

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR - ANNABA
BADJI MOKHTAR UNIVERSITY - ANNABA



جامعة باجي مختار - عنابة

Faculté : Sciences de l'Ingénierat

Département : Electronique

Domaine : Sciences et Techniques

Filière : Automatique

Spécialité : Automatique et Informatique Industriel

Mémoire Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Gestion Automatisée d'un Réseau d'Assainissement Urbain

Présenté par : Rihal Mohammed Amine

Encadrent : Messaoud RAMDANI Professeur U.B.M. Annaba

Jury de Soutenance :

Dr. Bekaik Mounir	MCB	Université badji mokhtar	Président
Dr. Ramdani Messaoud	Professeur	Université badji mokhtar	Encadrent
Dr. Bouchareb Faouzi	MCB	Université badji mokhtar	Examineur

Année Universitaire : 2022/2023

الخلاصة:

يتعلق العمل المقدم في هذه المذكرة بالتسيير الآلي لشبكة الصرف الصحي الحضري والدراسة من الجانب النظري الدراسي والجانب التطبيقي. الذي بإمكانه التدخل في الوقت الحقيقي ، وبشكل مستقل و يسمح بالمراقبة والتحكم عن بعد باستخدام إنترنت الأشياء (IOT).

يعتمد الجانب التطبيقي على لوحة تطوير STM32 القائمة على متحكم Arm Cortex-M4، كما تحدثنا عن المكونات الإلكترونية المستخدمة في عملنا ، وكذلك عن طريقة البناء المستخدمة لتطوير تطبيق التحكم الضبابي.

الكلمات المفتاحية: التسيير ، الآلي ، شبكة الصرف الصحي الحضري ، STM32 ، IOT ، الوقت الحقيقي ، التحكم الضبابي.

Résumé

Le travail présenté dans ce mémoire s'intéresse à la gestion automatisée d'un réseau d'assainissement urbain. Dans une première étape, une recherche bibliographique très consistante a été faite sur les différentes techniques de modélisation et de contrôle des réseaux d'assainissement urbain (RAU) pour répondre aux préoccupations des gestionnaires de l'eau. L'étude de cas de la ville de Annaba a permis de dresser un état des lieux (les différentes parties d'un RAU) et d'identifier les stations de relevage pour faire l'objet d'une réalisation pratique sous forme d'un banc d'essai. Le système proposé est capable d'intervenir en temps réels, autonome permettant la surveillance et le contrôle a distance en exploitant les derniers progrès en matière de technologie de l'information et de communication (TIC), notamment l'internet des objets (IoT).

Le système s'appuie sur la carte de développement STM32 à base d'un microcontrôleur ARM Cortex-M4 et de composants électroniques (capteurs, actionneurs,...etc), avec l'utilisation des structures de contrôle avancé pour assurer une conduite optimale des réseaux d'assainissement.

Mots clés : Gestion, Automatisation, Réseau d'assainissement urbain, STM32, IoT, Temps réel, Commande avancé.

Abstract

The work presented in this thesis concerns the automated management of an urban sewer network (USN). In a first step, a bibliographic study has been carried out on the various techniques of modeling and control of USN. A case study of the Annaba city allowed to define the pumping stations as the most relevant part for the practical realization. The proposed system is able to work in real time, autonomous allowing remote monitoring and control using the Internet of Objects (IOT). The system is based on the STM32 development board based on an Arm Cortex-M4 microcontroller and electronic components (sensors, actuators,...etc), with the use of advanced control structures to ensure an optimal management of urban catchment and sewer networks.

Keywords : Management, Automated, Urban sewerage network, STM32, IoT, Real time, Fuzzy control.

Table des matières

1	Les Réseaux d'assainissement Urbain : Etat de l'art	1
1.1	Introduction	1
1.2	Le processus de gestion des eaux urbaines	1
1.3	Définition de réseau d'assainissement urbain	2
1.4	Les catégories d'eaux usées :	2
1.4.1	Les eaux usées domestiques :	2
1.4.2	Les eaux pluviales :	3
1.5	Les types des réseaux d'assainissement :	3
1.5.1	Assainissement autonome :	3
1.5.2	L'assainissement collectif :	3
1.6	Les différents système de réseaux d'assainissement :	3
1.6.1	Les réseaux unitaires :	3
1.6.2	Les réseaux séparatif :	4
1.7	Les parties de réseau d'assainissement :	4
1.7.1	Le collecteur :	4
1.7.2	Les Stations de Relevage :	5
1.7.3	Station d'épuration des eaux usées	7
1.8	Modélisation et contrôle en temps réel des RAUs	9
1.8.1	Algorithmes heuristiques :	10
1.8.2	Algorithmes basés sur l'optimisation :	10
1.9	conclusion	14
2	Gestion intelligente des réseaux d'assainissement	15
2.1	Introduction	15
2.2	L'internet des objets	16

2.2.1	définition :	16
2.2.2	Les composants d'un système IoT :	16
2.2.3	Les objets connectés :	17
2.3	Cas d'usages pour la gestion de l'eau usée et pluvial avec l'IoT :	18
2.4	Surveillance et contrôle à distance des stations de relevage :	20
2.5	Conclusion	21
3	Modélisation de la commande par logique Floue	23
3.1	Introduction	23
3.2	La théorie de la logique floue	24
3.2.1	Définition :	24
3.2.2	Les ensembles flous et l'appartenance :	24
3.2.3	Opérateurs De La Logique Floue :	26
3.3	Les variables floues :	27
3.4	Système et commande flou :	28
3.5	Conception d'un contrôleur flou :	28
3.5.1	Fuzzification	29
3.5.2	Base de connaissances floues	31
3.5.3	Le système d'inférence (Moteur d'inférence floue)	32
3.5.4	Défuzzification	32
3.6	Conception de contrôleur flou pour la situation de confluence	34
3.6.1	Analyse du contrôle optimal de la station de pompage des eaux usées :	34
3.6.2	Conception floue du contrôleur :	35
3.7	Mise en œuvre de la stratégie floue auto-adaptative	37
3.8	Systèmes auto-adaptatifs :	39
3.9	Un moteur CC sans balais	40
3.9.1	Fonctionnement :	40
3.9.2	Le modèle mathématique de MCCSB	40
3.10	Conception de contrôleur PI Flou auto-adaptatif :	41
3.10.1	Fuzzification :	42
3.10.2	Règles de contrôle floues et défuzzification	43
3.11	Mise en œuvre du contrôle basé sur STM32 système :	44
3.11.1	Structure de l'ensemble du système de contrôle :	44

3.11.2	Conception matérielle :	45
3.11.3	Conception de logiciels :	46
3.12	Conclusion	47
4	Réalisation pratique	49
4.1	Introduction :	49
4.2	Principe de fonctionnement :	49
4.3	Cahier des charges :	50
4.4	Présentation de Matériel :	51
4.4.1	Choix de la Carte :	51
4.4.2	Les Actionnaires :	54
4.4.3	Les capteurs	55
4.4.4	Les accessoires :	58
4.5	Conclusion	62
4.6	Résultat et discussion	62
4.7	Introduction	62
4.7.1	Affichage page d'accueil :	62
4.7.2	variation de niveau d'eau :	63
4.7.3	Le débit des eaux :	63

Table des figures

1.1	Réseaux d'assainissement unitaire Urbain	2
1.2	Séparation des eaux usées et des eaux pluviales	4
1.3	Des pompes Semi-cristalique	5
1.4	Bassin Décantation	6
1.5	Station d'épuration des eaux usées	7
1.6	Bassin Répartiteur	8
1.7	Bassin de relevage	8
1.8	Bassin du Traitement Biologique	9
1.9	Configuration MPC en boucle fermée	12
2.1	Les domaines D'utilisation IOT	16
2.2	Fonctions objet connecte	18
2.3	Télégestion Part 1	19
2.4	Télégestion Part 2	20
2.5	Surveillance et contrôle à distance des stations de relevag	21
2.6	La coordination	22
3.1	Représentation graphique de Logique Classique et Flou	25
3.2	Opérateurs ET	26
3.3	Opérateurs OU	26
3.4	Opérateurs NON	27
3.5	Univers de discours	28
3.6	Traitement Flou	28
3.7	Structure de base d'un contrôleur flou	29
3.8	Différentes formes de la fonction d'appartenance.	30
3.9	Plan d'affectation de la station de pompage de confluence	36

3.10	Schéma de diagramme de la station de pompage	36
3.11	Fonction d'appartenance de L, ΔL , D4-3, D3,4-5 et S4	37
3.12	Un système auto-adaptatif	39
3.13	Un moteur CC sans balais	40
3.14	Organigramme de contrôle flou	42
3.15	Structure du système de contrôle	45
3.16	Onduleur à pont complet composé de 6 MOSFET	46
3.17	Circuit de commande MOSFET	47
3.18	Conception de logiciels	48
4.1	Présentation de la structure de fonctionnement	50
4.2	Carte STM32	52
4.3	pompe à eau	54
4.4	Électrovanne	55
4.5	Capteur débitmètre	56
4.6	Capteur de niveau ultrason.	57
4.7	Arduino Nano	58
4.8	MODULE DRIVER L298N1	59
4.9	LCD TFT noir 3.2 pouces POUR STM32F407VET6	60
4.10	Afficheur 4 digits 7 segments	61
4.11	Module de relais Bistable 5V	61
4.12	conversion niveau 8 canaux	62
4.13	Résultat des capteurs de niveau	62
4.14	Résultat des capteurs de niveau	63
4.15	Le niveau des bassins sur l'afficheur	63
4.16	L'affichage de débit	64

Liste des tableaux

1.1	Variables de RAU	12
3.1	Symbole de cinq intervalles ou sous ensembles flous	31
3.2	Table de calcul de la variation de la commande	33
3.3	Table de règles de contrôle de $S_4=LS,S,LL,L$ quand si $D_{4-3}!=S$ et $D_{3,4-5}! = S$	38
3.4	Table de règles de contrôle de $S_4=LS,S,LL,L$ lorsque $D_{4-3}=S$ et $D_{(3,4)-5}=S$	38
3.5	Règles de Contrôle floues pour ΔK_P	44
3.6	Règles de Contrôle floues pour ΔK_I	44

Tableau d'abréviations

RA	Réseau d'assainissement
RAU	Réseau d'assainissement urbain
CTR	Contrôle en temps réel
STEP	Station de traitement d'épuration
LQR	Régulateur quadratique linéaire
FLC	Contrôle par logique floue
CBR	Contrôle basé sur des règles
ONA	Office National d'assainissement
IOT	Internet Of Things
UIT	Union Internationale des Télécommunications
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
FA	Fonctions d'appartenance
HMI	Interface homme machine
RFID	Radio Frequency Identification
NFC	Near Field Communication en anglais, communication en champ proche en français
SF	Système flou
PP	Plastique polypropylène
MPU	unité de protection de mémoire
CCM	Core Coupled Memory
FPU	une unité de point flottant
TOR	Toute Ou Rien
GPIO	groupes de ports input out
LED	Light-emitting diode
MCCSB	Moteur A Courant Contenu Sans Balais
UART	Universal Asynchronous Receiver Transmitter
USART	universal synchronous/asynchronous receiver/transmitter
USB	Universal Serial Bus
CAN	Control Area Network

Remerciements

En premier lieu, je remercie Dieu, le tout puissant, pour m'avoir donné la patience, la volonté et la force nécessaires pour achever ce travail.

*J'adresse mes sincères remerciements et à exprimer toute ma Gratitude à mon encadreur Professeur **Massoued Ramdani**, qui m'a beaucoup aidé dans la réalisation de ce travail, Merci pour ses conseils, sa disponibilité et son soutien dans les moments délicats.*

Je remercie le Président et les membres du jury d'avoir accepté de lire et de juger ce travail. Je tiens à remercier chaque membre de ma famille et je mentionne particulièrement mon cher père, ma généreuse épouse et ma sœur aînée, pour leur soutien et réconfort dans les moments difficiles, je tiens également à les remercier pour leurs encouragements durant toutes ces années d'études en particulier ma mère, qui a su trouver les mots justes pour me mettre en confiance.

*Enfin, je tiens à remercier tous ceux que je n'ai pas cités mais que je n'ai pas oubliés pour autant et qui de près comme de loin m'ont aidé, soutenu et encouragé aux moments opportuns. A tous, un grand **MERCI!***

Dédicaces

Je dédie ce travail tout d'abord à mes parents qui m'ont tout appris, tant donné sans rien demandé en retour.

À ma chère épouse qui m'a soutenu et a été patiente avec moi.

A mes chères sœurs et mes chers frères qui ont su m'épauler dans les moments difficiles.

A mon ami Ziani Taki Eddine avec qui j'ai beaucoup appris.

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

A tous ceux qui ont contribué de loin ou de près à mon travail.

Introduction Générale

Avec l'apparition des villes et des agglomérations des populations, les réseaux d'assainissement (RA) sont devenus une nécessité pour la continuité et la prospérité de la vie globale de l'être humain, à partir du fait que ces derniers sont utilisés dans différentes activités dans sa vie quotidienne. Ainsi, la bonne gestion de ces réseaux s'impose pour respecter certaines normes et standards tout en évitant trois principaux problèmes qui apparaissent dans les réseaux actuels : les points bas, le gaspillage d'eau pluviale et la réutilisation des eaux usées qui n'est pas parfaite.

Ce projet s'intéresse à l'élaboration et à la mise en œuvre d'un système intelligent pour la gestion en temps réel des réseaux d'assainissement en utilisant des dispositifs et des instruments de mesure (capteurs, réseaux et cartes électroniques), permettant d'avoir les informations les plus pertinentes sur les grandeurs et les phénomènes mis en jeu. Ce système dispose de plusieurs fonctionnalités tous dépend du milieu choisi et de la zone de couverture.

Ce manuscrit a été scindé en cinq chapitres :

- Le chapitre 1 décrit les principaux éléments d'un système typique d'assainissement urbain, notamment les principaux éléments : les stations de relevage et les station d'épuration des eaux usées.
- Le chapitre 2 est consacré à L'application des technologies connectées et des réseaux IoT permettent de mettre en place une gestion intelligente des eaux usées ou "Smart Sewerage Network".
- Le chapitre 3 définit l'un des systèmes de contrôle les plus importants, à savoir la commande floue et sa utilisation dans le système de pompage et de relevage. Il est aussi décrit l'application d'une sorte de stratégie floue auto-adaptative dans le système de contrôle du moteur à courant continu sans balais (MCCSB), qui est basé sur la puce STM32 et les conceptions correspondantes du matériel et du logiciel de l'ensemble du système de contrôle BLDCM sont établies respectivement
- Le chapitre 4 construit une réalisation pratique d'une maquette de la partie la plus importante du système d'égouts représentée par la station de pompage
- Quant au chapitre 5, il est dédié aux résultats et discussions. Enfin, on trouve des conclusions et d'éventuelles perspectives pour continuer ce travail.

Chapitre 1

Les Réseaux d'assainissement Urbain : Etat de l'art

1.1 Introduction

Les eaux usées domestiques et les eaux pluviales doivent être collectées et traitées pour protéger la santé publique et l'environnement. Ainsi, les réseaux d'assainissement permettent d'évacuer les eaux usées et les eaux de pluie afin de limiter les nuisances et les dégâts dans les centres urbains. On distingue deux types de réseaux en milieu urbain, et cela nécessite également un réseau de canaux et quelques installations pour faciliter le processus de gestion des eaux urbaines. Dans ce chapitre, nous apprendrons à connaître le réseau d'assainissement urbain et toutes ses parties.

1.2 Le processus de gestion des eaux urbaines

Le but du système de gestion des eaux urbaines est d'établir une gestion intégrée des services d'eau dans les villes. Pour mieux gérer les différentes parties du cycle de l'eau et utiliser convenablement les ressources en eau, *une approche globale* est nécessaire. Le traitement des eaux usées, le drainage urbain et l'approvisionnement en eau sont les principales composantes du système de gestion des eaux urbaines. Un système de gestion de l'eau urbain typique comprend un réseau de canalisations souterraines pour alimenter l'eau potable et évacuer les eaux usées. Cela comprend également la collecte et le stockage de l'eau, le transport de l'eau vers les installations de traitement, le stockage et la distribution de l'eau dans les zones

urbaines, la collecte et la distribution d'eau.

1.3 Définition de réseau d'assainissement urbain

est un ensemble des conduites et des moyens de collect et évacué l'eau usée domestique et pluviale immédiatement (en temps réel) vers des station d'épuration, par gravité ou bien par pompage pour le traité avant leur rejet dans les rivières et le sol ou la réutilisation.

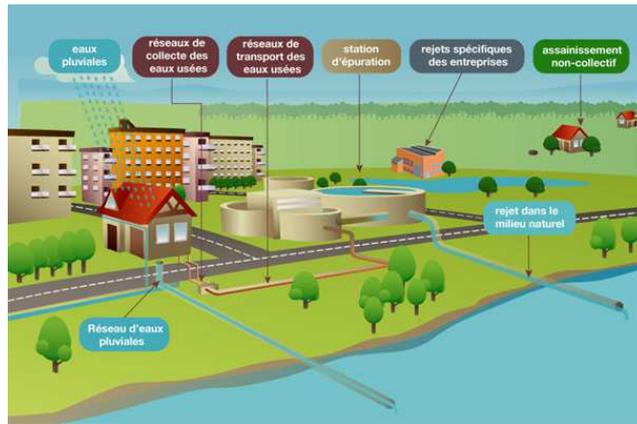


FIGURE 1.1 – Réseaux d'assainissement unitaire Urbain

1.4 Les catégories d'eaux usées :

1.4.1 Les eaux usées domestiques :

Les eaux usées domestiques Ceux-ci résultent de diverses utilisations de l'eau dans les lieux de vie et de travail (maisons individuelles, campings, hôtels, restaurants, bureaux, ateliers, écoles, ...), et collectées par le réseau des eaux usées des bâtiments. Ils sont intrinsèquement porteurs de pollution organique. Celles-ci sont classées comme eaux diverses provenant des salles de bains et des cuisines et sont généralement contaminées par des détergents, des graisses, des solvants et des résidus organiques. Et dans les eaux "d'égout". Ce sont des déchets de toilette qui sont contaminés par diverses substances organiques contenant de l'azote et des bactéries fécales.

1.4.2 Les eaux pluviales :

L'eau pluviale est le nom d'eau de pluie après qu'elle a touché le sol, et il est contaminée par des polluants au contact des gaz d'échappement industriels. Résidus tels que les carburants, les métaux lourds et les huiles dans les émissions également sur les toits et les trottoirs. En plus de la pollution, l'eau de pluie est également présente. Risque d'inondation et d'inondation en milieu urbain et perturbation de l'urbanisme Exploitation d'une station d'épuration lors d'un orage dans une station unitaire.

1.5 Les types des réseaux d'assainissement :

1.5.1 Assainissement autonome :

Ou le réseau individuel, il est conçu pour les habitats dispersé impossible ou difficile de les raccordés aux réseaux public. A cause de distance ou contre pente, Dans ce cas le réseau est reliés à une fosse septique.

1.5.2 L'assainissement collectif :

ce type de réseau concerne surtout les zones urbaines où l'habitat est dense. Dans ce cas, les services publics sont responsables de la collecte, d'évacué et du traitement des eaux usées pour plusieurs bâtiments et habitations. Il est assuré par un réseau de collecte qui recueillent les eaux usées et les acheminent vers la STEP.

1.6 Les différents système de réseaux d'assainissement :

1.6.1 Les réseaux unitaires :

Dans les réseaux unitaires, eaux usées et eaux pluviales sont regroupées. Ce système est le plus ancien et il équipe la plupart des centres villes historiques. Il présente l'inconvénient de court-circuiter une partie de la charge polluante de la station d'épuration par temps de pluie.

Avantages :

- économique, le coût de réalisation est plus bas.
- facilite de branchement et de mise en œuvre.

Inconvénients :

- Pollution du milieu récepteur.
- Sédimentation par temps sec.
- perturbation du fonctionnement de la station d'épuration.

1.6.2 Les réseaux séparatif :

Le réseau séparatif permet de collecter séparément les eaux usées issues des utilisations domestiques de l'eau potable (WC, salle de bains, cuisine, buanderie, etc.), et les eaux pluviales (eaux de ruissellement et toitures, drainage, etc.). Un réseau d'eaux usées traditionnel est difficile à gérer en cas de débits pluviaux importants.

Avantages :

- La station d'épuration est simplement dimensionnée (faible).
- Fonctionnement efficace de la station d'épuration.

Inconvénients :

- Réalisation de deux réseaux très coûteux.
- Problème de raccordement.
- Pollution des eaux des premières pluies subsistent dans le milieu d'habitation récepteur.

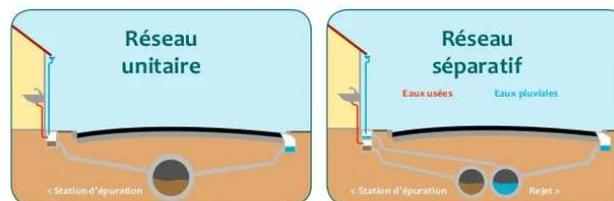


FIGURE 1.2 – Séparation des eaux usées et des eaux pluviales

1.7 Les parties de réseau d'assainissement :

1.7.1 Le collecteur :

Le collecteur principal présente une pente suffisante pour assurer un écoulement gravitaire des effluents. A chaque changement de diamètre ou de direction, ou aux points de raccordement de plusieurs collecteurs, les regards permettent de contrôler le fonctionnement des ouvrages et de faciliter leur entretien. La collecte peut s'effectuer dans les deux cadres soit un

système unitaire ou séparatif. Le choix entre les deux systèmes doit être étudié au regard des caractéristiques locales.

1.7.2 Les Stations de Relevage :

Les stations de relevage ou postes de relevage des eaux usées sont des systèmes de pompe qui fonctionnent automatiquement et sont utilisées pour relever le niveau des eaux qui s'accumulent en bas dit de reflux ou niveau de refoulement. Les eaux qui s'écoulent sous ce niveau ne peuvent pas s'écouler par gravité vers l'exutoire.

Une station de relevage comprend donc les pompes , un système de commande et de régulation. Les pompes de refoulement submersibles sont installées dans les bassins de collecte de grande capacité, qui relèvent les eaux qui ne peuvent être évacuées vers le réseau d'assainissement ou une station d'épuration parce qu'il est situé sur un plan plus élevé. La gestion de station est en temps réel pour éviter la pollution et les inondations en cas de pluie.

Pompes submersibles :

Une pompe submersible est adaptée à ces applications, est une pompe à eau immergée que l'on installe directement dans un réservoir ou un bassin d'eau. Les eaux usées également appelées eaux-vannes sont des eaux sales que l'on ne peut utiliser. Chaque bassin doit avoir au moins deux pompes pour en faciliter l'évacuation, éviter des problèmes inattendus et Le débit d'eau par temps de pluie. Le contrôle de la mise en marche et de la vitesse des pompes est automatique en fonction du niveau d'eau dans les bassins, par du capteur de niveau ou bien des flotteur, pour optimisé l'énergie. Il peut également fonctionner dans de l'eau boueuse transportant de la saleté.



FIGURE 1.3 – Des pompes Semi-crétalique

Conception Les pompes hydrodynamiques sont de construction très simple : en version de base, elles sont essentiellement constituées d'une pièce en rotation, le rotor appelé aussi roue ou hélice tourne dans un carter appelé corps de pompe. Une certaine vitesse est ainsi communiquée au fluide. [1]

- **Aspiration** : la pompe étant amorcée (c'est à dire pleine de liquide), la vitesse du fluide qui entre dans la roue augmente, et par conséquent la pression dans l'ouïe diminue, engendrant ainsi une aspiration et le maintien de l'amorçage.
- **Accélération** : la rotation augmente la vitesse du fluide tandis que la force centrifuge qui le comprime sur la périphérie augmente sa pression. Les aubes sont le plus souvent incurvées et inclinées vers l'arrière par rapport au sens de rotation, mais ce n'est pas une obligation. Dans un même corps de pompe on peut monter des roues différentes en fonction des caractéristiques du fluide.
- **Refoulement** : dans l'élargissement en sortie, qui se comporte comme un divergent, le liquide perd de la vitesse au profit de l'accroissement de pression : l'énergie cinétique est convertie en énergie de pression.

Les Bassins de collecte :

Bassin de grande capacité avec vanne murale au début pour éviter l'entrée d'eau lors de l'entretien, comme il contient dégrilleur avec une raclette automatique et semi-automatique assurent l'élimination des déchets solides. Après le traitement mécanique (élimination de déchets), l'eau se déplace du côté où se trouvent les pompes, qui à leur tour la pompent vers la station d'épuration dans le réseau entre elles.



FIGURE 1.4 – Bassin Décantation

1.7.3 Station d'épuration des eaux usées

Installation permettant la dépollution des eaux usées urbaines domestiques. Une station d'épuration est installée généralement à la fin d'un réseau de collecte des effluents (eaux usées domestiques et urbaines et, par extension, les eaux usées industrielles) et juste en amont de la sortie des eaux qui seront traitées et épurées. Le mouvement de l'eau à l'intérieur de la station dépend de la gravité, c'est-à-dire qu'il s'agit d'un système gravitaire et ne dépend d'aucune pompe, car l'eau douce flotte. Pendant la période de stage au niveau de station d'épuration



FIGURE 1.5 – Station d'épuration des eaux usées

STEP Annaba

Filière Eau

Les premiers traitements sont disponibles dans toutes les stations et comprennent :

Le dégrillage Consiste à faire passer les eaux usées au travers d'une grille dont les barreaux plus ou moins espacés (espacement des barreaux : 20mm pour le dégrilleur automatique et 30mm pour les dégrilleur manuel). Retiennent les éléments les plus gros tel que chiffons étoupes, fragments de bois, etc... susceptibles de provoquer, lors de la séparation de l'évacuation et du traitement des boues, ou dans le fonctionnement des pompes dans les tuyauteries et les vannes, des difficultés d'exploitations.

Répartiteur Le répartiteur assure la répartition des eaux pré-traités sur les deux(02) décanteurs primaires



FIGURE 1.6 – Bassin Répartiteur

Décantation primaire Les eaux sont ensuite réparties sur les deux décanteurs primaires (décanteurs de 42 mètres de diamètre chacun), qui assurent l'élimination des matières en suspension dans l'eau. Vitesse de décantation : **1,3 m/h**.

Bassin de relevage Cet ouvrage reçoit toutes les eaux des décanteurs primaires, ainsi que les boues recirculées. Ce bassin de 2400 m³ est commun aux différents ouvrages de traitement biologique [2].



FIGURE 1.7 – Bassin de relevage

Traitement Biologique Elimination : **Carbone, Azote, Phosphore** 03 Bassins biologiques : **45000 m³**

Chacun des trois(03) bassins biologiques est constitué par deux zones séparées, qui sont :

- 1- Une zone anaérobie.
- 2- Un chenal périphérique (zone aérée).



FIGURE 1.8 – Bassin du Traitement Biologique

Dégazage Ces ouvrages évitent le départ des MES dans les eaux traitées aux clarificateurs par l'élimination des micro-bulles d'air .

1.8 Modélisation et contrôle en temps réel des RAUs

Le RAU est contrôlée en temps réel grâce à la surveillance continue des variables de processus et l'utilisation des actionneurs. Les algorithmes CTR définissent les actions de contrôle en réponse aux états du réseau d'assainissement. L'objectif principal dans l'application du CTR à le RAU a été la réduction du volume dans les réservoirs et/ou des débordements d'assainissement unitaires (DAU) total, sans avoir à faire une extension volumétrique du système déjà existant [3]. Parmi les autres objectifs couramment pris en compte figurent la prévention des inondations urbaines et la minimisation des coûts d'exploitation. De plus, les objectifs opérationnels peuvent changer en fonction des états de RAU. Cela peut être le cas dans les pays où il y a des saisons ou avec de grandes variations météorologiques, où les saisons sèches et humides ont des conditions assez différentes.

Il a été montré que l'application des techniques CTR est une solution qui permet la réduction des volumes de RAU, entre autres avantages qui, au final, améliorent les performances de le RAU [4, 5]. Le CTR englobe l'hydraulique, l'instrumentation, la surveillance à distance, le contrôle des processus, la modélisation mathématique, l'organisation et la prévision météorologique. Les coûts varient en fonction du système impliqué. Le potentiel CTR et les bénéfices d'un RAU doivent être identifiés avant toute mise en œuvre pour justifier les investissements correspondants. Il n'y a pas de critère unique pour déterminer l'adaptation d'une implémentation CTR à un RAU donné [6]. Il existe de nombreux types de stratégies CTR assez différents, et il existe également de nombreuses façons de les classer. La littérature fait la distinction entre les stratégies CTR basées sur un modèle et celles qui ne le sont pas [6]. Parmi les stratégies de contrôle les plus utilisées pour le RAU, il existe des stratégies de contrôle basées sur

le modèle du système telles que le contrôle prédictif du modèle (MPC) et le régulateur quadratique linéaire (LQR). Ce type d'algorithmes nécessite un modèle mathématique qui décrit convenablement le comportement dynamique de la plante. D'autre part, certaines stratégies de prise de décision ne nécessitent pas un modèle du système, mais une connaissance complète du comportement du système. En général, ces connaissances sont difficiles à obtenir. Quelques exemples de ces stratégies sont le contrôle par logique floue (CLF) et le contrôle basé sur des règles (CBR).

1.8.1 Algorithmes heuristiques :

La principale caractéristique des algorithmes heuristiques est que ces techniques sont purement basées sur l'expérience (connaissances déjà acquises). Cela signifie qu'un modèle dynamique du système n'est pas nécessaire pour concevoir le contrôleur. De plus, la nature heuristique de ces algorithmes fait qu'aucune solution calculée ne peut garantir l'optimalité. Les algorithmes heuristiques sont généralement développés pour avoir une faible complexité, et ils sont généralement utilisés pour des systèmes assez complexes à modéliser [7]. Dans le cas de RAU, la conception de CTR basée sur des algorithmes heuristiques n'a pas besoin d'un modèle orienté contrôle du système. De plus, une fois ces contrôleurs conçus, ils peuvent être réglés. Ensuite, un modèle orienté simulation adéquat contribue à l'amélioration des performances de la commande. L'un des algorithmes heuristiques RTC les plus largement utilisés dans le RAU au cours des dernières décennies est le contrôle basé sur des règles [8]. Une stratégie particulière basée sur des règles, connue sous le nom de contrôle par logique floue, a gagné en popularité dans l'application à le RAU. Une brève description des stratégies de contrôle conventionnelles basées sur des règles et du contrôle par logique floue est présentée ci-après.

1.8.2 Algorithmes basés sur l'optimisation :

Les algorithmes de contrôle basés sur l'optimisation impliquent un problème d'optimisation qui représente le comportement souhaité du système. Sur la base du problème d'optimisation et de la mesure (ou estimation) des variables du système actuel, ces algorithmes recherchent l'action de contrôle optimale. Dans RAU, les algorithmes basés sur l'optimisation traitent le problème de la génération de stratégies de contrôle afin de minimiser ou de maximiser certains critères, basés sur les lectures actuelles et passées du système de télémétrie [9]. Le critère à minimiser ou à maximiser est généralement exprimé mathématiquement sous la forme d'une fonction scalaire $J(x)$ appelée fonction d'objectif ou de coût. Comme indiqué précédemment,

il peut exister de nombreux objectifs de contrôle différents lors de l'application du CTR à le RAU. Certains objectifs sont [10] :

- Minimisation des inondations dans les rues.
- Minimisation des OSC au milieu récepteur.
- Maximisation des eaux usées traitées dans le système.
- Minimisation des coûts d'exploitation (stations de pompage et stations d'épuration).
- Minimisation de la pollution de l'eau rejetée dans l'environnement.

Indépendamment de l'objectif de contrôle pour un RAU particulier, celui-ci doit être exprimé sous la forme d'une fonction de coût pour résoudre le problème d'optimisation. Il est possible que certains algorithmes prennent en compte deux ou plusieurs objectifs de contrôle. C'est ce qu'on appelle le contrôle multi-objectifs, et cela peut être fait de plusieurs façons. L'une des techniques multi-objectifs les plus largement utilisées est appelée scalarisation. Cette technique consiste à convertir le problème en un problème d'optimisation mono-objectif avec une fonction objectif à valeur scalaire [11]. Cela se fait en formant une nouvelle fonction objectif qui est une somme pondérée linéairement de plusieurs fonctions de coût à objectif unique. Ainsi, s'il y a N mono-objectif fonctions de coût $J_1(x), \dots, J_N(x)$, un poids scalaire w_i , avec $i = 1, \dots, N$, peut être assigné à chaque fonction, obtenant la nouvelle fonction objectif

$$J(x) = \sum_{i=1}^N W_i J_i(x) \quad (1.1)$$

Où $x \in \mathbb{R}_x^n$ correspond au vecteur d'état de le RAU, où \mathbb{R} désigne l'ensemble des nombres réels. L'un des principaux algorithmes RTC basés sur l'optimisation est décrit ci-dessous :

Modèle de contrôle prédictif (MPC) :

MPC est une stratégie de contrôle basée sur un modèle qui utilise une prédiction de la réponse du système pour établir une action de contrôle appropriée [12, 13]. Cette stratégie utilise explicitement un modèle mathématique du processus pour générer une séquence d'actions futures dans un horizon de prédiction n_i . Ces actions, connues sous le nom de loi de commande $u(k)$, sont calculées pour minimiser une fonction de coût donnée. Remarquez que cette approche est communément conçue en temps discret, où $k \in Z$, notant Z l'ensemble des nombres entiers. A l'instant $k \in Z$, l'algorithme cherche une séquence d'actions de contrôle futures $u(k), u(k+1), \dots, u(k+H_p)$ dans un temps fini horizon H_p préalablement déterminé. Cette séquence est obtenue en résolvant un problème d'optimisation basé sur les sorties prédites du système et la fonction de coût à minimiser. En pratique, le contrôleur ne peut appliquer que la première action $u(k)$. A l'instant $k+1$, la même procédure est répétée, déplaçant l'horizon

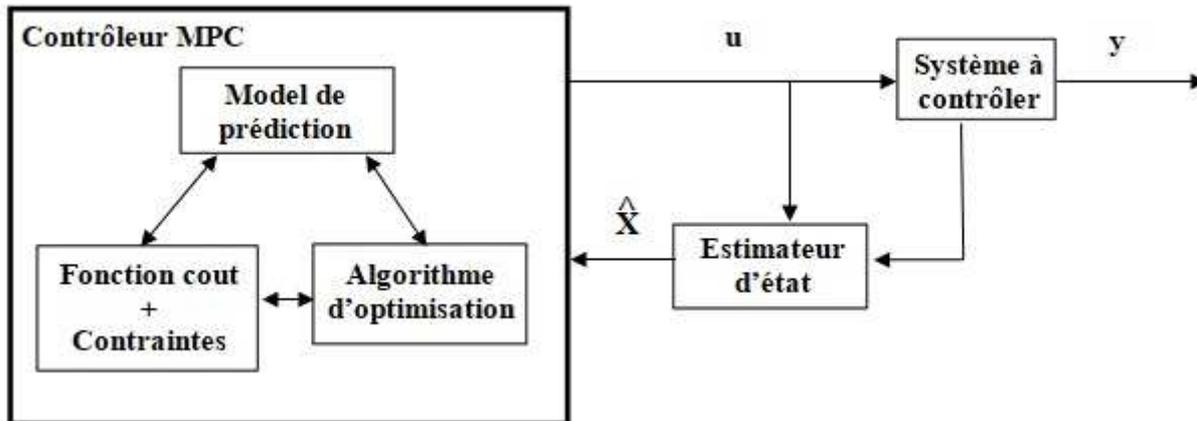


FIGURE 1.9 – Configuration MPC en boucle fermée

de prédiction d'un pas dans le temps. Un contrôleur MPC est composé de quatre éléments principaux : un modèle mathématique (orienté contrôle) du système, une fonction de coût qui exprime l'objectif de contrôle à atteindre, un ensemble de contraintes système (de nature limitante et opérationnelle), et un problème d'optimisation en boucle ouverte à horizon fini, qui est résolu à chaque instant [12]. La Figure 1.9 montre le schéma de base d'un contrôleur MPC dans une topologie en boucle fermée. La formulation de base d'un contrôleur MPC linéaire considère les systèmes dynamiques décrits par le modèle d'espace d'états à temps discret :

$$x(k + 1) = Ax(k) + Bu(k) \tag{1.2}$$

Type de variable	Variable	Description
États du système	x	Volumes de réservoir
Entrées de contrôle	u	Débit manipulé dans les canalisations et les égouts
Perturbations mesurées	d	Débit de pluie

TABLE 1.1 – Variables de RAU

$$y(k) = C_x(k) \tag{1.3}$$

où $y \in \mathbb{R}_y^n$ est un vecteur contenant les sorties du système et C est une matrice du système de dimensions appropriées. Dans le cas le plus général, la fonction de coût du problème d'optimisation associé à l'algorithme MPC peut être une fonction quadratique de la form

$$J(x, u) = \sum_{j=1}^{H_p} \|\hat{X}(K + j|k)\|_Q^2 + \sum_{j=0}^{H_p-1} \|\hat{U}(K + j|k)\|_R^2 \tag{1.4}$$

Ici, $\hat{x}(k+i|k)$ et $\hat{u}(k+i|k)$ dénotent la prédiction de l'état $x(k+i)$ et l'entrée $u(k+i)$, respectivement, à partir de la connaissance (ou de l'estimation) de $x(k)$. La notation $\|x\|^2$ dénote la forme quadratique $x^T Q x$. Dans cette fonction de coût, Q est une matrice semi-définie positive et R est une matrice définie positive de dimensions appropriées. Soit \tilde{u} une suite de contrôle donnée par $\tilde{u} = [\tilde{u}(k|k)^T \quad \tilde{u}(k+1|k)^T \quad \dots \quad \tilde{u}(k+H_p-1|k)^T]^T$. L'objectif du contrôleur MPC est de trouver la séquence optimale \tilde{u}^* qui minimise la fonction de coût $J(x, u)$, tout en satisfaisant les restrictions existantes dans le système. Lors de l'application de MPC à RAU, un type différent d'entrées pour le système peut être pris en compte. Ces entrées, appelées perturbations, ne sont pas manipulables par le contrôleur. De ce fait, il est nécessaire de modifier le modèle du système. Afin d'inclure les perturbations dans le modèle, (1.2) peut être réécrit comme

$$x(k+1) = Ax(k) + Bu(k) + B_p d(k) \quad (1.5)$$

où $d \in \mathbb{R}_d^n$ est un vecteur contenant les perturbations du système, et B_p est une matrice du système de dimensions appropriées. Le tableau : 1.1 montre la signification physique que les variables x , u et d auraient dans une RAU, selon le modèle proposé dans [14]. Les contraintes dans ce cas sont données par la capacité volumétrique des réservoirs et des tuyaux, et par les restrictions de débit dans les tuyaux et les actionneurs. Ces variables ont des valeurs maximales et minimales, qui ne doivent pas être dépassées afin d'assurer un comportement correct du système. De plus, le type de capteurs et d'actionneurs utilisés dans le système peut ajouter des restrictions supplémentaires. Concernant les fonctions de coût, il existe plusieurs options selon l'objectif de contrôle que peut avoir chaque RAU. Ces fonctions peuvent avoir différentes formes mathématiques, et peuvent prendre en compte plusieurs objectifs de contrôle, comme cela a été noté précédemment. Dans le cas d'un MPC multi-objectif, une scalarisation peut être appliquée, obtenant une nouvelle fonction objectif de la forme (1.1). De plus, une hiérarchisation des fonctions de coût multi-objectifs utilisant l'approche lexicographique pourrait être appliquée [15]. Les fonctionnalités des contrôleurs MPC présentent certains avantages pour leur application à le RAU. Certains d'entre eux incluent la capacité d'exprimer explicitement des contraintes dans le système, la possibilité d'anticiper la réponse du système à de futurs événements pluvieux et la capacité de prendre en compte des éléments non idéaux dans le système tels que les retards et les perturbations [16]. Parmi les autres avantages du MPC, citons son adéquation aux systèmes à entrées multiples et sorties multiples (MIMO) et aux systèmes à dynamique complexe.

1.9 conclusion

Dans ce chapitre, nous avons fait connaissance avec toutes les étapes du gestion de réseau d'assainissement urbain, qu'il soit domestique ou pluvial, et tous ses types, toutes ses classifications et les systèmes d'évacuation. Nous avons également abordé la station de relevage en termes de structure et d'équipement. Sans négliger la partie la plus importante et la dernière de ce système, qui est la station d'épuration en termes d'importance, de composition et de toutes les étapes de traitement. Dans le chapitre suivant, nous verrons les ajouts qui peuvent être apportés pour développer les systèmes susmentionnés, notamment dans le domaine de la communication et de la technologie, en particulier Internet.

Chapitre 2

Gestion intelligente des réseaux d'assainissement

2.1 Introduction

La gestion de l'eau usée domestique et pluviale, du fait de sa nature vitale pour l'homme, a toujours représenté, au cours des dernières années, un enjeu économique et social. Limiter le gaspillage et réduire les coûts associés sont donc indispensables. Déterminer l'emplacement du blocage dans aucun système de drainage et également impossible d'obtenir des informations rapides sur le blocage. Ainsi, il faut trop de temps pour la détection et le dégagement de l'obstruction. La situation devient plus problématique lorsque les tuyaux sont totalement bouchés. Cela créerait des inondations d'égouts susceptibles d'augmenter en raison des changements environnementaux et augmentation de les banlieues qui se traduit par une accélération des régions imperméables, par conséquent, augmentation du ruissellement de surface. La construction de système d'eaux usées de nouvelle génération nécessite de recourir à des solutions innovantes pour résoudre les différents problèmes de gestion, notamment la surveillance, le contrôle et les économies d'énergie. L'application des technologies connectées et des réseaux IoT permettent de mettre en place une gestion intelligente des eaux usées ou "Smart Sewerage Network" afin d'optimiser le contrôle de nos ressources. Les objets connectés sont parfois vus comme outil. C'est l'une des raisons pour lesquelles on parle de plus en plus d'objets intelligents. Montrer que nous visons à aller au-delà de la connectivité (des moyens) pour rendre les produits plus intelligents et ainsi source de valeur ajoutée. Et d'autre part la gestion de la consommation d'électricité est devenue de plus en plus importante, notamment avec l'arrivée de nouvelles technologies comme les les pompes électriques haute vitesse et les objets connectés (smart-

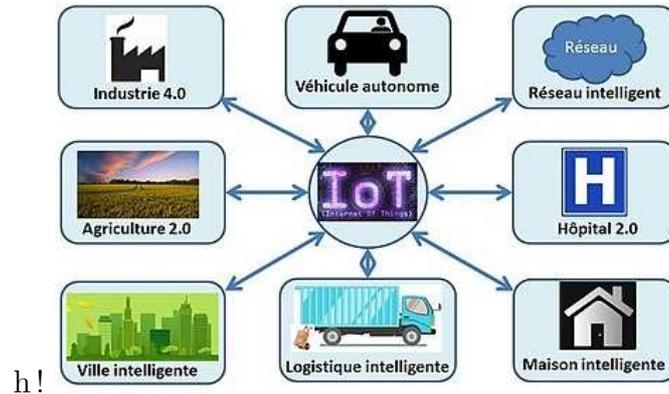


FIGURE 2.1 – Les domaines D'utilisation IOT

phones, ordinateurs, SCADA ...).

2.2 L'internet des objets

2.2.1 définition :

L'internet des Objets ou l'IoT est l'acronyme de Internet Of Things en anglais. Le terme IoT fut employée la première fois en 1999 par Kevin ASHTON, un ingénieur britannique salarié chez Procter et Gamble. L'IOT est l'interconnexion entre l'Internet et des objets, des lieux et des environnements physiques. C'est un système qui peut créer et transmettre des données qui ajoutent de la valeur aux utilisateurs à travers divers services (Assemblée, analysée, etc.).

Selon l'UIT (Union Internationale des Télécommunications), l'Internet des Objets est défini comme " une infrastructure mondiale pour la société d'information, qui permet de disposer de services évolués en interconnectant des objets (physique ou virtuels) grâce aux technologies d'information et de la communication interopérables existantes ou en évolution". [18]

2.2.2 Les composants d'un système IoT :

Un système Internet des objets (IoT) comprend de nombreux acteurs et composants technologiques différents. Il comprend des objets connectés, des réseaux de communication sans fil, des plateformes de collecte, d'hébergement et de traitement des données, des apps et des services pour les utilisateurs finaux et une supervision et une sécurisation de la chaîne entière.

2.2.3 Les objets connectés :

Un objet connecté est avant tout un objet ayant ses propres fonctions mécaniques et/ou électriques, qui peut être conçu pour être directement « connectable » ou déjà existant et dont la connectivité peut être rétrofitée. La fonction d'un objet connecté est de collecter des données à partir de capteurs, de traiter ces données, de communiquer via ses fonctions connectées et de recevoir des instructions pour effectuer des actions. En général, ces fonctionnalités des objets connectés nécessitent de la puissance, surtout si les données sont pré-traitées directement au sein de l'objet.

Les capteurs

Les capteurs sont des dispositifs capable de transformer une grandeur physique observée (température, luminosité, mouvement etc. . .) en une valeur digitale utilisable par des logiciels. Il existe une très grande variété de capteurs de tous types, les objets connectés ont souvent la fonction de captation de ces grandeurs physiques sur leurs lieux d'utilisation.[19]

Les types de capteurs : lumière, présence, proximité, position, déplacement, accélération, rotation, température, humidité, son, vibration, électrique, magnétique, chimique, gaz, flux, force, pression, niveau, . . .

Source d'énergie :

Les objets connectés nécessitent une grande quantité de source d'énergie. Il existe quatre types : Objets passifs sans batterie alimentés par des ondes électromagnétiques provenant d'une source d'alimentation, d'une batterie, d'un capteur d'énergie (par exemple photovoltaïque) ou d'un lecteur (par exemple RFID, NFC).[19]

Acteurs :

En d'autres termes, c'est l'opposé du capteur. Les acteurs sont des dispositifs qui transforment des données numériques en phénomènes physiques par le biais d'actions. Les actionneurs sont des alarmes, des moteurs, des interrupteurs ou des gradateurs, pour contrôler des ampoules par exemple.[19]

Connectivité :

C'est par définition le principal élément d'identification des objets connectés. Cela permet de relier des objets à une infrastructure ou à d'autres objets qui sont connectés via des canaux

de communication. Un objet connecté intègre un ou plusieurs réseaux IoT.

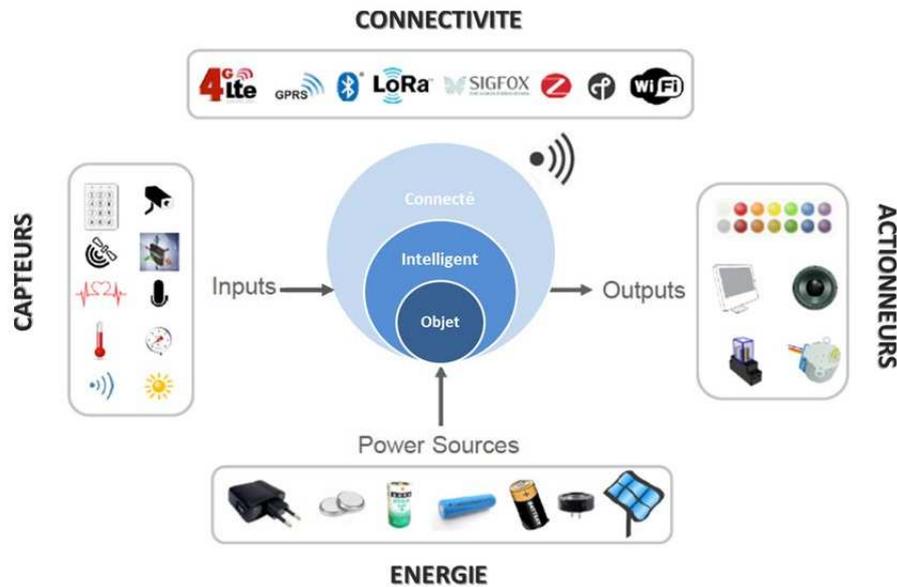


FIGURE 2.2 – Fonctions objet connecté

2.3 Cas d'usages pour la gestion de l'eau usée et pluvial avec l'IoT :

La gestion de l'eau usée et pluviale est un enjeu majeur pour garantir la sécurité sanitaire de la population et les inondations. L'IoT peut aider à améliorer la gestion du réseau d'assainissement urbain en fournissant des données en temps réel sur les niveaux des bassins, le débit d'évacuation et même la commande pour la variation de vitesse des pompes à eau. L'objectif est fournir des solutions de surveillance et de télégestion efficaces basées sur les technologies IoT aux responsables de la gestion des réseaux d'assainissement urbain et pluviales. Cette technologie permette aux gestionnaires de réseaux des eaux usées urbains et d'eaux pluviales des solutions efficaces et efficientes basées sur les application d'IoT pour les aider à [17] :

- Optimiser la gestion de vos infrastructures et des ressources d'une manière respectueuse de l'environnement
- Réduire les coûts d'exploitation et de maintenance, en augmentant la compétitivité.
- Améliorer la qualité de l'eau et l'environnement.

Pour cela, la télégestion fournit des solutions efficaces, simples et économiques à mettre en œuvre sur la base des applications qui utilisent des capteurs, enregistreurs de données,

complétées par des apps mobiles (monitor) ou des sites web pour [17] :

Surveillance du réseau Fournit une possibilité de surveiller niveaux et les débits dans les réseaux d'égouts et d'eaux pluviales. La figure : 2.3a

Détection et télémétrie des rejets Permette la détection et quantification des décharges et surveillance des niveaux dans les collecteurs. La figure : 2.3b

Quantification des rejets Télémétrie du débit de déversement avec canaux préfabriqués dans les stations de pompage des eaux usées et L'industrie. La Figure : 2.3c

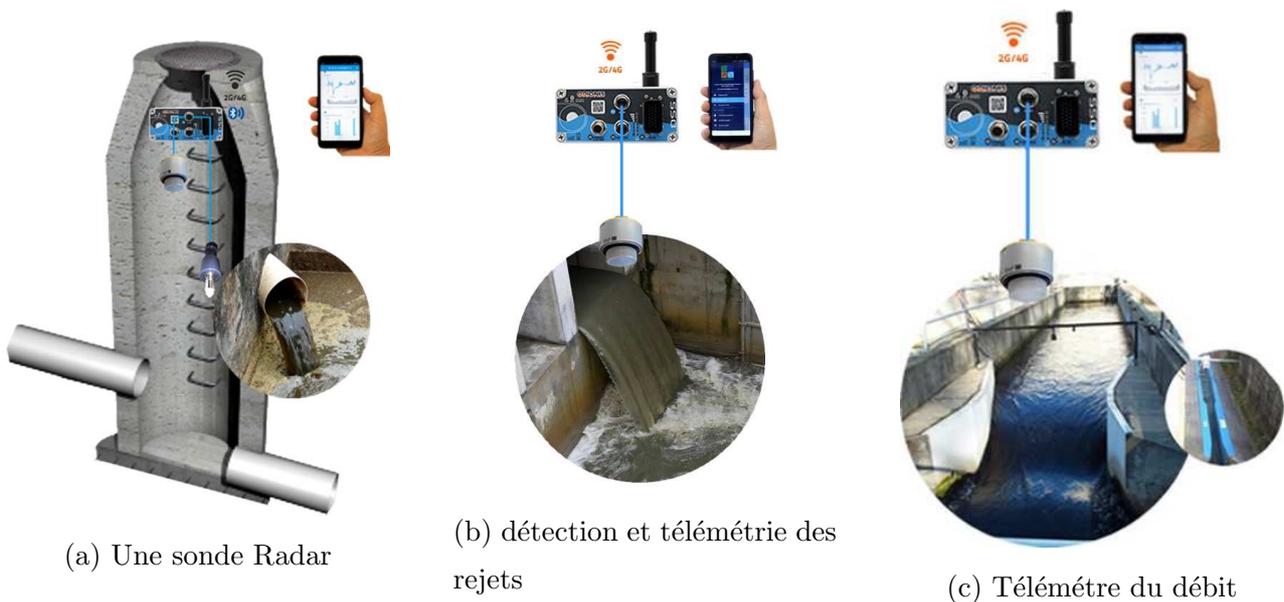


FIGURE 2.3 – Télégestion Part 1

Prévention des inondations Le contrôle et prévention des inondations : niveau, vitesse, débit, surveillance des précipitations. [17]

Surveillance des eaux pluviales Surveillance du confinement des barrages d'eaux pluviales et des réservoirs d'orage : niveau, contrôle de débordement, alarmes et avertissements. [17]

Porte télécommande Cette application permet de surveillance de niveau pour télécommande du porte.

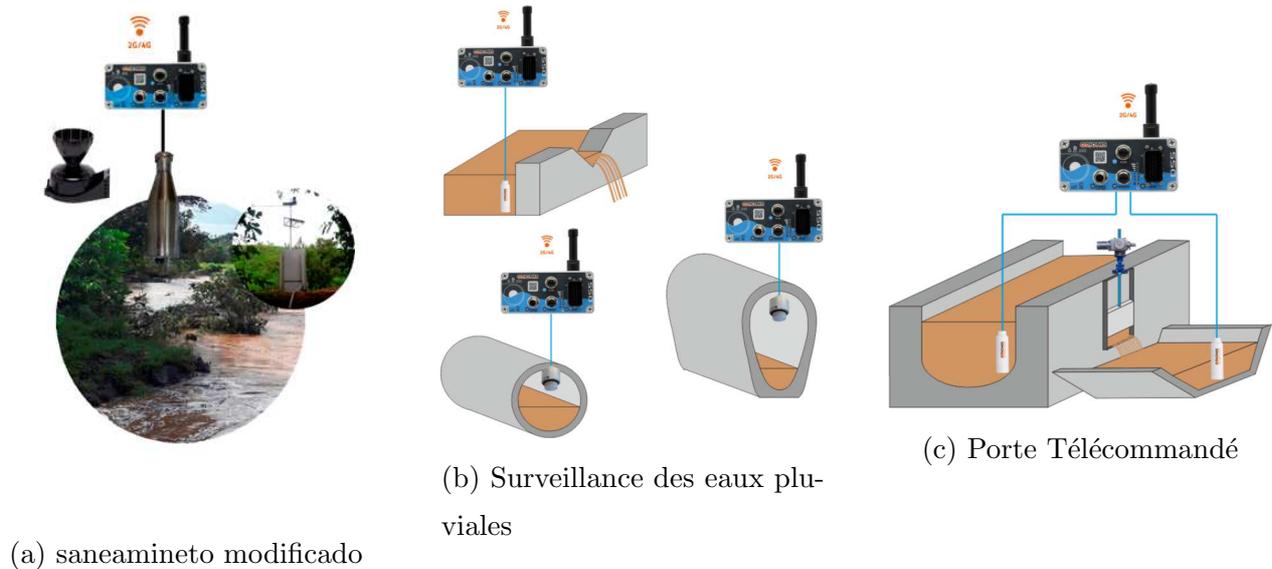


FIGURE 2.4 – Télégestion Part 2

2.4 Surveillance et contrôle à distance des stations de relevage :

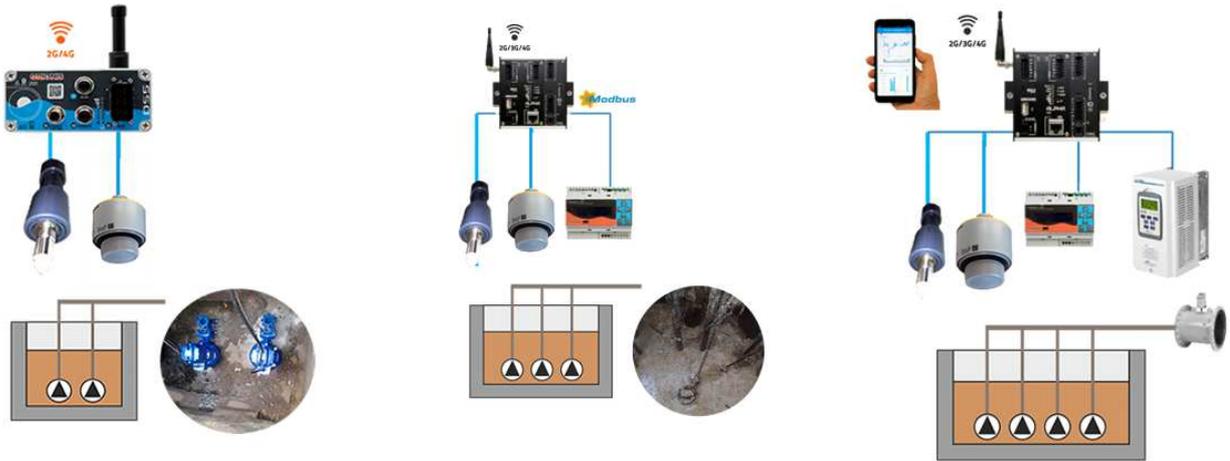
La gestion à distance permet une surveillance et une mise en œuvre simples et efficaces des systèmes de contrôle à distance des stations de pompage des eaux usées et des eaux pluviales, ainsi que le contrôle des débits et des débits à l'aide d'enregistreurs de données IoT et de capteurs associés. Surveillez toujours votre réseau d'égouts en temps réel. Avec cette application, vous pouvez gagner du temps de manière simple et efficace [17].

Monitoring stations de pompage des eaux usées Le monitoring des stations de pompage des eaux usées c'est : état, alarmes, niveau d'effluent et contrôle des rejets. La figure : 2.5a

Monitoring et télécontrôle stations de pompage des eaux usées le contrôle d'efficacité des stations de pompage des eaux usées : télémétrie du niveau, débordements, des paramètres électriques et de l'énergie consommée. La figure : 2.5b.

Surveillance et contrôle de l'énergie Parmi les choses les plus importantes liées à surveillance des stations de pompage des réseaux d'assainissement urbain c'est la détection de décharges, régulation d'énergie et de débit et la communication avec des équipements locaux.

La figure : 2.5c



(a) monitoring stations de pompage des eaux usées

(b) control minitrage

(c) Système Surveillance et contrôle de l'énergie

FIGURE 2.5 – Surveillance et contrôle à distance des stations de relevag

Télécontrôle coordonné des stations de relevage des eaux usées Le télécontrôle coordonné permet au système globale de coordonnés entre les déferents points de pompage en ligne pour éviter les rejets, états et les alarmes.

2.5 Conclusion

Au cours de ce chapitre, nous avons acquis une compréhension approfondie de l'Internet des objets (IOT) ainsi que de ses divers composants et secteurs d'application. Nous avons également examiné comment il est utilisé pour la gestion des réseaux d'assainissement urbain domestique et pluvial, en mettant l'accent sur les avantages et les solutions qu'il peut offrir dans ce domaine. Le maintien des ressources et de l'écosystème représente un défi majeur pour l'IoT. Les solutions connectées novatrices visent à aider les villes et les industries à prendre en compte ces enjeux environnementaux cruciaux.

Il s'agit de quelque chose qui encourage la créativité des chercheurs, un ajout plus harmonieux au domaine de l'évacuation des eaux usées et de pluie, en particulier en ce qui concerne les économies d'énergie et l'intervention en temps réel.

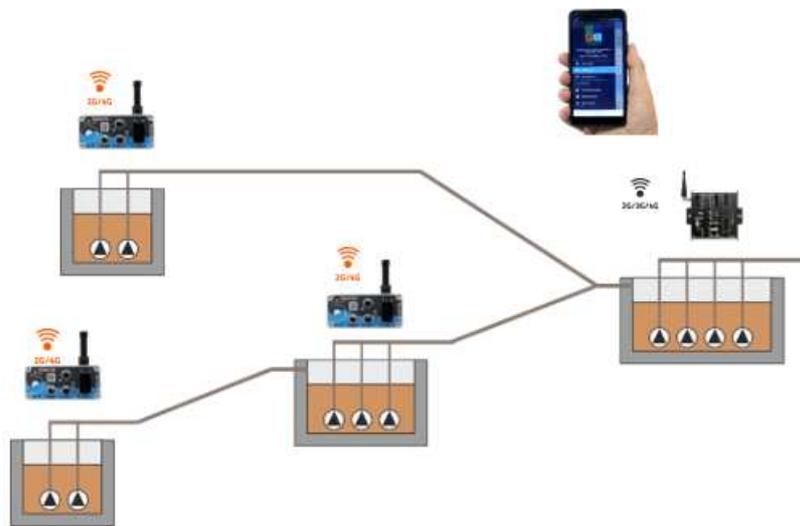


FIGURE 2.6 – La coordination

Chapitre 3

Modélisation de la commande par logique Floue

3.1 Introduction

Un réseau d'assainissement urbain est système compliqué et non linéaire. Le niveau d'eau dans les bassins de station de relevage, la vitesse d'écoulement sont influencés par les comportements des personnes, les précipitations et certains autres facteurs imprévus tels que les fuites dans les canaux. Avec l'expansion urbaine, le débit des eaux usées a considérablement augmenté. Par conséquent, il y a un grand défi dans le domaine de la gestion du réseau d'égouts. En raison de l'impact des multiples en amont, le simple contrôle du niveau d'eau existant est facile à provoquer le débordement des eaux usées et plus de coûts énergétiques, en particulier pour la station de pompage de convergence. Par conséquent, il est très important de créer la stratégie de contrôle optimale pour la station de convergence. L'objectif aujourd'hui de proposer une technique de régulation pour optimisé l'énergie. Un des objectifs de la régulation est assurer l'optimisation d'énergie avec un fonctionnement parfait des pompes. Ces techniques de commande ont prouvé leur efficacité dans de nombreux problèmes de régulation industrielle. Les méthodes de commande avancées (Régulateur adaptatif, Commande prédictive, Commande robuste...) permettent de répondre aux exigences d'un certain nombre de systèmes fortement non linéaires. Mais avec les problèmes de non-linéarité, la variation des paramètres et la qualité des variables mesurables, les systèmes de drainage ont une difficulté de contrôle automatique. Ces difficultés ont conduit à le but principal de la recherche scientifique dans le monde et au développement de nouvelles techniques telles que la commande floue particulièrement intéressante lorsqu'on ne dispose pas de modèle mathématique précis du processus à commander ou

lorsque ce dernier présente de fortes non linéarités ou imprécisions [13].

3.2 La théorie de la logique floue

3.2.1 Définition :

La logique floue est une extension de la logique booléenne qui permet la modélisation des imperfections des données et se rapproche dans une certaine mesure de la flexibilité du raisonnement humain.

Le terme logique floue à deux aspects :

- Le première correspond à tous les développements concernent la théorie des ensembles flous.
- Le deuxième représente une extension de la logique classique dans le but de raisonner sur des connaissances imparfaites[20].

Dans la théorie des ensembles conventionnels, une chose appartient ou n'appartient pas à un certain ensemble. Toutefois, dans la réalité, il est rare de rencontrer des choses dont le statut est précisément défini. Par exemple, où est exactement la différence entre une personne grande et une autre de grandeur moyenne. C'est à partir de ce genre de constatation que Zadeh a développé sa théorie. Il a défini les ensembles flous comme étant des termes linguistiques du genre : zéro, grand, négatif, petit. Ces termes existent aussi dans les ensembles conventionnels. Cependant, ce qui différencie ces deux théories sur les ensembles provient des limites des ensembles. Dans les ensembles flous, il est permis qu'une chose appartienne partiellement à un certain ensemble ; ceci s'appelle le degré d'appartenance. Dans les ensembles conventionnels, le degré d'appartenance est 0 ou 1 alors que dans la théorie des ensembles flous, le degré d'appartenance peut varier entre 0 et 1 (on parle alors de fonction d'appartenance μ).[22]

3.2.2 Les ensembles flous et l'appartenance :

La logique floue repose sur la théorie des ensembles flous, qui sont généralement de la théorie des ensembles classique, Nous utiliserons indifféremment les termes sous-ensembles flous et ensembles flous. Les ensembles classiques sont également appelés ensembles net, par opposition à flou, et de même la logique classique est également appelée logique booléenne ou binaire [23].

Soient l'univers du discours U un sous ensemble de U :

A Sous-ensemble classique : fonction caractéristique $\chi_A : U \longrightarrow \{0, 1\}$

Si $\mu_A(x)$ est la fonction d'appartenance caractéristique de l'ensemble A alors :

$$\forall x \in U \begin{cases} \mu_A(x) = 0 & \text{Si } x \notin A, \\ \mu_A(x) = 1 & \text{Si } x \in A. \end{cases} \tag{3.1}$$

A Sous-ensemble flou : fonction d'appartenance $\mu_A : U \rightarrow [0, 1]$

$$A = \{(x, \mu_A(x)), x \in U\}$$

Le degré d'appartenance est la valeur de vérité.

$$\begin{cases} A = \int_x \frac{\mu_A(x)}{x} & \text{Si } U \text{ est continu,} \\ A = \sum_{x=1}^n \frac{\mu_A(x)_i}{x_i} & \text{Si } U \text{ est discre.} \end{cases} \tag{3.2}$$

Représentation graphique d'un ensemble flou et classique :

Un ensemble classique est net, 0 à l'extérieur (n'appartient pas) et 1 à l'intérieur (appartient). Alors que pour la logique floue, il y a des nuance à l'intérieur il y a appartenance à cent pour cent, mais de plus en plus que on éloigne du centre l'appartenance tombe vers le zéro, nous somme ici dans une partie floue.

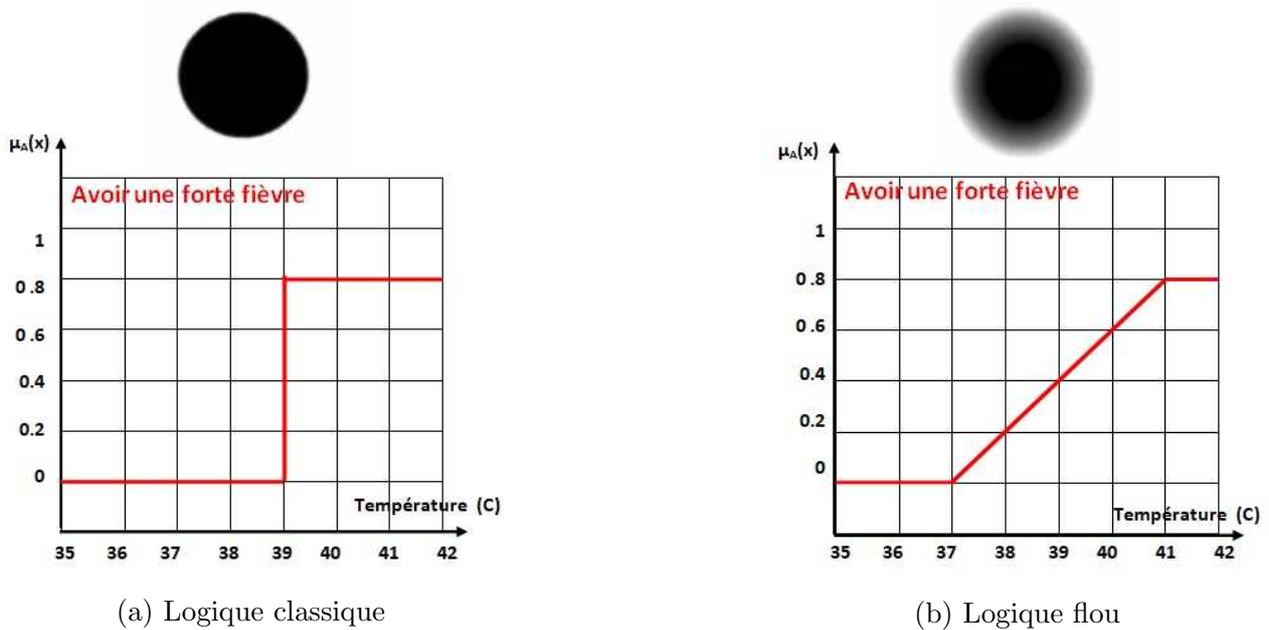


FIGURE 3.1 – Représentation graphique de Logique Classique et Flou

3.2.3 Opérateurs De La Logique Floue :

Les termes linguistiques sont connectés via les règles d'inférence par des opérateurs ET ou OU. Ces opérateurs de la logique floue agissent sur les fonctions d'appartenance qui représentent les Variables linguistiques. En outre, il y a l'opérateur NON qui est également connu sous les noms de complément, négation ou inverse.

L'intersection : Opérateurs ET A l'ensemble flou des personnes Petites taille.

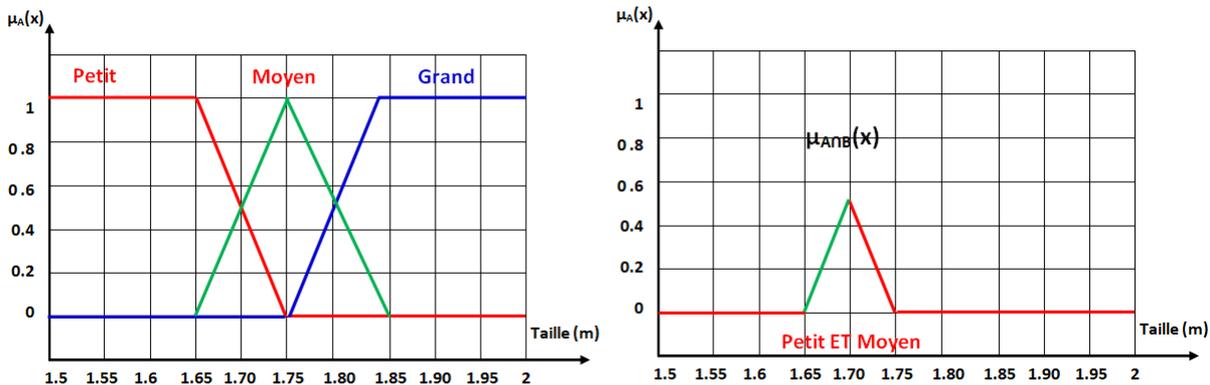


FIGURE 3.2 – Opérateurs ET

B l'ensemble flou des personnes Moyennes taille.

L'ensemble des personnes petites ET moyennes est un ensemble flou de fonction d'appartenance. 3.2

$$\mu_{A \cap B}(x) = \text{Min}(\mu_A(x), \mu_B(x)) \forall x \in U \tag{3.3}$$

La réunion : Opérateur OU

A l'ensemble flou des personnes Petites taille.

B l'ensemble flou des personnes Moyennes taille.

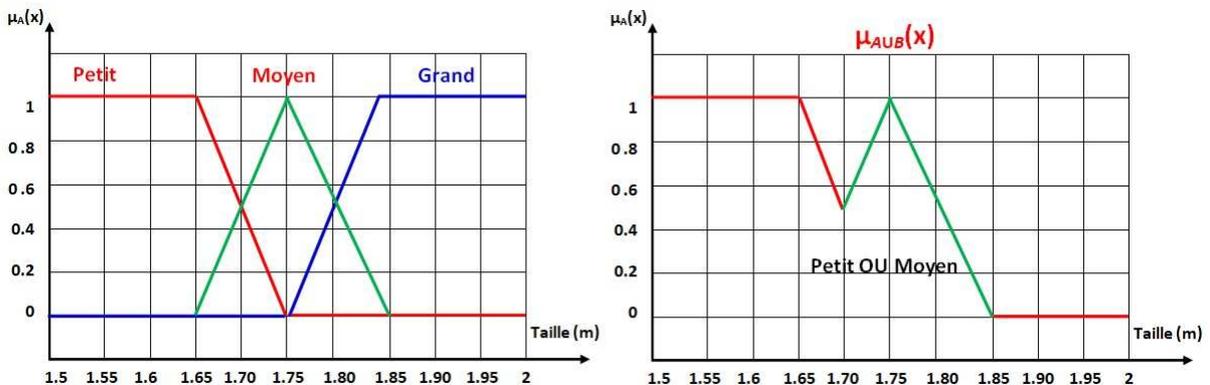


FIGURE 3.3 – Opérateurs OU

L'ensemble des personnes petites **OU** moyennes est un ensemble flou de fonction d'appartenance. 3.3

$$\mu_{A \cup B}(x) = \text{Max}(\mu_A(x), \mu_B(x)) \forall x \in U \tag{3.4}$$

Le Complément : Opérateurs NON

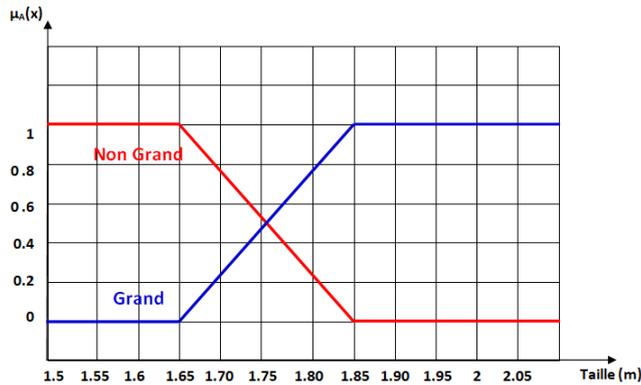


FIGURE 3.4 – Opérateurs NON

A l'ensemble flou des personnes grand taille :

L'ensemble des personnes **NON Grand** est un ensemble flou de fonction d'appartenance.

3.4

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \forall x \in U \tag{3.5}$$

3.3 Les variables floues :

La logique floue est basée sur des variables floues dites variables linguistiques à valeurs linguistiques dans l'univers du discours U

Une variable linguistique est caractérisée par un triplet (x, T(x), u) ou :

x : le nom de variable

T(x) : ensemble de termes de variable, c'est l'ensemble des noms des valeurs linguistiques de x dont chaque valeur est un sous-ensemble flou défini dans U.

U : l'univers de discours.

Exemple :

Univers de discours : Gamme de vitesse de 0 à 500 TR/M.

Variation linguistique : La vitesse.

Valeurs linguistique : Très lent , lent , vitesse moyen , rapide et Très rapide

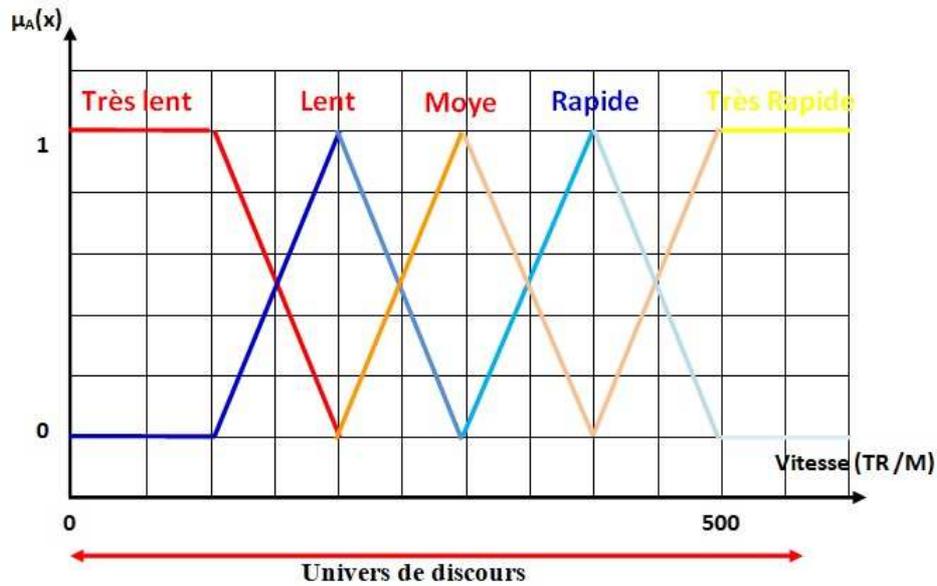


FIGURE 3.5 – Univers de discours

3.4 Système et commande flou :

Le principe d'un système flou c'est (SF) est une relation non linéaire qui permet de prendre des données numériques (les données capteurs), les faire passer au système un ensemble de règles formulés en langage naturel (dans un domaine flou) pour avoir des paramètres de sorties (sortie nette). La structure générale d'un système flou est donnée par la figure qui suit :

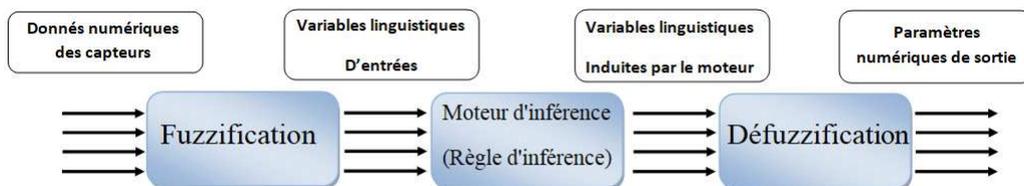


FIGURE 3.6 – Traitement Flou

3.5 Conception d'un contrôleur flou :

Un contrôleur flou est très similaire à un contrôleur traditionnel. A chaque fois, on retrouve un bloc de traitement, un bloc d'entrée (quantification, précalcul, etc.) et un bloc de sortie. Alors, un système flou est composé de quatre parties essentielles :

- L'interface de fuzzification.

- Base de connaissances floues, constituée d'une base de données et d'une base de règles.
- Le système d'inférence.
- Défuzzification.

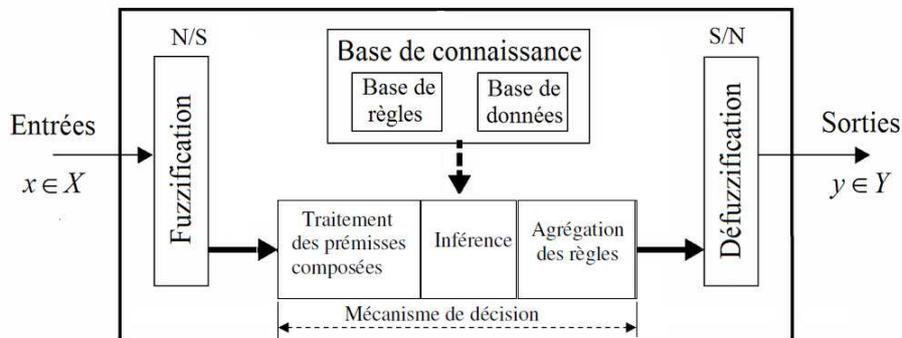


FIGURE 3.7 – Structure de base d'un contrôleur flou

3.5.1 Fuzzification

Dans les problèmes de commande, les données observées sont habituellement physiques (réelles). Ceci nécessite donc une procédure de fuzzification, qu'il consiste à transformer les grandeurs réelles en variables linguistiques qui sont associées à une base de données avec des ensembles les caractérisant. L'opération de fuzzification représente le passage des grandeurs réelles (ou physiques) aux valeurs floues. Cette étape nécessite souvent une conversion analogique/digitale, ainsi que le traitement des grandeurs mesurées et leur transformation en variables linguistiques avec la définition des fonctions d'appartenance. A l'univers de discours d'une entrée X (ensemble des valeurs possibles de x), on associera N sous-ensemble flous notés E_i (valeurs linguistiques). Chacun de ceux-ci sera défini par sa fonction d'appartenance.

$$\mu_{\mathcal{A}_x}(x) = \begin{cases} 1 & \text{si } x = x_0, \\ 0 & \text{si } x \neq x_0. \end{cases} \tag{3.6}$$

Fonction d'appartenance :

La fonction d'appartenance μ comprise entre 0 et 1 est associée au sous ensemble E_1 de $T(x)$ et à la variable x, dont l'ensemble des valeurs possible est $T(x)$. Elle s'appelle aussi, degré d'appartenance ou coefficient d'appartenance ou degré de possibilité, qui est la possibilité que

la variable u ait la qualité associée au sous-ensemble E_1 . Elle est utilisée pour faire le traitement mathématique des variables linguistiques dans le but de traiter des déductions floues par ordinateur. On attribue à chaque valeur de la variable linguistique des fonctions d'appartenance μ , une valeur déterminée pour la variable x sera désignée par facteur d'appartenance. Ils existent plusieurs formes de la fonction d'appartenance a s'avoir [21] :

Fonction d'appartenance triangulaire : La figure : 3.8a

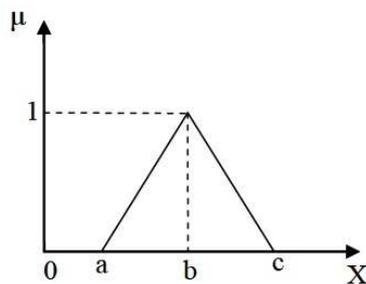
$$\mu(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{a-b} & \text{Si } a < x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b} & \text{Si } b < x \leq c \\ 0 & \text{ailleurs} \end{cases} \quad (3.7)$$

Fonction d'appartenance trapézoïdale : La figure :3.8b

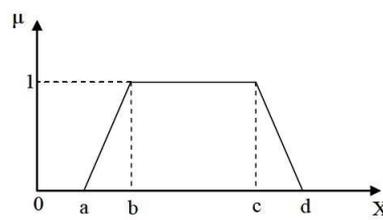
$$\mu(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{a-b} & \text{Si } a < x \leq b \\ 1 & \text{Si } b < x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c} & \text{Si } c < x \leq d \\ 0 & \text{ailleurs} \end{cases} \quad (3.8)$$

Fonction d'appartenance gaussienne : La figure : 3.8c

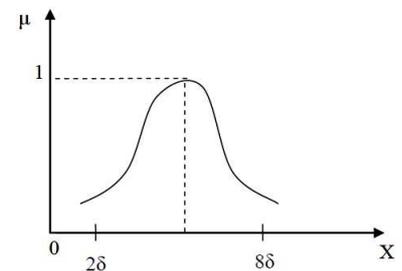
$$\mu(x) = \exp\left[-\left(\frac{x-m}{\delta}\right)^2\right] \text{ avec } -\infty < X < +\infty \quad (3.9)$$



(a) forme triangulaire



(b) Forme trapézoïdale



(c) Forme gaussienne

FIGURE 3.8 – Différentes formes de la fonction d'appartenance.

<i>NG</i>	<i>Ngatif Grand</i>
<i>NP</i>	<i>Ngatif Petit</i>
<i>NM</i>	<i>Ngatif Moyen</i>
<i>EZ</i>	<i>Environ Zro</i>
<i>PP</i>	<i>Positif Petit</i>
<i>PM</i>	<i>Positif Moyen</i>
<i>PG</i>	<i>Positif Grand</i>

TABLE 3.1 – Symbole de cinq intervalles ou sous ensembles flous

Les variables linguistiques :

Le rôle du bloc de fuzzification sera de déterminer pour un x_i donné (variable observée ou mesurée) les degrés d'appartenance de x_i à chacun des sous - ensemble flous E_i . [25] Le nombre des ensembles flous est sept pour toutes les variables linguistiques qui sont successivement notées au Tableau suivant 3.1 :

3.5.2 Base de connaissances floues

La base de connaissances comprend les informations du domaine d'application et la base des règles floues. Définit la collection des règles et tous les paramètres de contrôle de langue pertinents, qui permet de lier les variables floues d'entrée et de sortie, elles ont la forme : "if then" ou "si-alors".

La base de données

Se compose de la définition des ensembles flous et les facteurs d'échelle pour la normalisation et l'exploration des règles de contrôle flou ainsi que la manipulation des données dans le contrôleur flou. des ensembles de référence et la partition de l'espace flou d'entrée et sortie.

La base des règles floues

Elle concentre toutes les directives imprécises de nature conditionnelle qui expliquent en expressions linguistiques fondées sur l'expertise la conduite dynamique du système.

Les systèmes à logique floue utilisent une expertise exprimé sous forme d'une base de règles du types : Si..... Alors Si(X est A) Alors (Y est B)

-Si le bassin est vide et le flux faible alors arrête les pompes.

- Si le niveau d'eau au bassin est Bas et le flux moyen Alors pompée l'eau avec vitesse faible.
- Si le niveau d'eau au bassin est moyen et le flux plus que moyen Alors pompée avec vitesse moyenne.
- Si le niveau d'eau au bassin est haut Alors pompée avec grande vitesse.

3.5.3 Le système d'inférence (Moteur d'inférence floue)

Ce bloc représente le noyau du contrôleur flou, il s'agit d'un processus décisionnel qui permet, à partir d'un fait observé et de règles floues, de prendre une décision en utilisant un raisonnement approximatif. Les inférences par logique floue font appel aux opérateurs ET et OU. L'opérateur ET est utilisé pour les variables à l'intérieur d'une règle, tandis que l'opérateur OU relie les différentes règles. Plusieurs méthodes sont disponibles pour mettre en œuvre ces opérateurs dans une inférence, qui s'appliquent aux fonctions d'appartenance.

Deux approches d'inférence sont couramment utilisées :

- Implication de Méthode d'inférence **max-min (Mamdani)** :

$$\mu_R(x, y) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad (3.10)$$

- Implication de Méthode d'inférence **max-prod (Larsen)** :

$$\mu_R(x, y) = \mu_A(x) \cdot \mu_B(x) \quad (3.11)$$

Il y a aussi Méthode inférence **somme-prod (Sugeno)** mais moins utilisé.

Traitement numérique de l'inférence Après avoir choisi les règles d'inférence, les opérateurs de la logique floue permettent de choisir une méthode pour le traitement de l'inférence. Sachant que l'opérateur ET est le minimum, l'opérateur OU est le maximum et l'opérateur ALORS est le maximum. La méthode retenue sera la méthode min/max.[27]

3.5.4 Défuzzification

Cette étape consiste à réaliser l'opération inverse de la fuzzification, c'est-à-dire, obtenir une valeur physique de la sortie à partir de la surface obtenue, plusieurs méthodes de défuzzification existent. Comme pour tous les opérateurs flous, le concepteur du système ou doit choisir parmi plusieurs définitions possibles de défuzzification. [26] Les plus utilisées sont :

- Méthode du centre de gravité.
- Méthode du maximum.
- Méthode de moyennes des maximums.

$\frac{e}{\Delta(e)}$	<i>NG</i>	<i>NM</i>	<i>NP</i>	<i>EZ</i>	<i>PP</i>	<i>PM</i>	<i>PG</i>
<i>NG</i>	<i>NG</i>	<i>NG</i>	<i>NG</i>	<i>NG</i>	<i>NM</i>	<i>NM</i>	<i>EZ</i>
<i>NM</i>	<i>NG</i>	<i>NG</i>	<i>NG</i>	<i>NM</i>	<i>NP</i>	<i>EZ</i>	<i>PP</i>
<i>NP</i>	<i>NG</i>	<i>NG</i>	<i>NM</i>	<i>NP</i>	<i>EZ</i>	<i>PP</i>	<i>PM</i>
<i>EZ</i>	<i>NG</i>	<i>NM</i>	<i>NP</i>	<i>EZ</i>	<i>PP</i>	<i>PM</i>	<i>PG</i>
<i>PP</i>	<i>NP</i>	<i>NP</i>	<i>EZ</i>	<i>PP</i>	<i>PM</i>	<i>PG</i>	<i>PG</i>
<i>PM</i>	<i>NP</i>	<i>EZ</i>	<i>PP</i>	<i>PM</i>	<i>PG</i>	<i>PG</i>	<i>PG</i>
<i>PG</i>	<i>EZ</i>	<i>PP</i>	<i>PM</i>	<i>PG</i>	<i>PG</i>	<i>PG</i>	<i>PG</i>

TABLE 3.2 – Table de calcul de la variation de la commande

Méthode du centre de gravité :

La méthode la plus courante dans les contrôleurs flous est la défuzzification par centre de gravité, qui calcule la valeur moyenne de l'ensemble flou. La sortie défuzzifiée Z est ainsi déterminée.

$$\mathcal{X}_G = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \mu(x_i)}{\sum_{i=1}^n \mu(x_i)} \quad (3.12)$$

Méthode du maximum :

Pour cette méthode, la commande est égale à la commande locale ayant la fonction d'appartenance maximale :

$$U = \text{MAX}_z \in S(\mu_{RoS}(Z)) \quad (3.13)$$

Où S est le support de μ_{RoS}

Dans le cas général : U est indéterminé lorsque il existe plusieurs points qui maximisent $\mu_{RoS}(Z)$.

Pour cette raison on fait appel à la méthode des maximums. [27]

Méthode de la moyenne des maximums :

Cette stratégie de défuzzification génère une commande qui représente la valeur moyenne de toutes les actions de contrôle ayant des fonctions d'appartenance maximales. Dans le cas d'un univers de discours discret, l'action de commande est exprimée par [27] :

$$U = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^m Z_i \quad (3.14)$$

Ou : Z_i est la valeur de la commande avec laquelle la fonction d'appartenance associée atteint la valeur maximale $\mu_{RoS}(Z)$

L : est la nombre total des valeurs prises par la fonction d'appartenance.

3.6 Conception de contrôleur flou pour la situation de confluence

3.6.1 Analyse du contrôle optimal de la station de pompage des eaux usées :

Le contrôle du niveau d'eau simple existant uniquement en fonction du niveau actuel de contrôle de la pompe quel que soit l'état de fonctionnement de sa station de pompage en amont et en aval. Il existe plusieurs limitations dans ce mode de contrôle, comme suit :

- Le système de contrôle du niveau d'eau simple a le l'inconvénient d'une mauvaise performance de coordination. Il est facile de provoquer un débordement des eaux usées si la capacité d'afflux des eaux usées est importante en peu de temps.
- La méthode de contrôle traditionnelle ne peut pas ajuster les opérations de la pompe à la tendance future du niveau. De plus, pour éviter les débordements, le niveau d'eau doit toujours être maintenu à un niveau bas dans le contrôle du courant, ce qui entraîne une commutation fréquente de la pompe et une plus grande consommation d'énergie.
- Chaque station de pompage ne peut pas tirer pleinement parti de sa fonction de stockage et réaliser un fonctionnement optimal dans la méthode de contrôle traditionnelle. Lorsque les réserves d'eaux usées de chaque station de pompage en amont sont déséquilibrées et que le niveau d'eau de la station de pompage en aval est élevé, la station de pompage en aval risque de déborder si toutes les stations de pompage en amont continuent le drainage.
- La gamme complète des stratégies de contrôle ne peut pas être réalisée. Lorsque l'afflux dépasse de loin le Pour les deux premiers cas, selon la tendance des changements de niveau par le drainage amont et aval, on peut contrôler tôt pour éviter le gaspillage d'énergie. Quant au troisième cas, si le niveau de la piscine en aval atteint un certain rapport de profondeur et que le niveau de la piscine en amont est bas, la pompe de relevage peut être arrêtée pour utiliser pleinement la fonction de stockage de chaque station de pompage. Pour le dernier, le débit doit être dans la capacité de décharge en aval, sinon l'orifice de trop-plein doit être ouvert. Si la tendance du niveau d'eau de

la station de pompage locale est stable, chaque station fonctionnera toujours en mode traditionnel. [36]

3.6.2 Conception floue du contrôleur :

Sélection des variables d'entrée/sortie :

Sur la base de l'analyse ci-dessus du contrôle optimal de la station de pompage des eaux usées, nous savons que le contrôleur flou a trois objectifs principaux :

- 1 réaliser le contrôle optimal en fonction de la relation en chaîne de la station de pompage en amont et en aval.
- 2 réaliser le programmation des stations de pompage, et de tirer pleinement parti de l'équipement de stockage existant.
- 3 faire le programme de contrôle Du point de vue global pour économiser l'énergie.

Compte tenu des trois points ci-dessus, un exemple de stations de pompage distribuées a été donné, comme le montre la Figure 3.9. P_1 à P_5 sont la station de relevage, P_4 est la station locale. Dans cette étude, les variables d'entrée du contrôle flou sont le niveau d'eau actuel (L), la tendance de la prévision du niveau d'eau (ΔL), la différence de rapport de profondeur entre une station de pompage et ses stations de pompage sœurs (D_{4-3}), la différence de rapport de profondeur entre la station P_3 , P_4 et la station aval P_5 ($D_{3,4-5}$), et le débit supplémentaire maximal admissible de P_5 (marge de sécurité S). La sortie est le nombre de pompes ouvertes dans la station P_4 . Si la station P_4 n'a pas de nœud frère, à savoir en cascade, on ne considère que le $D_{3,4-5}$. où D_{4-3} , $D_{5-(3,4)}$ sont formulés comme suit :

Contrôle optimal flou de la station de pompage des eaux usées avec concentration de débit

$$\Delta L = \frac{L(t+1) + L(t+2) + L(t+3) \dots L(t+n)}{n} - L(t) \quad (3.15)$$

$$D_{4-3} = \frac{L_4}{H_4} - \frac{L_3}{H_3} \quad (3.16)$$

$$D_{(3,4)-5} = \text{Max}\left(\frac{L_4}{H_4}, \frac{L_3}{H_3}\right) - \frac{L_3}{H_3} \quad (3.17)$$

$$S_4 = \text{Min}((N_{Total} - N_{Avant}) \times (C, S - 5)) \quad (3.18)$$

Où t désigne le temps de prédiction ; n est la période de prédiction ; H est le niveau d'eau maximal du bief amont ; N_{total} est le nombre total de pompes ; N_{avant} est le numéro de la pompe ouverte ; C est la capacité de levage de la pompe. La valeur des variables d'entrée/sortie correspond à la valeur dans le flou ensembles de variables linguistiques. La définition des ensembles de variables linguistiques floues en entrée est : $L = \{ZE : \text{zéro}, MP : \text{moins petit},$

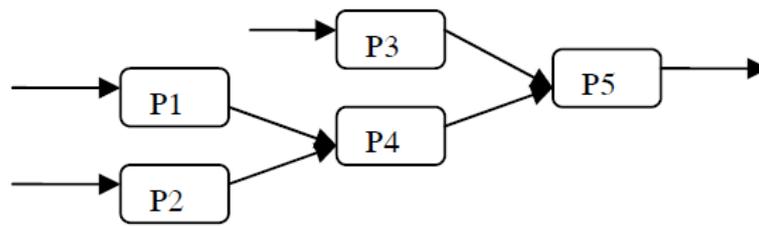


FIGURE 3.9 – Plan d’affectation de la station de pompage de confluence

P :petit, PG :plus grand, G :grand } ; $\Delta L = \{GN : \text{négatif grand, } PN : \text{négatif petit, } ZE : \text{zéro, } PP : \text{petit positif, } GP : \text{grand positif} \}$; $D_{4-3} = \{ P : \text{petit, } G : \text{grand} \}$; $D_{3,4-5} = \{ P : \text{petit, } G : \text{grand} \}$; $S_4 = \{ ZE : \text{zéro, } MP : \text{moins petit, } P : \text{petit, } PG : \text{plus grand, } G : \text{grand} \}$.

La définition des ensembles de variables linguistiques floues en sortie est la suivante : $N = N_0$:off, N_1 :Ouvrir 1 pompe, N_2 : ouvrir 2 pompes, N_3 : ouvrir 3 pompes, N_4 : ouvrir 4 pompes ; $O = U$:on, D :off On peut voir que cette structure de contrôleur floue est de 5 entrées, 2 sorties. Un bloc schéma de la commande floue pour la station de pompage de confluence est illustré à la Fig.3. Où ΔL peut être calculé à partir du modèle prédictif de la station de pompage à confluence, et la sortie du contrôleur flou N est également traitée comme une entrée du modèle de prédiction.

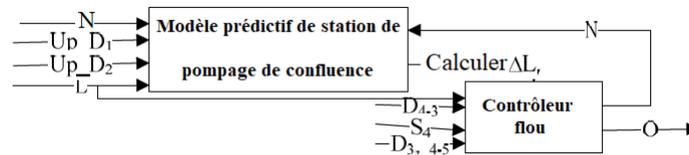
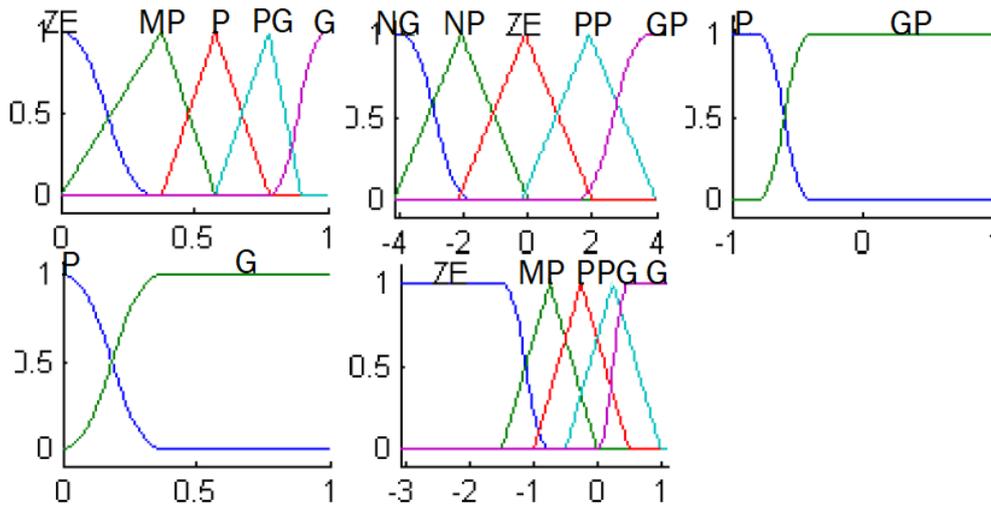


FIGURE 3.10 – Schéma de diagramme de la station de pompage

Fuzzification :

Les ensembles flous sont utilisés pour quantifier les informations dans la base de règles, et le mécanisme d’inférence fonctionne sur des ensembles flous pour produire des ensembles flous ; par conséquent, nous devons spécifier comment le système flou convertira ses entrées numériques en ensembles flous afin qu’ils puissent être utilisés par le système flou. La fonction d’appartenance permet d’associer une note à chaque terme linguistique. Une fois les entrées et les sorties du contrôleur flou choisies, il faut réfléchir à ce que sont les fonctions d’appartenance (FA) appropriées pour ces variables d’entrée et de sortie .[36]

FIGURE 3.11 – Fonction d'appartenance de L , ΔL , D_{4-3} , $D_{3,4-5}$ et S_4

Établir une inférence floue :

Les règles de contrôle de la logique floue sont construites sur la base de l'analyse des contrôle. Dans la marge de sécurité, si le rapport de profondeur dans les stations de pompage en aval et les nœuds frères sont élevés et le centre rempli d'un degré bas, la pompe du centre la station doit être fermée pour exercer une pression vers le bas sur le drainage. Si le changement la tendance du niveau d'eau local est stable, le mode de fonctionnement de la pompe est déterminé par la valeur en temps réel du niveau d'eau. Si $S_4=ZE$, alors $N=N_0, O=U$. Sous cette condition, le niveau d'eau est très élevé, la porte de trop-plein doit donc être ouverte. Si $D_{4-3} = S$ et $D_{(34)-5} = S$, la règle est indiquée dans les tableaux 1 à 4; Si $D_{4-3} = P$ et $D_{3,4-5} = S$, la règle est indiquée dans Tableau 3.3; Si $D_{4-3}! = P$ et $D_{(34)-5}! = P$, la règle est indiquée dans le tableau 3.4; Par exemple, dans le tableau 3.3, lorsque $S_4=MP$ montre que le nombre de pompes ouvertes pourrait en ajouter une autre dans station de pompage de confluence si le niveau d'eau des stations de pompage P_4 et P_5 est assez élevée et la marge de sécurité est relativement faible. [36]

3.7 Mise en œuvre de la stratégie floue auto-adaptative

Le noyau principal des réseaux d'égouts est constitué par les stations de pompage, qui sont considérées comme leur médiateur et leur cœur battant, en raison de leur recours à divers moyens pour élever l'eau de différentes zones vers la station d'épuration. C'est pourquoi les pompes dans les stations sont la partie la plus importante de ce système. La plupart des

	S4=MP					S4=P					S4=MP					S4=G				
	G N	P N	Z E	P P	G P	G N	P N	Z E	P P	G P	G N	P N	Z E	P P	G P	G N	P N	Z E	P P	G P
ZE	N 0	N 0	N 0	N 1	N 1 / U	N 0	N 0	N 0	N 1	N 2	N 0	N 0	N 0	N 1	N 2	N 0	N 0	N 0	N 1	N 2
MP	N 0	P 0	N 1	N 1 / U	N 1 / U	N 0	P 0	N 1	N 2	N 2 / U	N 0	P 0	N 1	N 2	N 3	N 0	P 0	N 1	N 2	N 3
P	N 0	N 1	N 1 / U	N 1 / U	N 1 / U	N 0	N 1	N 2	N 2 / U	N 2 / U	N 0	N 1	N 2	N 3	N 3 / U	N 0	N 1	N 2	N 3	N 4
PG	N 1	N 1 / U	N 1 / U	N 1 / U	N 1 / U	N 1	N 2	N 2 / U	N 2 / U	N 2 / U	N 1	N 2	N 3	N 3 / U	N 3 / U	N 1	N 2	N 3	N 4	N 4 / U
G	N 1 / U	N 2	N 2 / U	N 2 / U	N 2 / U	N 2 / U	N 2	N 3	N 3 / U	N 3 / U	N 3 / U	N 2	N 3	N 4	N 4 / U	N 4 / U				

TABLE 3.3 – Table de règles de contrôle de S4=LS,S,LL,L quand si D4-3!=S et D3,4-5! = S

$\frac{L}{\Delta L}$	S4=MP					S4=P					S4=MP					S4=G				
	G N	P N	Z E	P P	G P	G N	P N	Z E	P P	G P	G N	P N	Z E	P P	G P	G N	P N	Z E	P P	G P
ZE	N 0	N 1	N 0	N 0	N 0	N 0	N 1													
LS	N 0	N 0	N 0	N 0	N 1	N 0	N 0	N 0	N 1	N 2	N 0	N 0	N 0	N 1	N 2	N 0	N 0	N 0	N 1	N 2
S	N 0	N 0	N 0	N 1	N 1	N 0	N 0	N 1	N 2	N 2	N 0	N 0	N 1	N 2	N 3	N 0	N 0	N 1	N 2	N 3

TABLE 3.4 – Table de règles de contrôle de S4=LS,S,LL,L lorsque D4-3=S et D(3,4)-5=S

entreprises cherchent à développer les moteurs qui sont inclus dans l'installation de ces pompes, et à en faire un mécanisme de contrôle automatique qui peut s'adapter à tout moment et en toute saison en temps réel.

Dans ce chapitre, nous allons appliquer une sorte de stratégie floue auto-adaptative dans le moteur à courant continu sans balais (MCCSB) système de contrôle, qui est basé sur la puce STM32 et les conceptions correspondantes du matériel et du logiciel de l'ensemble, le système de contrôle MCCSB est établi respectivement. Une sorte de stratégie floue auto-adaptative a été proposée et appliquée dans le contrôleur de vitesse dans cet article, et le système de contrôle MCCSB basé sur STM32 correspondant a également été implémenté. Enfin, les courbes de démarrage et de changement de vitesse du contrôleur PI traditionnel et du contrôleur PI flou auto-adaptatif ont été données respectivement. De la comparaison, nous pouvons conclure que le système de contrôle MCCSB basé sur la stratégie proposée fonctionne mieux dans les caractéristiques dynamiques et statiques.

3.8 Systèmes auto-adaptatifs :

Un système auto-adaptatif modifie son propre comportement suite aux changements de son environnement et de son système d'exploitation. Il dépend des propriétés du système, des exigences de l'utilisateur et des caractéristiques de l'environnement. Le système auto-adaptatif est constitué d'un système en boucle fermée qui change au moment de l'exécution en utilisant des activités de surveillance (M), d'analyse (A), de planification (P) et d'exécution (E) basées sur la connaissance de l'expertise de détection d'anomalies tel que montré par la figure 3.12 .

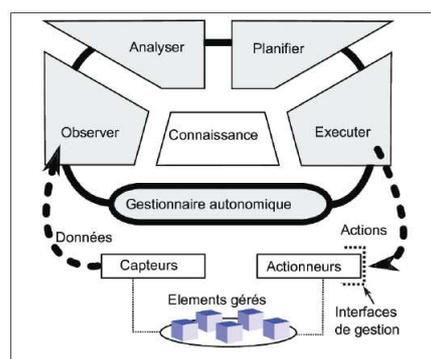


FIGURE 3.12 – Un système auto-adaptatif

3.9 Un moteur CC sans balais

Un moteur sans balais, ou « moteur brushless », ou machine synchrone auto-pilotée à aimants permanents, est une machine électrique de la catégorie des machines synchrones¹, dont le rotor est constitué d'un ou de plusieurs aimants permanents et pourvu d'origine d'un capteur de position rotorique : capteur à effet Hall, synchro-résolver, codeur rotatif (par exemple codeur incrémental), ou tout autre système permettant l'auto-pilotage de la machine [28].

3.9.1 Fonctionnement :

Vu de l'extérieur, il fonctionne en courant continu. Son appellation (de l'anglais brushless) vient du fait que ce type de moteur ne contient aucun collecteur tournant et donc pas de balais. Toutefois un système électronique de commande doit assurer la commutation du courant dans les enroulements statoriques. Ce dispositif peut être, soit intégré au moteur pour les petites puissances, soit extérieur sous la forme d'un convertisseur de puissance de type onduleur. Le rôle de l'ensemble capteur plus électronique de commande est d'assurer l'auto-pilotage du moteur, c'est-à-dire l'orthogonalité du flux magnétique rotorique par rapport au flux statorique, rôle autrefois dévolu à l'ensemble balais-collecteur sur une machine à courant continu [28].

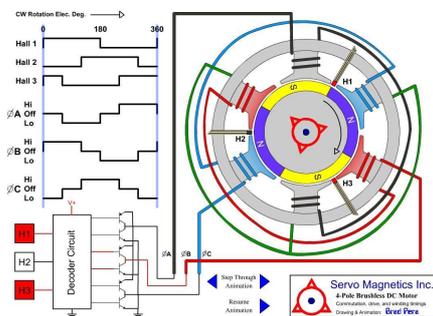


FIGURE 3.13 – Un moteur CC sans balais

3.9.2 Le modèle mathématique de MCCSB

Pour analyser et développer le schéma de contrôle présenté, les hypothèses suivantes sont faites :

- les enroulements triphasés sont équilibrés,
- Le champ magnétique n'est pas saturé et la perte d'hystérésis,
- la perte de courant de Foucault et la réaction d'induit sont négligé, l'effet cogging est négligeable, Les dispositifs de commutation sont idéaux dans le circuit de conduite.

Par conséquent, l'équation d'équilibre de tension du stator triphasé peut être exprimée par l'équation d'état suivante [29].

$$\begin{bmatrix} V_{an} \\ V_{bn} \\ V_{cn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R & 0 & 0 \\ 0 & R & 0 \\ 0 & 0 & R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L - M & 0 & 0 \\ 0 & L - M & 0 \\ 0 & 0 & L - M \end{bmatrix} \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} E_a \\ E_b \\ E_c \end{bmatrix} + V \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.19)$$

$$V_n = \frac{V_{an} + V_{bn} + V_{cn}}{3} - \frac{E_a + E_b + E_c}{3} \quad (3.20)$$

où V_{an} , V_{bn} , V_{cn} — tensions de phase de l'enroulement du stator.

I_a , I_b , I_c courants de phase de l'enroulement du stator.

E_a , E_b , E_c contre-électromotrices de l'enroulement du stator.

R : résistance de l'enroulement du stator.

L : auto-inductance de l'enroulement du stator.

M : inductance mutuelle entre les enroulements du stator.

Les relations entre les courants traversant la phase A, B, C peuvent être exprimés comme

$$I_a + I_b + I_c = 0 \quad (3.21)$$

Les relations entre le couple électromagnétique et la vitesse peut être exprimée comme

$$T_e = \frac{E_a I_a + E_b I_b + E_c I_c}{\omega} \quad (3.22)$$

où T_e est le couple électromagnétique, ω est le moteur vitesse angulaire, donnée par

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \quad (3.23)$$

où n est la vitesse du moteur.

Les relations du couple électromagnétique, du couple de charge, et la vitesse peut être décrite par l'équation de mouvement mécanique

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{T_e - T_L - B\omega}{J} \quad (3.24)$$

où T_L est le couple de charge, B est le coefficient de frottement, J est le moment d'inertie.

3.10 Conception de contrôleur PI Flou auto-adaptatif :

Le contrôleur PI traditionnel est le plus largement utilisé pour le MCCSB en raison de sa structure simple, de son réglage facile et pratique. Cependant, les contrôleurs PI conventionnels

ne peuvent pas très bien fonctionner dans le système de contrôle MCCSB qui est fortement couplé et non linéaire. De plus, le régulateur PI traditionnel du système de contrôle de vitesse MCCSB ne peut pas s'ajuster lorsque le système modifie ses paramètres, ce qui entraîne une faible capacité d'auto-ajustement. Par conséquent, la méthode de commande PI floue auto-adaptative est proposée pour résoudre ce problème. Le contrôle flou auto-adaptatif ne nécessite pas de modèle mathématique précis de l'objet contrôlé et il utilise l'expérience humaine pour adopter une stratégie de contrôle. La stratégie de contrôle PI auto-adaptative floue peut être un moyen très approprié de gérer l'incertitude, la non-linéarité, la variabilité temporelle et les systèmes fortement couplés tels que le système de contrôle MCCSB [30]. Il combine les avantages du PI traditionnel et du contrôle logique flou, il peut non seulement éliminer les erreurs d'état stable se produisant dans le système de contrôle flou pur, mais également ajuster ses paramètres en ligne lorsque les conditions de fonctionnement changent, améliorant ainsi la dynamique et la stabilité. performance de l'ensemble du système de contrôle [31].

Nous choisissons la différence e , entre la vitesse attendue et la vitesse réelle, et la dérivée de e comme entrées du contrôleur flou et la dérivée de e peut être définie comme ec . Le graphique de structure du contrôle PI flou auto-adaptatif est illustré à la Figure 3.14. Ensuite, la valeur réglée de K_p et K_i peut être exprimée comme

$$K_p = K_p + \Delta K_p \tag{3.25}$$

$$K_i = K_i + \Delta K_i \tag{3.26}$$

où K_p K_i sont des valeurs accordées et K_p , K_i sont des valeurs originales.

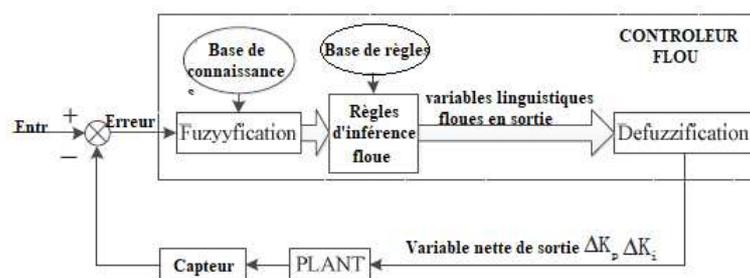


FIGURE 3.14 – Organigramme de contrôle flou

3.10.1 Fuzzification :

Les domaines de base des entrées sont la plage de e , ec et les sorties sont la plage des paramètres PI. Afin d'économiser les ressources en CPU de la puce maître et le temps passé

à calculer, nous choisissons 0-0x0100 pour exprimer l'appartenance qui est à l'origine une virgule flottante allant de 0 à 1. Et les deux ensembles flous de e et ec sont pris comme $[-0x0800, 0x0800]$, et nous prenons $[0, 0x0800]$ comme les ensembles flous de ΔK_p ΔK_i . Bien que de nombreux types de courbes puissent être utilisés pour les fonctions d'appartenance floues, et par souci de simplicité, nous prenons la fonction d'appartenance de forme triangulaire comme nos fonctions d'appartenance. Les sept fonctions d'appartenance sont : Grand Negative (GN), Negative Moyen(NM), Petit Negative (PN), Zero (ZE), Petit Positive (PP), Positive Moyen(PM) et Grand Positive (GP). Évidemment, les sorties K_p et K_i n'ont pas de sorties négatives.

3.10.2 Règles de contrôle floues et défuzzification

Les règles de contrôle floues sont une série d'instructions conditionnelles floues basées sur les connaissances et l'expérience des experts. En général, les règles peuvent être exprimées comme suit [32].

- Si $|e|$ est grand positif (GP), ALORS le ΔK_p doit être grand positif (GP), tandis que ΔK_i doit être égal à zéro (ZE).
- Si $|e|$ est Positif Moyen (PM), ALORS le ΔK_p doit être positif petit (PP), et ΔK_i doit être positif Moyen (PM).
- Si $|e|$ est petit positif (PP), ALORS les ΔK_p et ΔK_i doivent être grands positifs (GP).

Ainsi, les règles de commande floues auto-adaptatives peuvent être établies comme indiqué dans le Tableau 3.5. Et l'inférence Mamdani est adoptée comme méthode d'inférence floue. Selon les règles de contrôle floues auto-adaptatives du tableau 3.6, un ensemble flou de sorties peut être obtenu en utilisant la méthode d'inférence de Mamdani lorsque des entrées sont données. Après un raisonnement flou, nous avons une variable de sortie linguistique qui doit être traduite en une valeur nette. Il existe de nombreuses méthodes de défuzzification, telles que la méthode du centre de gravité, la méthode du centre du maximum, la méthode de la moyenne pondérée. Afin de simplifier le calcul, la Pondération La méthode moyenne est employée ici.

	e						
ec	GN	MN	PN	ZE	PP	PM	GP
GN	GP	GP	PM	PP	MP	GP	GP
MN	GP	GP	PM	PP	MP	GP	GP
PN	GP	PM	PP	PP	PP	PM	GP
ZE	GP	PM	PP	PP	PP	PM	GP
PP	GP	PM	PP	PP	PP	PM	GP
PM	GP	GP	PM	PP	PM	GP	GP
GP	GP	GP	PM	PP	PM	GP	GP

TABLE 3.5 – Règles de Contrôle floues pour ΔK_P

	e						
ec	GN	NM	PN	ZE	PP	PM	GP
GN	ZE	PP	GP	GP	GP	PP	ZE
NM	ZE	PP	GP	GP	GP	PP	ZE
PN	ZE	ZE	PM	GP	PM	ZE	ZE
ZE	ZE	ZE	PM	GP	PM	ZE	ZE
PP	ZE	ZE	PM	GP	PM	ZE	ZE
PM	ZE	PP	GP	GP	GP	PP	ZE
GP	ZE	PP	GP	GP	GP	PP	ZE

TABLE 3.6 – Règles de Contrôle floues pour ΔK_I

3.11 Mise en œuvre du contrôle basé sur STM32 système :

3.11.1 Structure de l'ensemble du système de contrôle :

La structure de l'ensemble du système de contrôle *MCCSB* est illustrée à la Figure 3.15. Pour que le système de contrôle *MCCSB* ait de bonnes performances dynamiques et statiques, une stratégie de contrôle à double boucle est présentée, dans laquelle la boucle de vitesse externe utilise un contrôleur PI flou auto-adaptatif et la boucle de courant interne utilise toujours le contrôleur PI traditionnel. Nous choisissons *STM32F103* comme puce principale du système de contrôle, car *STM32F103* est bon marché et a la caractéristique de faible consommation

d'énergie, plus important encore, il a une fiabilité et des performances élevées par rapport aux autres puces de contrôle. Le système de contrôle contient principalement un capteur de position et de vitesse HALL, des MOSFET et le circuit d'entraînement correspondant, un circuit d'échantillonnage de courant. Selon les signaux du capteur HALL, la position spécifique du rotor du moteur est évaluée et la vitesse réelle (ω) du moteur est également calculée. L'erreur entre la vitesse de référence (ω^*) et la vitesse réelle (ω) est obtenue et renvoyée au régulateur PI flou auto-adaptatif. À la lumière de la tension aux bornes des résistances de l'échantillon, nous pouvons calculer le courant traversant le moteur. En comparant le courant réel (i) avec la sortie du contrôleur PI flou auto-adaptatif (i^*), l'erreur est envoyée au contrôleur PI. Étant ajustée par le contrôleur PI, l'erreur est transformée en signaux de commande PWM par STM32. Afin de contrôler les MOSFET dans un onduleur à pont complet, STM32 envoie les signaux de commande PWM au circuit de commande MOSFET, après les amplitudes des signaux PWM sont suffisamment fortes pour contrôler les MOSFET. Selon les signaux du circuit HALL, nous pouvons identifier la position du rotor et effectuer la commutation sans balais [33].

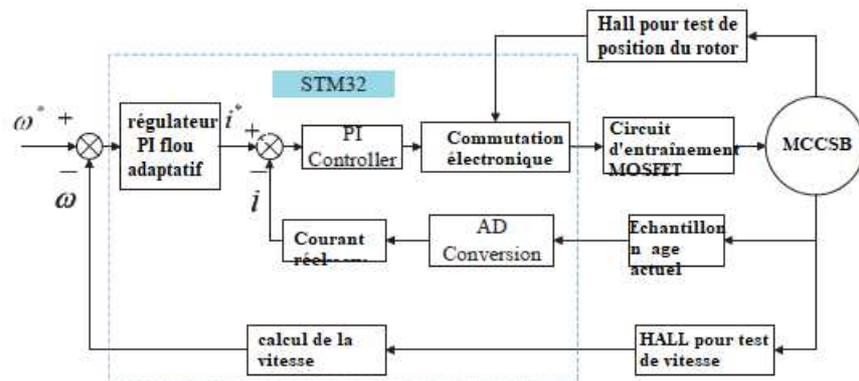


FIGURE 3.15 – Structure du système de contrôle

3.11.2 Conception matérielle :

Le système de contrôle MCCSB basé sur le STM32 est principalement composé d'un circuit d'alimentation, d'un circuit de contrôle du système minimum, d'un circuit d'échantillonnage de courant, d'un capteur HALL, d'un circuit inverseur à pont complet et de son circuit de commande, etc. Le système minimum STM32 est composé d'une puce de contrôle principale STM32F103RBT6, d'un circuit d'interface de simulation JTAG et d'un circuit d'interface de communication série. STM32 est utilisé pour recevoir toutes sortes de signaux donnés et les signaux de retour du capteur HALL et du circuit d'échantillonnage de courant. Ensuite, des

signaux d'impulsion PWM sont générés et envoyés au circuit de commande. Le circuit d'interface de simulation JTAG nous permet de télécharger facilement notre projet dans la puce. À l'aide du circuit d'interface de communication série, nous pouvons observer la forme d'onde de vitesse via la boîte à outils de contrôle des instruments de la boîte à outils Matlab/Simulink et ajuster les paramètres de l'algorithme de contrôle de manière pratique.

Comme le montre la Figure 3.16, l'onduleur triphasé à pont complet se compose de 6 MOSFET. Pour éviter qu'un courant important ne circule directement à travers deux dispositifs MOSFET dans le même bras dans le sol, nous devons nous assurer que PWM1H O et PWM1L I, PWM2H O et PWM2L I, PWM3H O et PWM3L I sont complémentaires. La vitesse du moteur est déterminée par le rapport cyclique de l'onde PWM.

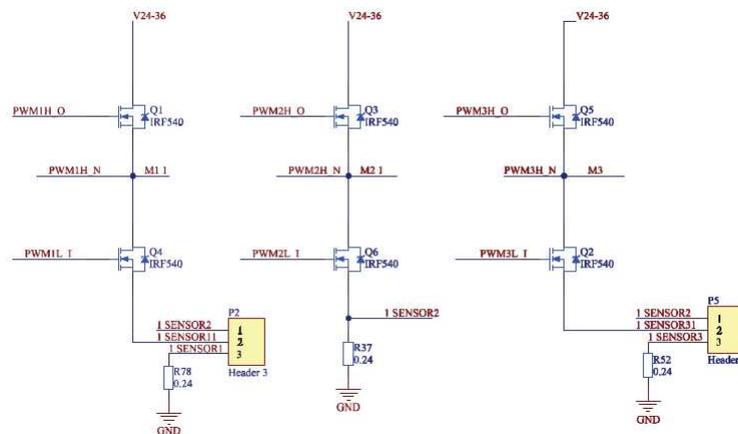


FIGURE 3.16 – Onduleur à pont complet composé de 6 MOSFET

Étant donné que les signaux PWM du MCU ne sont pas assez puissants pour piloter directement les MOSFET, un circuit de pilotage est requis et illustré à la Figure 3.17. Nous utilisons IR2136S comme puce principale dans le circuit de pilotage, car il peut produire 6 impulsions PWM seules, dans la simplification de la conception des circuits [34]. Le courant réel peut être obtenu en échantillonnant la tension aux bornes des résistances dans l'onduleur à pont complet.

3.11.3 Conception de logiciels :

Sur la base du matériel conçu ci-dessus, l'organigramme du projet principal est illustré à la Figure 3.18. Nous pouvons comparer la vitesse de référence à la vitesse réelle pour obtenir l'erreur, STM32 envoie des impulsions PWM avec un rapport cyclique correspondant qui rend la vitesse du moteur changer en conséquence. Lorsque la touche de démarrage est enfoncée,

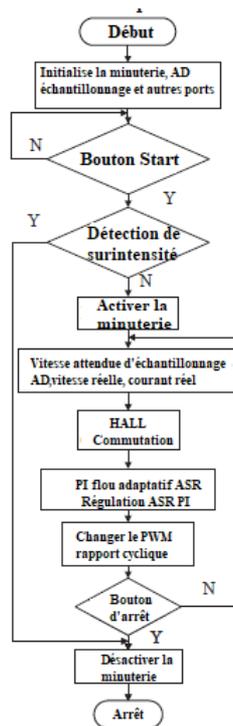


FIGURE 3.18 – Conception de logiciels

l'impact du fonctionnement d'une pompe ouverte sur l'afflux des eaux usées, améliorer la fiabilité et la précision du modèle de prédiction, afin d'optimiser le contrôle flou et d'atteindre un niveau de contrôle intelligent pour la station de pompage. Nous avons parlé de la possibilité de créer un système intégré en employant chacun des contrôleurs basés sur la logique floue, ainsi que le moteur MCCSB et la carte de développement STM32. Nous avons également expliqué toutes les parties du système, qu'elles soient matérielles ou logicielles.

Chapitre 4

Réalisation pratique

4.1 Introduction :

Nous allons illustrer tous les concepts vagues dans la gestion des RAU a travers une réalisation pratique d'un banc d'essai d'une station de relevage. la station de relevage et la partie la plus importante dans le processus de gestion.

Dans ce chapitre, nous présentons en premier lieu, la réalisation de la station de relevage des eaux usées et pluviales de la structure jusqu'au placement des capteurs et les actionneurs et aussi programme Stm32CUBEide. En seconde lieu, la partie local dans lequel la station est contrôlé avec MATLAB et nous affiche Les niveaux d'eau dans les bassins, et le débit d'évacuation. La dernier étape, la partie à distance est faite avec un site web qui affiche le niveau et le débit et aussi contrôle la station par des messages. au débit on va présenter la carte électronique STM32 comme un module de notre projet On va voire c'est quoi la carte STM32, ses composants, ses fonctionnalités aussi on parle du langage C son importance et sa simplicité pour contrôler les GPIO.

4.2 Principe de fonctionnement :

L'idée est de réaliser cette maquette permet de simuler le fonctionnement réel de gestion des réseaux d'assainissement urbain à trois bassins en temps réel. Le but de la station de relevage est de pouvoir récupérer les eaux usées se situant dans les réservoirs et les acheminer vers la cuve. L'ensemble est constitué de deux bassins de décantation un pour l'eau usée domestique et l'autre pour l'eau pluviale chaque bassin équipée d'une électrovanne, pompe à eau, débitmètre

et capteur de niveau ultrason. L'eau des deux bassins est évacuée au troisième bassin qu'il est au point plus haut que les deux premiers. Ce système fonctionne à des vitesses variables en fonction du niveau d'eau dans les bassins et de la vitesse d'écoulement de l'eau, à base de logique floue. Et selon l'Internet des objets, il est possible de visualiser la vitesse d'écoulement et le niveau d'eau dans chaque bassin.

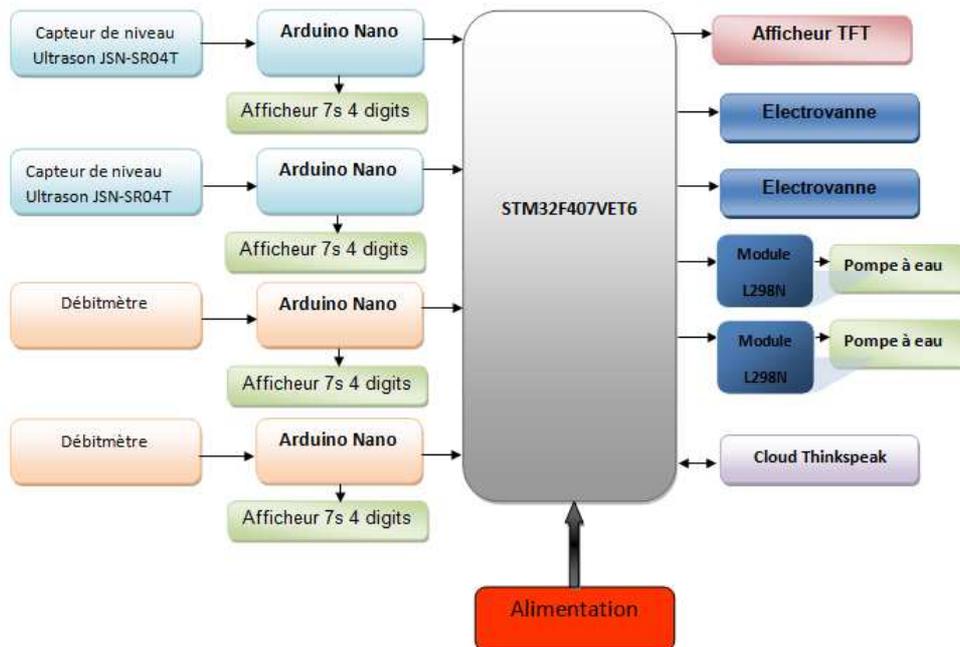


FIGURE 4.1 – Présentation de la structure de fonctionnement

4.3 Cahier des charges :

Le but de ce projet est de pouvoir relever l'eau usée et pluviales suivant le taux de remplissage dans les bassins (haut de 40 cm) en mettant en œuvre une régulation de niveau sachant que le débit varie en fonction des saisons. La station est équipée de : le mode de fonctionnement de la station est automatique. Initialement, lorsque le niveau est bas, la station est dans un état d'arrêt pour maintenir l'intégrité des pompes. Lorsque le niveau de l'eau monte, les capteurs le captent et envoient le signal à l'unité de traitement, ouvrant électrovanne et allumant les pompes à une vitesse minimale. Plus le niveau d'eau et la vitesse d'écoulement sont élevés, plus l'eau est pompée rapidement vers le bassin supérieur jusqu'à ce que la vitesse maximale soit atteinte, et il s'agit d'une relation proportionnel entre le niveau d'eau dans les bassins et la variation de vitesse de évacuation de l'eau.

- Le mode dégradé consiste à faire fonctionner l'un des groupes avec un démarreur électronique dès que le niveau haut signalé par un capteur TOR est atteint suite à un défaut. L'arrêt est obtenu si le niveau bas est détecté.

4.4 Présentation de Matériel :

Nous allons maintenant aborder toutes les pièces nécessaires pour compléter la maquette de la station de pompage, qu'elle soit mécanique ou électronique, avec mention de l'aspect programmation :

4.4.1 Choix de la Carte :

Durant notre recherche sur la partie électronique qui va être implémentée pour automatiser notre plateforme de gestion en temps réel un réseau d'assainissement , nous avons constaté qu'au cours des dernières années, de nombreuses cartes de développement modulaire sont apparues. Chaque carte présente des avantages et des inconvénients. Elles se différencient par leurs fonctionnalités leurs complexités et leurs prix. On peut citer parmi ces cartes la carte : STM32F407VET6.

Présentation du STM32 :

Le STM32F407VET6 est un microcontrôleur ARM Cortex-M4 32 bits haute performance en boîtier LQFP 100 broches. Ce microcontrôleur intègre un coeur RISC 32 bits fonctionnant à une fréquence pouvant atteindre 168MHz. Le coeur Cortex-M4 offre une unité de point flottant (FPU) en simple précision qui supporte tous les types de données et les instructions de traitement des données en simple précision ARM. Il met également en œuvre un ensemble complet d'instructions DSP et une unité de protection de mémoire (MPU) qui améliore la sécurité des applications. Le STM32F407VET6 intègre des mémoires embarquées haute vitesse, une gamme étendue d'E/S optimisées et des périphériques connectés à deux bus APB, trois bus AHB et une matrice de bus multi AHB 32 bits. Ce MCU est doté de CAN 12bits, CNA, RTC basse consommation, timers 16 bits à usage général y compris timers PWM, timers 32 bits à usage général, interfaces de communication avancées et standards. Un jeu complet de modes à économie d'énergie pour la conception d'applications faible consommation.

- Mémoire Flash 512Ko
- 196Ko de SRAM y compris 64Ko de RAM de données CCM (Core Coupled Memory)

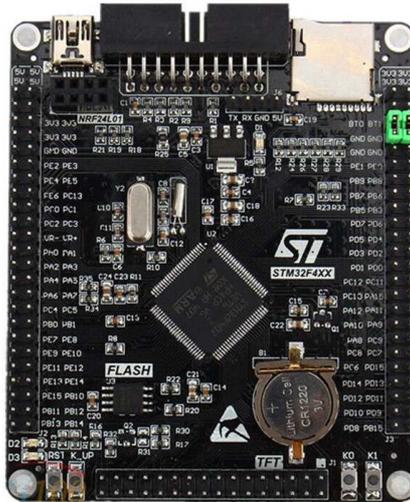


FIGURE 4.2 – Carte STM32

- Trois convertisseurs A/N 12 bits, 2.4MSPS et deux convertisseurs N/A 12bits
- Plage de tension d'utilisation de 1.8V à 3.6V
- Contrôleurs DMA 16 canaux avec FIFO et support pour les bursts de données
- Dix timers à usage général et deux timers de contrôle avancé
- 82 ports E/S
- Ethernet, trois SPI, deux I2S, trois I2C, quatre USART, deux UART, deux CAN, SDIO, interfaces USB
- Interface de caméra parallèle 8 bits à 14 bits jusqu'à 54Mbytes/s
- Gamme de température ambiante de -40C à 85C

LES PORTS GPIO :

Une entrée / sortie est une broche (pin) sur laquelle plusieurs éléments électroniques externes sont reliés au micro-contrôleur. Ces broches sont appelées GPIO, réparties sur 5 groupes de ports (GPIO A, B, C, D et E) où chaque groupe est composé de 16 pins. L'ensemble de ces pins peut être configuré sous différents modes :

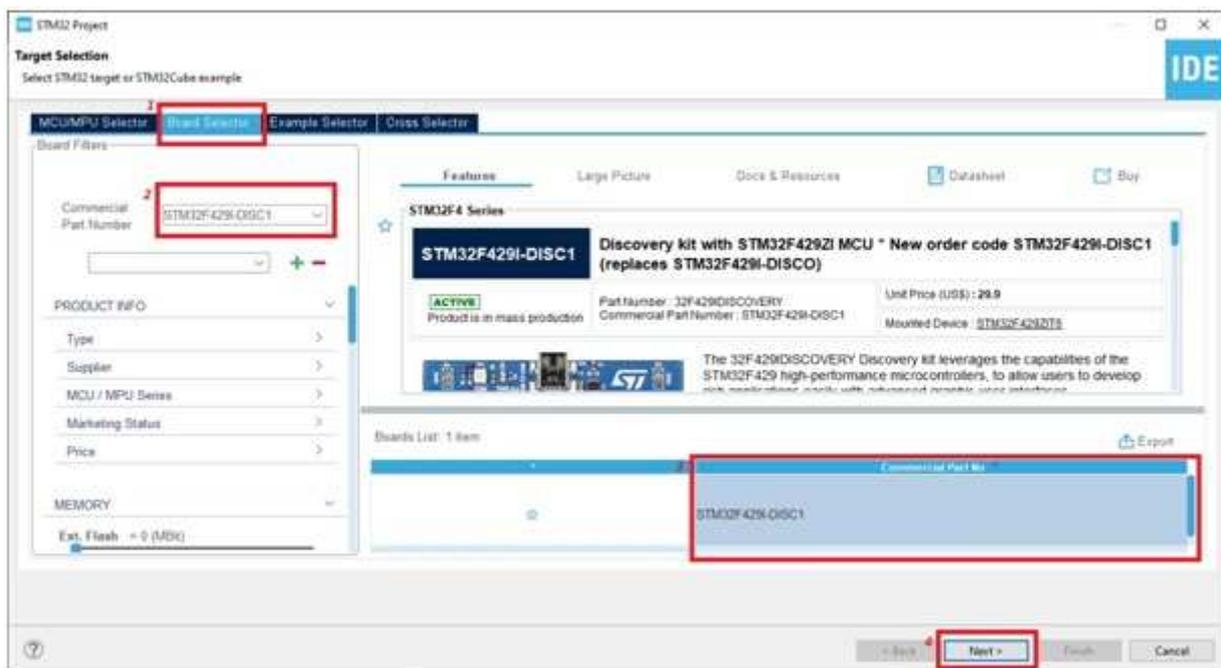
- Entrée (limites 0 / 3,3V) : comme des entrées analogiques pour le cas d'utilisation d'une ADC (Analog to Digital Converter).
- Sortie : comme des sorties Push-Pull : les pins sont capables de fournir 1,8V ou 3,6V avec un courant maximum d'environ +/- 20mA.
- Sortie : PWM.
- Entrée : trigger externe.

Installation de l'environnement CubeIDE :

CubeIDE : Afin de pouvoir implémenter du code dans notre carte STM32 nous avons besoin du logiciel CubeIDE. Il y a directement intégré dans ce logiciel CubeMX qui est également indispensable a notre projet.

Installation de CubeIDE :

- Téléchargez CubeIDEa partir du site de STMicroelectronis : <https://www.st.com/en/development>
- Une fois le fichier d'installation téléchargé, exécutez-le pour démarrer le processus d'installation. Suivez les instructions affichées à l'écran pour configurer les options d'installation, telles que le dossier d'installation et les composants à inclure.
- Branchez votre carte STM32 à votre ordinateur via un câble USB Utilisation.
- Lancez STM32CubeIDE et créez un nouveau projet en sélectionnant "File" (Fichier) -> "New" (Nouveau) -> "STM32 Project" (Projet STM32).
- Dans la fenêtre "BoardSelector", sélectionnez la carte STM32F429I-DISC1 dans la liste des cartes compatibles (voir capture d'écran).



- Donnez un nom à votre projet.
- Dans la fenêtre "Project Manager", sélectionnez "No" (Non) pour le pop-up "Initialize all peripheralswiththeir default Mode?".
- Il est possible que les broches du STM32 ne soient pas correctement initialisées et apparaissent en jaune.

4.4.2 Les Actionnaires :

pompe à eau 6-12V submersibles

Une pompe à eau est un outil qui permet le déplacement de l'eau d'un point à un autre. Elle permet également de refouler l'eau à un débit plus important. Pour ce projet on propose des pompes submersibles 12V DC Ultra-Quiet Brushless Moteur Pompe à Eau Submersible Pour Aquarium Jardin et pour des cartes électronique à base d'un micro-contrôleur comme STM32 **Caractéristique :**



FIGURE 4.3 – pompe à eau

- Dimensions : 54(L)x 37(W)x 42(H) mm
- Tension de fonctionnement : 12V DC
- Courant de fonctionnement : 375 mA
- Puissance : 4.2W
- Débit : 240 L/H
- Matériaux : Plastique
- Diamètre sortie : 8 mm
- Diamètre entrée : 8 mm
- Durée de vie : 30 000 Heures
- Nuisance sonore : ≤ 40 DB
- Classe étanchéité : IP68
- Résistance à la chaleur : 0-100
- Couleur : Noir

ÉLECTROVANNE G3/4 12V

Une électrovanne est un robinet commandée électriquement servant uniquement à ouvrir et fermer l'arrivée d'eau. Son rôle est de gérer la distribution d'un fluide. Dans ce projet On vous propose ÉLECTROVANNE G3/4 12V pour la commande d'évacuation d'eau à chaque

bassin.



FIGURE 4.4 – Électrovanne

Ceci est fait de matériau PP et il est étanche à l'eau, résistant à l'humidité, la température, l'isolation et la bonne thermolyse.

Description :

- Matériel : PP
- taille Port : environ G3 / 4
- Tension : environ 12V DC
- Température du fluide : environ 0 à 100 °C
- Puissance nominale : environ 5W
- Utilisation : l'eau et les fluides de faible viscosité
- modèle de fonctionnement : normalement fermé (N / C)
- Pression : environ 0,02 - 0.8Mpa

Caractéristiques d'écoulement :

- environ 0,02 MPa > 2L / min ;
- environ 0,10 MPa > 10 L / min ;
- environ 0,30 MPa > 16 L / min ;
- environ 0.80Mpa > 28L / min le

4.4.3 Les capteurs

Capteur Débitmètre compteur YF-S201

Un débitmètre ou un capteur de débit est un instrument industriel utilisé pour mesurer la quantité de fluide circulant dans un circuit sur une période de temps. Dans ce projet on va utiliser pour mesurer le débit d'eau à la sortie de chaque bassin.



FIGURE 4.5 – Capteur débitmètre

Description :

- Type de capteur : effet Hall
- Tension de fonctionnement : 5 à 18 V DC
- Consommation maximale : 15 mA à 5 V
- Type de sortie : 5V TTL
- Débit de travail : de 1 à 30 litres / minute
- Température de fonctionnement : -25 à 80
- Plage d'humidité relative : 35
- Précision : 2
- Plage de débit : 1-30L / min
- Mode de détection : vertical
- Pression maximale de l'eau : 2,0 MPa
- Cycle de service de sortie : 50
- Temps de montée de sortie : 0.04us
- Temps de chute de sortie : 0.18us
- Caractéristiques d'impulsion de débit : Fréquence (Hz) = 7.5 * Débit (L / min)
- Légumineuses au litre : 450
- Durabilité : un minimum de 300 000 cycles
- Longueur du câble : 15cm
- Raccordements nominaux 1/2 ", diamètre extérieur 0,78", filetage 1/2 "
- Taille : 2.5 "x 1.4" x 1.4

Capteur de niveau :

Le capteur à ultrasons HC-SR04 utilise un sonar pour déterminer la distance à un objet. Ce capteur lit de 2 cm à 400 cm (0,8 pouce à 157 pouces) avec une précision de 0,3 cm (0,1

pouce), ce qui convient à la plupart des projets amateurs. De plus, ce module particulier est livré avec des modules émetteurs et récepteurs à ultrasons. [37]

Le capteur à ultrasons utilise un sonar pour déterminer la distance à un objet. Voici ce qui se passe La figure 4.6b :

- L'émetteur d'ultrasons (trig pin) émet un son à haute fréquence (40 kHz).
- Le son voyage dans l'air. S'il trouve un objet, il rebondit vers le module.
- Le récepteur d'ultrasons (broche d'écho) reçoit le son réfléchi (écho).

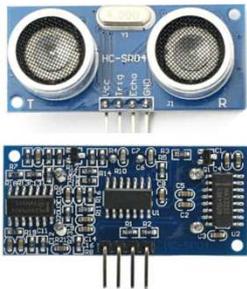
Le temps entre l'émission et la réception du signal permet de calculer la distance à un objet.

C'est possible parce que nous connaissons la vitesse du son dans l'air. Voici la formule :[37]

$$\text{Distance à un objet} = \frac{(\text{vitesse du son dans l'air}) \times \text{temps}}{2}$$

$$\text{Vitesse du son dans l'air à } 20^{\circ}\text{C (68}^{\circ}\text{F)} = 343 \text{ m/s}$$

capteur_{HC} – SR04.pscapteur_{HC} –
SR04.pscapteur_{HC} –



(a) capteur à ultrasons HC-SR04

SR04.ps

(b) Fonctionnement du capteur a ultrasons HC-SR04

FIGURE 4.6 – Capteur de niveau ultrason.

Voici une liste de certaines des caractéristiques et spécifications du capteur à ultrasons HC-SR04. Pour plus d'informations, vous devriez consulter la fiche technique du capteur :

- Alimentation : +5V CC
- Courant de repos : <2mA
- Courant de travail : 15 mA
- Angle effectif : <15
- Distance de portée : 2cm – 400 cm/1” – 13ft

- Résolution : 0.3cm
- Angle de mesure : 30 degrés
- Largeur d'impulsion d'entrée de déclenchement : impulsion TTL de 10 uS
- Signal de sortie d'écho : impulsion TTL proportionnelle à la plage de distance
- Dimensions : 45 mm x 20 mm x 15 mm

4.4.4 Les accessoires :

Arduino Nano :

A cause de la distance entre les capteurs (capteur de niveau et débitmètre) et la carte STM32, qui ne doit pas dépasser 30 cm, ce qui peut conduire à ne pas recevoir les informations correctes une mauvaise qualité d'impulsion. Par conséquent, Arduino Nano peut être utilisé comme intermédiaire entre le capteur et la carte pour maintenir la qualité du signal et atteindre la plus grande distance possible jusqu'à 30 mètres.

L'Arduino Nano de par sa taille va nous aider à régler les problèmes d'espaces et d'encombrements. Si on se réfère à ses spécificités techniques l'Arduino Nano mesure 18mm de large et 45mm de long. Malgré sa petite taille, il nous fournit des caractéristiques quasi égales à celles d'une carte Uno pour un coût inférieur. Autre avantage malgré sa petite taille, l'Arduino Nano se connecte et se programme également via USB (puce FTDI).

L'Arduino Nano est une carte comprenant un microcontrôleur : L'ATMega368 couplé à un quartz de 16 MHz tout l'Arduino UNO. Les cartes Arduino sont reconnues pour leurs facilité d'apprentissage et le fiabilité. [39]



FIGURE 4.7 – Arduino Nano

- Microcontrôleur : ATmega368
- Architecture : AVR
- Tension de fonctionnement : 5 V
- Mémoire Flash : 32 ko dont 2 ko utilisés par le chargeur de démarrage
- SRAM : 2 KO
- Vitesse de l'horloge : 16 MHz

- Broches e/s analogiques : 8
- EEPROM : 1 KO
- Courant continu par broches d'entrée/sortie : 40 mA (broches d'entrée/sortie)
- Tension d'entrée : 7-12 V
- Broches e/s numériques : 22
- Sortie PWM : 6
- Consommation électrique : 19 mA
- Taille du PCB : 18x45mm
- Poids : 7g

Module driver L298N :

Le module L298N est une carte de développement basé sur le circuit intégré L298N permettant le pilotage de moteur à courant continu ou d'un moteur pas-à-pas. Ce breakout board est un Double Pont-H destiné au contrôle de moteur continu (H-Bridge Motor Driver). Les deux types de moteurs peuvent être contrôlés aussi bien en vitesse (PWM) qu'en direction. Toutes les sorties en puissance sont déjà protégées par des diodes anti-retours. Il est conçu pour supporter des tensions élevées, des courants importants tout en proposant une commande logique TTL (basse tension, courant faibles, idéal donc pour un microcontrôleur). Il peut piloter des charges inductives comme des relais, solénoïdes, moteurs continus et moteurs pas-à-pas, la figure :fig :moduledriver. [38]

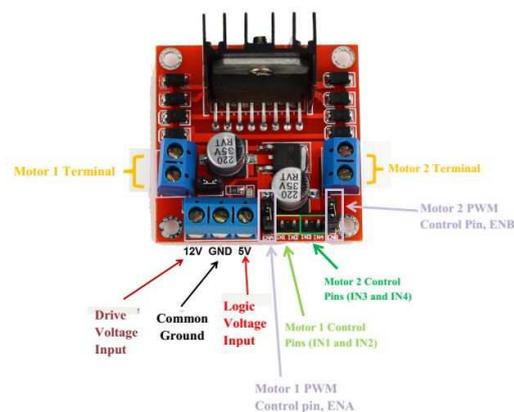


FIGURE 4.8 – MODULE DRIVER L298N1

Description :

- Mode de travail : lecteur de pont H (double canal)
- Puce de commande principale : L298N

- Tension logique : 5V
- Tension d'entraînement : 5V-35V
- Courant logique : 0mA-36mA
- Courant d'entraînement : 2A (pont simple MAX)
- Température de stockage : -20 à + 135
- Max. Puissance : 25W
- Taille : 4,5 * 4,5 * 2,8 cm / 1,7 * 1,7 * 1,1in

Afficheur LCD TFT

Une interface homme machine (HMI) permet à l'opérateur de contrôler le processus et sa supervision. Les paramètres spécifiques sont les suivants :



FIGURE 4.9 – LCD TFT noir 3.2 pouces POUR STM32F407VET6

- Panneau LCD : TFT de couleur réelle
- Lecteur Ic :ILI9341
- Pied de broche : 32 broches (bus FSMC)
- Résolution : 320x240
- Connexion : femelle à une rangée
- Espacement du pied de broche : 2.54MM

Afficheur 4 digits 7 segments :

Afficheur à 4 digits n'utilise que 2 broches pour communiquer avec le microcontrôleur 4 trous de fixation pour vis M2 pour un montage facile avec double point central de séparation.

Caractéristiques :

- Pinout : GND = 0 V
- VCC = 5 V ou 3.3 V
- DIO = entrée et sortie de données



FIGURE 4.10 – Afficheur 4 digits 7 segments

- CLK = signal horloge
- Tension de service : 3.3 V ou 5 V
- Couleur de la LED : rouge
- Chipset : TM1637

Module de relais Bistable 5V :

Un module relais bistable petit et puissant pour commuter en toute sécurité des tensions plus importantes. Ce module a un effet bistable, ce qui signifie qu'avec une impulsion, le relais est ouvert et refermé avec l'impulsion suivante. Ce module fonctionne sur 12V et peut commuter jusqu'à 10A. Bouton de liaison 12V, Module de relais Bistable, commutateur de Modification de voiture, démarrage et arrêt à une touche, verrouillage automatique.



FIGURE 4.11 – Module de relais Bistable 5V

Conversion niveau 8 canaux 3.3v et 5v :

Puisque le Stm32 est GPIO de 3.3 V, alors prenez le capteur 5 V conventionnel peu pratique. Par conséquent, ce produit pour réaliser la conversion logique bidirectionnelle haute tension et basse tension à 8 canaux, conversion bidirectionnelle entre Ax et Bx.

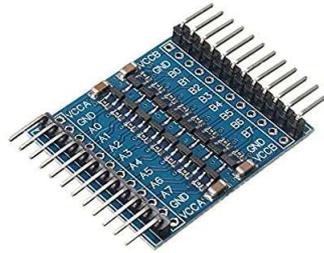


FIGURE 4.12 – conversion niveau 8 canaux

4.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous nous sommes familiarisés avec la carte et l'environnement de travail particulier, et nous avons également expliqué le principe de travail et le cahier des charges. Sans négliger tous les autres composants électroniques, puisque nous aborderons dans le prochain et dernier chapitre les résultats et les discuterons.

4.6 Résultat et discussion

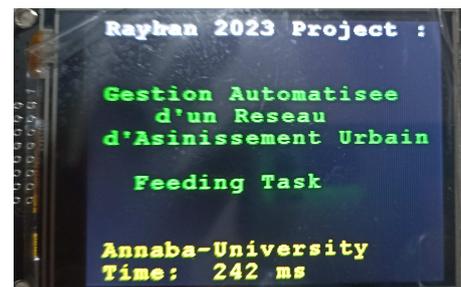
4.7 Introduction

Dans cette partie, nous montrerons la maquette réalisée d'une station de relèvement. Nous présenterons et discuterons également les résultats et les données obtenues.

4.7.1 Affichage page d'accueil :

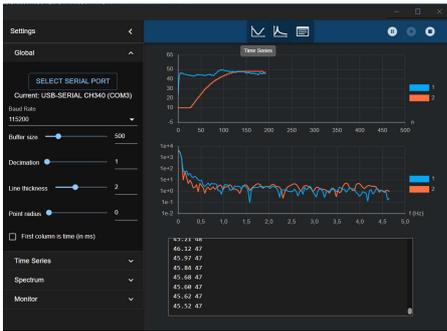


(a) Lego UBMA



(b) Le thème de projet

FIGURE 4.13 – Résultat des capteurs de niveau



(a) Dans le cas initial

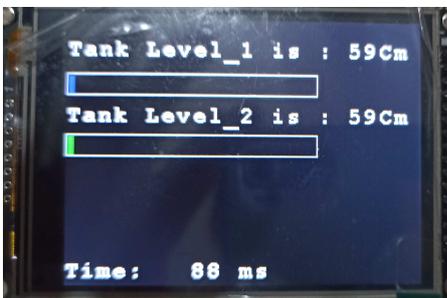


(b) Dans le cas final

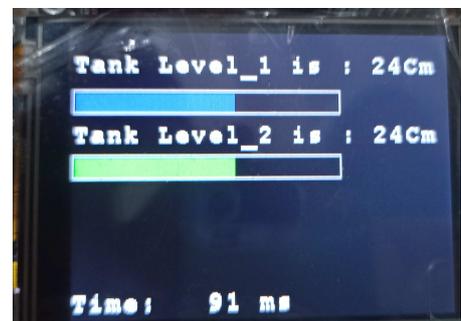
FIGURE 4.14 – Résultat des capteurs de niveau

4.7.2 variation de niveau d'eau :

Les deux figures : 4.14 ci-dessous montrent l'évolution du niveau d'eau dans les bassins, où nous pouvons voir deux lignes dans les deux graphiques. Quant à la ligne orange, elle montre le niveau d'eau et son changement après le filtrage pour stabilisé le signal. La deuxième ligne représentée en bleu représente les parasites résultant de la descente d'eau dans les bassins et les vagues. Comme on peut le voir dans les deux figure les variations linéaires de niveau dans chaque bassin.



(a) Dans le cas initial



(b) Dans le cas final

FIGURE 4.15 – Le niveau des bassins sur l'afficheur

4.7.3 Le débit des eaux :

Dans ce cas, on peut voir l'évolution de la vitesse d'écoulement de l'eau dans chacun des deux bassins dans la figure 4.16

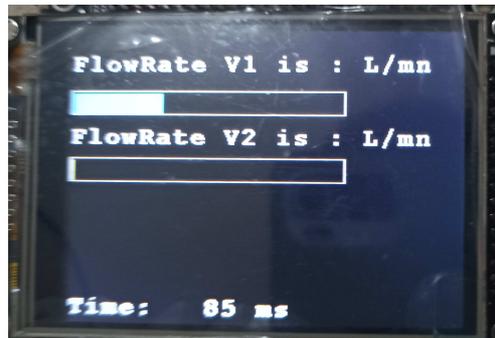


FIGURE 4.16 – L’affichage de débit

Conclusion générale

Le travail présenté dans ce mémoire s'inscrit dans le courants des efforts qui vise a développé des structure de contrôle avancé, tout en exploitant les derniers progrès en matieurs de technologie et de communication (TIC), pour assurée une conduite optimale des réseaux d'assainissement malgré les grands changements des conditions de l'enivrement (changements climatique, changements climato-graphique, grande précipitation,.....) une de gestion automatisée et intelligente. Nous avons élaboré une stratégie de contrôle de la vitesse de pompage des eaux basée sur la logique floue, et la surveillance a distance avec l'alimentation de technologie connecté a base de l'IOT. Ceci peut avoir des conséquences bénéfiques sur l'économie locale, énergétique, et même sur l'environnement.

Dans une premières phase nous avons étudié un réseau d'égouts, à la fois domestique et pluvial dans tous ses types, parties et sa propre infrastructure.

Après cela, nous nous sommes concentrés sur l'une des technologies de communication les plus importantes et ses domaines et utilisations, qui est représentée dans IOT, et la possibilité de son application dans le domaine d'étude que nous sommes sur le point de réaliser.

Une autre approche a été étudié c'est la logique floue avec sa conception. Nous avons également appris les applications les plus importantes de la logique floue dans le domaine du fonctionnement des stations de pompage, qui sont la partie la plus importante du système et leur efficacité à réduire la consommation d'énergie utilisée dans le fonctionnement des pompes et en contrôlant leurs vitesses selon les besoins de la situation et en abandonnant l'ancien système basé sur TOR.

En fin nous avons réalisé un modèle pour la simulation d'une station de pompage des eaux usées ; station de relevage de site plaine ouest d'annaba vue crucial qu'elle joue dans le système de réseau d'assainissement d'annaba. Nous nous sommes appuyés sur la carte STM32 dent le choit a été dicté par son meilleure rapport qualité prix et par nombreuse fonctionnalité qu'elle offre pour la acquisition d'une quantité donner (les niveau d'eau dans les rétention,

les début d'eau ,...) d'analyse des données et possibilité d'implémentation des structure des contrôle avancé (logique floue, contrôleur TR, Modèle prédictive....) la carte la plus appropriée avec toutes ses caractéristiques pour incarner les applications susmentionnées, et les résultats obtenus en sont la meilleure preuve.

Perspectives futures : - Extension des capteurs. - La commande à distance. - Ajout d'un système d'alerte dans chaque bassin pour le niveau et le débit - Implémentation des modèles de contrôle prédictive. - Intégration des fonctionnalité d'IA pour système d'inférence neuro-floue adaptatif. - Utilisation d'autres cartes de développements ou bien des automates programmables. - Simulation pratique d'autres parties du réseau d'assainissement telles que la step.

Bibliographie

- [1] HAMADI Malek, MAHAMOUD Ibrahim "STATION DE RELEVAGE DES EAUX USEES" LE CAMPING DU PIN DE GALLE,SESSION 2015
- [2] Préserver l'environnement Par l'épuration et la récupération des eaux usée, Kheireddine BOUCHERIT, Chef Service d'exploitation "O.N.A Complexe d'épuration de Annaba", 2017.
- [3] Borsanyi P, Benedetti L, Dirckx G, DeKeyser W, Muschalla D, Solvi A-M, etal. Modelling real time control options on virtual sewer systems. *JEnvironEngSci* 2008 ;7(4) :395–410. <http://dx.doi.org/10.1139/S08-004>, 2008.
- [4] Schütze M, Campisano A, Colas H, Vanrolleghem P, Schilling W. Real-time control of urban water systems. In : Proceedings of the international conference on pumps, electro-mechanical devices and systems applied to urban water management, Valencia, Spain; 2003. p. 1–19.
- [5] Schilling W, Andersson B, Nyberg U, Aspegren H, W R, Harremoes P. Real time control of wastewater systems. *J Hydr Resour* 1996 ;34(6) :785–97. <http://dx.doi.org/10.1080/00221689609498450>.
- [6] "EPA. Real time control of urban drainage networks. Technical report EPA/600/R-06/120. United States Environmental Protection Agency; 2006".
- [7] Kokash N. An introduction to heuristic algorithms, 1, Italy : Department of Informatics and Telecommunications, University of Trento; 2005.
- [8] Klepiszewski K, Schmitt T. Comparison of conventional rule based control with control processes based on fuzzy logic in a combined sewer system. *Water Sci Technol* 2002 ;46(6-7) :77–84.
- [9] Cembrano G, Quevedo J, Salamero M, Puig V, Figueras J, Martí J. Optimal control of urban drainage systems. a case study. *Control Eng Pract* 2004 ;12(1) :1–9. [http://dx.doi.org/10.1016/S0967-0661\(02\)00280-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0967-0661(02)00280-0).

- [10] Joseph B, Jung M, Ocampo-Martinez C, Sager S, Cembrano G. Minimization of sewage network overflow. *Water Resour Manage* 2014;28(1) :41–63. <http://dx.doi.org/10.1007/s11269-013-0468-z>.
- [11] Ocampo-Martinez C. *Model predictive control of wastewater systems*. London : Springer Verlag; 2011. <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-84996-353-4>.
- [12] Toro R, Ocampo-Martinez C, Logist F, Van Impe J, Puig V. Tuning of predictive controllers for drinking water networked systems. In : *Proceedings of the 18th IFAC world congress, Milano, Italy*; 2011. p. 14507–12. <http://dx.doi.org/10.3182/2011.08.28-6-IT-1002.00415>.
- [13] Venkat A, Hiskens I, Rawlings J, Wright S. Distributed MPC strategies with application to power system automatic generation control. *IEEE Trans Control Syst Technol* 2008;16(6) :1192–206. <http://dx.doi.org/10.1109/TCST.2008.919414>.
- [14] Ocampo-Martinez C, Puig V, Cembrano G, Quevedo J. Application of predictive control strategies to the management of complex networks in the urban water cycle. *IEEE Control Syst Mag* 2013;33(1) :15–41. <http://dx.doi.org/10.1109/MCS.2012.2225919>.
- [15] Ocampo-Martinez C, Ingimundarson A, Puig V, Quevedo J. Objective prioritization using lexicographic minimizers for MPC of sewer networks. *IEEE Trans Control Syst Technol* 2008;16(1) :113–21. <http://dx.doi.org/10.1109/TCST.2007.899741>.
- [16] Maciejowski JM. *Predictive control with constraints*, London : Prentices Hall ; 2002. ISBN-13 978-0201398236.
- [17] <https://orionis-iot.com/soluciones-y-aplicaciones/agua-de-saneamiento/?lang=fr>
- [18] "Comprendre l'Internet des Objets (IoT) : principes, normes, écosystème et opportunités économiques" Abidjan, Côte d'Ivoire Du 27 au 31 juillet 2020
- [19] "réseaux et infrastructures iot," [En ligne]. Available : <https://www.connectwave.fr/techno-appli-iot/iot/reseaux-et-infrastructures-iot/>. [Accès le 22 04 2020].
- [20] F. HADJER, "Commande adaptative floue d'un moteur Asynchrone" .Mémoire Master en EN GENIE ELECTRIQUE. UNIVERSITE DE MOHAMED BOUDIAF- M'SILA, 2016.
- [21] R. Lalalou "Commande par la logique floue d'une machine asynchrone" Thèse de Magister, Université Badji Mokhtar, Annaba 2001.
- [22] M T. BENCHOUIA, "Commande de la Machine à Courant Alternatif par Différentes Techniques de Contrôle Avancées" . Mémoire De Doctorat en Sciences. . Université Mohamed Khider De Biskra . 2006.
- [23] Franck Dernoncourt, "Introduction à la logique floue ", fichier électronique, www.developpez.com, Paris, Avril 2011.

- [24] Mme OUISSI Fatima Zohra, "Classification des arythmies cardiaques par les arbres de décision flous", thèse de master, Université Abou Bakr Belkaid, Tlemcen, 2011.
- [25] "Commande par logique flou" . Mémoire Master AUT+CSE . Chapitre 1, 2019.
- [26] Franck Dernoncourt, "Introduction à la logique floue" , fichier électronique, www.developpez.com, Paris, Avril 2011.
- [27] Chabani Laid, Guedda Ali, Messaoudi imad Eddine " Master académique commande par la logique floue de la machine synchrone a aimants permanents" , chapitre 3, "Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued" 2021.
- [28] https://fr.wikipedia.org/wiki/Moteur_sans_balais
- [29] Jiang H B, Cui X Y, Zeng L B, et al. Modeling and Simulation of Brushless DC Motor Fuzzy Control System [J]. JOURNAL OF XIOAN JIAOTONG UNIVERSITY, 2005, 39(10) : 117
- [30] Evans P D, Brown D. "Simulation of brushless DC drives", IEE Proceedings B, Electric Power Applications, 137(5) : 299-308 : 2012.
- [31] Wang X, Zhu J W. Speed Control System of Brushless DC Motor Based on Fuzzy PI Regulator[J].
- [32] ELECTRIC DRIVE, 2014, 44(1), 63-67. Wang J F. Research of the brushless DC motor intelligent control system based on DSP [D]. Nanjing University of Posts and Telecommunications, 2011.
- [33] Zhou W M, Zhang X W. Double Closed Loop Sliding Mode PID Control System for BLDCM of Pure Electric Vehicle [J]. Proceedings of the 35th Chinese Control Conference, 2016, 4730-4732.
- [34] Jun Zhang, Chen Guo, Hong Zhao, Peng Luo, Shichao Cheng "Implementation of Self-Adaptive Fuzzy Strategy Applied in STM32-based BLDCM Control System" School of Marine Electrical Engineering Dalian Maritime University Dalian, China, 2017.
- [35] Xie J. Design and Simulation of Brushless DC Motor Control System Based on DSP [D]. Wuhan University of Technology, 2010.
- [36] Fuzzy Optimal Control of Sewage Pumping Station with Flow Concentration Zhe Xu, Lingyi Wu, Xuetong Zhang, and Anke Xue "Institute of Information and Control, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou", 2011.
- [37] <https://www.raspberryme.com/guide-complet-du-capteur-a-ultrasons-hc-sr04-avec-ardu>
- [38] Baddou Mohamed, "Robot superviseur", Projet fin d'étude, Université Mohamed V de Rabat, 2016.
- [39] <https://idehack.com/arduino-nano-guide-complet/>