



جامعة بجاية  
Tasdawit n Bgayet  
Université de Béjaïa



**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**

**Université A.MIRA-BEJAIA**

**Faculté de Technologie**

**Département d'Automatique, Télécommunication et d'Electronique**

# **Projet de fin d'étude**

**Pour l'obtention du diplôme de Master en Electronique**

**Option : Instrumentation**

**Thème :**

**Contribution à l'amélioration de la boucle de régulation du ph  
(Neutralisation) avec le régulateur MYCOM153 à la station  
d'épuration de la CO.G.B Labelle**

**Préparé par :**

Boudjemline Millida

Hachemaoui Hamza

**Dirigé par :**

Mr : TAFININE Farid

Mr : HOCINI Sofiane

**Examiné par :**

Mr : HANFOUG Salah

Mr : YAHIAOUI Fatah

**Année Universitaire : 2022 / 2023**

## *Remerciements*

Avant tout, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude envers Dieu, qui, par Sa grâce, nous inspire le courage et la volonté nécessaires pour surmonter les obstacles de la vie. Sa guidance et Sa miséricorde ont été des sources inépuisables de force et de soutien tout au long de notre parcours.

Nous souhaitons exprimer notre profonde gratitude envers Monsieur Tabinin F. pour son encadrement, son soutien et ses conseils tout au long de ce mémoire. Nous sommes extrêmement reconnaissants d'avoir eu la chance de l'avoir comme encadreur. Son accompagnement attentif et son engagement constant ont été des facteurs clés dans notre expérience, et nous lui sommes sincèrement reconnaissants pour tout ce qu'il a fait pour nous.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude envers Monsieur HOUCINI S. pour son aide précieuse et pour avoir créé les conditions favorables à la réussite de notre travail tout au long de notre stage à CO.GB LABELLE. Son encadrement attentif et son soutien constant ont été des éléments déterminants dans notre expérience professionnelle, et nous lui sommes sincèrement reconnaissants pour tout ce qu'il a fait pour nous. Sa présence et son engagement ont grandement contribué à notre développement et à notre apprentissage, et nous lui exprimons notre plus sincère appréciation.

Nous tenons à exprimer notre plus sincère gratitude envers les membres du jury pour avoir accepté d'évaluer notre travail et pour l'honneur qu'ils nous ont fait en le considérant.

J'adresse mes remerciements également à l'ensemble de l'équipe de travail de la station d'épuration de CO.GB LABELLE pour l'aimable accueil et les précieuses informations.

Nous exprimons notre sincère reconnaissance envers nos collègues et amis pour l'ambiance agréable et leur sympathie tout au long de notre parcours d'études. Nous remercions également tous ceux qui nous ont apporté leur aide pour ce mémoire. Enfin, nos parents, sœurs et frère méritent nos remerciements pour leur encouragement et soutien précieux durant la rédaction de ce mémoire.

# *Dédicaces*

**J'ai le grand plaisir de dédier ce modeste travail :**

**À ma chère mère pour son amour, ses encouragements et ses sacrifices ;**

**À mon cher père pour son soutien, son affection et la confiance qu'il m'a accordés;**

**À ma sœur qui a toujours su me réconforter, et m'encourager sans oublier mon petit frère ;**

**À Toute ma famille ;**

**À tous mes amis : Salim, Abd alhak, Massi, Zineddine, Taher, Beramtan, Fateh, Mohend, Said, Oussama, Koussaila, Imad ;**

**Et pour toutes les personnes qui m'ont aidée lors de la rédaction de ce mémoire ;**

**À vous chers lecteurs.**

*Hamza*

# *Dédicaces*

Je dédie ce modeste travail :

À mes très chers parents qui m'ont tout donné ;

Ma mère source de douceur et de bienveillance ;

Mon père source d'espoir et de conseil ;

Soucieux de m'offrir une meilleure éducation et de me garantir un bon avenir. Sans lesquels je ne saurai pu progresser et en arriver à l'achèvement de ce travail ;

Mes très chers frères : Mahrez et Azzedine sans oublier ma belle-sœur Kenza ;

À mes cousines et cousins : Souad, Thinhinane, Amirouche, koussaila, mouhand ;

À mes neveux et mes nièces : Zahra, Idriss, Amir, Maya et Assil ;

À ma chère meilleure amie Nour El Houda que j'aime beaucoup et que je la souhaite une bonne chance dans sa vie ainsi que ses études ;

À mes sœurs de cœur : Akila, Siham, Wissam, Jiji, Massinta, Souad, Siham Amx, Feriel, Dyhia, Sarah, Melissa et Mira ;

À ma chère Fadila que le destin nous a séparé dans le parcours académique mais pas dans les cœurs ;

À tous ceux qui me sont chers et tous ceux qui m'ont aidé dans mon travail.

*Millida*



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

## **Chapitre I    Présentation de l'entreprise**

1    Introduction .....	3
2    Historique .....	3
3    Structure de l'entreprise.....	4
3.1    Organigramme des départements CO. G.B « Labelle ».....	4
4    Situation de l'entreprise.....	5
4.1    Situation géographique.....	5
4.2    Situation juridique .....	5
5    Objectifs, missions et activités .....	6
5.1    Missions de l'entreprise .....	6
5.2    Les objectifs de l'entreprise .....	7
5.3    Les activités de l'entreprise.....	7
6    Moyens de l'entreprise .....	7
7    Diagnostic de CO.G.B labelle .....	8
7.1    Diagnostic industriel ou de production .....	8
8    Plan de masse de l'entreprise.....	9
9    Conclusion.....	10

## **Chapitre II    Généralité sur la régulation**

1    Introduction .....	11
2    Définition de la régulation automatique .....	11
3    Objectifs de la régulation.....	11
4    Principe général de la régulation .....	12

5	Types de la régulation.....	13
6	Classification boucle ouverte/boucle fermée.....	13
7	Critère de performance d'une régulation.....	14
8	Les différents types de régulateur.....	15
8.1	Contacts de seuil.....	15
8.2	Régulateurs P, PI, PD, PID .....	16
8.3	Régulateur de neutralisation.....	18
8.4	Régulateur P à deux plages .....	19
8.5	Régulation pas à pas à trois plages.....	20
9	Conclusion.....	22

### **Chapitre III Description du matériel de la boucle de régulation du ph**

1	Introduction .....	23
2	Boucle de régulation du ph .....	23
2.1	Le ph mètre Mycom CPM 153.....	23
2.1.1	Définition .....	23
2.1.2	Caractéristiques principales de ph mètre .....	24
2.1.3	Accessoires de mesure .....	25
2.1.4	Principe de fonctionnement .....	26
2.2	Sensopac CPA 320.....	26
2.2.1	La sonde de ph .....	29
2.2.2	La sonde de référence : .....	30
2.2.3	La sonde de température : .....	31
2.3	Le Régulateur trovis 6493.....	32
2.3.1	Définition .....	32

2.3.2	Caractéristiques principales de régulateur trovis 6493 .....	33
2.3.3	Caractéristiques particulières de régulateur trovis 6493 .....	34
2.4	Le convertisseur courant/pression (I/P).....	35
2.4.1	Définition .....	35
2.4.2	Principe de fonctionnement du convertisseur .....	36
2.5	La Vanne modulante pneumatique 4-20 mA .....	37
2.5.1	Définition .....	37
2.5.2	Principe de fonctionnement .....	38
2.5.3	Caractéristiques principales de la vanne modulante pneumatique .....	38
3	Conclusion.....	39

## **Chapitre IV    Processus de la Neutralisation**

1	Introduction.....	40
2	Amélioration de l'efficacité du traitement des eaux usées industrielles .....	40
3	Nouvelles technologies pour un meilleur contrôle du ph .....	40
3.1	La différence entre l'électrovanne et la vanne modulante pneumatique 4-20mA .....	41
3.2	La différence entre le régulateur TRD855 et le trovis 6493 .....	42
4	Principe du fonctionnement de la boucle de régulation du ph.....	43
4.1	Principe de l'acidification .....	45
4.2	Principe de la neutralisation .....	45
5	Processus de régulation de la neutralisation des eaux usées industrielles.....	46
6	Mesure du ph .....	48
6.1	Variation du ph avant le changement de l'électrovanne .....	48
6.2	Variation du ph après l'utilisation de la vanne modulante.....	49

7 Conclusion..... 50

Conclusion générale.....51

Bibliographie



*Liste des  
figures*

## Liste des figures

---

<b>Figure I.1</b> : Organigramme des départements de CO. GB « Labelle >>.....	4
<b>Figure I.2</b> : Situation géographique de l'entreprise .....	5
<b>Figure I.3</b> : Plan de masse de la CO-GB La belle .....	9
<b>Figure II.1</b> : Schéma de principe du la régulation .....	12
<b>Figure II.2</b> : Système en boucle ouverte.....	13
<b>Figure II.3</b> : Système en boucle fermée.....	14
<b>Figure II.4</b> : Caractéristique de régulation du contact de seuil (Fonction maximale).....	15
<b>Figure II.5</b> : Caractéristique de régulation du contact de seuil (Fonction minimale).....	16
<b>Figure II.6</b> : Caractéristique d'un régulateur proportionnel avec le mode de régulation direct....	17
<b>Figure II.7</b> : Caractéristique d'un régulateur proportionnel avec le mode de régulation inverse...	18
<b>Figure II.8</b> : Caractéristique de neutralisation.....	19
<b>Figure II.9</b> : Courbe caractéristique de réponse d'un régulateur P à 2 plages.....	19
<b>Figure II.10</b> : Organigramme du process.....	21
<b>Figure III.1</b> : Appareil ph mètre, représentant la face de devant (photo prise en entreprise).....	24
<b>Figure III.2</b> : Référence de ph mètre (photo prise en entreprise).....	24
<b>Figure III.3</b> : Exemple d'un système de mesure complet .....	25
<b>Figure III.4</b> : Assemblage du Sensopac CPA 320 .....	27
<b>Figure III.5</b> : La sonde du ph (photo prise en entreprise).....	29
<b>Figure III.6</b> : La sonde de référence (photo prise en entreprise).....	30
<b>Figure III.7</b> : La sonde de température (photo prise en entreprise).....	32
<b>Figure III.8</b> : Le régulateur Trovis 6493 (photo prise en entreprise).....	33
<b>Figure III.9</b> : Référence de Trovis 6493 (photo prise en entreprise).....	33

## Liste des figures

---

<b>Figure III.10</b> : Le convertisseur courant/pression (photo prise en entreprise).....	35
<b>Figure III.11</b> : Référence de convertisseur courant/pression (photo prise en entreprise).....	36
<b>Figure III.12</b> : Structure d'un transducteur I/P .....	37
<b>Figure III.13</b> : la vanne modulante (photo prise en entreprise).....	37
<b>Figure III.14</b> : Référence de la vanne modulante (photo prise en entreprise).....	38
<b>Figure IV.1</b> : Schéma électrique de la boucle de régulation du ph.....	44
<b>Figure IV.2</b> : Schéma synoptique de la neutralisation.....	46
<b>Figure IV.3</b> : Processus de régulation de la neutralisation .....	47
<b>Figure IV.4</b> : Évolution du ph à l'entrée et à la sortie de l'entreprise CO.GB Labelle (avant le changement de l'électrovanne).....	49
<b>Figure IV.5</b> : Évolution du ph à l'entrée et à la sortie de l'entreprise CO.GB Labelle (après l'utilisation de la vanne modulante).....	50



***Liste des  
tableaux***

**Tableau IV.1** : Variation du ph avant le changement.....48

**Tableau IV.2** : Variation du ph après le changement .....49



*Liste des  
abréviations*

**CO.G.B** : Corps Gras de Bejaia

**SIAN** : Société Industrielle de l'Afrique du Nord

**SOGEDIA** : Société de Gestion Et de Développement des Industries Alimentaires

**ENCG** : Entreprise Nationale des Corps Gras

**SPA** : Société Par Action

**CDH** : Service Conditionnement Des Huiles

**TOR** : Tout Ou Rien

**PH** : Potentiel Hydrogène

**PID** : Proportionnel, Intégrale, Dérivé

**PI** : Proportionnel, Intégrale

**P** : Proportionnel

**Kp** : Coefficient de Proportionnalité

**I/P** : Courant/Pression

**OH-** : L'ion Hydroxyde

**H+** : L'ion Hydronium

**RTD** : Détecteur de Température a Résistance

**H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>** : Acide Sulfurique



*Introduction*  
*générale*

### Introduction générale

Le traitement des eaux usées est un processus essentiel pour préserver l'environnement et assurer la sante publique. L'une des étapes clés de ce traitement est la neutralisation des eaux usées, qui vise à ajuster leur ph pour atteindre des niveaux acceptables avant leur rejet dans l'environnement.

La régulation du ph dans le traitement des eaux usées repose sur une boucle de contrôle automatique, également appelée boucle de régulation de ph, qui permet de mesurer en continu le ph des eaux usées et d'ajuster automatiquement les quantités de réactifs nécessaires pour maintenir le ph à une valeur prédéterminée.

Dans ce mémoire, nous explorerons le fonctionnement d'une boucle de régulation de ph dans le cadre de l'entreprise CO.G.B labelle, spécialisée dans le traitement des eaux usées. Nous mettrons en évidence l'importance de la régulation du ph dans le processus de traitement et l'engagement de CO.G.B la belle envers des normes environnementales rigoureuses.

Dans le cadre de cette étude, notre objectif était d'améliorer la régulation du ph (neutralisation). Pour atteindre cet objectif, nous avons effectué un remplacement du régulateur TRD855 par le régulateur Trovis6493. Cela a éliminé le besoin d'un visualisateur distinct, simplifiant ainsi le système. De plus, nous avons également remplacé l'électrovanne par une vanne modulante pneumatique. Ces améliorations ont permis d'optimiser le processus de régulation du ph et d'assurer un fonctionnement plus précis et fiable.

Dans le premier chapitre nous présenterons l'entreprise CO.G.B labelle qui est spécialisée dans la production de produits chimiques. Nous explorerons son historique, sa structure et son objectif.

Dans le deuxième chapitre, nous examinerons les principes fondamentaux de la régulation. Nous aborderons les notions de boucle de régulation, nous expliquerons également les différents types de régulation, tels que la régulation en boucle ouverte et en boucle fermée.

## **Introduction générale**

---

Dans le troisième chapitre, nous consacrons la description détaillée des appareils utilisés dans la boucle de régulation de pH de CO.G.B labelle. Nous présenterons le Sensopac CPA320, un contrôleur de processus avancé qui joue un rôle clé dans la régulation du pH. Nous examinerons également le pH-mètre Mycom cmp153, un dispositif de mesure précis du pH. De plus, nous aborderons d'autres équipements tels que le trovis, un système de contrôle programmable, le convertisseur I/P et la vanne modulante pneumatique, qui sont essentiels pour ajuster les quantités de produits chimiques en fonction des mesures de pH.

Enfin, dans le dernier chapitre, nous décrivons en détail le processus de neutralisation, qui est le principal objectif de boucle de régulation de pH de CO.G.B labelle. Nous avons mesuré les valeurs de pH avant et après le remplacement de l'électrovanne par la vanne modulante pneumatique. Le remplacement a été effectué dans le but d'améliorer le contrôle du pH dans le système.

Nous terminons ce travail par une conclusion générale et des perspectives.



*Chapitre I :*  
*Présentation de*  
*l'entreprise* . . .

## 1 Introduction

En 1977 la société des corps gras « CO.G.B » entre en partenariat avec la société agroalimentaire « Labelle » en lui cédant 70% des actions et le reste appartient à l'état. Le CO.G.B est un groupe agroalimentaire algérien qui assure la commercialisation et la fabrication de denrées alimentaires, et à ce niveau-là nous pourrions avoir un aperçu sur son historique depuis sa création, sa situation géographique et juridique, son objectif, ses services, activités, ainsi le potentiel de production et les moyens consacré pour les différents départements.

## 2 Historique

L'entreprise des corps gras de Bejaia (CO.G.B) existe depuis le début du 20ème siècle mais sous d'autres noms.

- Début du 20ème siècle : Extraction de l'huile de grignon d'olive et fabrication de savon à base de l'huile de grignon par la SIAN (Société Industrielle de l'Afrique du Nord).
- 1940 : Raffinage d'huile de colza et de tournesol, fabrication de savon de première qualité.
- 1953 : Fabrication de savon de ménage «Mon savon ».
- 1966 : Conditionnement du savon de ménage en morceaux de 450 Gr.
- 1973 : Acquisition d'une saponification en continu.
- 1974 : Nationalisation de SIAN, naissance de SOGEDIA (Société de Gestion Et de Développement des Industries Alimentaires).
- 1978 : Démarrage de la saponification en continu.
- 1982 : Restructuration, création de l'ENCG (Entreprise Nationale des Corps Gras).
- 1987 : L'entreprise des corps gras de Bejaia, ouvert ses portes sous la tutelle du ministère des industries légères.
- 1988 : démarrage du nouveau complexe des corps gras.
- 1990 : fabrication du produit végétal aromatisé et de la graisse végétale aromatisée.
- 1997 : Filialisation, naissance de CO.G.B.

- 1999 : Fabrication des margarines de table, pâtisserie et feuilletage.

Juridiquement l'entreprise est une SPA (société par action) avec un capital de 150 000 000,00 DA, depuis 1997.

Elle est composée de 600 personnes comme effectif dont 100 pour le département maintenance.

### 3 Structure de l'entreprise

Comme toutes les grandes entreprises, "Labelle" est composée de plusieurs départements sont en outre divisés en différents services, cette répartition garantit que une bonne communication entre chaque département et une meilleure productivité comme afficher sur l'organigramme suivant :

#### 3.1 Organigramme des départements CO. G.B « Labelle »

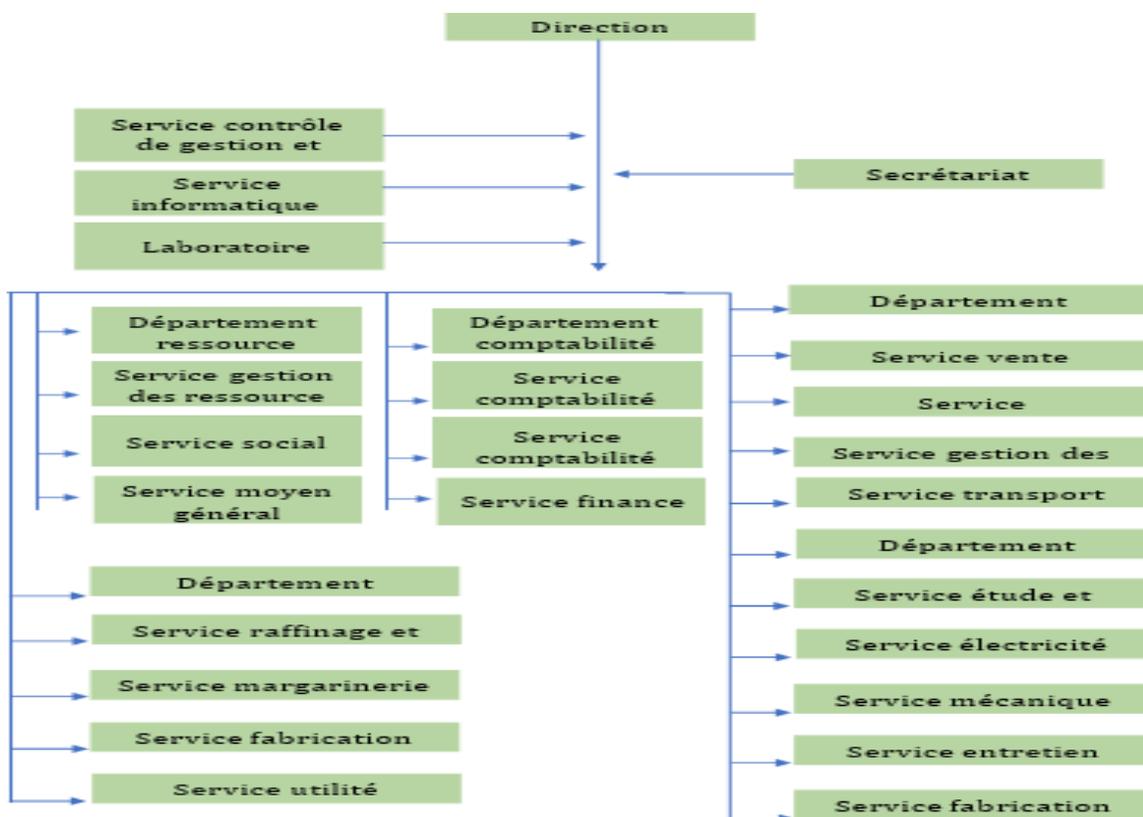


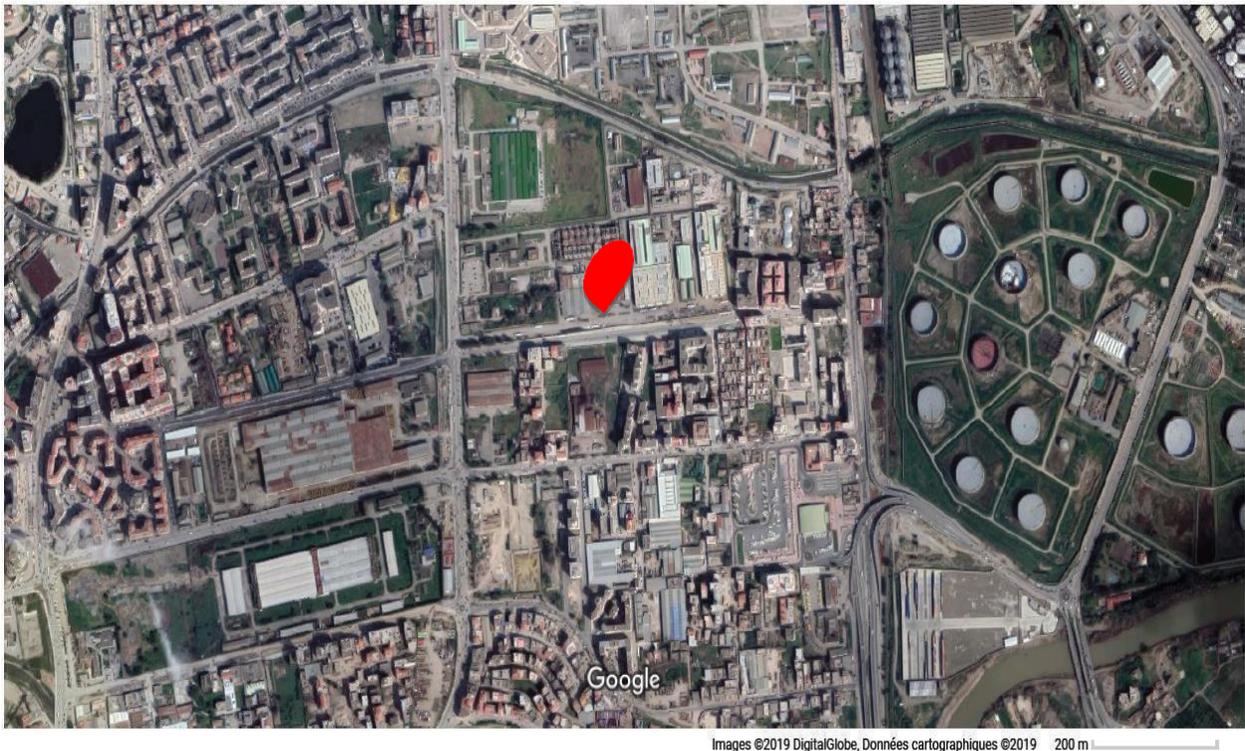
Figure I.1 : Organigramme des départements de CO.G.B « Labelle » [1].

## 4 Situation de l'entreprise

### 4.1 Situation géographique

Le complexe CO.G.B "Labelle" est situé dans la zone industrielle d'IHADDADEN A 2 km du la capitale de la wilaya de Bejaia, il s'étend sur une superficie de 108 800 m<sup>2</sup> dont 56 500 m<sup>2</sup> couverte, qui est limitée par :

- Oued Seghir au nord ;
- BECOTEX (CCB) et la route des Aurès au sud ;
- Entreprise nationale de liège à l'ouest ;
- EDIMIA à l'est ;



Images ©2019 DigitalGlobe, Données cartographiques ©2019 200 m

Figure I.2 : Situation géographique de l'entreprise [1].

### 4.2 Situation juridique

CO.G.B Labelle est une société de droit Algérien, créée par un acte notarié le 16 Avril 2006. Elle est constituée juridiquement en SPA, au capital social d'un milliard de dinars Algériens.

## 5 Objectifs, missions et activités

### 5.1 Missions de l'entreprise

Les principales missions de la CO.G.B Labelle sont :

- L'exploitation et la gestion des activités de production et de toutes autres activités industrielles liées à son sujet.
- L'insertion d'activité dans le cadre de la politique nationale de développement.
- Elaborer et réaliser des plans annuels de production et de vente.
- Assurer les ventes des produits sur le marché national ou l'exportation dans le cadre des surplus de production.
- Procéder à des études de projet pour répondre aux besoins de la demande nationale .
- Organisateur et développeur des structures de maintenance permettant la performance des appareils de production .
- Procéder et l'étude de marché et d'en suivre l'évolution.
- Concourir à la formation de son personnel.
- Exploiter, gérer et développer les activités de production de l'huile alimentaire et industrielle, de savon, de margarine, de glycérine et toute autre activité industrielle liée à son objectif.
- Assister les unités de production dans la réalisation d'une politique de qualité et de maîtrise des coûts.
- Leur métier est la transformation des matières d'origines animales et végétales en vue de la fabrication de produits de grande consommation et de produits destinés à l'industrie.
- Mettre en place les voies et les moyens en vue d'une assimilation progressive de la technologie et de son activité.

L'entreprise s'est mise en œuvre dans la limite de ses tous les moyens humains, industriels, financiers et commerciaux pour la réalisation des objectifs lui sont assignés.

## 5.2 Les objectifs de l'entreprise

- Satisfaire dans une large mesure les besoins nationaux des produits alimentaires.
- Répondre aux besoins des consommateurs en terme de qualité.
- Affirmer sa présence sur le marché et dans toutes les régions algériennes.
- Exploiter, gérer et développer principalement les activités de production d'huile alimentaire et industrielle, du savon, de margarine et d'autres activités industrielles liées à son objet.

## 5.3 Les activités de l'entreprise

- La fabrication d'huile végétale.
- Fabrication des margarines de table, de feuilletage et pâtisserie.
- Fabrication de produits végétaux aromatisés.
- Fabrication du savon de ménage et de toilette.
- Fabrication de graisse végétale à usage industriel, de glycérine, d'acides gras dessillés et du savon industriel.

## 6 Moyens de l'entreprise

Les moyens matériels que l'entreprise dispose sont comme suit :

- Nature des moyens : raffinerie, savonnerie, margarinerie et hydrogénation.
- Origine des moyens : Europe, Canada.
- Les différentes machines utilisées dans la production : les souffleuses, les convoyeurs à air rafale, les remplisseuses, les bouchonneuses, le déviateur de bouteilles, la fardeleuse, l'encartonneuse, le palettiseur et les banderoleuses.
- Les investissements réalisés par l'entreprise se résument à la rénovation des ateliers, l'acquisition de nouveaux matériels de production, des machines de conditionnement et des moyens de transport.

## 7 Diagnostic de CO.G.B labelle

### 7.1 Diagnostic industriel ou de production

Le service production ou assistant d'exploitation regroupe l'ensemble des ateliers dont la mission est de suivre le processus de transformation des matières en produits finis dans le respect des normes de production avec un effectif estimé à 142 agents travaillant 24h /24, répartis en équipes de 8h/24, ce département est composé :

- **Service savonnerie** : Il est utilisé pour fabriquer des savons ménagers, des savons de toilette et de la glycérine médicinale.
- **Service raffinage** : Sa tâche est de traiter les matières premières d'huile comestible pour l'emballage.
- **Service conditionnement des huiles (CDH)** : Ce service est partagé en deux ateliers :
  - Atelier plastique : son rôle est la fabrication de bouteilles en plastique ;
  - Atelier conditionnement : son rôle est la mise en bouteilles de l'huile pour la commercialisation.
- **Service margarinerie** : Sa mission est de produire de l'hydrogène, de l'huile hydrogénée et de la margarine.

## 8 Plan de masse de l'entreprise

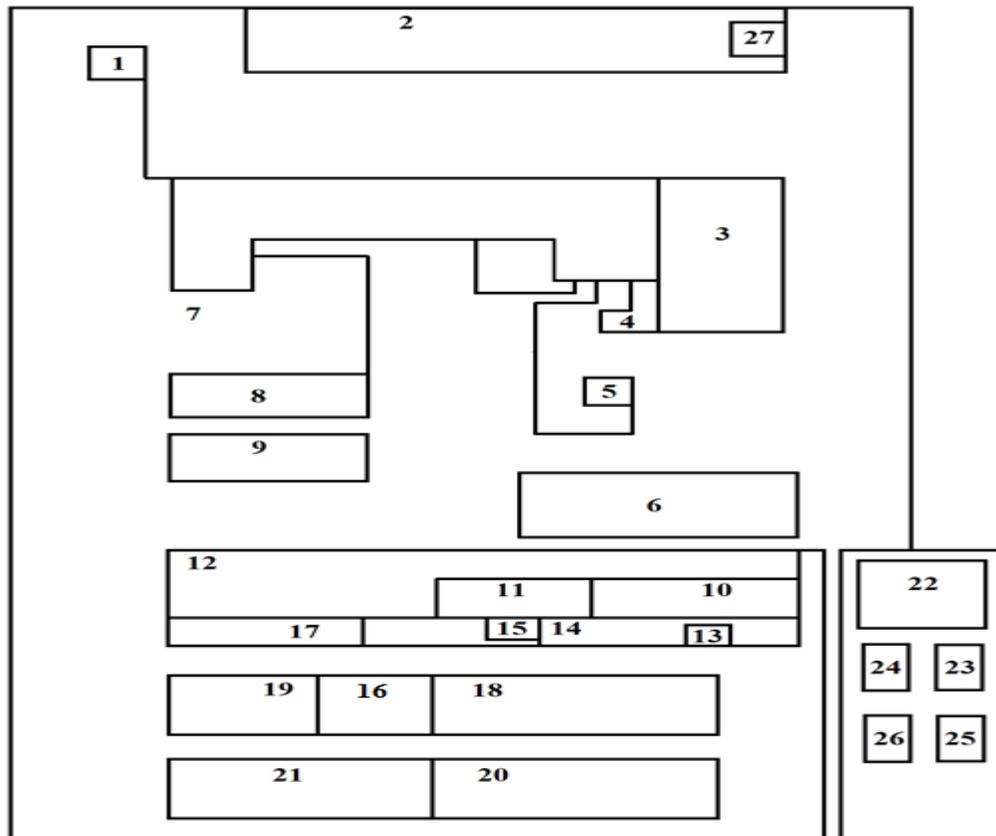


Figure I.3 : Plan de masse de la CO.G.B Labelle [1].

- **Nomenclature du plan de masse :**

1. Gardiennage	10. Remplissage	19. Atelier maintenance
2. Parc auto	11. Chaînes de production	20. Savonnerie
3. Verdure	12. Magasin	21. Magasin
4. Restaurant	13. Vestiaires	22. Magasin
5. Mécanique auto	14. Passage	23. Raffinerie
6. Bacs de réserve	15. Service production	24. Laboratoire
7. Terrain libre	16. Maintenance	25. Service sécurité
8. Unité de production	17. Magasin	26. Réserve d'eau
9. Magasin	18. Chaudière	27. Coopérative

## **9 Conclusion**

L'entreprise CO.G.B est une société agroalimentaire qui assure la commercialisation et la fabrication des denrées alimentaire, elle contient plusieurs services d'une gestion cohérente et régulière. Dans le prochain chapitre, nous aborderons les généralités sur la régulation.



***Chapitre II :  
Généralité sur la  
régulation***

## 1 Introduction

La régulation automatique, également appelée régulation automatique de processus, est un système qui permet de contrôler automatiquement et de manière continue le fonctionnement d'un processus (par exemple, un système industriel ou une centrale thermique) afin de maintenir des paramètres clés (tels que la température, la pression ou le débit) dans une plage de sécurité ou de performance optimale. Ce système utilise des capteurs pour mesurer les paramètres et des actionneurs pour ajuster les réglages en temps réel. La régulation automatique est devenue une caractéristique importante des systèmes industriels modernes pour garantir une production stable et de haute qualité.

## 2 Définition de la régulation automatique

La régulation automatique fait partie des sciences de l'ingénieur et regroupe tous les moyens matériels et techniques utilisés pour maintenir automatiquement une ou plusieurs grandeurs physiques dans le but d'imposer leur comportement. Cette grandeur physique est appelée « grandeur réglée ». Exemple de grandeur physique : température, niveau, débit, pression, pH, concentration d'oxygène... etc.

Une boucle de régulation doit comporter au minimum les éléments suivants [2] :

- Un capteur de mesure ;
- Un transmetteur souvent intégré au capteur ;
- Un régulateur ;
- Un actionneur.

## 3 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

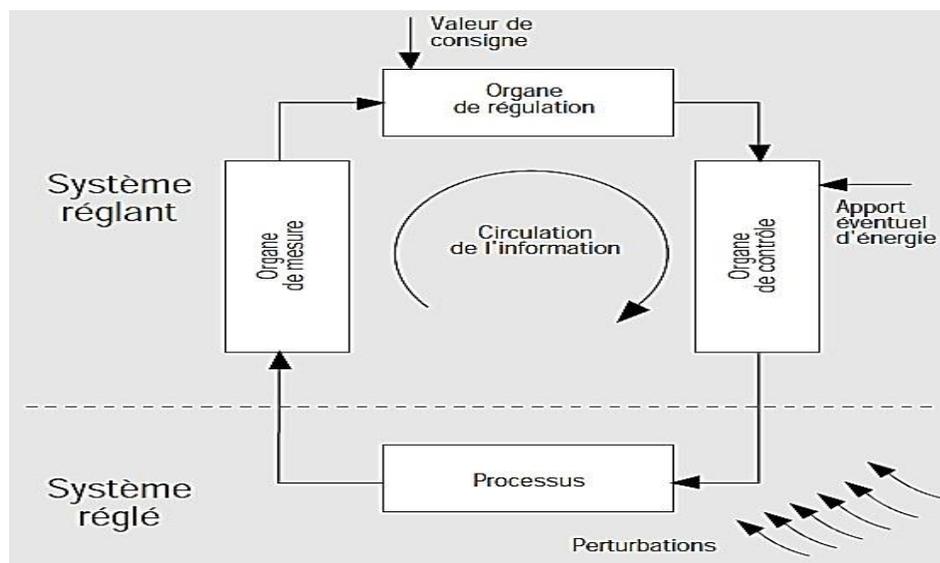
le plus souvent par des critères qualitatifs, comme par exemple, de stabilité, de précision, de rapidité [3].

Ci-dessous des exemples d'objectifs qualitatifs [4] :

- 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.

#### 4 Principe général de la régulation

Dans les installations industrielles et domestiques, il est généralement nécessaire de maintenir les quantités physiques à des valeurs spécifiées, même en présence de variations externes ou internes qui peuvent affecter ces grandeurs. Si les perturbations qui influencent la grandeur à contrôler sont lentes ou insignifiantes, un simple ajustement appelé boucle ouverte peut suffire pour atteindre et maintenir la valeur souhaitée, comme par exemple régler un robinet d'eau. Cependant, dans la plupart des cas, ce type de réglage n'est pas assez précis ou stable, donc il est nécessaire de comparer en permanence la valeur mesurée de la grandeur réglée à celle souhaitée, et d'agir en conséquence sur la grandeur d'action, appelée grandeur réglante [5].



**Figure II.1** : Schéma de principe du la régulation [6].

## 5 Types de la régulation

- **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 [7].
- **Régulation analogique :** C'est un procédé qui fonctionne à partir d'un signal continu spécifique sous forme de tension nécessaire à la réalisation des régulateurs analogiques. Les valeurs des quantités physiques composant les signaux analogues doivent être représentées par des chiffres [8].
- **Régulation numérique :** Le principe du règlement numérique est que le contrôleur prend la forme d'un algorithme programmé et exécuté en temps réel, c'est-à-dire impérativement à chaque période d'échantillonnage [9].

## 6 Classification boucle ouverte/boucle fermée

Une boucle ouverte est un système de contrôle où la sortie n'affecte pas la commande (ou l'entrée) du système. Autrement dit, le système ne mesure pas la sortie pour ajuster l'entrée, mais utilise plutôt une entrée prédéterminée. La boucle ouverte est souvent utilisée dans les systèmes simples où les paramètres sont bien connus et ne changent pas [10].

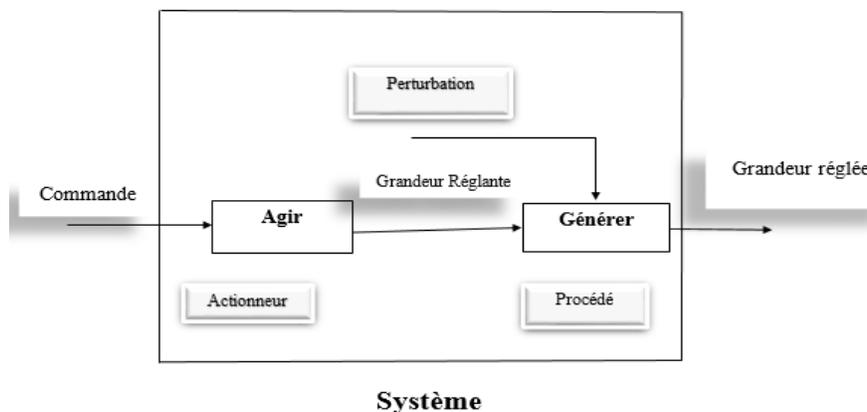


Figure II.2 : Système en boucle ouverte [10].

Une boucle fermée est un système de contrôle où la sortie est mesurée et utilisée pour ajuster l'entrée du système. Le système mesure la sortie et compare la valeur mesurée à une valeur de référence, puis ajuste l'entrée en conséquence. Les boucles fermées sont utilisées pour maintenir une valeur de sortie constante ou pour annuler les effets des perturbations [10].

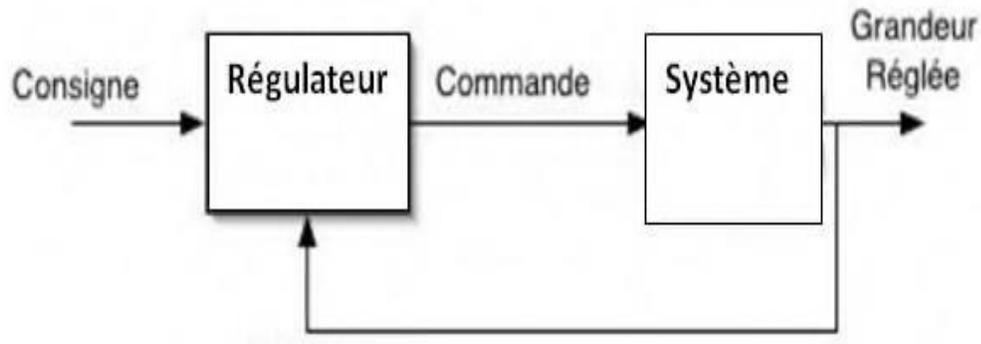


Figure II.3 : Système en boucle fermée [10].

En résumé, une boucle ouverte est un système de contrôle à entrée fixe sans rétroaction, tandis qu'une boucle fermée est un système de contrôle à entrée ajustée en fonction de la sortie mesurée.

## 7 Critère de performance d'une régulation

La performance d'une régulation peut être définie sur la base de la vitesse du signal de mesure après à un échelon de consigne. Il est à noter que les critères de performance classiques peuvent être résumés comme suit [9] :

- **Précision** : L'exploitant demande à ce que le système possède une bonne précision en régime permanent d'où une nécessité de mettre un régulateur PI ou d'afficher un gain important dans le cas d'un régulateur P.
- **Rapidité** : Sur le plan pratique, il faut que le système soit en mesure de compenser rapidement les perturbations et de suivre les instructions.
- **Stabilité** : Cette condition est impérative avec un certain degré de stabilité (marge de sécurité).en générale on impose une marge de gain de 2 à 2.5.

## 8 Les différents types de régulateur

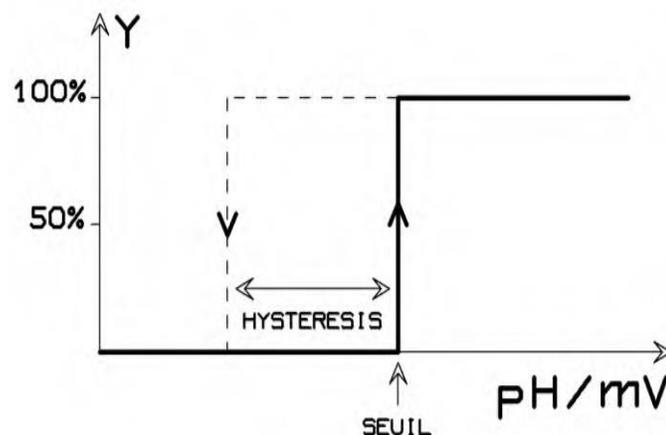
L'émetteur est un outil particulièrement adapté pour la mesure et l'organisation complexe. Il est généralement utilisé dans les stations d'épuration et propose différents types de régulation du ph.

- Contacts de seuil
- Régulateurs P, PI, PD, PID (proportionnel, intégrateur, dérivateur)
- Régulateurs de neutralisation (régulateurs P, PI, PD, PID pour deux contacts)
- Régulateur P à deux plages
- Régulateur pas à pas à trois plages

### 8.1 Contacts de seuil

Les contacts de seuil sont des contacts électriques qui sont conçus pour se fermer ou s'ouvrir à un certain niveau de tension électrique, appelé seuil. Ces contacts sont souvent utilisés dans des circuits de commande ou de régulation pour activer ou désactiver des dispositifs tels que des relais, des transistors ou des thyristors [11].

Les figures suivantes montrent les caractéristiques de régulation du contact de seuil. Ici, Y est le signal de correction dépendant du ph.



**Figure II.4 :** Caractéristique de régulation du contact de seuil (Fonction maximale) [11].

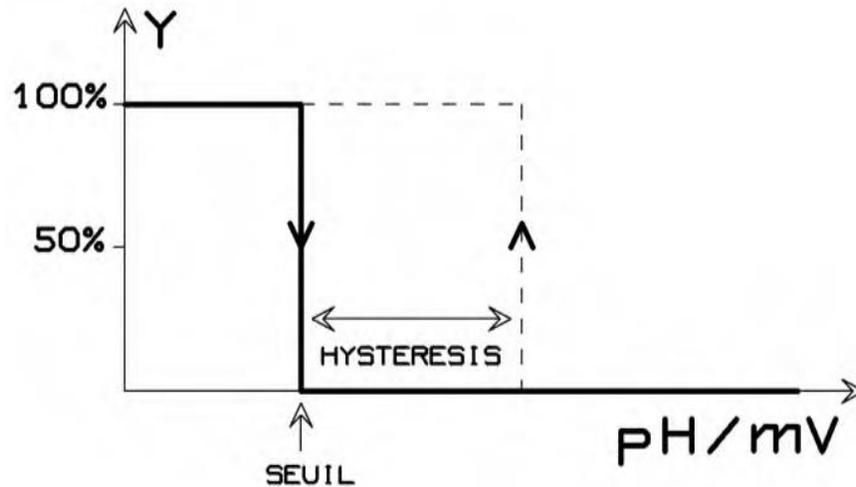


Figure II.5 : Caractéristique de régulation du contact de seuil (Fonction minimale) [11].

## 8.2 Régulateurs P, PI, PD, PID

Les régulateurs P, PI, PD et PID sont des algorithmes de régulation utilisés pour le contrôle de processus. En ce qui concerne la régulation de ph / Redox, ces algorithmes peuvent être utilisés pour ajuster la quantité d'acide ou de base ajoutée pour maintenir le ph souhaité ou pour ajuster la quantité d'oxydant ou de réducteur ajoutée pour maintenir le Redox souhaité.

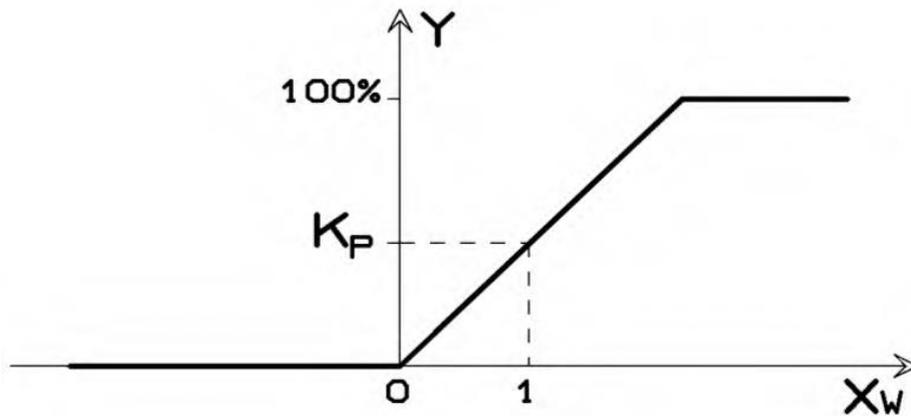
- **Le régulateur P (Proportionnel)** ajuste la sortie en proportion de l'erreur actuelle, c'est-à-dire la différence entre la valeur souhaitée et la valeur actuelle.
- **Le régulateur I (Intégral)** ajuste la sortie en proportion de l'accumulation de l'erreur passée. Il est utile pour les processus qui ont une erreur constante.
- **Le régulateur D (Dérivé)** ajuste la sortie en proportion de la pente de l'erreur actuelle. Il est utile pour les processus qui ont une réponse rapide.
- **Le régulateur PID (Proportionnel + Intégral + Dérivé)** combine les trois méthodes de régulation pour offrir une réponse rapide et précise pour un large éventail de processus.

En résumé, il est possible d'utiliser ces régulateurs pour ajuster la quantité d'acide ou de base / oxydant ou réducteur en fonction de la réponse de ph / Redox souhaitée.

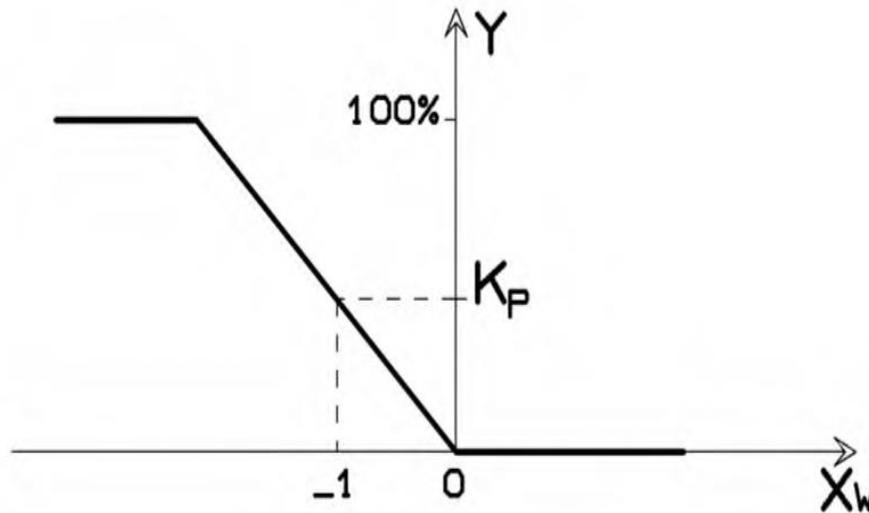
➤ **Régulation en mode direct /inverse :**

L'écart entre la valeur mesurée  $X$  et la valeur de consigne  $W$  est exprimé selon l'équation suivante :  $X_w = X - W$

- Si  $X$  positive ( $X > 0$ ), la regulation est en mode direct.
- Si  $X$  negative ( $X < 0$ ), la regulation est en mode inverse.



**Figure II.6 :** Caractéristique d'un régulateur proportionnel avec le mode de régulation direct [11].



**Figure II.7 :** Caractéristique d'un régulateur proportionnel avec le mode de régulation inverse [11].

### 8.3 Régulateur de neutralisation

Les régulateurs de neutralisation sont des équipements utilisés dans le traitement des eaux pour contrôler le ph en temps réel en vue d'une neutralisation en continu. Ils sont généralement équipés de capteurs de ph, de signaux de commande et de relais de sortie pour ajuster l'ajout d'un produit chimique neutre ou alcalin pour obtenir le ph souhaité. Les régulateurs de neutralisation permettent un traitement plus précis des eaux usées industrielles et une meilleure gestion de l'environnement.

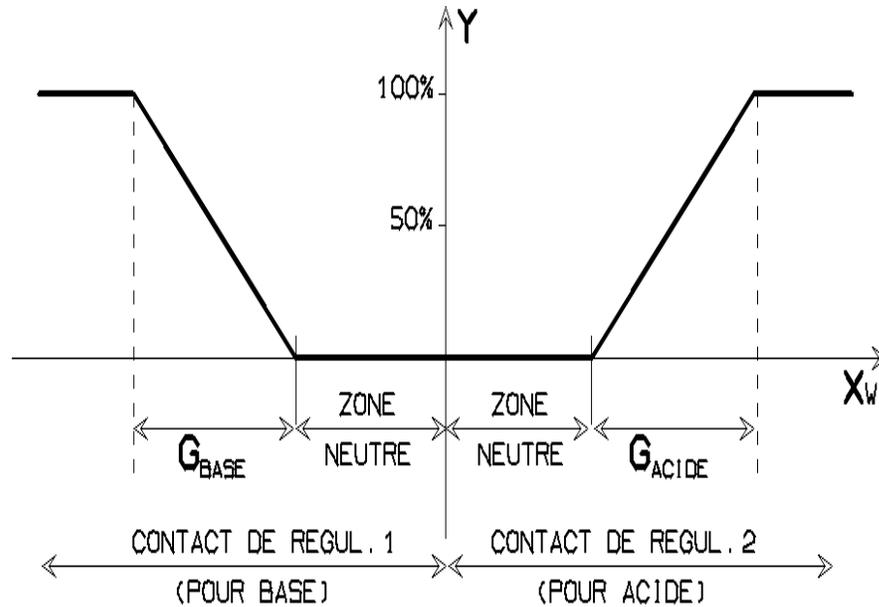
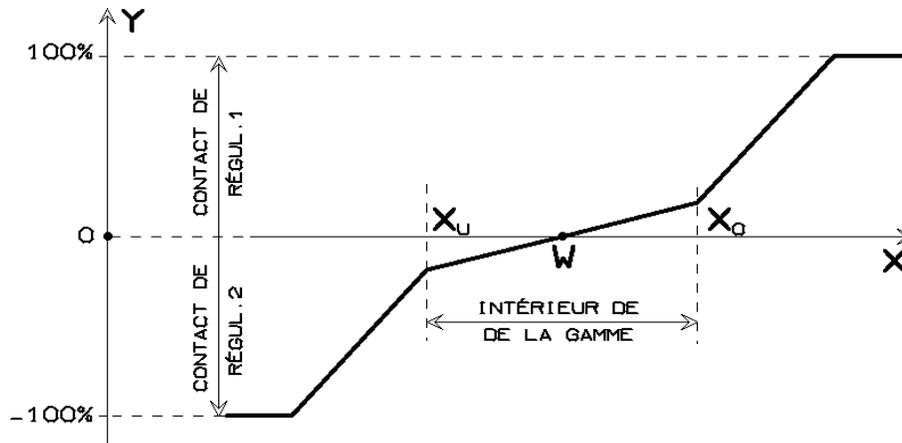


Figure II.8 : Caractéristique de neutralisation [11].

### 8.4 Régulateur P à deux plages

La régulation à deux plages est une méthode courante utilisée dans les procédés de neutralisation en batch. Elle consiste à ajouter l'acide ou la base en deux étapes pour maintenir le ph à un niveau constant pendant la réaction [11].



**X0** : L'extrémité finale du ph.

**Xu** : La première extrémité du ph.

Figure II.9 : Courbe caractéristique de réponse d'un régulateur P à 2 plages [11].

### 8.5 Régulateur pas à pas à trois plages

La régulation pas à pas à trois plages est une méthode couramment utilisée pour la régulation de ph. Voici comment cela fonctionne :

- **Mesure du ph** : Tout d'abord, le ph est mesuré à l'aide d'un capteur de ph.
- **Action de la première plage** : Si le ph mesuré est plus élevé que la valeur souhaitée, la première plage d'action est activée. Cela peut être l'ajout d'un acide pour abaisser le ph, ou l'ajout d'une base pour augmenter le ph.
- **Mesure du ph après action de la première plage** : Une fois que l'action de la première plage a été effectuée, le ph est de nouveau mesuré pour déterminer s'il est à nouveau dans les limites acceptables.
- **Action de la deuxième plage** : Si le ph est toujours au-dessus ou en dessous de la plage de ph souhaitée, la deuxième plage d'action est activée. À ce stade, une action plus importante est prise pour ajuster le ph, telle que l'ajout d'une plus grande quantité d'acide ou de base.
- **Mesure du ph après action de la deuxième plage** : Le ph est de nouveau mesuré pour déterminer si la deuxième plage d'action a permis de stabiliser le ph dans la plage souhaitée.
- **Action de la troisième plage** : Si le ph reste en dehors des limites acceptables après l'action de la deuxième plage, la troisième plage d'action est activée. Cette plage peut consister en une réaction chimique qui produira un acide ou une base pour ajuster le ph.
- **Mesure du ph après l'action de la troisième plage** : Le ph est mesuré une nouvelle fois pour déterminer si les actions entreprises ont permis d'obtenir le ph souhaité.

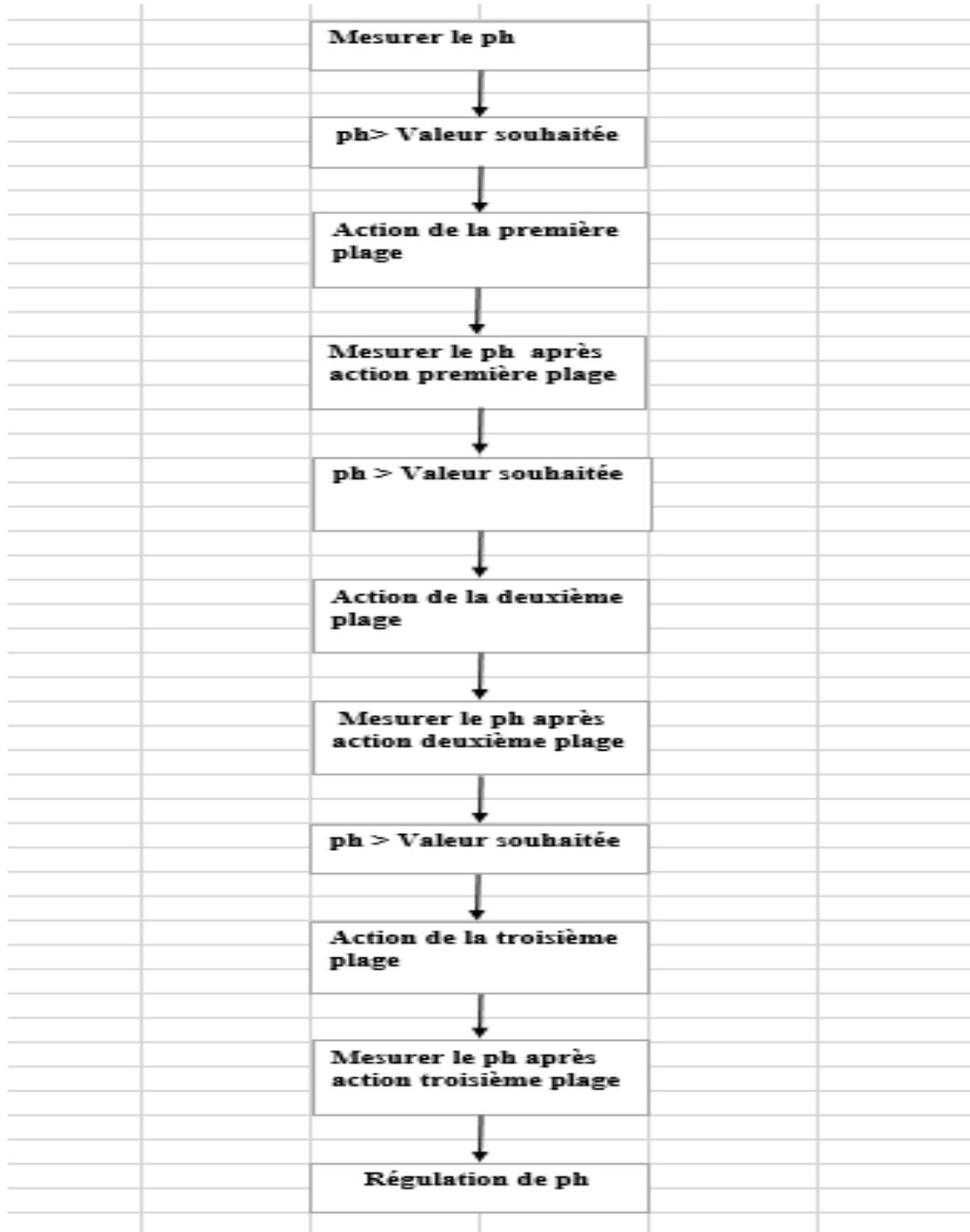


Figure II.10 : Organigramme du process

En fin de compte, la régulation pas à pas à trois plages consiste à ajuster progressivement le pH jusqu'à ce qu'il atteigne la valeur souhaitée, en utilisant des actions de plus en plus importantes si nécessaire.

## **9 Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons abordé les bases de la régulation, en les divisant en plusieurs parties à savoir les objectifs, les principes généraux et les régulateurs. Dans le prochain chapitre, nous nous concentrerons sur la description du matériel utilisé dans la boucle de régulation du pH. Nous explorerons les différents capteurs, les dispositifs de mesure et les actionneurs utilisés pour détecter les variations de pH.



*Chapitre III :  
Description du  
matériel de la  
boucle de  
régulation du ph*

## 1 Introduction

La régulation de la neutralisation des eaux consiste à maintenir un ph optimal dans les eaux usées avant leur rejet dans l'environnement. Cela peut être réalisé en utilisant des produits chimiques, tels que des acides ou des bases. Les installations de traitement des eaux utilisent généralement des systèmes de régulation automatiques pour maintenir un ph stable dans les eaux tout au long du processus de traitement. Cette régulation est importante pour éviter toute contamination de l'environnement et pour assurer un traitement efficace des eaux usées.

## 2 Boucle de régulation du ph

La boucle de régulation du ph, également connue sous le nom de régulation de l'acidité ou de l'alcalinité, est un mécanisme physiologique qui maintient un ph stable dans l'organisme. Le ph est une mesure de l'acidité ou de l'alcalinité d'une solution, qui va de 0 (très acide) à 14 (très alcalin), avec un  $\text{ph}=7$  le milieu est considéré comme neutre.

Les éléments suivants composent le système de régulation du ph de la station d'épuration de la CO.G.B Labelle :

1. Le ph mètre Mycom CPM 153.
2. Sensopac CPA 320.
3. Le Régulateur trovis 6493.
4. Le convertisseur courant/pression (I/P).
5. La Vanne modulante pneumatique.

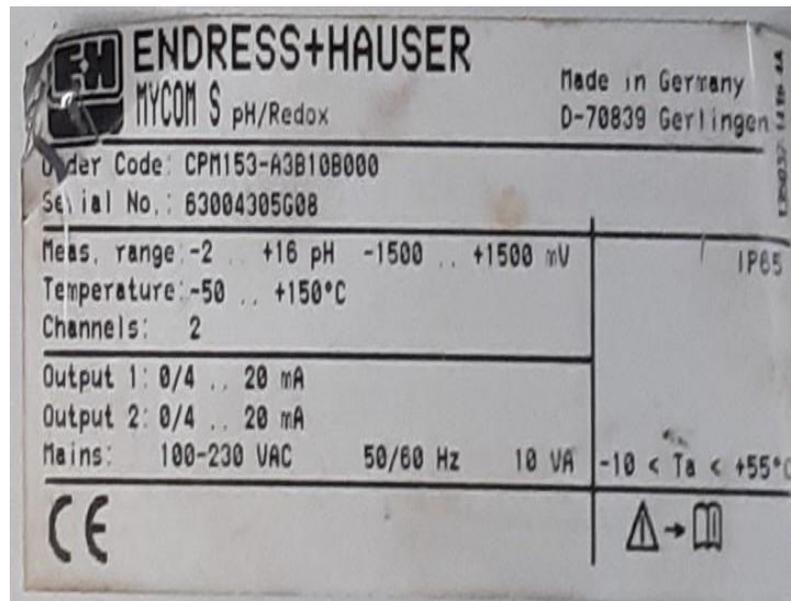
### 2.1 Le ph mètre Mycom CPM 153

#### 2.1.1 Définition

Le ph mètre Mycom CPM 153 est un appareil électronique utilisé dans l'industrie pour mesurer et contrôler différents paramètres tels que la pression, le niveau, la température, le ph ou le débit d'un fluide. Il est conçu pour fournir une sortie analogique en fonction des signaux d'entrée qu'il reçoit et peut être programmé pour effectuer diverses tâches, telles que l'affichage des valeurs mesurées, la conversion d'unités et la régulation de la commande d'un processus. Le Mycom CPM 153 est largement utilisé dans les industries chimiques, pétrochimiques et pharmaceutiques pour surveiller et contrôler les processus industriels [12].



**Figure III.1** : Appareil ph mètre, représentant la face de devant (photo prise en entreprise).



**Figure III.2** : Référence de ph mètre (photo prise en entreprise).

### 2.1.2 Caractéristiques principales de ph mètre

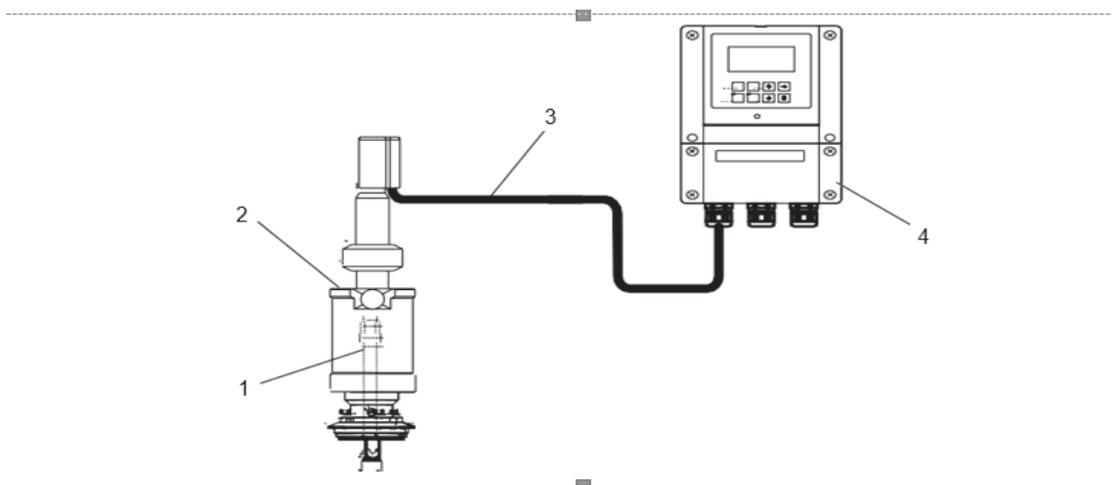
Les principales caractéristiques du transmetteur Mycom CPM 153 sont les suivantes [13] :

- Il s'agit d'un dispositif de mesure de pression électronique de haute précision qui peut être utilisé pour mesurer les pressions de différents fluides, tels que l'huile, l'eau, l'air, etc.
- Il est équipé d'un affichage à cristaux liquides (LCD) qui permet une lecture facile et rapide des mesures de pression avec une résolution de 0,1 kPa.
- Il dispose d'une sortie analogique de 4-20 mA et d'une sortie de commutation programmable, qui permettent une intégration facile avec d'autres systèmes de contrôle et de surveillance.
- Il est équipé d'une fonction d'autodiagnostic qui permet de détecter les erreurs de fonctionnement et de fournir des alertes en temps réel pour une maintenance préventive.
- Il a une plage de mesure de pression de 0-1,6 MPa et une précision de mesure de  $\pm 0,2\%$  de la plage de mesure.

### 2.1.3 Accessoires de mesure

Les accessoires fournis en plus du transmetteur Mycom CPM 153 sont les suivants [12] :

- Le transmetteur Mycom S CPM153
- Une sonde à immersion (par ex. CPA111), une chambre de passage (par ex. CPA250) ou une sonde rétractable (par ex. CPA475) avec ou sans tige de compensation de potentiel
- Une électrode combinée ph/redox avec sonde de température intégrée ou séparée Pt 100, par ex. CPS71
- Le câble de mesure ph correspondant, par ex. CPK9.



**Figure III.3** : Exemple d'un système de mesure complet [12].

- 1 Electrode CPS71
- 2 Sonde rétractable manuelle CPA475
- 3 Câble ph CPK9
- 4 Transmetteur CPM153

#### **2.1.4 Principe de fonctionnement**

- Le transmetteur possède un capteur piézorésistif qui convertit la pression en une variation de la résistance électrique.
- Cette variation de résistance est amplifiée et prétraitée par un circuit électronique intégré au transmetteur.
- Les données prétraitées sont ensuite envoyées à travers un signal de sortie de courant de 4-20 mA (ou un signal de tension de 0-5V ou 0-10V) vers l'automate ou le système de contrôle.
- De plus, le Mycom CPM 153 est équipé d'un afficheur LCD qui permet de visualiser la valeur du ph mesurée en temps réel.

#### **2.2 Sensopac CPA 320**

La sonde CPA 320 est une électrode de mesure de ph compacte intégrée dans un système de mesure de ph et se compose de trois sondes [14] :

1. La sonde de ph.
2. La sonde de référence.
3. La sonde de température.



**Figure III.4 :** Assemblage du Sensopac CPA 320 [15].

- Sensopac CPA 320 est composé de [15] :

1 Adaptateur de type UBS intégré pour installer le Sensopac dans un raccord fileté G 2 1/2"

2 Électrode de mesure de pH

3 Capteur de température Pt100

4 Protection contre les chocs

5 Cartouche de diaphragme

6 Écrou union (partie de l'adaptateur UBS)

7 Corps du Sensopac

8 Capot de protection amovible

9 Connecteur d'électrode

10 Câble préfabriqué avec connecteurs

11 Capuchon avec entrée de câble de mesure scellée.

- **Principe de fonctionnement :**

Le Sensopac CPA 320 peut être utilisé dans la boucle de régulation du ph pour surveiller et contrôler le ph des liquides dans les processus industriels. Le principe de fonctionnement est le suivant [15] :

1. Mesure du ph : Le CPA 320 utilise un capteur de ph pour mesurer le ph des liquides dans le processus. Le capteur de ph contient une électrode qui génère un signal électrique proportionnel au ph du liquide.

2. Conversion du signal : Le signal électrique généré par le capteur de ph est converti en un signal numérique qui est transmis au système de contrôle du CPA 320.

3. Comparaison à la consigne : Le système de contrôle compare le signal numérique du ph mesuré à une valeur de consigne programmée. Si le ph mesuré est en dehors de la plage de tolérance acceptable, le système de contrôle déclenche une action corrective.

4. Correction du ph : Le système de contrôle utilise une vanne de régulation ou une pompe pour injecter une solution acide ou alcaline dans le processus pour ajuster le ph à la valeur de consigne.

5. Boucle de régulation : Le processus de mesure, de comparaison et de correction est répété en boucle pour maintenir le ph du liquide à la valeur de consigne.

Le Sensopac CPA 320 dans la boucle de régulation du ph permet de maintenir le ph des liquides dans les processus industriels à une valeur constante et précise, ce qui est essentiel pour la qualité du produit, la sécurité des travailleurs et la protection de l'environnement.

- **Caractéristiques principales :**

- Plage de mesure : de 0,01  $\mu$ S/cm à 1000 mS/cm
- Précision :  $\pm 1$  % de la pleine échelle
- Compensation de température : automatique
- Matériau de l'électrode : acier inoxydable
- Longueur de câble standard : 5 mètres
- Connectique : connecteur SubConn
- Pression de fonctionnement maximale : 10 bars [15].

## 2.2.1 La sonde de ph

### 2.2.1.1 Définition

Une sonde de ph est un dispositif de mesure utilisé pour mesurer l'acidité ou l'alcalinité d'une solution. Elle est généralement constituée d'une électrode de ph qui est plongée dans la solution à mesurer. Cette électrode est composée d'un capteur sensible aux ions d'hydrogène présents dans la solution et d'un système de mesure qui convertit le signal électrique généré par le capteur en une mesure de ph [16].

Dans la boucle de régulation du ph d'une station d'épuration, la sonde de ph est utilisée pour fournir des informations en temps réel sur le ph de l'eau au système de contrôle. Ces informations sont utilisées pour ajuster automatiquement l'apport de produits chimiques dans le processus de traitement, afin de maintenir le ph dans une plage spécifique. Ainsi, la sonde de ph permet de surveiller en continu le ph de l'eau et de prendre des mesures correctives appropriées, telles que l'ajout de produits chimiques acides ou basiques, pour maintenir le ph optimal pour le traitement des eaux usées.



**Figure III.5 :** La sonde du ph (photo prise en entreprise).

### 2.2.1.2 Principe de fonctionnement

Le fonctionnement d'une sonde de ph se fonde sur la mesure du potentiel électrique généré par une solution lorsqu'elle entre en contact avec une électrode de référence et une électrode de mesure. Pour réaliser cette mesure, la sonde est constituée d'un corps en verre contenant une électrode de mesure et une électrode de référence. L'électrode de mesure est plongée dans la solution à analyser,

tandis que l'électrode de référence reste à l'extérieur. Lorsque les ions hydrogène de la solution se lient avec les ions  $\text{OH}^-$  de la sonde, un potentiel électrique se génère, qui est mesuré par la sonde. La tension mesurée est ensuite convertie en une valeur de ph à l'aide d'un instrument de mesure [16].

## 2.2.2 La sonde de référence :

### 2.2.2.1 Définition

La sonde de référence est un élément essentiel de la sonde de ph. Elle est utilisée pour fournir une référence stable et constante de potentiel électrique pour permettre la mesure précise du potentiel électrique généré par l'électrode de mesure sensible à l'activité des ions d'hydrogène dans la solution [17].

Dans notre boucle de régulation du ph des eaux usées industrielles, nous avons utilisé une sonde de référence afin de garantir une mesure précise et fiable du ph. La sonde de référence a été intégrée dans le système de contrôle pour fournir une référence stable de potentiel électrique, ce qui est essentiel pour une mesure précise du ph en temps réel.

Le but d'utiliser une sonde de référence dans la boucle de régulation est d'établir un point de référence constant et indépendant des variations du ph de l'eau. Cela permet d'obtenir des mesures précises et fiables du ph, ce qui est crucial pour le processus de traitement des eaux usées industrielles.



**Figure III.6 :** La sonde de référence (photo prise en entreprise).

### 2.2.2.2 Principe de fonctionnement

Le fonctionnement de la sonde de référence repose sur l'utilisation d'un électrolyte de référence, qui fournit un potentiel électrique stable de référence. L'électrolyte de référence est placé dans une chambre séparée de l'électrode de mesure de ph et en contact avec la solution à mesurer grâce à une membrane poreuse, permettant ainsi aux ions de passer à travers tout en empêchant tout contact direct entre la solution et l'électrolyte de référence.

Lorsque la sonde de ph est immergée dans une solution, les ions  $H^+$  dans la solution interagissent avec l'électrode de mesure de ph et génèrent un potentiel électrique. Ce potentiel électrique est mesuré par rapport au potentiel de référence fourni par l'électrolyte de référence dans la chambre séparée. La différence de potentiel électrique entre l'électrode de mesure de ph et l'électrolyte de référence est alors utilisée pour calculer la valeur du ph [17].

### 2.2.3 La sonde de température :

#### 2.2.3.1 Définition

Une sonde de température est un capteur utilisé pour mesurer la température d'un objet ou d'un milieu donné. Elle se compose généralement d'un élément sensible à la température, tel qu'un thermocouple ou une thermistance, et d'un boîtier qui protège l'élément sensible et le connecte à un appareil de mesure ou de contrôle [18].

Pour cette étude sur la régulation du ph des eaux usées industrielles, nous avons décidé de ne pas intégrer de sonde de température dans notre boucle de régulation. Cette décision repose sur le fait que les variations de température observées dans notre système sont minimales et ne sont pas susceptibles d'affecter de manière significative la mesure et la régulation du ph. De plus, les conditions de température dans notre processus de traitement restent relativement stables et ne nécessitent pas une surveillance constante de la température pour maintenir les valeurs de ph cibles.



**Figure III.7 :** La sonde de température (photo prise en entreprise).

### 2.2.3.2 Principe de fonctionnement

Le principe de fonctionnement d'une sonde de température basée sur une thermistance est le suivant : lorsqu'une tension est appliquée à la thermistance, un courant électrique circule à travers elle, ce qui provoque un échauffement de la thermistance. La résistance électrique de la thermistance change en fonction de la température, ce qui modifie le courant électrique qui circule à travers elle. Cette variation de courant est mesurée et utilisée pour déterminer la température [18].

## 2.3 Le Régulateur trovis 6493

### 2.3.1 Définition

Le régulateur Trovis 6493 est un dispositif électronique utilisé pour contrôler et réguler des processus industriels. Il est conçu pour fonctionner avec des signaux d'entrée analogiques tels que des mesures de courant, de tension, de résistance, de thermocouple et de RTD [19].



Figure III.8 : Le régulateur Trovis 6493 (photo prise en entreprise).



Figure III.9 : Référence de Trovis 6493 (photo prise en entreprise).

### 2.3.2 Caractéristiques principales de régulateur trovis 6493

- Il est équipé d'un microprocesseur et d'un algorithme de contrôle PID avancé pour un contrôle précis de la température, de la pression, du débit ou d'autres variables de processus.

- Il dispose d'une entrée universelle pour les signaux de mesure et d'une sortie de commande configurable pour les actionneurs tels que les vannes, les moteurs, les relais, etc.
- Il est équipé d'une fonction de sécurité pour protéger le processus contre les surtensions, les sous-tensions, les pannes de capteur, les défaillances de l'actionneur, etc.
- Il peut être configuré via un clavier intégré, un logiciel de configuration ou une interface de communication numérique telle que RS-485, Modbus, Profibus, etc.
- Il est adapté à une utilisation dans des environnements difficiles grâce à sa conception robuste et à ses normes de qualité élevées.

### 2.3.3 Caractéristiques particulières de régulateur trovis 6493

- Configuration à l'aide des touches sur la face avant ou du logiciel TROVIS-VIEW 4.
- 2 entrées analogiques avec filtre, extraction de racine, fonctionnalisation et surveillance du signal.
- 1 entrée binaire associée à une fonction au choix.
- 2 sorties par relais pour une sortie deux/trois points ou des alarmes de dépassement de seuil.
- 1 sortie transistorisée pour les messages d'erreur.
- Port infrarouge pour la configuration.
- Bornes à vis enfichables.
- Classe de protection IP 65.
- 2 consignes internes et 1 consigne externe (régulation en consigne fixe, régulation en consigne variable).
- Rampe de consignes et rampe de régulation.
- Limitation du signal de commande.
- Liaison des grandeurs d'entrée (addition, soustraction).
- Fonctionnement avec un nombre-clé ou verrouillage du clavier par une entrée binaire [19].

## 2.4 Le convertisseur courant/pression (I/P)

### 2.4.1 Définition

Le convertisseur courant/pression est un appareil utilisé pour convertir un signal de courant électrique en une pression de sortie proportionnelle. Cette technologie est couramment utilisée dans les systèmes de contrôle et de mesure industriels [20].

Le signal de sortie du régulateur est généralement un signal électrique de courant continu (mA) qui est proportionnel à la différence entre la valeur de pH mesurée et la valeur de consigne de pH. Le convertisseur reçoit ce signal électrique et le convertit en un signal pneumatique proportionnel qui est utilisé pour réguler l'ouverture de la vanne modulante pneumatique.

La pression du signal pneumatique détermine la position de la vanne, ce qui ajuste le débit du réactif de neutralisation. Par exemple, une pression plus élevée entraînera une ouverture plus grande de la vanne, augmentant ainsi le débit du réactif.



**Figure III.10** : Le convertisseur courant/pression (photo prise en entreprise).



**Figure III.11** : Référence de convertisseur courant/pression (photo prise en entreprise).

#### 2.4.2 Principe de fonctionnement du convertisseur

Le convertisseur reçoit un signal électrique de courant en entrée. Ce signal est généralement fourni par un régulateur ou un autre appareil de contrôle. La plage typique du courant d'entrée est de 4 à 20 mA, qui représente une plage de mesure ou de commande. À l'intérieur du convertisseur, il y a un transducteur de pression qui convertit le signal électrique en une pression correspondante. Le transducteur est sensible au courant d'entrée et ajuste la pression en conséquence. Le convertisseur utilise un mécanisme de régulation de pression pour maintenir la pression de sortie à un niveau spécifié en fonction du courant d'entrée. Il peut comporter un régulateur de pression, une vanne proportionnelle pour ajuster la pression. Une fois que le signal électrique est converti en pression, le convertisseur émet un signal pneumatique de sortie correspondant. Ce signal de pression utilisé pour contrôler la position et le mouvement d'une vanne pneumatique. Les convertisseurs courant-pression nécessitent généralement une calibration initiale pour s'assurer que la plage de pression de sortie correspond correctement à la plage de courant d'entrée. Des ajustements fins peuvent être effectués pour garantir une réponse précise et linéaire du convertisseur [20].

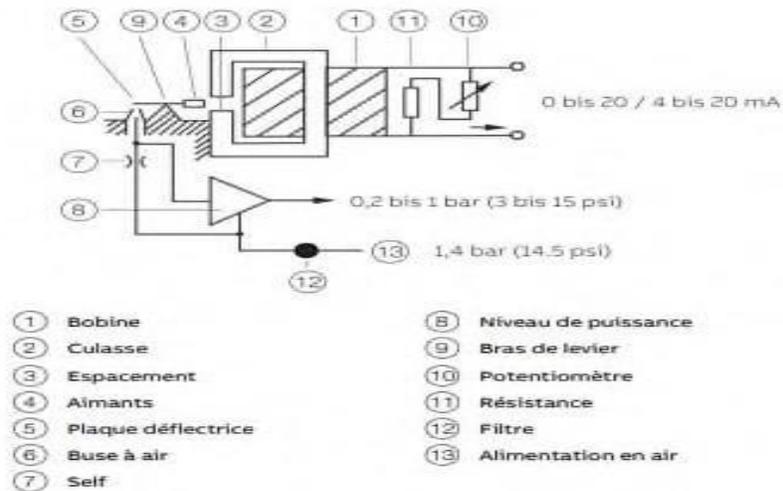


Figure III.12 : Structure d'un transducteur I/P [20].

## 2.5 La Vanne modulante pneumatique 4-20 mA

### 2.5.1 Définition

Une vanne modulante pneumatique est un type de vanne utilisé pour réguler le débit d'un fluide dans un système en continu. Contrairement aux vannes à ouverture/fermeture, une vanne modulante pneumatique peut ajuster la quantité de fluide qui passe à travers elle de manière proportionnelle à la commande de la vanne. Cela permet un contrôle précis du débit et de la pression du fluide dans le système [11].



Figure III.13 : la vanne modulante pneumatique (photo prise en entreprise).



Figure III.14 : Référence de la vanne modulante pneumatique (photo prise en entreprise).

### 2.5.2 Principe de fonctionnement

Le régulateur de ph envoie un signal de commande au régulateur de la vanne modulante pneumatique, celui-ci ajuste la pression de l'air comprimé pour actionner le mécanisme de commande. En fonction du signal reçu, la vanne s'ouvre ou se ferme de manière progressive pour réguler le débit des produits chimiques ajoutés au liquide, contribuant ainsi à maintenir le ph à la valeur souhaitée dans la boucle de régulation [11].

### 2.5.3 Caractéristiques principales de la vanne modulante pneumatique

Les caractéristiques principales de la vanne modulante pneumatique sont :

- Elle permet de réguler avec précision le débit de fluide.
- Elle est généralement utilisée dans des systèmes de régulation de température, de débit.
- Elle est équipée d'un servomoteur qui ajuste l'ouverture de la vanne en réponse à un signal de commande.
- Elle peut être utilisée avec différents types de fluides (liquides, gaz, vapeurs).
- Elle est disponible dans différents matériaux (acier inoxydable, laiton, bronze, etc.) pour répondre aux exigences de différentes applications [11].

### **3 Conclusion**

La boucle de régulation du ph est un système complexe qui nécessite une utilisation efficace de plusieurs composants pour atteindre les objectifs souhaités. Les éléments clés tels que le transmetteur Mycom CPM 153, la sonde CPA 320, le régulateur Trovis 6493, le convertisseur courant/pression (I/P) et la vanne modulante pneumatique jouent tous un rôle crucial dans la régulation du ph dans les applications industrielles. Les spécifications de ces composants ont été présentées en détail et des exemples de leurs fonctionnements ont été fournis pour aider à comprendre leur utilisation dans la boucle de régulation du ph.



*Chapitre IV :  
Processus de la  
Neutralisation*

## **1 Introduction**

Le traitement des eaux usées industrielles est un processus essentiel pour protéger l'environnement et la santé publique. Les eaux usées industrielles contiennent souvent des contaminants tels que des produits chimiques, des métaux lourds et des micro-organismes qui peuvent être dangereux pour l'environnement et la santé humaine s'ils ne sont pas correctement traités.

## **2 Amélioration de l'efficacité du traitement des eaux usées industrielles**

Le traitement des eaux usées industrielles est un enjeu crucial pour assurer la durabilité et la responsabilité sociale de l'entreprise CO.G.B Labelle. Dans ce chapitre, nous nous concentrerons sur le processus de neutralisation des eaux usées provenant des secteurs de la savonnerie, du raffinage d'huile. Nous explorerons les méthodes pratiques de neutralisation en mettant l'accent sur l'utilisation de nouvelles technologies de contrôle et de régulation pour améliorer l'efficacité du traitement. La neutralisation est une partie (phase) parmi les étapes de traitements des eaux usées industriels de la CO.G.B labelle.

## **3 Nouvelles technologies pour un meilleur contrôle du ph**

La neutralisation joue un rôle essentiel dans le traitement des eaux usées industrielles, permettant de réguler le ph et d'éliminer les substances acides ou basiques présentes dans ces eaux. Dans cette expérience, nous mettrons en œuvre des équipements modernes pour faciliter le processus de neutralisation, notamment en remplaçant l'électrovanne par une vanne modulante pneumatique 4-20 mA et en utilisant le régulateur TRD855 qui sera remplacé par le trovis 6493.

## 3.1 La différence entre l'électrovanne et la vanne modulante pneumatique 4-20mA

	L'électrovanne	La vanne modulante pneumatique 4-20 mA
Fonctionnement	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Est un dispositif électromécanique qui ouvre ou ferme le passage du fluide en fonction du signal électrique reçu. Elle fonctionne en utilisant une bobine électromagnétique pour actionner le mécanisme de vanne.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Est une vanne de régulation qui permet de contrôler précisément le débit du fluide en fonction d'un signal de courant compris entre 4 et 20 mA. Le signal de courant proportionnel est utilisé pour moduler l'ouverture de la vanne, permettant ainsi un contrôle plus fin du débit.</li> </ul>
Contrôle du débit	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Offre généralement un contrôle binaire du débit, c'est-à-dire qu'elle peut être soit complètement ouverte, soit complètement fermée. Elle est plus adaptée aux applications nécessitant un contrôle ON/OFF plutôt qu'un contrôle continu du débit.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Permet un contrôle continu et précis du débit. Le signal de courant de 4 à 20 mA est utilisé pour ajuster l'ouverture de la vanne, permettant de réguler le débit du réactif de neutralisation de manière proportionnelle à la valeur du signal.</li> </ul>
Précision du contrôle	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Offre un contrôle relativement simple et moins précis du débit. Elle convient aux applications où une précision élevée n'est pas essentielle.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Permet un contrôle plus précis et une régulation fine du débit. Son utilisation est recommandée lorsque des niveaux de précision plus élevés sont requis pour assurer une neutralisation efficace des eaux usées.</li> </ul>

- **Comparaison entre les deux types de vannes**

D'après cette différence, on peut constater que la vanne modulante pneumatique 4-20mA offre une plus grande flexibilité et précision dans le contrôle du débit par rapport à l'électrovanne. Grâce à son fonctionnement en continu, la vanne permet d'ajuster le débit de réactif de neutralisation de manière plus précise et progressive, en fonction des besoins spécifiques du processus de traitement des eaux usées. Cela permet d'optimiser l'efficacité de la neutralisation et de garantir des résultats plus fiables. En revanche, l'électrovanne, en tant que dispositif binaire, peut être limitée dans sa capacité à fournir un contrôle fin du débit, ce qui peut entraîner une moindre précision et une régulation moins précise du ph dans le traitement des eaux usées.

### 3.2 La différence entre le régulateur TRD855 et le trovis 6493

	Le régulateur TRD855	Le trovis 6493
Fonctionnement	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Est un régulateur de ph conventionnel qui utilise des sondes de ph pour mesurer le ph de l'eau traitée. Il ajuste ensuite l'apport de réactif de neutralisation en fonction de la mesure du ph pour maintenir le ph dans la plage cible.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Est un régulateur de ph avancé qui utilise une technologie plus récente. Il utilise également des sondes de ph pour mesurer le ph de l'eau, mais il offre des fonctionnalités supplémentaires telles que la compensation automatique de la température et une plus grande précision de mesure.</li> </ul>
Caractéristiques	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Peut avoir des fonctionnalités de base, telles que des alarmes de dépassement de seuil de ph, des sorties de relais pour le contrôle d'autres dispositifs et des options d'interface utilisateur simples.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Est un régulateur plus avancé avec des fonctionnalités supplémentaires, telles que des interfaces utilisateur plus conviviales, des capacités de communication étendues, des options de programmation plus flexibles et une</li> </ul>

et fonctionnalités		intégration aisée avec d'autres systèmes de contrôle.
Performance et précision	<p>➤ Offre une performance de régulation du ph satisfaisante dans des conditions normales, mais sa précision peut être limitée dans des environnements plus exigeants ou pour des applications nécessitant une régulation de ph très précise.</p>	<p>➤ Est conçu pour offrir une meilleure performance et une plus grande précision de régulation du ph, ce qui le rend plus adapté aux applications où un contrôle précis du ph est crucial.</p>

- **Comparaison entre les deux types de régulateurs**

D'après cette différence, on peut noter que la principale distinction entre le régulateur TRD855 et le trovis 6493 réside dans leurs fonctionnalités intégrées. Alors que le régulateur TRD855 nécessite l'utilisation d'un visualisateur externe, le trovis 6493 intègre un affichage directement sur l'appareil. Cela offre une plus grande commodité et une meilleure accessibilité des informations, sans nécessiter d'équipement supplémentaire. De plus, le trovis 6493 présente des améliorations significatives en termes de précision de mesure du ph, de résistance aux interférences et de fonctionnalités de régulation avancées. En remplaçant le régulateur TRD855 par le trovis 6493, nous bénéficions d'une technologie plus avancée qui permet un contrôle plus précis et une régulation plus efficace du ph des eaux usées industrielles.

#### **4 Principe du fonctionnement de la boucle de régulation du ph**

Dans le fonctionnement de la boucle de régulation du ph, le ph-mètre utilise une sonde pour effectuer la mesure du ph de la solution. Cette sonde transmet les informations au calculateur qui évalue la valeur mesurée et la compare à une référence prédéfinie au niveau du régulateur. En fonction de cette comparaison, le ph-mètre donne ensuite l'ordre d'ouverture ou de fermeture de la vanne pour ajuster le ph de la solution. Ainsi, le ph-mètre joue un rôle essentiel en fournissant les

données nécessaires pour contrôler la vanne et maintenir le ph dans la plage cible le plus stable possible.

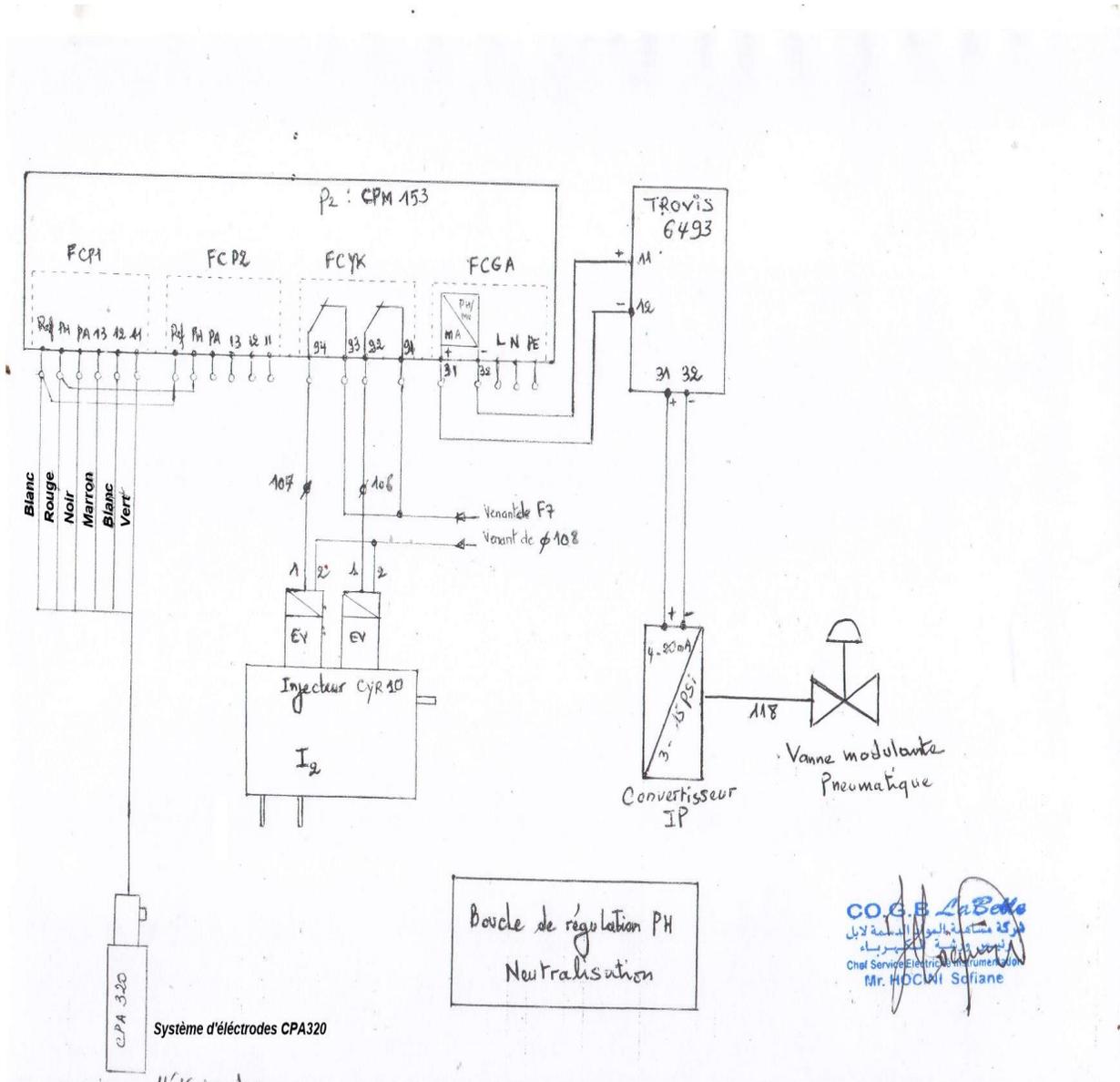


Figure IV.1 : Schéma électrique de la boucle de régulation du ph.

**4.1 Principe de l'acidification**

À l'entrée de la station d'épuration, l'eau usée est soumise à un processus d'acidification en utilisant de l'acide sulfurique ( $H_2SO_4$ ) afin d'ajuster son ph dans la plage de 3 à 5. Le dosage de l'acide est réalisé à l'aide d'une vanne modulante pneumatique 4-20mA, qui est contrôlée par un ph-mètre équipé d'une sonde immergée dans le réservoir d'acidification. Lorsque le ph dépasse la valeur de 5, la vanne s'ouvre pour introduire l'acide, et une fois que le ph atteint la valeur souhaitée, la vanne se referme.

Il convient de noter que notre étude se concentrait spécifiquement sur le processus de neutralisation des eaux usées industrielles et l'utilisation de la vanne modulante pneumatique pour ajuster le ph. D'autres aspects de la station d'épuration, tels que les étapes ultérieures de traitement, n'ont pas été abordés dans notre étude.

**4.2 Principe de la neutralisation**

Pour neutraliser les eaux acidulées issues du flottateur, on ajoute du lait de chaux préparé pour 1000L, 100Kg de chaux c'est pour avoir une densité de solution lait de chaux a 1,08% sa préparation dure 13min dans un réservoir de neutralisation. Le lait de chaux réagit avec les acides présents dans l'eau, neutralisant ainsi le contenu du réservoir de neutralisation. Cette réaction chimique conduit également à la précipitation des sels indésirables présents dans la solution. Le ph de la solution est surveillé en continu à l'aide d'un ph-mètre équipé d'une sonde positionnée à la sortie du réservoir de neutralisation. L'objectif est d'ajuster le ph dans une plage spécifique, généralement entre 6 et 8.5. L'ajout de lait de chaux est effectué à l'aide d'une pompe doseuse, qui permet de réguler la quantité de lait de chaux ajoutée en fonction des besoins de neutralisation.

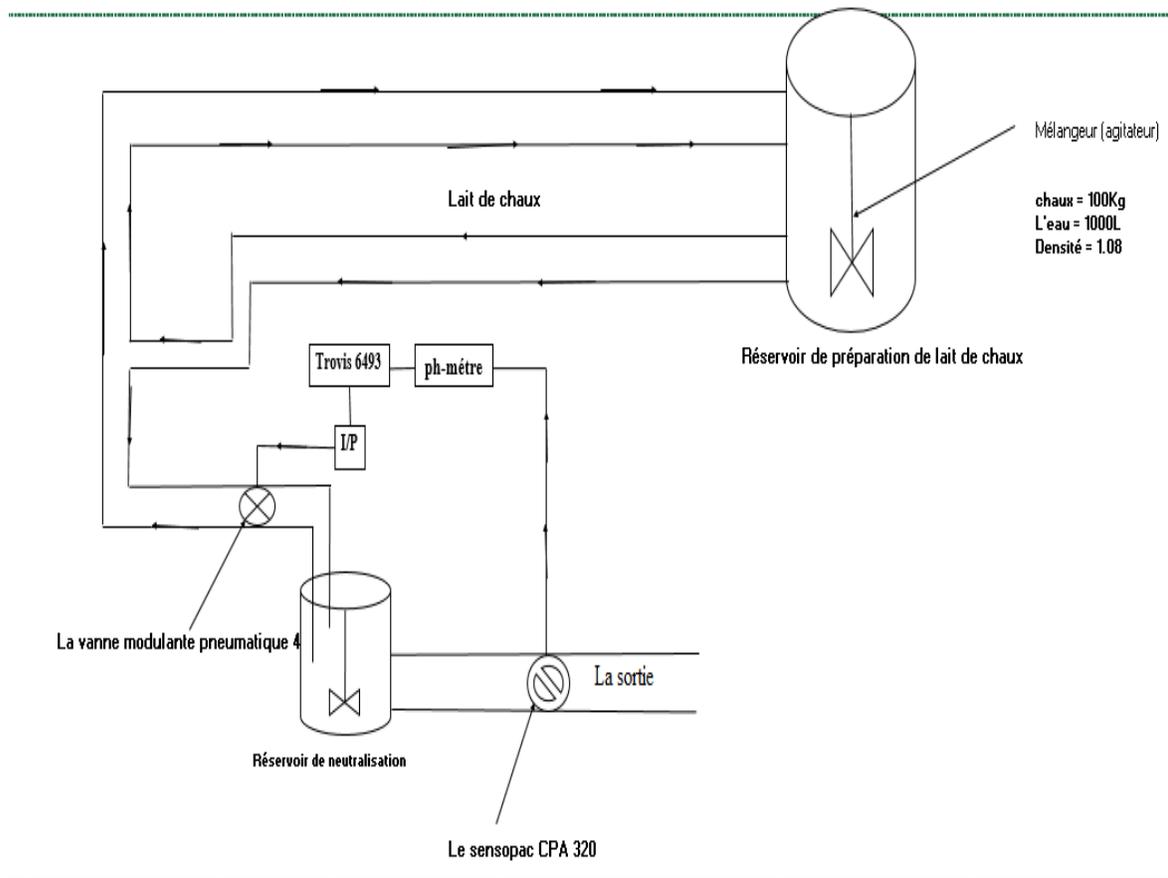
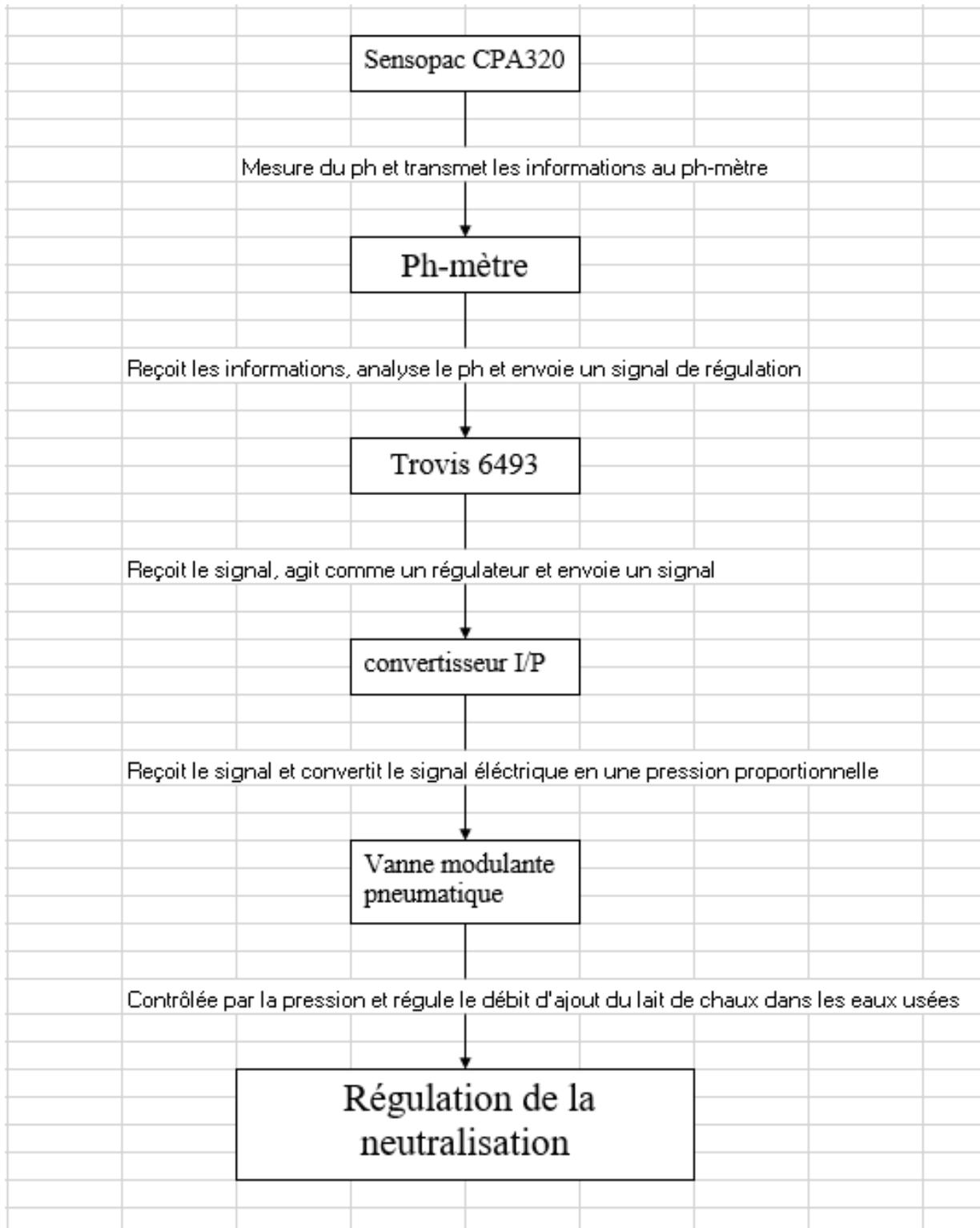


Figure IV.2 : Schéma synoptique de la neutralisation

## 5 Processus de régulation de la neutralisation des eaux usées industrielles

Dans notre boucle de neutralisation, nous utilisons le Sensopac CPA320 pour transmettre les informations de mesure à notre ph-mètre. Le ph-mètre analyse ensuite ces informations et envoie un signal au trovis6493, qui agit comme un régulateur. Le trovis6493 envoie ensuite un signal au convertisseur I/P. Le convertisseur I/P convertit ce signal électrique en une pression proportionnelle. Cette pression est utilisée pour contrôler l'ouverture et la fermeture de la vanne modulante pneumatique 4-20 mA. Ainsi, en ajustant la pression exercée sur la vanne, nous réglons le débit d'ajout du lait de chaux dans les eaux usées. Cette approche permet une neutralisation précise et efficace, en fonction des mesures fournies par le ph-mètre.



**Figure IV.3 :** Processus de régulation de la neutralisation

Durant la période du stage, nous avons mesuré les valeurs de ph à l'entrée avant l'acidification et les valeurs de ph à la sortie après la neutralisation à l'aide d'une électrovanne. Malheureusement, nous avons constaté que les valeurs n'étaient pas stables, ce qui suggérait un problème de régulation.

Pour résoudre ce problème, nous avons proposé de remplacer l'électrovanne par une vanne modulante pneumatique. La principale raison de ce choix vient du fait que cette vanne pouvait s'ouvrir et se fermer au besoin, offrant ainsi une régulation plus précise.

Après avoir effectué le changement, nous avons observé que les résultats étaient conformes à nos attentes. Les valeurs du ph à la sortie étaient désormais plus stables et répondaient mieux aux exigences du processus. Et ceci a été montré ci-dessous

## 6 Mesure du ph

### 6.1 Variation du ph avant le changement de l'électrovanne

Temps (h)	09 : 00	10 : 00	11 : 00	12 : 00	14 : 00	15 : 00	16 : 00
Ph de l'entrée	03,03	03,19	04,08	03,82	04,63	03,48	04,57
Ph de la sortie	06,27	06,12	07,15	07,93	06,00	06,71	7,48

**Tableau IV.1** : Variation du ph avant le changement.

- **Discussion**

Il est observé que les valeurs de ph ne restent pas stables après la neutralisation, notamment à la sortie du processus. Cela indique un défi dans le maintien du ph dans la plage cible. Des mesures supplémentaires peuvent être nécessaires pour résoudre ce problème et garantir une neutralisation adéquate.

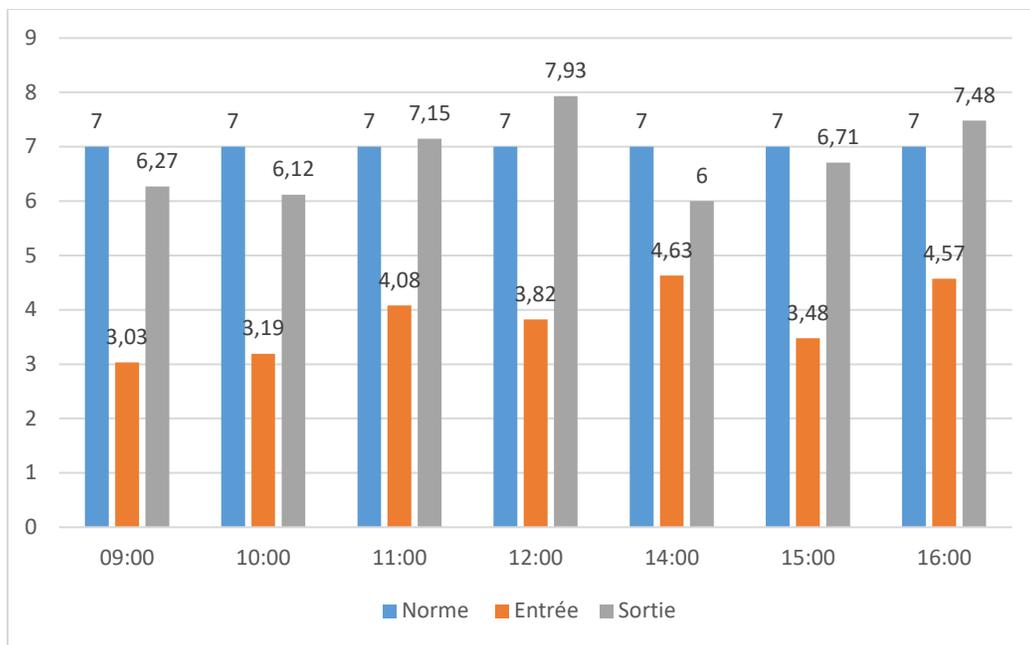


Figure IV.4 : Évolution du ph à l’entrée et à la sortie de l’entreprise CO.G.B Labelle (avant le changement de l’électrovanne).

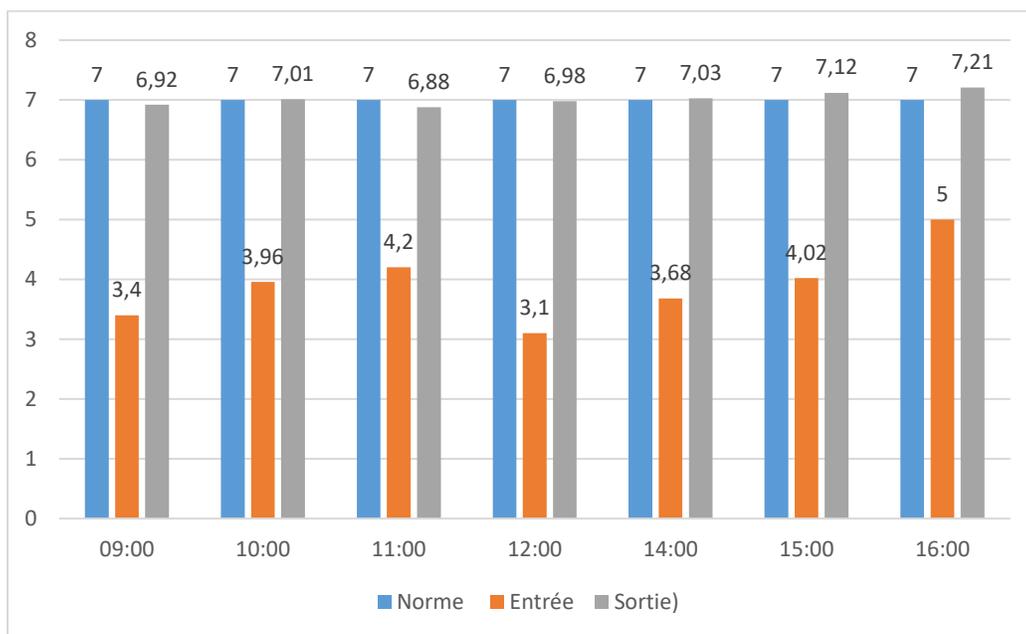
6.2 Variation du ph après l’utilisation de la vanne modulante pneumatique

Temps (h)	09 : 00	10 : 00	11 : 00	12 : 00	14 : 00	15 : 00	16 : 00
Ph de l’entrée	03,40	03,96	04,20	03,10	03,68	04,02	05,00
Ph de la sortie	06,92	07,01	06,88	06,98	07,03	07,12	07,21

Tableau IV.2 : Variation du ph après le changement

- **Discussion**

Suite au remplacement de l'électrovanne par une vanne modulante, une amélioration significative a été observée. Les valeurs de ph sont désormais stables et précises après la neutralisation. Ce changement a permis de résoudre le problème de stabilité du ph, assurant ainsi un processus de neutralisation plus fiable et efficace dans la station d'épuration.



**Figure IV.5 :** Évolution du ph à l'entrée et à la sortie de l'entreprise CO.G.B Labelle (après l'utilisation de la vanne modulante pneumatique).

## 7 Conclusion

L'amélioration de l'efficacité du traitement des eaux usées industrielles a été rendue possible grâce à l'utilisation de nouvelles technologies et à l'instauration d'un contrôle accru du ph. L'introduction de la vanne modulante pneumatique 4-20mA et du régulateur Trovis 6493 a grandement contribué à cette amélioration. Ces avancées ont permis de réguler de manière précise le débit d'ajout du lait de chaux, garantissant ainsi des valeurs de ph stables et conformes aux normes environnementales.

### Conclusion générale

Notre expérience au sein de l'entreprise CO.G.B labelle lors de notre stage a été extrêmement enrichissante. Nous avons eu l'opportunité de travailler sur des boucles de régulation de ph au sein des stations d'épuration et d'apporter des améliorations significatives en remplaçant le TRD855 par le TROVIS6493 et l'électrovanne par une vanne modulante pneumatique.

Ces modifications ont permis d'améliorer la précision des mesures, la réactivité du contrôle et la stabilité du processus de régulation de ph. Nous sommes convaincus que ces améliorations contribueront à une gestion plus efficace des eaux usées et à une meilleure préservation de l'environnement.

Notre travail au sein de CO.G.B labelle nous a également permis de développer nos compétences techniques et de nous familiariser avec les technologies de pointe utilisées dans le domaine du traitement des eaux usées. Nous sommes reconnaissants envers l'entreprise pour nous avoir donné l'opportunité de mettre en pratique nos connaissances et de contribuer à l'amélioration des processus de régulation de ph.

Enfin, nous espérons que notre travail apportera une solution concrète à la problématique réelle posée par le personnel de l'entreprise et servira de base solide pour notre future carrière professionnelle. Nous souhaitons également que notre expérience bénéficie aux promotions futures et contribue au développement continu de la technologie des systèmes de boucle de régulation de ph dans le domaine des eaux usées industrielles.

Nous proposons d'installer une pompe réglable pour faciliter le renvoi des eaux neutralisées depuis le bac tampon. Dans le but d'améliorer la neutralisation des eaux usées, nous suggérons également d'ajouter une deuxième boucle au ph-mètre existant. Cette boucle supplémentaire permettrait de contrôler le variateur de vitesse de la pompe chargée du renvoi des eaux neutralisées, afin d'optimiser le processus de neutralisation.



***Bibliographie***

## Bibliographie

---

- [1] Documentation interne de l'entreprise Labelle (CO.G.B), consulte le 20 mars 2023, catalogues et manuels d'utilisation.
- [2] Y.SEDDAR et K.GHEZAL, « Contribution à l'Implémentation d'un Régulateur Flou sous un API S7-300», mémoire de master en Automatique et Informatique Industrielles, DEPARTEMENT D'AUTOMATIQUE, UMMTO, Tizi-Ouzou, 2017.
- [3] P.PROUVOST, «Instrumentation et régulation en 30 fichiers», édition Dunod, Paris, France, 2010.
- [4] D.LEQUESNE, «La régulation PID analogique et numérique», édition Eyrolles, France, 2006
- [5] H.Bouiche et M.Brahimi, « Commande PID d'un moteur à courant continu», mini projet en électronique, département d'électronique, Université Abderrahmane Mira, Béjaia, 2010.
- [6] W.Aous et G.Seddaoui, « Conception et réalisation d'un régulateur PID numérique à base d'un microcontrôleur PIC 16f877a», mémoire de master en électronique industrielle, département d'électronique, UMMTO, Tizi Ouzou, 2014.
- [7] J.Albet, «Banc de régulation», Manuel technique, ENSIACET A7, janvier 2007.
- [8] C.Bordjah et Y.Abdiche, « Étude de régulation en automatique de la boucle de chauffage d'un bac de stockage d'huile brute raffinerie d'huile. Cevital-Bejaia», mémoire de master en Instrumentation, Département d'Automatique, Télécommunication et d'Electronique, Université Abderrahmane Mira, Béjaia, 2022.
- [9] S.Bouchema, «Conception d'une régulation de la température dans un bac d'eau chaude au niveau de CEVITAL», mémoire de master en Instrumentation, Département de Génie Electrique, Université Abderrahmane Mira, Béjaia, 2019.
- [10] A.Habachi, Installation, dépannage : Instrumentation Industrielle. Maroc : Guide de travaux pratiques, office de la formation professionnelle et de la promotion du travail, 06 juin 2014.
- [11] Document interne. (s.d.). Consulté le 15 avril 2023, sur Endress+Hauser :  
<https://www.endress.com/en>.

## **Bibliographie**

---

- [12] Documentation de la CO.G.B labelle «TI233C/14/FR/04.04».
- [13] Documentation de la CO.G.B labelle «BA233C/14/FR/05.04 51515213 à partir de la version de soft 1.20».
- [14] Documentation de la CO.G.B labelle «BA 042C/07/EN/07.93.NO.50013731».
- [15] Documentation de la CO.G.B labelle «Technique Information TI042C/07/de».
- [16] Documentation de la CO.G.B labelle «TI367C/14/fr/05.05».
- [17] Documentation de la CO.G.B labelle «Information technique TI 032C.01/14/f».
- [18] Documentation de la CO.G.B labelle «BA02056C/14/FR/01.20 71502891 2020-07-27».
- [19] Fiche technique «T 6493 FR», Édition Juillet 2015
- [20] ABB Measurement & Analytics. (2007, Novembre). Consulté le 02 mai 2023, sur ABB Automation Products GmbH :  
<https://new.abb.com/products/measurement-products>

## **Résumé**

Notre travail a porté sur l'étude du système de régulation du ph de la station d'épuration du complexe Labelle, qui vise à neutraliser les eaux résiduaires industrielles. Ce système de régulation comprend plusieurs instruments clés, tels que le ph-mètre Mycom CPM153, le Sensopac CPA320, le régulateur Trovis 6493, le convertisseur courant/pression et la vanne modulante pneumatique. L'objectif principal de cette études était d'améliorer l'efficacité du processus de neutralisation en utilisant ces instruments et technologies avancées pour maintenir un ph stable et optimal dans les eaux traitées.

## **Abstract**

Our work focused on studying the ph regulation system of the wastewater treatment plant at the Labelle complex, which aims to neutralize industrial wastewater. This regulation system comprises several key instruments, including the Mycom CPM 153 ph meter, Sensopac CPA 320, the Trovis 6493 controller, the current/pressure converter, and the pneumatic modulating valve. The main objective of this study was to enhance the efficiency of the neutralization process by utilizing these advanced instruments and technologies to maintain a stable and optimal ph level in the treated water.