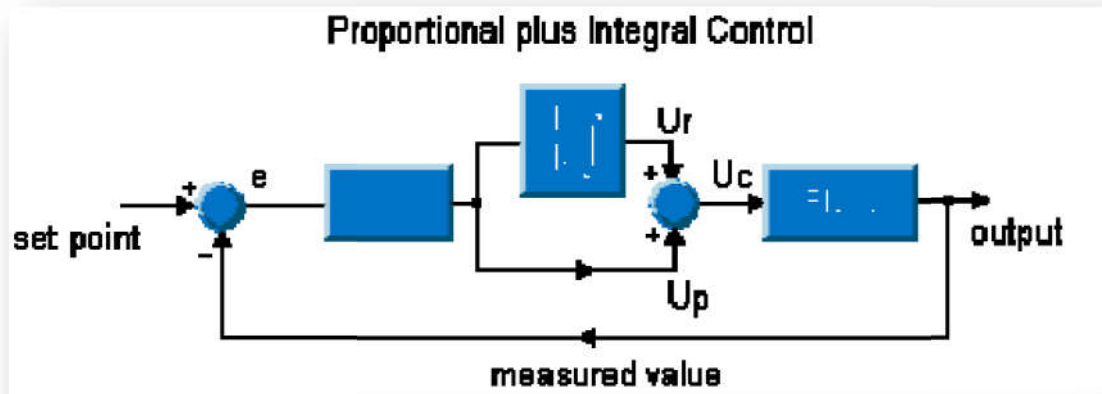


Figure IV-9 : Exemple de contrôle PI.

Il faut mettre la BP à 120% pour minimiser le bruit fourni par le transducteur du capteur de débit qu'est transmis au contrôleur et on modifiant le temps de réinitialisation T_r (T_i), pour réduire le décalage. On rappelle que le décalage sera très important si la BP est très large. Sans l'utilisation de l'action intégrale, l'écart entre la variable mesurée et le point de consigne sera excessif. Mais lorsque le composant de réinitialisation est introduit, le décalage diminuera à un débit contrôlé par T_r . Il y aura des barres de suivi pour changer le point de consigne et T_r , avec la plage pour T_r [0-60] secondes. Il n'est pas nécessaire d'appliquer une action intégrale avec T_r plus de 60 secondes car son effet sera négligeable avec PB tellement élevée.

IV-5-1 Configuration des actions de contrôle PI : On assure que l'action de contrôle est réglée « set to reverse » et que le filtre d'entrée sur « Analog Input 1 » est réglé à 1 seconde.

- Pour configurer l'action de contrôle :
 - On entre au « Config Mode » de contrôleur.
 - On avance le curseur à « Advanced » et sélectionner.
 - On avance au « Control menu » et sélectionner.
 - On avance à « Loop1 de contrôle » et sélectionner.
 - On avance à « Control Action » et sélectionner, « set to reverse ».

- On quitte l'écran principal.
- Pour configurer le paramètre du filtre d'entrée :
 - On entre au « Config Mode » du module de contrôleur.
 - On fait avancer le curseur à « Advanced » et sélectionner.
 - On avance à « Input/ Output » et sélectionner.
 - « Analog Inputs » et sélectionner.
 - « Analog Input 1 » et sélectionner.
 - « Filter Time » et sélectionner, régler sur 1 s.
- Configuration de 38-100 :
 - On ouvre complètement MV2.
 - On ouvre à moitié MV3.
 - On passe en mode automatique avec la touche « Auto / Manuel ».
 - On allume la pompe.

On ouvre « le data logger » et l'affichage de la barre. On observe les affichages affichés, la valeur mesurée (bleu), la valeur de consigne (jaune) et la valeur de sortie (orange).

Le tableau ci-dessous illustre la plage des valeurs de Tr qu'on a choisi de faire dans la pratique pour visualiser la sortie et voir la variation de l'écart avec l'apparition et l'annulation des oscillations.

Figure	1	2	3	4	5
Tr	1	5	10	60	80

Tableau IV-2 : Présentation des valeurs choisies en pratique.

Pour toutes les pratiques de la régulation proportionnelle intégrale, on a choisi $K = 0,83$ et $BP = 120\%$.

Les figures ci-dessous présentent les résultats expérimentaux obtenus par les valeurs données dans le tableau ci-dessus :

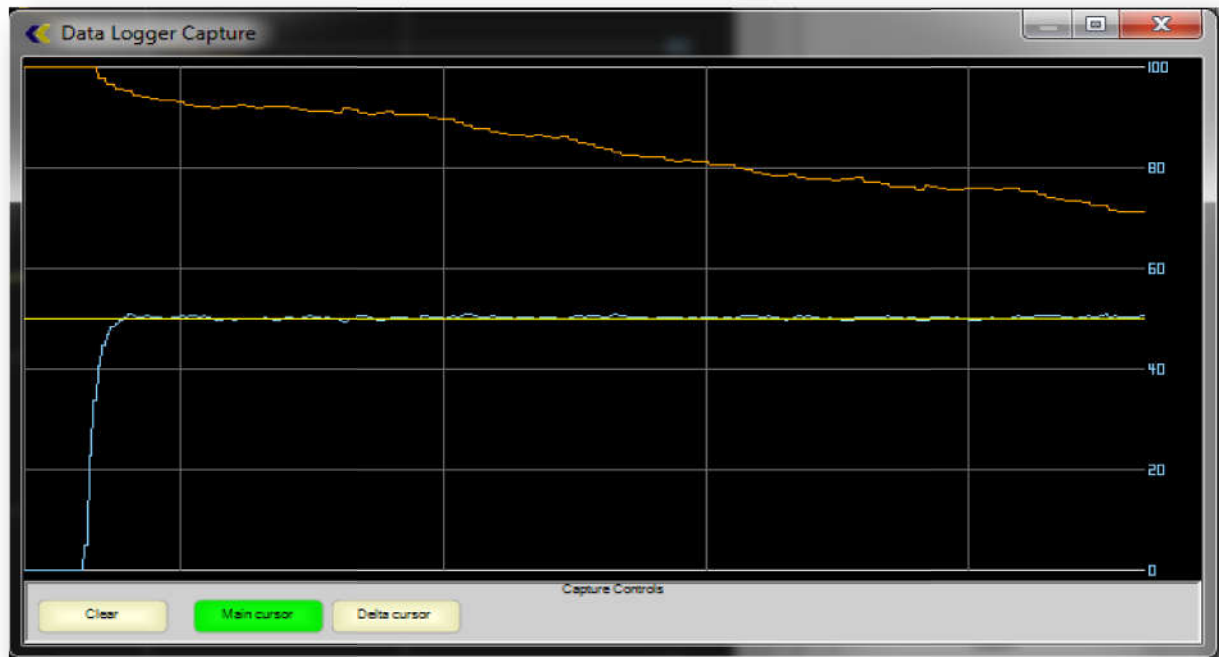


Figure IV-10 : les courbes obtenues pour $T_r = 1s$.

Pour $T_r = 1s$: on a obtenu un système précis, stable et rapide, avec un écart nul. Le signal de contrôle est très fort et prend beaucoup de temps pour qu'il se diminue, donc c'est très coûteux en terme d'énergie.

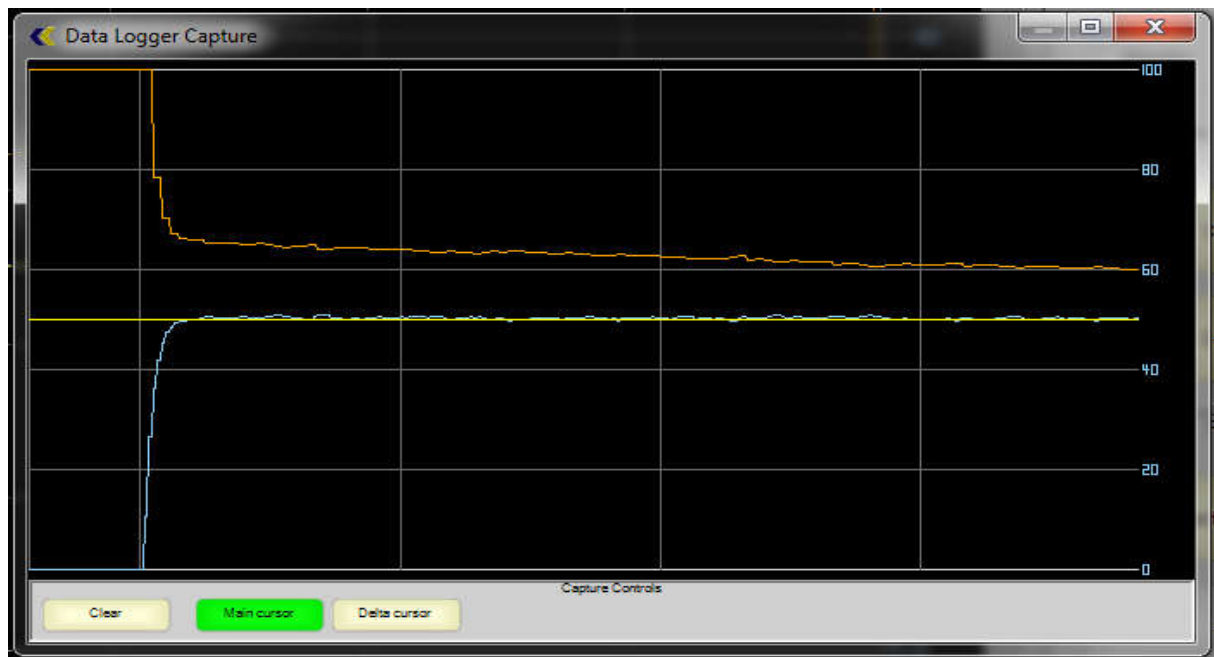


Figure IV-11 : Courbes obtenues pour $T_r = 5s$.

Pour $T_r = 5s$: on a aussi un système précis, stable et rapide, la valeur mesurée atteint la consigne. Dans cette pratique, l'effort de contrôle se diminue rapidement par rapport au premier cas et moins coûteux.

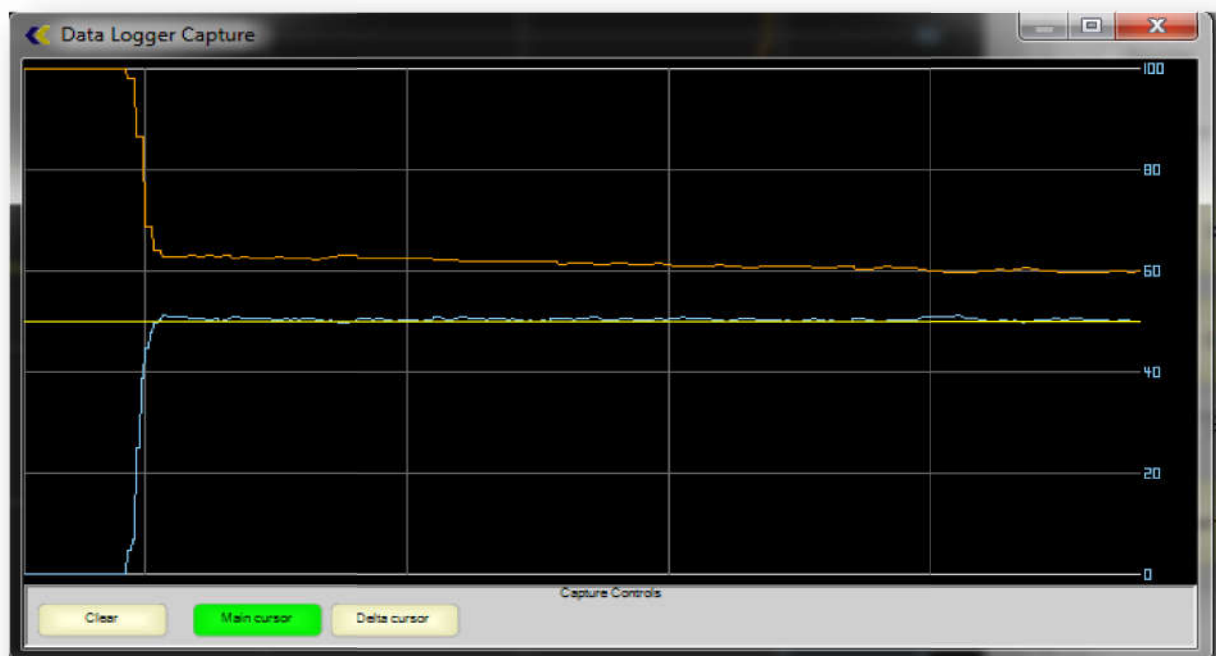


Figure IV-12 : Courbes obtenues pour $T_r = 10s$.

Pour $T_r = 10s$: on a un système précis, stable et un peu lent, avec une diminution rapide de l'effort de contrôle qui émet moins de temps pour qu'il se stabilise à une certaine valeur.

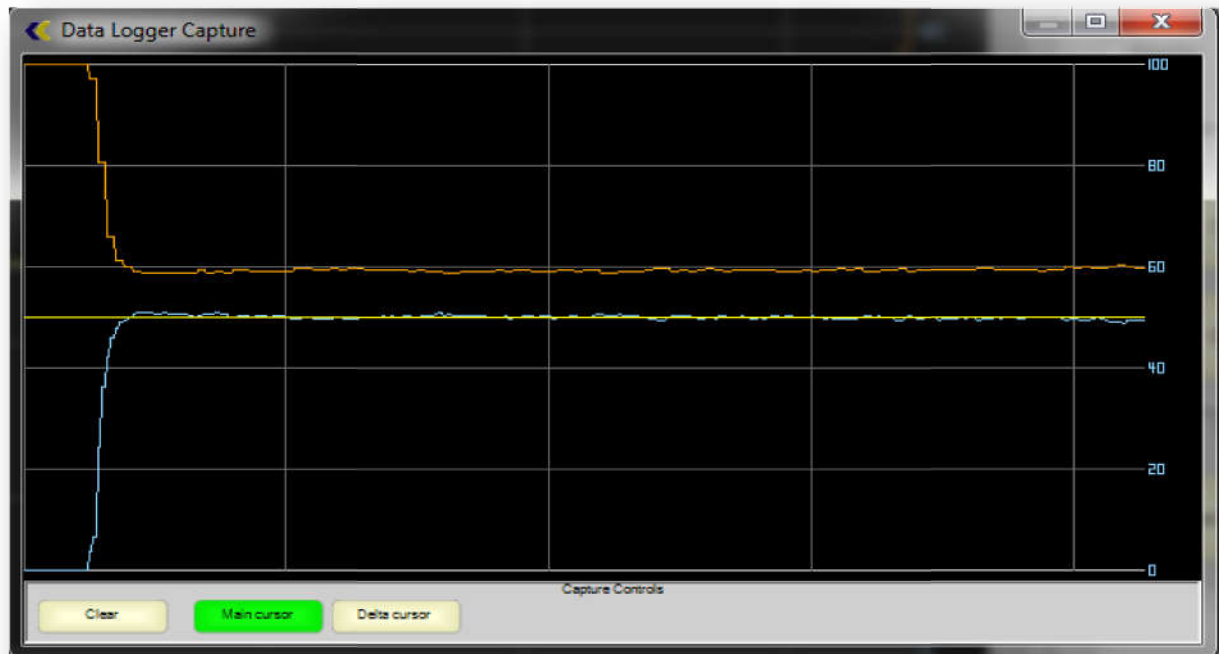


Figure IV-13 : Courbes obtenues pour $T_r = 60s$.

Avec $T_r = 60s$: on a un système précis, stable et lent avec un écart nul. L'effort de contrôle se chute. Par rapport aux cas précédents, on peut dire qu'il y a moins d'énergie consommée à la sortie du contrôleur.

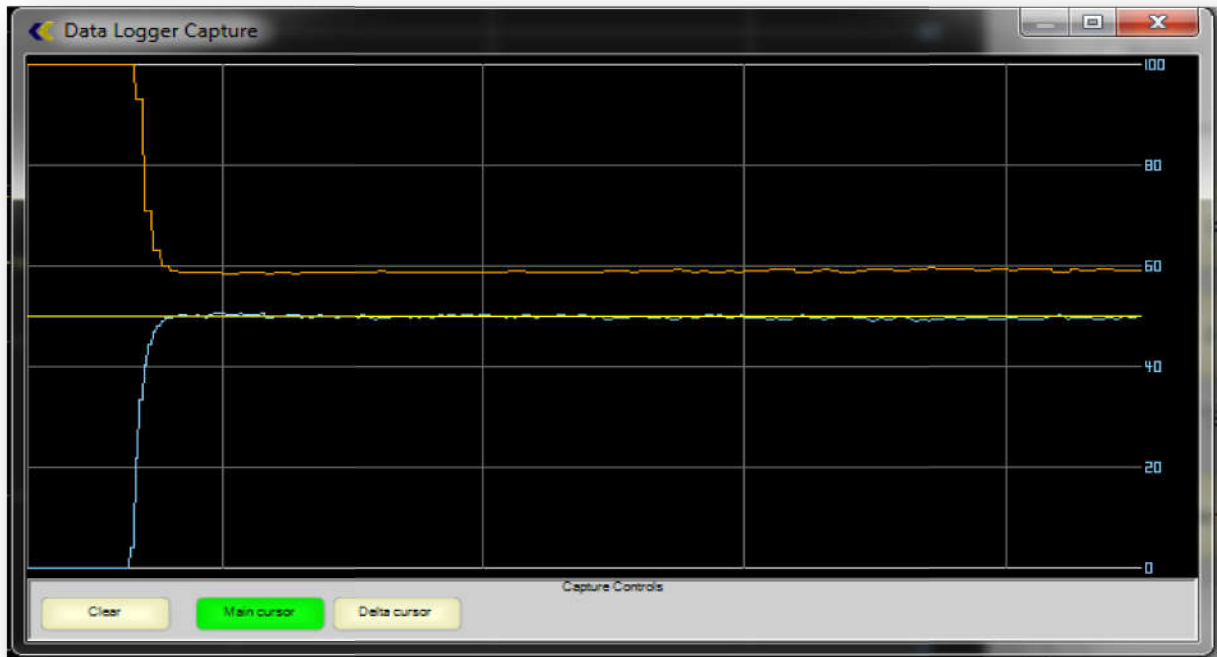


Figure IV-14 : Courbes obtenues pour $T_r = 80s$.

Comme on a expliqué dans la section théorique, toute valeur de T_r supérieur à 60s, il n'aura aucun effet sur l'effort de contrôle, même sur la réponse du système.

N.B : Pour le contrôle proportionnel intégral, on obtient un système stable et précis, mais la valeur de T_r choisie influent sur la rapidité du système, voir même sur l'effort de contrôle. Si T_r est plus petit, le système est plus rapide, une grande énergie sera utilisée (l'effort de contrôle est grand), donc c'est coûteux. Si on augmente T_r , le système devient un peu lent, avec une diminution de l'effort de contrôle, donc c'est moins d'énergie consommée.

IV-6 Le contrôle proportionnel intégral dérivé PID : [30] Le contrôle proportionnel réagit immédiatement à tout écart, mais il est insensible aux taux de changement d'écart. En ajoutant une action intégrale, la loi de contrôle élimine maintenant l'écart à long terme. Mais si l'écart augmente très rapidement, un très grand effort serait souhaité par le contrôleur. Le contrôle PID ajoute un terme dérivé proportionnel au taux de changement d'écart. Compte tenu de l'effort de contrôle d'une manière similaire à la théorie de l'action intégrale. T_d est le temps dérivé, ce temps est très similaire au temps de réinitialisation T_r du terme intégral. Il contrôle la contribution du terme dérivé à l'effort de contrôle global.

IV-6-1 Configuration des actions de contrôle PID : On assure que le « Control Action » est à « set to reverse » et que « input Filter » (FLt.1) est réglé sur 1 seconde.

Pour configurer l'action de contrôle, nous devons accéder au Level 6 sur l'ABB. Du principal affichage opérationnel, on appuie trois fois sur le bouton « Parameter Advance » pour accéder à « operational setting level », (LEV.1).

Appuyons sur le bouton haut jusqu'à ce que (LEV.6) soit affiché. Il y aura une pause entre levels 5 et 6. On maintient le doigt sur le bouton haut pour déplacer entre ces niveaux.

Lorsqu' on sélectionne (LEV.6), on appuyant sur le bouton « Parameter Advance » jusqu'à ce que (C.Act) s'affiche. Les boutons supérieur et inférieur peuvent être utilisés pour sélectionner l'action « Direct » (dIr) ou « Reverse » (rEV), si nécessaire.

Le paramètre « input filter » (FLt.1) se trouve au « Level 7 » (LEV.7), on doit assurer que cela est défini sur 1.

On retourne au Level 1 (LEV.1) et on appuie sur le bouton « Parameter Advance » pour quitter le menu d'installation.

On ouvre l'enregistreur de données pour observer l'affichage affichant la valeur de mesure d'entrée (bleu), point de consigne (jaune) et la valeur de sortie (orange) du contrôleur de processus.

On ouvre complètement MV2 et semi-ouverte de MV3. On allume la pompe et on bascule le contrôleur sur mode automatique.

Cette pratique commence en mode PI (proportionnel intégral), avec des valeurs optimales définies pour P et I. L'action dérivée est désactivée lorsque la barre de suivi est à zéro. On va changer Td de 0 à 10 secondes. Bien que cela semble très petit, il suffira d'une variation pour observer toutes conséquences de l'action dérivée dans l'effort de contrôle, bon et mauvais. Il existe des barres sur l'écran pour changer le point de consigne, Tr et Td. Nous n'aurons pas besoin d'appliquer Td supérieur à 5 secondes car il y aura une instabilité sur le signal de contrôle.

La figure suivante présente la réponse du système après avoir appliquer la régulation PID, d'après le choix de la valeur de Td.

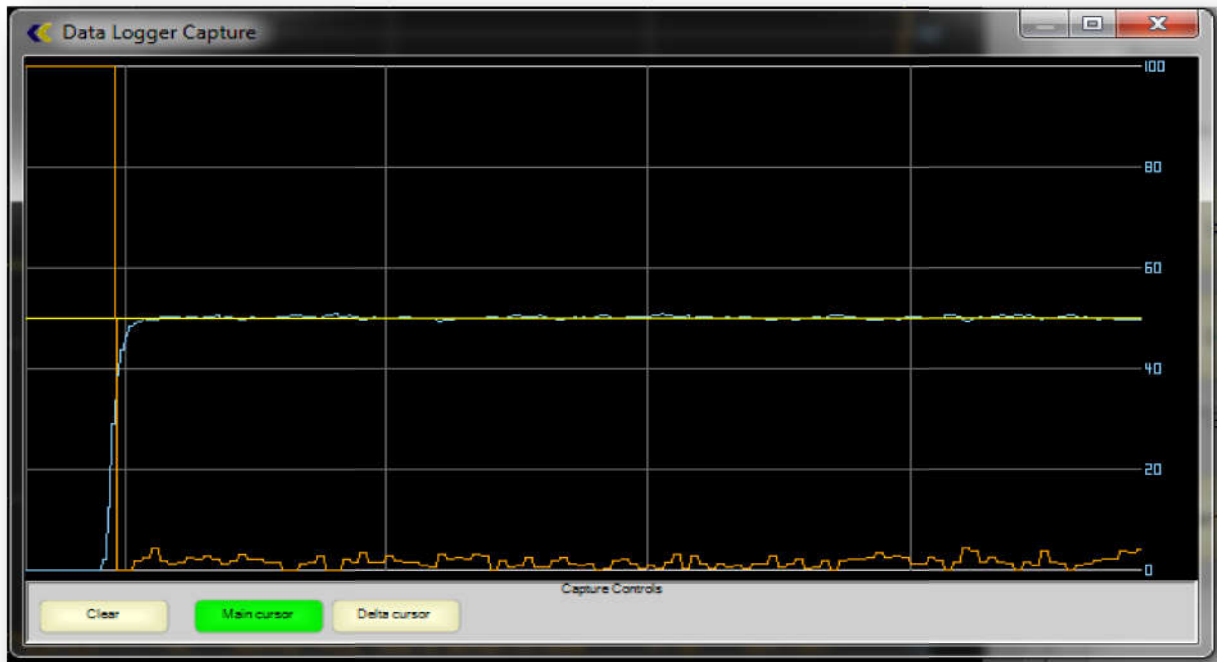


Figure IV-15 : Les courbes obtenues pour $T_r = 1s$ et $T_d = 3s$.

En ce qui concerne la régulation de débit, le contrôle PID n'est pas vraiment important sur la valeur mesurée, car le système garde presque les mêmes performances, mais en terme d'énergie, le PID est le plus idéal, car l'effort de contrôle est très petit.

IV-7 Conclusion : D'après les résultats expérimentaux obtenus sur le banc didactique 38-001, en utilisant la régulation P, PI et PID de débit par logiciel Espial, on déduit que chaque correcteur a ses propres caractéristiques, et que le correcteur PID est le plus parfait pour contrôler le débit d'une manière convenable.

Nous avons limité notre objectif dans ce mémoire, seulement à la régulation de débit de ce banc étudié.

Conclusion générale

Le travail qui nous a été proposé est l'application de la régulation de débit sur le banc didactique 38-001 qui est destiné pour le travail individuel pour étudiant ou pour des démonstrations de groupe.

Dans le premier chapitre, nous avons donné quelques rappels sur l'asservissement et sur la régulation et leurs objectifs. Ensuite, nous avons discuté sur la typologie de la régulation qui comprend deux types : régulation analogique et régulation numérique qui ont le même principe de fonctionnement. La différence entre ces deux types c'est que la régulation analogique travaille avec des signaux analogiques (continus) présentés par des nombres, par contre la régulation numérique travaille avec des signaux discrets nécessitant des convertisseurs analogiques numériques CAN, des convertisseurs numériques analogiques CNA et d'un bloqueur.

Dans le second chapitre, on a entamé l'étude détaillée sur le procédé didacticiel 38-001, en définissant tous les blocs qui le constituent à savoir : le processus de base 38-100 qui se compose d'un ensemble d'instruments (servovalve, des transmetteurs, des capteurs, un module d'affichage numérique, les vannes manuelles, les électrovannes, la pompe et deux réservoirs inférieur et supérieur), l'interface de processus 38-200 qui contient l'ensemble des points d'alimentation nécessaires pour ce banc, aussi ce dernier contient un contrôleur de processus 38-300 qui comporte le contrôleur de processus industriel ABB. A la fin de ce chapitre on a défini le logiciel de simulation « Espial » pour ce banc, et qui nous permet de visualiser le comportement de banc lors d'application de la régulation.

Dans le troisième chapitre, on a commencé la pratique par l'étalonnage des instruments du banc d'essai 38-001 tel que nous avons configuré d'abord l'interface de processus 38-200. Ensuite, nous avons calibré le contrôleur de processus 38-300. Enfin, nous avons étalonné les transmetteurs de débit et de niveau.

Dans le quatrième chapitre, a été consacré à l'application du contrôle P, PI et PID de débit sur ce banc d'essai. A travers, les résultats expérimentaux obtenus, nous avons déduit que le

contrôle PID est le plus optimal pour une meilleure performance du système même si que le contrôle PI est suffisant pour la régulation de débit.

Tout au long de notre travail, nous avons limité notre objectif dans ce mémoire, seulement à la régulation de débit de ce banc sans tenir compte de la servovalve. Malheureusement, cette dernière est défectueuse. Ceci, nous a obligés à utiliser la vanne manuelle afin de contrôler le débit. Donc, on peut dire que nous n'avons pas utilisé une régulation purement automatique. En plus, nous aurions aimés de faire aussi le contrôle de niveau. De même, malheureusement le transmetteur de niveau flottant n'a pas pu être étalonné à cause de la détérioration de l'un de ses composants.

En perspectives, le travail proposé peut être amélioré par :

- Réparation de la servovalve, ensuite, nous referons toutes les mesures sur la régulation P, PI et PID de débit.
- Réparation du capteur de niveau, ensuite, nous effectuons toutes les mesures nécessaires sur la régulation P, PI et PID de niveau.

Bibliographie

Bibliographie

- [1] P.PROUVOST, «Instrumentation et régulation en 30 fichiers», édition Dunod, Paris, France, 2010.
- [2] D.LEQUESNE, «La régulation PID analogique et numérique», édition Eyrolles, France, 2006.
- [3] S.Sekhsokh et K.Oukili «Etude d'une boucle de régulation de niveau», mémoire de master en génie des procédés, école supérieure de technologie _ FES _ 2010/2011.
- [4] J.Albet, «Banc de régulation», Manuel technique, ENSIACET A7, T.P 2ème année, janvier 2007.
- [7] M.Kareb et L.Gadi, «Étude et implémentation d'une commande PID en utilisant le PIC18F2550 pour le contrôle de vitesse d'un MCC», mémoire de master en automatique, UMMTO, Tizi-Ouzou, 2016.
- [9] E.Magarotto, «cours de régulation», département de génie chimique et procédés, université de Caen, France, version septembre 2004.
- [10] C.Bessieres, « Systèmes asservis analogiques et échantillonnés», cours, France.
- [11] W.Aous et G.Sedaoui «conception et réalisation d'un régulateur PID numérique à base d'un microcontrôleur PIC16F877A», mémoire de master en électronique industrielle, UMMTO, Tizi-Ouzou, 2014.
- [12] M.Correvon «Systèmes électroniques», cours les régulateurs standards, chapitre7, institut d'automatisation industrielle, Suisse Occidentale, Suisse.
- [14] S.Tliba, M.Jungers et Y.Chitour, «Commande des processus, asservissement numérique», cours master Information Système Technologie, université de Paris-Sud, France, 2005.
- [15] H.Hamiche, «commande des procédés», cours de master en électronique industrielle, département d'Electronique, UMMTO, Tizi-Ouzou, 2017.

- [17] Feedback « Procon level and flow with temperature 38-003», catalogue, chapitre 2, United of Kingdom, 2013.
- [18] Feedback « Procon level and flow with temperature 38-003», catalogue, chapitre 4, United of Kingdom, 2013.
- [19] Feedback «Procon level and flow with temperature 38-003», catalogue, chapitre 5, United of Kingdom, 2013.
- [20] Feedback « Procon level and flow with temperature 38-003», catalogue, chapitre 6, United of Kingdom, 2013.
- [21] Feedback, « Procon level and flow with temperature 38-003», catalogue, chapitre 10, United of Kingdom, 2013.
- [22] Feedback, « Procon level, flow and temperature- process control trainers installation and commissioning manual 38-001-3-IC», catalogue, United of Kingdom, 2013.
- [23] Feedback, « Procon level and flow with temperature 38-003», catalogue, chapitre 12, United of Kingdom, 2013.
- [24] Feedback, « Procon level and flow with temperature 38-003», catalogue, chapitre 11, United of Kingdom, 2013.
- [25] Feedback, « Procon level and flow with temperature 38-003», catalogue, chapitre 9, United of Kingdom, 2013.
- [27] Feedback, « Procon level and flow with temperature 38-003», catalogue, chapitre 8, United of Kingdom, 2013.
- [28] Feedback, « Procon level and flow with temperature 38-003», catalogue, chapitre 7, United of Kingdom, 2013.
- [29] Feedback, « Procon level and flow with temperature 38-003», catalogue, chapitre 14, United of Kingdom, 2013.
- [30] Feedback, «Procon level and flow with temperature 38-003», catalogue, chapitre 16, United of Kingdom, 2013.

Webographie :

[5] [https : //fr.wikipidea.org /wiki /stratégie de régulation # introduction](https://fr.wikipedia.org/wiki/strat%C3%A9gie_de_r%C3%A9gulation#introduction).

[6] [https : // fr.wikipedia.org / wiki / Asservissement \(automatique\) # Articles connexes](https://fr.wikipedia.org/wiki/Asservissement_(automatique)#Articles_connexes).

[8] [https : // fr.wikipedia.org / wiki / Régulation automatique](https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9gulation_automatique).

[13] [https : // www.bh-automation.fr / Ressources / Automaticiens](https://www.bh-automation.fr/Ressources/Automaticiens).

[16] www.feedback_instrument.com/38-001_datasheet_level_flow.

[26] [https://fr.wikipedia.org/wiki/ABB_ \(entreprise\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/ABB_(entreprise)).

Annexes

Annexe A

Annexe A

A-1 Les performances du système (Précision, Stabilité et rapidité) : Pour définir l'objectif global d'une régulation, les critères qualitatifs du cahier des charges sont traduits par des critères quantitatifs. Les qualités exigées les plus rencontrées industriellement sont la stabilité, la précision et la rapidité.

A-1-1 Stabilité : La qualité essentielle pour un système régulé, et donc exigée à tous prix, est la stabilité. En effet un système instable se caractérise soit par des oscillations d'amplitude de plus en plus grande (courbe 1-figure I-6), soit par une croissance irréversible négative ou positive de la grandeur observée (courbe 2-figure I-6). Dans les deux cas, l'objectif de la régulation n'est bien entendu pas atteint, mais surtout il y'a risque de détérioration physique du procédé et donc d'insécurité.

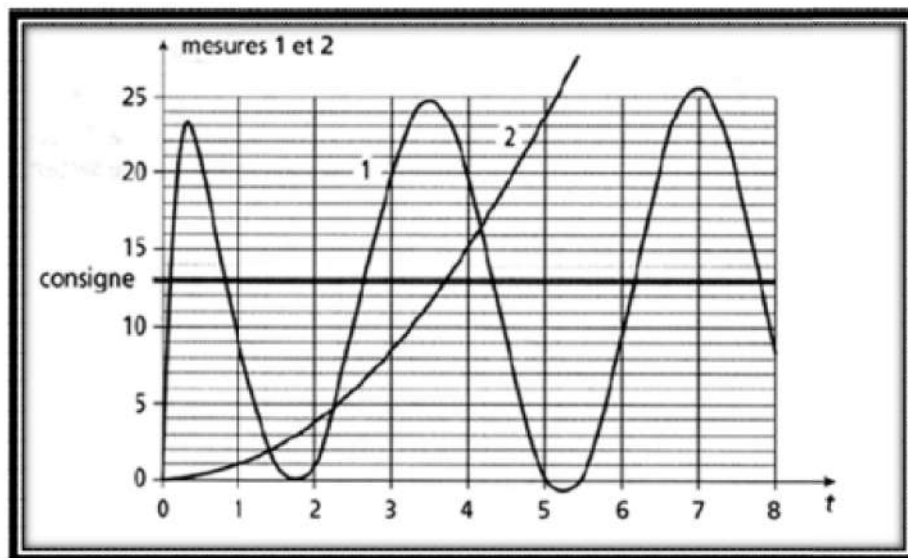


Figure A-1 : Evolution des deux systèmes régulés instables : inacceptable.

Dans une approche simplifiée, un système est considéré comme stable si, pour une variation d'amplitude ou d'une perturbation, la mesure de la grandeur à maîtriser se stabilise à une valeur finie. Plus le régime transitoire d'un système soumis à une telle variation est amorti plus il est stable. Le degré de stabilité est alors caractérisé par l'amortissement de ce régime transitoire.

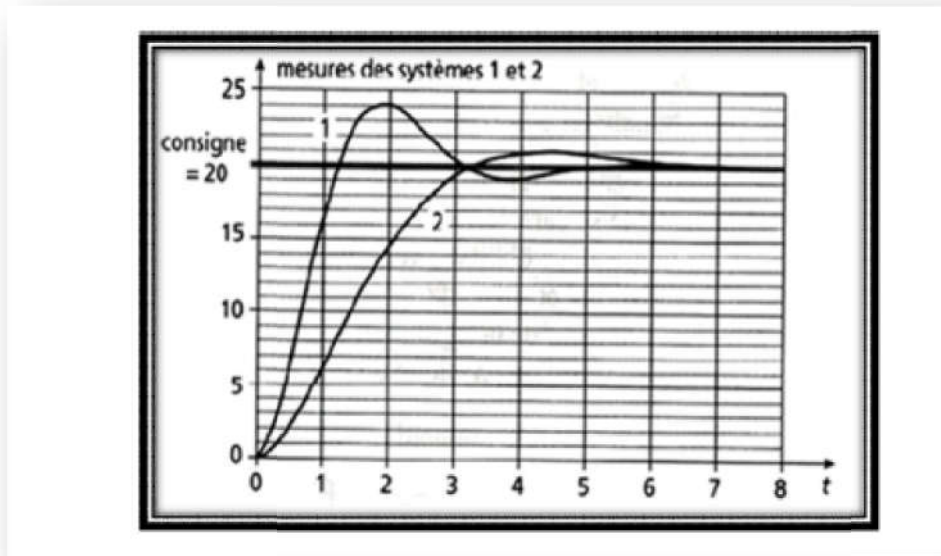


Figure A-2 : Systèmes régulés stables avec amortissement acceptable. La courbe 2 est plus amortie que la courbe 1 : le système 2 est plus stable que le système 1.

A-1-2 Précision : Il est naturel d'évaluer la précision d'un système régulé en comparant l'objectif atteint par rapport à celui exigé. La précision d'un système régulé se mesure à l'écart entre la consigne demandée et la mesure en régime permanent, on parle alors de la précision statique. Plus l'écart statique est petit, plus le système est précis. L'évolution de la précision statiques s'effectue en réalisant une variation rapide de la consigne en amplitude et en mesurant la variation d'amplitude finalement obtenue de la mesure. La précision statique est une qualité importante à respecter pour bien des systèmes régulés.

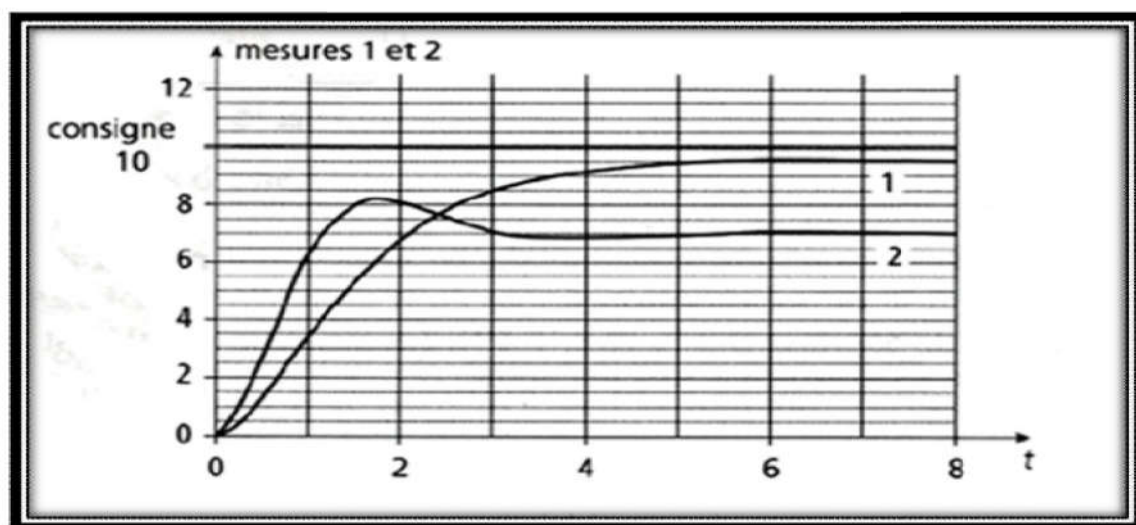


Figure A-3 : Précision statique.

On peut trouver aussi la précision dynamique qui est à prendre en compte lors des réglages des régulateurs. Elle s'évaluera généralement par le dépassement maximal D_1 que peut prendre la mesure par rapport à la consigne.

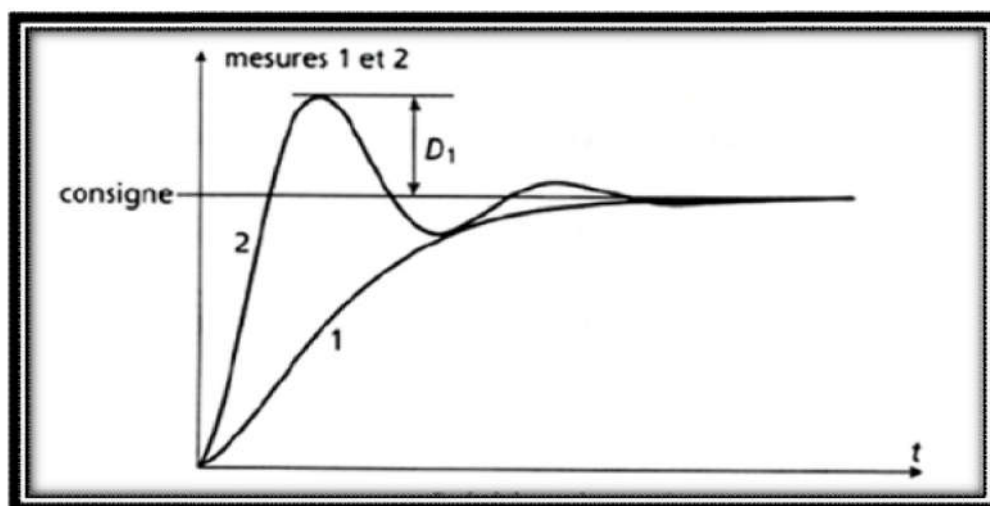


Figure A-4 : Précision dynamique.

Annexe A

A-1-3 Rapidité : La rapidité d'un système régulé s'évalue par le temps nécessaire à la mesure pour entrer dans une zone plus ou moins 5% de sa valeur finale (soit entre 95% et 105%). Le système régulé est d'autant plus rapide que le temps de réponse à 5% est court.

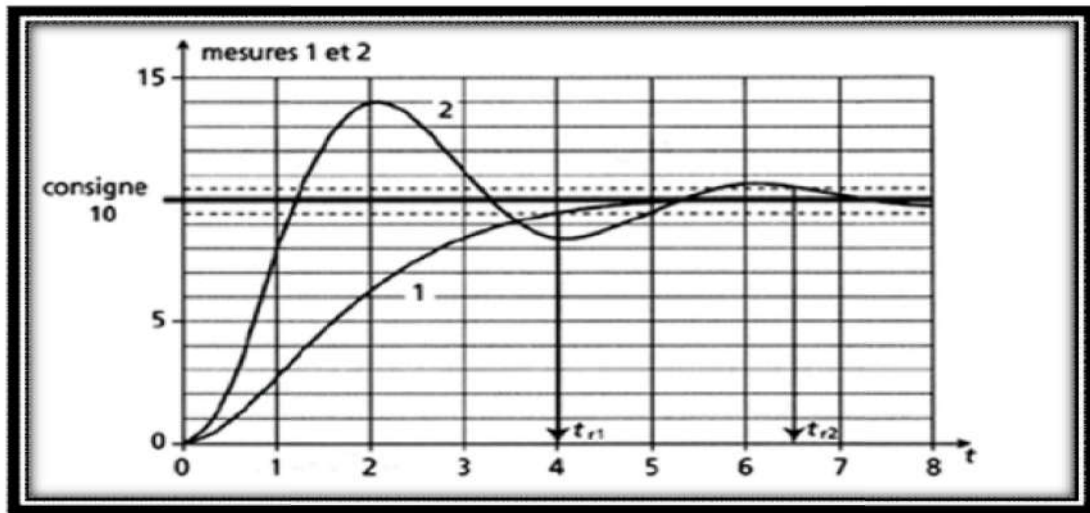


Figure A-5 : Evaluation de la rapidité par mesure du temps de réponse à 5 %.

Annexe B

B-1 l'influence des perturbations sur le système : Une perturbation est une entrée supplémentaire au système qu'on ne peut contrôler ou maîtriser. Ces perturbations $w(t)$ ont une influence sur l'asservissement des systèmes. La figure ci-dessous illustre un système qui a des perturbations.

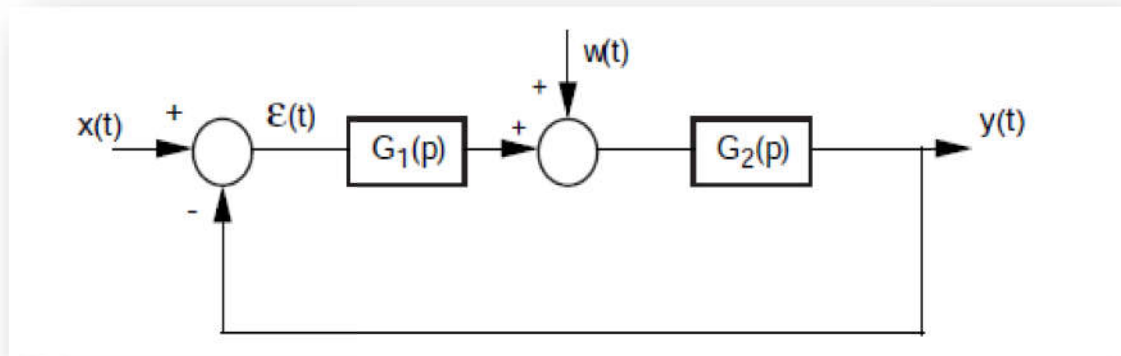


Figure B-1 : Schéma blocs d'un système perturbé.

Annexe C

C-1 Les capteurs, les transmetteurs, préactionneurs et actionneurs :

C-1-1 Capteurs : Un capteur est un organe de prélèvement d'information qui élabore à partir d'une grandeur physique (information entrante), une autre grandeur physique de nature différente (très souvent électrique). Cette grandeur représentative de la grandeur prélevée est utilisable à des fins de mesure ou de commande. La figure suivante illustre le principe de fonctionnement de capteur.

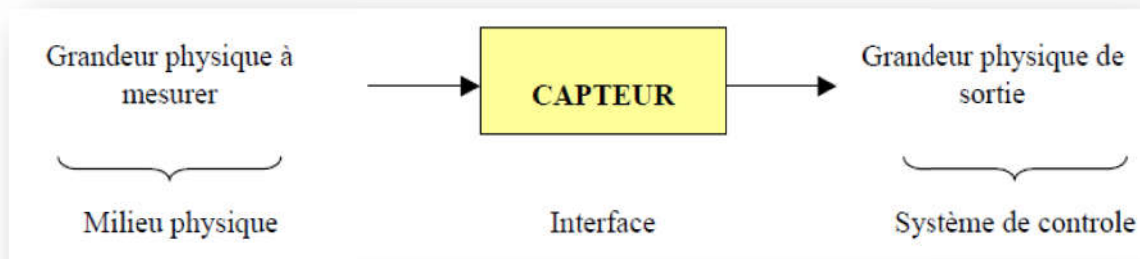


Figure C-1 : le principe de fonctionnement de capteur.

Il existe une diversité de capteur. Ces capteurs peuvent être classifiés par plusieurs manières :

- Classification selon la forme et la nature de la grandeur électrique :
 - Capteur analogique (capteur générateur de tension, capteur de courant, capteur générateur de charge, capteur résistif, capteur inductif et capteur capacitif).
 - Capteur numérique (codeur rotatif incrémental).
 - Capteur logique (capteur de fin de course).
- Classification par la grandeur physique entrante exemple :
 - Débit et niveau d'un fluide.
 - Lumière.
 - Température.

Annexe C

C-1-2 Le transmetteur : C'est un dispositif répondant à une variable mesurée par le capteur, afin de générer et de transmettre à un signal de sortie standard en relation continue avec la valeur de la variable mesurée. La figure suivante illustre la relation entre le capteur et le transmetteur.

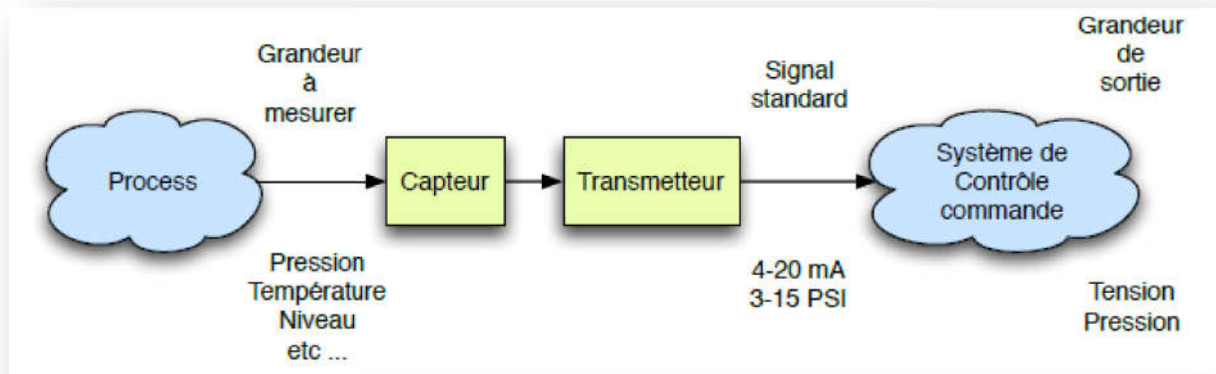


Figure C-2 : Capteur et transmetteur en situation.

➤ **Paramétrage d'un transmetteur :** Le transmetteur possède en général au moins deux paramètres de réglage ; le décalage de zéro et l'étendue de mesure. Si le transmetteur possède un réglage analogique, pour paramétrer le transmetteur il suffit (respecter l'ordre) :

- De régler le zéro quand la grandeur mesurée est au minimum de l'étendue de mesure (réglage du 0 %).
- De régler le gain quand la grandeur mesurée est au maximum de l'étendue de mesure (réglage du 100 %).

C-1-3 Actionneur : Dans une machine, un actionneur est un organe qui transforme l'énergie qui lui est fournie en un phénomène physique qui fournit un travail, modifie le comportement ou l'état d'un système. Dans les définitions de l'automatisme, l'actionneur appartient à la partie opérative.

➤ **Exemple :**

- Vérin pneumatique ou hydraulique.
- Moteur électrique.
- Servovalve.

C-1-4 Préactionneur : C'est un organe capable de réaliser la commande d'un actionneur. Il distribue à l'actionneur un courant fort tout en étant commandé par un courant électrique faible provenant de la partie commande. Il est intégré à la partie opérative ou à l'interface et dimensionné en fonction de l'énergie demandée par l'actionneur.

➤ **Exemples :**

- Relais.
- Transistor.

Annexe D

D-1 Le moteur électrique : Un moteur électrique est une machine électromécanique capable de transformer l'énergie électrique en énergie mécanique. Les moteurs électriques sont tous réversibles : ils sont capables de produire du courant électrique si on les fait tourner par un moyen mécanique.

D-1-1 Les différents types des moteurs électriques : Il y a plusieurs types de moteurs électriques qui sont :

➤ **Moteur électrique à courant continu :** l'avantage du moteur à courant continu est de pouvoir facilement régler la vitesse de rotation de celui-ci. Le moteur à courant continu est alimenté par des batteries ou des piles. Ce genre de moteurs électriques est utilisé sur de petits outils tels que des appareils électroportatifs sans fil.

➤ **Moteur électrique universel :** Un moteur universel est un moteur électrique fonctionnant sur le même principe qu'une machine à courant continu à excitation série. Le rotor est connecté en série avec l'enroulement de l'inducteur. Il peut donc être alimenté indifféremment en courant continu ou en courant alternatif, d'où son appellation.

➤ **Moteur électrique asynchrone :** Le moteur électrique asynchrone est le plus répandu des moteurs alternatifs. Le moteur asynchrone, connu également sous le terme " anglo-saxon " de moteur à induction, est un moteur à courant alternatif sans connexion entre le stator et le rotor.

➤ **Moteur électrique synchrone :** Le moteur synchrone existe dans deux versions soit bobinées pour les fortes puissances et à aimant pour les entraînements à hautes performances. Ils sont généralement des moteurs triphasés. Le moteur synchrone est souvent utilisé comme génératrice. On l'appelle alors « alternateur ».

➤ **Moteur à réluctance variable :** Le moteur à réluctance variable possède un dispositif prometteur et est toujours en développement. Il s'agit d'un moteur qui comporte un rotor à encoches se positionnant dans la direction de la plus faible réluctance. Ce rotor, en fer doux, comporte moins de dents qu'il n'y a de pôles au stator. Le rotor étant en fer doux, son mouvement est indépendant du sens d'alimentation des différentes phases.

➤ **Moteur pas à pas :** Les moteurs pas à pas sont de petits moteurs de précision dotés d'un système de commande électronique. Un moteur pas à pas permet de transformer une impulsion électrique en un mouvement angulaire. Ce type de moteur est très courant dans tous les dispositifs où l'on souhaite faire un contrôle de vitesse ou de position en boucle

Annexe D

ouverte, typiquement dans les systèmes de positionnement. L'usage le plus connu du grand public est dans les imprimantes et les lecteurs CD.

➤ **Moteurs linéaires** : Un moteur linéaire est essentiellement un moteur asynchrone. Dans celui-ci le rotor « a été déroulé » de sorte qu'au lieu de produire un couple de rotation, il produit une force linéaire sur sa longueur en installant un champ électromagnétique de déplacement.