

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة سعد دحلب البلدية
Université SAAD DAHLAB de BLIDA

كلية التكنولوجيا
Faculté de Technologie

قسم الآلية و الألكترونتقي
Département d'Automatique & Electrotechnique



Mémoire de Projet de Fin d'Études

Présenté par

MOKHBAT Anis

Pour l'obtention du diplôme De Master en Automatique et informatique industrielle

Réalisation et Implémentation d'un Système Avancé pour le monitoring Intelligent de la Qualité de l'Eau pour application industrielle

Proposé par : BELGROUNE Nadir

Année Universitaire 2023-2024

ملخص: يعرض هذا البحث تصميم وتنفيذ نظام لمراقبة جودة المياه يعتمد على إنترنت الأشياء (IoT) باستخدام مستشعرات متصلة بوحدة ESP32 وبرامج مثل Arduino IDE وFRITZING، يسمح النظام بقياس في الوقت الحقيقي لمعايير جودة المياه الرئيسية، بما في ذلك درجة الحرارة والتوصيلية الكهربائية وإجمالي المواد الصلبة الذائبة (TDS) والعكارة. تُنقل البيانات المجمعة عبر Wi-Fi إلى تطبيق Telegram للمراقبة عن بُعد. مكن دمج الطباعة ثلاثية الأبعاد من تصميم علبة مخصصة للمكونات، مما يضمن حمايتها ويسهل التنظيم الداخلي للنظام. أظهرت الاختبارات التي أجريت كفاءة ودقة هذا النموذج الأولي، مما يمهد الطريق لتطبيقات محتملة في إدارة الموارد المائية، وحماية الصحة العامة، وكذلك في الاستخدامات الصناعية.

كلمات المفاتيح: إنترنت الأشياء (IoT) ؛ مراقبة جودة المياه ؛ شبكات أجهزة الاستشعار المتصلة ؛ التحكم عن بعد.

Résumé : Ce mémoire présente la conception et la réalisation d'un système de surveillance de la qualité de l'eau basé sur l'Internet des Objets (IoT). Utilisant des capteurs connectés à un module ESP32 et des logiciels tels que Arduino IDE et FRITZING, le système permet de mesurer en temps réel des paramètres clés de la qualité de l'eau, notamment la température, la conductivité électrique, les solides dissous totaux (TDS) et la turbidité. Les données collectées sont transmises via Wi-Fi à une application Telegram pour une surveillance à distance. L'intégration de l'impression 3D a permis de concevoir un boîtier sur mesure pour les composants, assurant leur protection et facilitant l'organisation interne du système. Les tests réalisés ont démontré l'efficacité et la précision de ce prototype, ouvrant la voie à des applications potentielles dans la gestion des ressources en eau, la protection de la santé publique ainsi que dans industrielle.

Mots clés : Internet des Objets (IoT) ; Surveillance automatique de la qualité de l'eau ; Réseaux de capteurs connectés ; Contrôle à distance.

Abstract: This work presents the design and implementation of a water quality monitoring system based on the Internet of Things (IoT). Using sensors connected to an ESP32 module and software such as Arduino IDE and FRITZING, the system allows real-time measurement of key water quality parameters, including temperature, electrical conductivity, total dissolved solids (TDS), and turbidity. The collected data is transmitted via Wi-Fi to a Telegram application for remote monitoring. The integration of 3D printing enabled the design of a custom casing for the components, ensuring their protection and facilitating the internal organization of the system. The tests conducted demonstrated the efficiency and accuracy of this prototype, paving the way for potential applications in water resource management, public health protection, and industrial use.

Keywords : Internet Of things , Water monitoring systems, Sensors network, Remote control

Je tiens tous d'abord à remercier le Bon Dieu tout puissant de nous avoir donné patience, courage et volonté pour réussir ma mémoire.

Je tiens à remercier mes parents pour leurs soutiens et leurs prières au long de nos études.

Ce travail a été réalisé à l'Université Saad Dahleb Blida-1-, sous la direction du Dr.BELGROUNE NADIR, à qui j'exprime ma profonde gratitude pour l'attention portée à l'élaboration de ce mémoire, son aide précieuse, ses conseils, son soutien permanent et pour tous ses efforts.

Je tiens à exprimer ma gratitude à tous les enseignants de la Faculté de technologie particulièrement le Département d'Automatique et à toutes responsables de l'Université SAAD DAHLEB BLIDA qui m'ont suivis durant mon cursus, et tous ceux qui ont contribué et collaboré à ma formation depuis mon premier cycle d'étude jusqu'à la fin de mon cycle universitaire.

Je tiens à remercier ceux qui nous ont aidés de près ou de loin et ainsi mes amis de promotion.

Je dédie ce modeste travail

À la plus belle créature que Dieu a créée sur terre,
À cette source de tendresse, de patience et de générosité,

À ma mère

À la personne qui m'a toujours donné la volonté

Mon cher père

À mes frères « **Mohamed Adlane** » et « **Chakib** »

À ma grande famille, à mes amis et à tous ceux qui ont su
m'apporter soutien aux moments difficiles

À tous les étudiants de ma **promotion 2024**

À mes enseignants et à tous ceux qui ont assisté à ma
formation depuis mon premier jour à l'école

À tous les êtres chers qui, par un mot, m'ont donné la force de
continuer.

Table des matières

Table des matières.....	III
Liste des figures	VII
Liste des tableaux	IX
Liste des abréviations	10
Introduction Générale	1
Chapitre I : Généralités et Introduction aux Systèmes de Surveillance de la Qualité de l'Eau	3
I.1 Introduction.....	3
I.2 Présentation de l'eau	3
I.2.1 Qualité d'eau :.....	3
I.2.2 Différentes sources d'eau :	4
I.2.3 Description des différents états de l'eau :.....	7
I.2.4 Pollution des eaux.....	8
I.3 Les Systèmes de Surveillance de la Qualité de l'Eau	9
I.3.1 Importance de la surveillance de la qualité de l'eau	9
I.3.2 Types de systèmes de surveillance de la qualité de l'eau	11
I.4 Méthodes de surveillance	12
I.4.1 Surveillance en continu	13
I.4.2 Échantillonnage manuel	14
I.4.3 Monitoring par satellite.....	15
I.5 Les Technologies de communication utilisées	16
I.5.1 Télétransmission des Données	17
I.5.2 Réseaux de Capteurs Sans Fil (WSN).....	17

I.5.3 Communication par Satellite	18
I.6 Conclusion	19
Chapitre II : Architecture et Principe de Fonctionnement du Système de Surveillance de la Qualité de l'Eau	20
II.1 Introduction	20
II.2 Présentation de l'architecture générale du système	21
II.2.1. Système d'Acquisition	21
II.2.2 Système de Traitement.....	21
II.2.3 Système d’Affichage en Temps Réel.....	22
II.3 Principe de fonctionnement du système	23
II.3.1 Processus et composants	24
II.3.2 Application d’une surveillance dans une usine de production alimentaire ...	25
II.3.3 Détection et Réaction aux Anomalies	25
II.4 L'Internet des Objets (IoT) pour la surveillance automatique de la qualité de l'eau	26
II.4.1 Domaine d’utilisation de l'internetdesobjets	26
II.4.2 Intégration des capteurs dans l'Internet des objets pour la surveillance de la qualité del'eau	26
II.5 Logicielsetenvironnementdeconception.....	28
II.5.1 LogicielArduinoidE	28
II.5.2 Logiciel«FRITZING»	29
II.6. Choix et description des dispositifs électroniques du système.....	30
II.6.1 <i>Module</i> ESP32	30
II.6.2 Afficheurs « LCD »	33
II.6.3 Capteur TDS	35
II.6.4 Capteur de turbidité.....	37

II.6.4 Capteur de température.....	38
II.7 Utilisation de l'Impression 3D	39
II.7.1 Définition impression 3D	40
II.7.2 Processus de l'impression 3D	40
II.8 Conclusion	42
Chapitre III : Réalisation et Discussion des Résultats du Système de Surveillance de la Qualité de l'Eau	43
III.1 Introduction.....	43
III.2 Différentes étapes de réalisation du projet	43
III.2.1 Etapes d'installation du module ESP32 pour l'Arduino IDE.....	44
III.2.2 Etapes de chargement des bibliothèques nécessaires	45
III.3 Test et validation des différents composants du système :.....	47
III.3.1 Implémentation et test du capteur de température DS18B20.....	47
III.3.2 Implémentation et test du capteur TDS	49
III.3.3 Implémentation et test du capteur de turbidité SEN0189	52
III.3.4. Implémentation et affichage sur l'application Telegram.....	53
III.4 Réalisation et test du système proposé de surveillance et contrôle de qualité d'eau	54
III.4.1 Réalisation du prototype.....	54
III.4.2 Test du prototype et résultats obtenus	56
III.5 Discussion des Résultats Obtenus	58
III.5.1 Analyse des Mesures des Paramètres de Qualité de l'Eau.....	58
III.5.2 Interprétation des Résultats	59
III.5.3 Analyse et implications des résultats	60
III.6 Expérimentations et Résultats	60
III.6.1 Expérience 1 : Eau Claire	61

III.6.2 Expérience 2 : Eau Trouble	62
III.6.3 Expérience 3 : Eau Sale	63
III.6.4 Expérience 4 : Eau avec Sucre	64
III.7 Conclusion	65
Conclusion Générale.....	67
Références bibliographie	69

Liste des figures

Figure I. 1: Différentes forme des sources d'eau superficiel dans la nature.....	5
Figure I. 2: Reserve et formation des eaux souterraines.....	5
Figure I. 3: Station de dessalement des eaux de mer	6
Figure I. 4: Systèmes filaires de surveillance de la qualité de l'eau	11
Figure I. 5: Systèmes sans fil son tbasés sur des capteurs [74].....	12
Figure I. 6: Système de Surveillance en continu de qualité de l'eau	13
Figure I. 7:Échantillonnage manuel pour surveillance de la qualité de l'eau	14
Figure I. 8: Monitoring par satellite.....	16
Figure II. 1:Architecture générale des ystème de la surveillance de qualité d'eau.....	23
Figure II. 3 : Divers domaines d'utilisation d'internet des objets (IoT)	26
Figure II. 4 : Internet des objets regroupe tous les objets physiques.	27
Figure II. 5 : Environnement logiciel ARDUINOIDE [30].....	28
Figure II. 6 : Environnement logiciel FRITZING	30
Figure II. 7 : Module NodeMCU ESP32	31
Figure II. 8 : Description du Module NodeMCU ESP32	33
Figure II. 9: Afficheur LCD.....	34
Figure II. 10 : Le module LCD I2C.....	35
Figure II. 11: Le capteur TDS.	36
Figure II. 12 : Capteur de turbidité	38
Figure II. 13 : Exemple de l'impression 3D	40
Figure II. 14 : Processus de fabrication du boitier du système par impression 3D	41
Figure III. 1: Les différentes instruction pour Installation de la carte ESP32.	44
Figure III. 2:Etapes d'installation de la bibliothèque du capteur.....	45
Figure III. 3:Installation la bibliothèque de capteur DS18B20	46
Figure III. 4: Installation la bibliothèque de capteur TDS	46
Figure III. 5 :Installation la bibliothèque de capteur Turbidité	47
Figure III. 6 : Installation la bibliothèque de LSCI2C.....	47

Figure III. 7 :Schéma de connexion du module ESP32 avec le capteur DS18B20	48
Figure III. 8 :Le code sur ArduinoIDE de test du capteur DS18B20	49
Figure III. 9 :Résultats obtenues par le capteur DS18B20	49
Figure III. 10:Schéma de connexion du module ESP32 avec le capteur TDS	50
Figure III. 11:Le code sur ArduinoIDE de test du capteur TDS	51
Figure III. 12:Résultats obtenues par le capteur TDS	52
Figure III. 13 :Schéma de connexion du module ESP32 avec le capteur TSS	52
Figure III. 14 :Le code sur ArduinoIDE de test du capteur TSS	54
Figure III. 15 :Installation la bibliothèque de TelegramBot.....	55
Figure III. 16 :Réalisation du prototype proposé du systèmes de contrôle de qualité d'eau	57
Figure III. 17:Affichage de résultats sur Télégram	58
Figure III. 18 :Affichage de résultats sur l'écran LCD	58
Figure III. 19 : Expérience 1 Eau Claire.....	60
Figure III. 20 : Expérience 2 Eau Trouble	61
Figure III. 21 : Expérience 3 Eau Sale	62
Figure III. 22 : Expérience 4 Eau avec Sucre	58

Liste des tableaux

Tableau.II. 1 : Caractéristiques de la carte NodeMCU ESP32.	32
Tableau.II. 2 : Les Spécifications de l'alimentation.	32
Tableau.II. 3 : Les Spécifications du logiciel de la carte NodeMCU ESP32	32

Liste des abréviations

TDS: Total Dissolved Solids (taux de sels dissous)

EC: conductivité électrique

RTD: détecteurs de température à résistance

IOT : L'internet des objets

IDE : espace de développement intégré

TSS : Total Suspended Solid

MQTT: Message Queuing Telemetry Transport

DO: dissolved oxygen

CE : charge électrique

S/m: Siemens par mètre

$\mu\text{S}/\text{cm}$: microsiemens par centimètre

Ppm: parties par million

mg/L: milligrammes par litre

Introduction générale

Introduction Générale

La qualité de l'eau est un enjeu majeur pour la santé publique et l'environnement. Les contaminations de l'eau peuvent entraîner de graves problèmes de santé et des impacts environnementaux significatifs. Par exemple, selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), plus de 2 milliards de personnes utilisent des sources d'eau potable contaminées, ce qui cause des millions de décès chaque année. Il est donc primordial de surveiller régulièrement la qualité de l'eau, notamment dans les réservoirs destinés à la consommation humaine. Cependant, la surveillance manuelle de la qualité de l'eau peut être coûteuse et chronophage, nécessitant des interventions fréquentes et des équipements spécialisés.

Les impacts de la contamination de l'eau ne se limitent pas à la santé publique. Ils touchent également de nombreux secteurs industriels. Par exemple, dans l'industrie agroalimentaire, l'utilisation d'eau contaminée peut entraîner des rappels de produits coûteux, nuire à la réputation de l'entreprise et causer des pertes économiques significatives. En 2011, une contamination de l'eau dans une usine de traitement des aliments a conduit à un rappel massif de produits en Europe, entraînant des pertes financières estimées à plusieurs millions d'euros et compromettant la sécurité alimentaire.

Pour répondre à ces défis, les systèmes de surveillance automatisés sont de plus en plus utilisés pour surveiller la qualité de l'eau en temps réel, offrant une solution plus efficace et moins coûteuse. Dans ce contexte, l'objectif principal de ce travail est de concevoir et de réaliser un système de surveillance de la qualité de l'eau qui sera placé dans un réservoir. Ce système permettra de mesurer en temps réel la conductivité électrique de l'eau, la température de l'eau ainsi que la turbidité, et de

transférer les données collectées à un ordinateur, une tablette ou un Smartphone.

Pour cela, des objectifs spécifiques fixés à ce travail sont les suivants :

- ✓ Choisir les capteurs appropriés pour mesurer la conductivité électrique de l'eau, la température de l'eau et la turbidité.
- ✓ Concevoir l'architecture du système de surveillance de la qualité de l'eau.
- ✓ Assembler et tester le système de surveillance de la qualité de l'eau.

La principale question que ce travail vise à répondre est : Comment concevoir et réaliser un système de surveillance de la qualité de l'eau qui soit performant, fiable et économiquement viable pour une utilisation industrielle ?

Afin garantir une présentation efficace de notre travail, nous avons structuré notre mémoire en trois chapitres principaux :

- Le **chapitre I** fournit une introduction détaillée et des généralités sur les systèmes de surveillance de la qualité de l'eau et montre leurs importances incluant les méthodes traditionnelles et les technologies de communication.
- Le **chapitre II** détaille l'architecture du système de surveillance ainsi que son principe de fonctionnements, introduisant les capteurs leurs principes de fonctionnements, leurs rôles et l'implémentation pratique par la programmation du module ESP32, la conception du système et description des dispositifs électroniques ainsi que l'utilisation de l'impression 3D pour l'assemblage les dispositifs.
- Le **chapitre III** sera dédié à la réalisation et aux tests de notre système et aussi il présentera l'analyse des résultats des mesures de la qualité de l'eau, notamment la conductivité électrique et la température, ainsi que l'évaluation des performances du système. Les résultats obtenus seront interprétés, les limites du système discutées, et des pistes d'amélioration proposées.
- La **conclusion** de ce mémoire synthétisera les résultats obtenus à travers une analyse approfondie des données recueillies tout au long de notre étude et offre des perspectives à ce projet porteur.

Chapitre I : Généralités et Introduction aux Systèmes de Surveillance de la Qualité de l'Eau

Chapitre I : Généralités et Introduction aux Systèmes de Surveillance de la Qualité de l'Eau

I.1 Introduction

L'eau est un élément vital pour la vie humaine, cependant, si elle n'est pas correctement traitée et surveillée, elle peut également être une source de nombreuses maladies. Elle peut être altérée par de nombreuses sources de pollution, telles que les activités humaines, l'agriculture, l'industrie et les changements climatiques. Pour préserver cette ressource vitale, il est crucial de mettre en place des systèmes de surveillance de la qualité de l'eau efficaces. Ce chapitre présente en premier lieu la signification de la qualité d'eau, les sources des pollutions et leurs états. Il offre également un aperçu des différents systèmes de surveillance de la qualité de l'eau existants, ainsi que des principes de mesure et des technologies de communication utilisées dans ces systèmes.

I.2Présentation de l'eau

I.2.1 Qualité d'eau:

La qualité de l'eau est déterminée par ses caractéristiques chimiques, physiques et biologiques, qui sont essentielles pour déterminer son aptitude à être utilisée à des fins spécifiques, telles que la consommation humaine, l'irrigation ou la production industrielle. La présence de contaminants tels que les bactéries, les virus, les

pesticides, les métaux lourds et les produits chimiques industriels peut causer de graves maladies, telles que la dysenterie, la gastro-entérite, la typhoïde et le choléra, ainsi que d'autres maladies transmises par l'eau.

Afin de prévenir ces maladies, il est crucial de surveiller régulièrement la qualité de l'eau par la collecte d'échantillons pour analyse en laboratoire et la surveillance continue pour détecter rapidement les problèmes de qualité de l'eau. Les résultats de ces tests sont utilisés pour prendre des mesures afin de corriger les problèmes de qualité de l'eau et garantir que l'eau potable est saine et sûre pour la consommation humaine. Enfin de compte, la surveillance et le contrôle de la qualité de l'eau sont indispensables pour protéger la santé humaine et garantir l'accès à une eau potable salubre et sans danger.

1.2.2 Différentes sources d'eau:

Dans le domaine de l'approvisionnement en eau, il est important de comprendre les différentes sources d'eau disponibles et leur qualité respective. En effet, la qualité de l'eau varie selon l'endroit où elle est prélevée et les conditions environnementales auxquelles elle est exposée. Parmi les sources d'eau courantes, on trouve les eaux superficielles, les eaux souterraines et les eaux de mer. Dans ce qui suit, nous allons explorer ces sources d'eau et discuter de leurs caractéristiques et de leur qualité.

a- Les eaux superficielles : Il s'agit de masses d'eau bien définies, solides ou liquides, immobiles ou en mouvement, qui sont en contact direct avec le sol d'un côté et avec l'atmosphère de l'autre. Elles sont formées par les eaux des ruisseaux, rivières, fleuves, étangs, lacs, barrages-réservoirs et glaciers illustré dans la Figure I.1. La qualité des eaux de surface est fortement influencée par les variations saisonnières (prolifération des algues et des planctons, etc.) et les événements météorologiques. En raison de leur capacité d'adsorption limitée et de l'absence de mécanisme de filtration, les solides dissous ou non peuvent se propager rapidement, ce qui entraîne une qualité très fluctuante des eaux superficielles. Elles sont généralement fortement contaminées par des micro-organismes. Les principales sources de pollution proviennent des eaux de ruissellement provenant des surfaces agricoles et forestières (pesticides, fertilisants, engrais), des déversements d'eaux usées et de la sédimentation des polluants atmosphériques [1]



Figure I. 1: Différentes forme des sources d'eau superficielle dans la nature

b- Les eaux souterraines : Lorsque l'eau de surface pénètre dans le sol, une partie est retenue à la surface des grains de sol ou dans les micro-interstices (Figure I.2). Cette quantité d'eau retenue dépend des caractéristiques du sol et est appelée capacité de rétention [1]. L'autre partie de cette eau de surface percole vers les profondeurs du sol sous l'effet de la gravité, formant ainsi les nappes phréatiques, qui représentent environ 22% des réserves d'eau douce, soit environ 1000 milliards de m³. Leur origine provient de l'accumulation des infiltrations dans le sol, qui varient en fonction de la porosité et de la structure géologique du sol. Les eaux souterraines sont généralement protégées des sources de pollution, ce qui les rend de bonne qualité du point de vue physique, chimique et microbiologique par rapport aux eaux de surface. Cependant, leur potabilité dépend de leur teneur en éléments chimiques et minéraux, qui doivent respecter les normes de potabilisation [2].

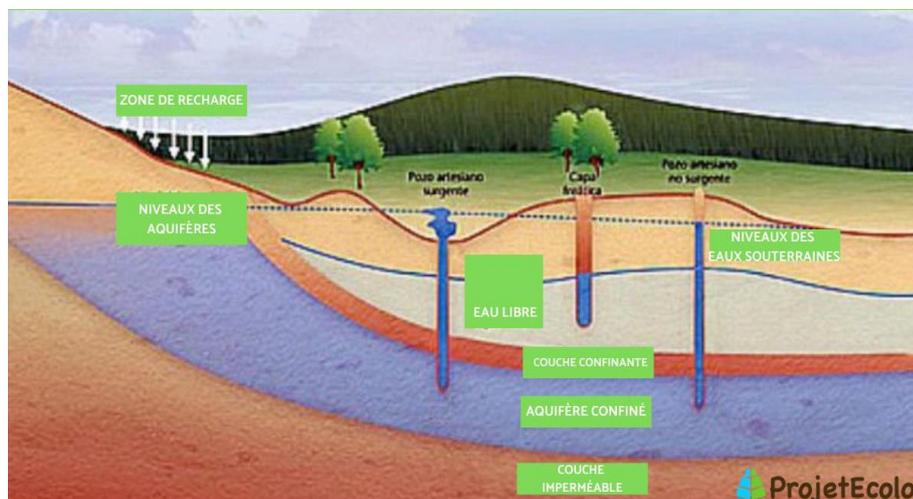


Figure I. 2: Reserve et formation des eaux souterraines

c- Les eaux de mers : La mer est une source d'eau unique en son genre, qui couvre une grande partie de la surface de la Terre. En effet, elle s'étend sur environ 71% de la surface du globe. Elle est principalement concentrée dans l'hémisphère sud, où elle occupe une grande partie de l'océan Antarctique. Dans l'hémisphère nord, on trouve plusieurs mers salées telles que la mer Méditerranée et la mer Baltique, qui communiquent pour certaines avec l'océan. La mer présente une grande variété de couleurs, qui varient en fonction de nombreux facteurs, notamment les conditions météorologiques et les saisons. En effet, la mer reflète les différentes teintes du ciel, ce qui lui donne une palette de couleurs allant du bleu profond au turquoise en passant par le vert et le gris. Cette variété de couleurs est notamment mise en valeur lors des levers et couchers de soleil, qui offrent des paysages époustouflants et des jeux de lumière saisissants.

En outre, la mer est un écosystème complexe abritant une grande variété de vie marine, des poissons aux mammifères marins, en passant par les crustacés et les mollusques. Les océans jouent également un rôle crucial dans le climat de la Terre, car ils contribuent à la régulation de la température mondiale et à la circulation des courants marins. En raison de leur salinité et de leur composition chimique particulière, les eaux de mer possèdent certaines qualités uniques. Elles contiennent des minéraux tels que le sodium, le calcium et le magnésium en quantités supérieures à celles trouvées dans les eaux douces, ce qui peut être bénéfique pour la santé en petites quantités.



Figure I. 3: Station de dessalement des eaux de mer

Cependant, pour être utilisées par l'homme, ces eaux nécessitent un processus de dessalement, qui est réalisé dans des stations dédiées. La figure 1.3 illustre une station de dessalement des eaux de mer, où l'eau salée est transformée en eau douce à travers divers procédés technologiques. Ce processus permet de retirer l'excès de sel et d'autres minéraux, rendant l'eau potable et adaptée à une variété d'usages, y compris la consommation humaine et les applications industrielles. Le dessalement est essentiel pour les régions où les sources d'eau douce sont limitées, offrant ainsi une solution viable pour répondre à la demande en eau [3].

1.2.3 Description des différents états de l'eau:

L'eau se présente sous différents états, tels que solide, liquide et gazeux. L'eau sous forme solide correspond à la glace des pôles des glaciers alpins et de la neige. L'eau sous forme liquide se trouve principalement dans les océans et les mers, mais aussi dans les lacs, les rivières et les eaux souterraines. Enfin, l'eau sous forme de gaz est la vapeur d'eau présente dans l'atmosphère.

a- L'eau sous forme solide : L'eau est solide quand la température est inférieure à 0°C. C'est la glace de la banquise au niveau des pôles, celle des glaciers alpins, la neige sur laquelle nous pouvons skier, le givre qui se forme par temps froid sur les arbres en hiver. Les calottes glaciaires et les glaciers représentent 2,1% de l'eau présente sur la Terre [4]

b- L'eau sous forme liquide : Les plus grands réservoirs d'eau liquide sont les océans et les mers constituées d'eau salée ; ils représentent 97,2 % de l'eau de la Terre. Les autres réservoirs d'eau liquide sont les lacs, les rivières et les eaux souterraines. Ils sont constitués d'eau douce. Les lacs et les rivières correspondent à 0,01 % de l'eau présente sur Terre et les eaux souterraines à 0,06 % de cette eau [5].

c- L'eau sous forme de gaz : Dans l'atmosphère, l'eau existe sous forme de gaz. C'est la vapeur d'eau présente dans l'air humide, qui représente seulement 0,001% de l'eau sur Terre [4]. Elle est un élément important dans le cycle de l'eau et la formation de phénomènes météorologiques tels que les nuages, la pluie, la neige et les tempêtes. Elle est également un gaz à effet de serre important, contribuant à l'augmentation de la température globale de la Terre. Sa présence et son comportement dans l'atmosphère ont des impacts significatifs sur le climat de la Terre.

1.2.4 Pollution des eaux

La pollution ou la contamination de l'eau peut être définie comme la dégradation de celle-ci en modifiant ses propriétés physique, chimique et biologique ; par des déversements, rejets, dépôts directs ou indirects de corps étranger soude matières indésirables telles que les microorganismes, les produits toxiques, les déchets industriels [8]. Il existe plusieurs manières de classer la pollution. Selon le type de polluant, on peut classer la pollution en trois types :

a- Pollution physique de l'eau : On parle de ce type de pollution quand le milieu pollué est modifié dans sa structure physique par divers facteurs. Elle regroupe la pollution mécanique (effluents solides), la pollution thermique (réchauffement de l'eau par des usines) et la pollution nucléaire (retombées de radioéléments issus des explosions d'armes nucléaires, résidus des usines atomiques et accidents nucléaires) [6].

b- Pollution chimique de l'eau : Elle est due au déversement des rejets industriels apportant de grandes quantités de substances chimiques industriels dont certaines sont non dégradables [7] tels que les métaux lourds, les pesticides, les produits pétroliers, les produits pharmaceutiques et les produits chimiques toxiques dans les cours d'eau, les lacs, les rivières et les océans. Ces produits chimiques peuvent être toxiques pour les êtres vivants, y compris les humains, et ils peuvent avoir des effets à long terme sur l'environnement.

c- Pollution biologique de l'eau : Elle peut être causée par une variété de micro-organismes tels que les bactéries, les virus, les parasites, les algues et les champignons. Ces organismes peuvent provenir de sources naturelles telles que les animaux ou les plantes, mais aussi de sources anthropiques telles que les eaux usées, les déchets agricoles et les rejets industriels. Certains pouvant être dangereux pour la santé humaine et animale, tandis que d'autres peuvent causer des problèmes environnementaux tels que la prolifération d'algues et d'efflorescences planctoniques [9].

I.3 Les Systèmes de Surveillance de la Qualité de l'Eau

Les systèmes de surveillance de la qualité de l'eau peuvent être utilisés dans divers contextes tels que les usines de traitement des eaux, les réservoirs d'eau potable et les stations d'épuration. Ils reposent souvent sur des capteurs mesurant différents paramètres tels que la turbidité, le pH, la conductivité électrique et la température.

I.3.1 Importance de la surveillance de la qualité de l'eau

La surveillance de la qualité de l'eau est cruciale pour plusieurs raisons, allant de la protection de la santé publique à la préservation des écosystèmes aquatiques et à l'optimisation des processus industriels. Les systèmes de surveillance de la qualité de l'eau jouent un rôle vital dans ces domaines en fournissant des données précises et en temps réel sur divers paramètres de l'eau. Importasses-unes des principales raisons pour lesquelles ces systèmes sont si importants :

a. Protection de la Santé Publique

L'eau potable contaminée peut causer de graves problèmes de santé, notamment des maladies d'origine hydrique comme la dysenterie, le choléra et la gastro-entérite. Les systèmes de surveillance de la qualité de l'eau permettent de détecter rapidement les contaminants tels que les bactéries, les virus et les produits chimiques toxiques, permettant ainsi de prendre des mesures correctives avant que l'eau ne soit consommée par les populations. Par exemple, en surveillant en continu les niveaux de chlore résiduel dans les réseaux de distribution d'eau potable, il est possible de garantir que l'eau reste désinfectée et sûre à boire [10].

b. Protection de l'Environnement

Les écosystèmes aquatiques sont sensibles aux changements de la qualité de l'eau. Les polluants, tels que les métaux lourds, les nutriments en excès et les pesticides, peuvent provoquer des déséquilibres écologiques, entraînant des phénomènes tels que l'eutrophisation, qui asphyxie les organismes aquatiques. Les systèmes de surveillance de la qualité de l'eau permettent de détecter ces polluants et d'évaluer leur impact sur l'environnement, facilitant ainsi la mise en œuvre de stratégies de gestion et de protection des ressources en eau [11].

c. Prévention des Catastrophes Industrielles

Dans les industries, l'eau est utilisée à diverses fins, y compris comme matière première, agent de refroidissement et solvant. La contamination de l'eau peut entraîner des dysfonctionnements dans les processus industriels, des dommages aux équipements et des pertes de production. Par exemple, l'industrie agroalimentaire nécessite une eau de haute qualité pour la transformation des aliments. Les systèmes de surveillance de la qualité de l'eau permettent de prévenir ces incidents en surveillant continuellement les paramètres de l'eau et en déclenchant des alertes en cas de dépassement des seuils de sécurité [12].

d. Conformité Réglementaire

De nombreuses réglementations nationales et internationales imposent des normes strictes de qualité de l'eau. Les entreprises et les municipalités doivent se conformer à ces normes pour éviter les amendes et les sanctions. Les systèmes de surveillance de la qualité de l'eau aident à assurer cette conformité en fournissant des données précises et en temps réel, nécessaires pour démontrer que les normes de qualité sont respectées.

e. Optimisation des Processus de Traitement de l'Eau

Les stations de traitement de l'eau doivent adapter leurs procédés en fonction de la qualité de l'eau entrante pour garantir une purification efficace. Les systèmes de surveillance permettent de suivre en temps réel les variations de la qualité de l'eau brute, facilitant ainsi l'ajustement des dosages de produits chimiques et des paramètres opérationnels. Cela permet d'optimiser l'efficacité du traitement, de réduire les coûts et de garantir une eau de sortie conforme aux standards de qualité [13].

f. Gestion des Ressources en Eau

La surveillance continue de la qualité de l'eau permet une meilleure gestion des ressources en eau, en identifiant les sources de pollution et en évaluant l'efficacité des mesures de protection mises en place. Par exemple, dans les bassins versants, les systèmes de surveillance peuvent aider à déterminer les contributions relatives des différentes sources de pollution (agricole, industrielle, domestique) et à prioriser les actions de remédiation[14].

1.3.2 Types de systèmes de surveillance de la qualité de l'eau

Il existe de nombreux systèmes de surveillance de la qualité de l'eau qui peuvent être utilisés dans différents contextes tels que les usines de traitement des eaux, les réservoirs d'eau potable, les stations d'épuration, etc. Ces systèmes peuvent être basés sur des capteurs qui mesurent différents paramètres tels que la turbidité, le pH, la conductivité électrique (EC), la température, etc. Selon la technologie, les systèmes de surveillance de la qualité de l'eau existants peuvent être classés en deux catégories : les systèmes filaires et les systèmes sans fil.

a- Les systèmes filaires sont généralement basés sur des capteurs connectés à une centrale de mesure via des câbles montés dans la figure I.4. Ces systèmes sont souvent utilisés dans des environnements où les conditions sont stables et où l'installation de câbles est faisable. Les systèmes filaires présentent plusieurs avantages, notamment une communication fiable et une alimentation continue pour les capteurs qui peuvent être alimentés directement par les câbles, éliminant ainsi le besoin de batteries, ainsi que les données collectées sont moins susceptibles d'être interceptées ou piratées. Mais reste la mise en œuvre de ces installations coûteuse et complexe, surtout dans des environnements difficiles et aussi manque de flexibilité puisque ces capteurs sont fixes et ne peuvent pas être facilement déplacés une fois installés ref[14].



Figure I. 4: Systèmes filaires de surveillance de la qualité de l'eau

b- Les systèmes sans fil sont basés sur des capteurs sans fil qui communiquent avec une centrale de mesure à distance montré dans l'exemple de la Figure I.5. Ces systèmes sont plus flexibles et plus faciles à déployer que les systèmes filaires, car ils ne

nécessitent pas de câblage. Les capteurs sans fil sont souvent utilisés dans des environnements où la pose de câbles est impraticable ou trop coûteuse. Ces systèmes montrent plusieurs avantages par leur flexibilité ou les capteurs peuvent être facilement installés et déplacés selon les besoins. Ils sont moins coûteux et d'une portée étendue leurs capteurs peuvent être placés dans des zones éloignées ou difficiles d'accès. Leurs principaux inconvénients sont leur dépendance aux batteries et le risque d'interférences qui influence la sécurité des données transmises [15].



Figure 1. 5: Systèmes sans fil sont basés sur des capteurs [15]

Le choix entre un système de surveillance filaire et sans fil dépend de nombreux facteurs, notamment le coût, la facilité d'installation, la fiabilité des communications et les besoins spécifiques de l'application. Les avancées technologiques continuent de rendre les systèmes sans fil de plus en plus fiables et économiques, mais les systèmes filaires restent une option robuste et sécurisée dans de nombreux contextes.

1.4 Méthodes de surveillance

Dans cette section, nous explorons trois principales méthodes de surveillance de la qualité de l'eau : la surveillance en continu, l'échantillonnage manuel et le monitoring par satellite. Chaque méthode offre des avantages spécifiques en termes de collecte et d'analyse des données, permettant une surveillance efficace de la qualité de l'eau dans différents environnements. Ces méthodes de contrôle et de surveillance de la qualité de l'eau existant sont les suivants :

I.4.1 Surveillance en continu

La surveillance en continu de la qualité de l'eau est un système de contrôle de la qualité de l'eau qui utilise des capteurs automatisés pour surveiller en continu les paramètres physiques, chimiques et biologiques de la qualité de l'eau. Les données collectées par les capteurs sont transmises à un système de collecte de données en temps réel pour analyse [16]. La Figure I.6 montre un modèle existant en commerce d'un système qui mesure en continu.

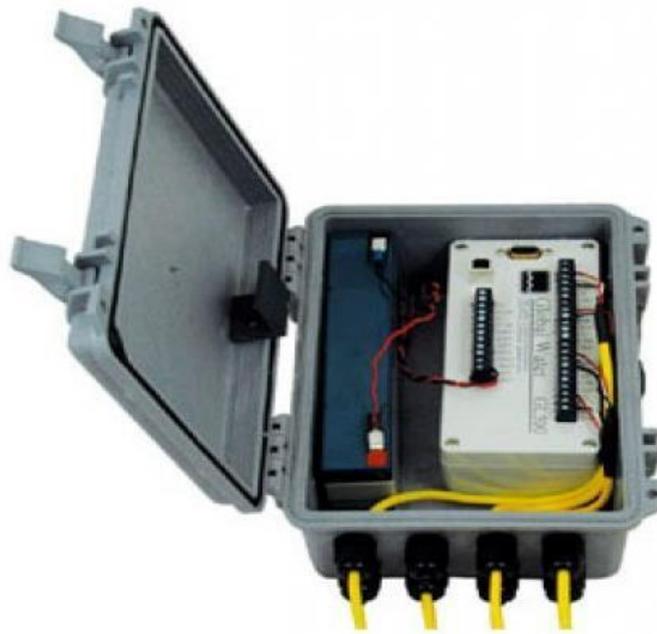


Figure I. 6: Système de Surveillance en continu de qualité de l'eau

La surveillance en continu peut être utilisée dans différents milieux, tels que les rivières, les lacs, les réservoirs, les aqueducs et les systèmes de traitement des eaux usées. Elle permet de surveiller les paramètres de la qualité de l'eau en temps réel, ce qui permet d'identifier rapidement tout changement ou anomalie dans la qualité de l'eau. Par exemple, si le système détecte une augmentation anormale de la concentration de nutriments, cela pourrait indiquer une pollution ou une prolifération d'algues nuisibles. Les autorités peuvent alors intervenir rapidement pour traiter la source de la pollution ou réduire la quantité de nutriments déversés dans la rivière [16].

Les capteurs utilisés pour la surveillance en continu peuvent mesurer des paramètres tels que la température, la conductivité, le pH, l'oxygène dissous(DO), la concentration en nutriments, les matières en suspension, les produits chimiques, les bactéries et les virus. Les résultats de ces analyses peuvent être utilisés pour évaluer la qualité de l'eau

et prendre des mesures pour maintenir ou améliorer la qualité de l'eau. Par exemple, si la concentration en nutriments est trop élevée dans un lac, les autorités peuvent mettre en place des mesures pour réduire les sources de nutriments, telles que les rejets de fertilisants ou les déversements de stations d'épuration.

1.4.2 Échantillonnage manuel

Le contrôle et la surveillance de la qualité de l'eau par échantillonnage manuel consistent à prendre des échantillons d'eau à des endroits spécifiques et ensuite à analysés pour déterminer leur qualité. Cette procédure est généralement réalisée régulièrement à différents endroits et points le long d'un cours d'eau ou dans un réservoir, par exemple, pour surveiller les changements dans la qualité de l'eau au fil du temps. Les échantillons d'eau sont préparés, collectés et manipulés par l'échantillonnage manuel implique la préparation, la collecte et la manipulation des échantillons d'eau par des individus généralement formés à cet effet. La Figure I.7 montre la procédure de l'échantillonnage. Ces échantillons peuvent être prélevés et stockés à l'aide de bouteilles ou de conteneurs stériles, et peuvent être analysés sur place ou envoyés à un laboratoire pour une analyse plus approfondie [17].

Le but du contrôle et de la surveillance de la qualité de l'eau par échantillonnage manuel est de fournir des informations sur la qualité de l'eau pour aider à prendre des décisions en matière de gestion de l'eau et à garantir que l'eau est sûre pour la consommation humaine, la baignade et d'autres utilisations. Les résultats peuvent également être utilisés pour détecter les sources de pollution et les aborder.



Figure I. 7:Échantillonnage manuel pour surveillance de la qualité de l'eau

Le principal objectif du contrôle et de la surveillance de la qualité de l'eau par échantillonnage manuel est de fournir des informations précieuses sur la qualité de l'eau, qui peuvent aider à prendre des décisions en matière de gestion de l'eau et à garantir que l'eau est sécuritaire pour une variété d'utilisations, notamment la consommation humaine et les activités de loisirs telles que la baignade et d'autres utilisations. En outre, les résultats obtenus grâce à ces évaluations peuvent être utilisés pour identifier les sources potentielles de pollution et mettre en place des mesures pour les aborder.

1.4.3 Monitoring par satellite

Le monitoring par satellite est une méthode de contrôle et de surveillance de la qualité de l'eau qui utilise des données recueillies par des satellites pour évaluer la qualité de l'eau dans les océans, les lacs et les rivières. La figure 1.8 donne un exemple d'une image prise le 24 mai 2019 par le satellite Sentinel2 du programme européen Copernicus du lac Tai, troisième plus grand lac de Chine (70 km de long et 60 km de large) montrant la prolifération d'algues toxiques suite au déversement en excès de minéraux et de nutriments généré par l'urbanisation rapide et l'activité économique intensive dans la région qui ont conduit à l'eutrophisation des eaux dégradant ainsi la qualité de l'eau du lac et menaçant ainsi la santé humaine et écologique. Cette technique permet de mesurer diverses caractéristiques de l'eau, notamment la concentration de nutriments, la couleur de l'eau, la turbidité et la température de l'eau. Par exemple, la concentration de chlorophylle dans l'eau peut être mesurée par les satellites [18], ce qui permet de suivre les niveaux d'algues et de prévoir les blooms d'algues toxiques qui peuvent avoir des conséquences néfastes sur les écosystèmes aquatiques et la santé humaine.



Figure I. 8:Monitoring par satellite

Les satellites peuvent également surveiller les déversements d'hydrocarbures en identifiant les zones touchées par les nappes d'huile et en suivant leur dispersion dans l'eau. Les données recueillies par les satellites sont utilisées pour surveiller les tendances à long terme et pour déterminer les zones où la qualité de l'eau nécessite une attention particulière pour la protection de la qualité de l'eau. En outre, le monitoring par satellite peut aider les responsables de l'eau à prendre des décisions informées sur les stratégies de gestion de la qualité de l'eau et à évaluer l'efficacité de ces stratégies au fil du temps. En outre, le monitoring par satellite est donc une méthode précieuse pour évaluer et surveiller la qualité de l'eau à grande échelle et de manière régulière, en fournissant des données fiables sur les caractéristiques de l'eau et les sources potentielles de pollution.

I.5 Les Technologies de communication utilisées

Les technologies de communication sont cruciales pour la transmission en temps réel des données de surveillance. Parmi les technologies couramment utilisées, on trouve la télémétrie, les réseaux de capteurs sans fil et les systèmes de communication par satellite, chacun offrant des moyens efficaces de collecter et de transmettre des données de surveillance.

I.5.1 Télétransmission des Données

La télétransmission des données, ou télémétrie, utilise des signaux radio pour transmettre les données de surveillance en temps réel. Les stations de surveillance de la qualité de l'eau sont équipées de dispositifs de mesure, tels que des capteurs de pH, de conductivité et de turbidité, qui envoient les données collectées à une station centrale via des émetteurs-récepteurs radios. Cette technologie permet une surveillance continue et en temps réel de la qualité de l'eau, facilitant ainsi une réaction rapide en cas de détection de contaminations ou de variations anormales des paramètres de l'eau. Les avantages de la télémétrie incluent :

- **Transmission en temps réel** : Les données sont envoyées instantanément, permettant une réaction rapide.
- **Couverture étendue** : Les signaux radio peuvent couvrir de grandes distances, reliant plusieurs stations de surveillance à une station centrale.
- **Fiabilité** : La technologie radio est éprouvée et robuste, même dans des conditions environnementales difficiles.

Cette technologie est largement utilisée dans les réseaux de distribution d'eau potable, où une surveillance continue est cruciale pour garantir la sécurité et la qualité de l'eau fournie aux consommateurs [19].

I.5.2 Réseaux de Capteurs Sans Fil (WSN)

Les réseaux de capteurs sans fil (Wireless Sensor Networks, WSN) sont des systèmes de surveillance avancés qui utilisent des capteurs pour collecter des données environnementales et les transmettre sans fil à une station centrale. Les capteurs peuvent être déployés de manière flexible dans diverses configurations, y compris directement dans l'eau, sur les rives, ou même sur des drones aquatiques ou aériens. Les WSN offrent plusieurs avantages clés :

- **Flexibilité d'installation** : Les capteurs sans fil peuvent être facilement installés et déplacés selon les besoins.
- **Évolutivité** : Les réseaux peuvent être étendus en ajoutant simplement plus de capteurs sans nécessiter une infrastructure filaire.

- **Transmissions variées** : Les données peuvent être transmises via divers protocoles sans fil tels que Wi-Fi, Bluetooth, ou Zigbee, chacun offrant différents avantages en termes de portée, de consommation énergétique et de vitesse de transmission.

Les WSN sont particulièrement utiles pour surveiller des zones vastes et difficiles d'accès, comme les bassins versants ou les zones côtières, où ils peuvent fournir des données précieuses pour la gestion des ressources en eau et la prévention de la pollution.

1.5.3 Communication par Satellite

Les systèmes de communication par satellite sont une autre technologie essentielle pour la transmission de données en temps réel dans les systèmes de surveillance de la qualité de l'eau, particulièrement utile dans les régions éloignées où les réseaux de communication terrestres sont inexistantes ou peu fiables.

Par exemple, dans les zones côtières et océaniques, les bouées océanographiques équipées de capteurs de qualité de l'eau utilisent des satellites pour transmettre leurs données. Ces bouées peuvent mesurer des paramètres tels que la salinité, la température et la turbidité de l'eau. Un autre exemple, dans les régions reculées, les stations de surveillance situées dans des zones isolées, comme les montagnes ou les déserts, utilisent la communication par satellite pour transmettre des données en temps réel à des centres de contrôle distants [20]. Les avantages de l'utilisation de cette technologie sont :

- **Couverture globale** : Les satellites peuvent couvrir des zones vastes et éloignées sans nécessiter d'infrastructure locale.
- **Fiabilité** : Les communications par satellite sont moins sujettes aux interférences et aux obstacles terrestres.
- **Utilisation pour la prévision des conditions météorologiques** : Les données transmises peuvent aider à prévoir les conditions météorologiques extrêmes, telles que les tempêtes tropicales et les ouragans, contribuant ainsi à la sécurité publique et à la gestion des ressources.

Les technologies de communication sont essentielles pour les systèmes de surveillance de la qualité de l'eau car elles permettent la transmission en temps réel des données

de surveillance, facilitant ainsi la prise de décisions rapides et éclairées pour protéger la santé publique et l'environnement.

I.6 Conclusion

En conclusion, la surveillance de la qualité de l'eau est cruciale non seulement pour protéger la santé publique et préserver l'environnement, mais également pour assurer le bon fonctionnement des processus industriels. Les systèmes de surveillance actuels, qui utilisent une variété de technologies pour collecter et analyser les données, jouent un rôle essentiel dans la détection précoce des contaminants et la gestion des ressources en eau. Cependant, il est impératif de continuer à développer et à intégrer de nouvelles technologies pour améliorer l'efficacité et la précision de ces systèmes. Cela permettra non seulement de mieux préserver cette ressource vitale.

Chapitre II : Architecture et Principe de Fonctionnement du Système de Surveillance de la Qualité de l'Eau

Chapitre II : Architecture et Principe de Fonctionnement du Système de Surveillance de la Qualité de l'Eau

II.1 Introduction

Ce système est conçu pour fournir une surveillance continue et en temps réel des paramètres clés de la qualité de l'eau, en intégrant des technologies avancées et des composants sophistiqués. Il utilise des capteurs intelligents pour mesurer divers paramètres physico-chimiques tels que la température, la concentration de solides dissous (TDS) et la turbidité. Ces capteurs transmettent les données collectées à un microcontrôleur ESP32, qui centralise, stocke et analyse les informations pour détecter des variations et anomalies. Grâce à la connectivité Wi-Fi intégrée de l'ESP32, les données traitées sont transmises en temps réel à un module interne ou à un serveur central, permettant une consultation immédiate et à distance via des Smartphones, des tablettes ou des ordinateurs personnels.

Cette architecture assure une surveillance efficace et réactive de la qualité de l'eau, offrant une solution complète et flexible pour la gestion des ressources en eau et la protection de l'environnement. Dans ce chapitre, nous décrivons l'architecture et le principe de fonctionnement d'un système de surveillance de la qualité de l'eau. Nous explorerons en détail les différentes parties de l'architecture du système, les principes de mesure des capteurs utilisés, et le fonctionnement global du système.

II.2 Présentation de l'architecture générale du système

L'architecture générale du système de surveillance de la qualité de l'eau est structurée en trois parties principales : le système d'acquisition, le système de traitement, et le système d'affichage en temps réel. Chacune de ces parties joue un rôle crucial dans la collecte, l'analyse et la présentation des données sur la qualité de l'eau.

II.2.1. Système d'Acquisition

Le système d'acquisition constitue la première étape de l'architecture et intègre divers capteurs conçus pour mesurer les paramètres physico-chimiques de l'eau. Ces capteurs sont essentiels pour assurer une surveillance précise et en temps réel de la qualité de l'eau. Ils collectent des données sur des paramètres cruciaux tels que la température, la turbidité, la conductivité électrique (EC) et la concentration de solides dissous (TDS). Ces capteurs sont connectés au système de traitement via des interfaces adaptées, assurant une transmission précise et fiable des données collectées. Les principaux capteurs utilisés dans ce système incluent :

- **Capteur de température** : Mesure la température de l'eau, un paramètre essentiel pour évaluer les conditions environnementales et biologiques.
- **Capteur TDS** : Mesure la concentration de solides dissous dans l'eau, indiquant la pureté de l'eau et la présence de minéraux ou de contaminants.
- **Capteur de turbidité** : Mesure la clarté de l'eau, un indicateur de la présence de particules en suspension.

Ces capteurs sont connectés au système de traitement via des interfaces adaptées, assurant une transmission précise et fiable des données collectées.

II.2.2 Système de Traitement

Le système de traitement constitue la deuxième partie de l'architecture. Il utilise une carte ESP32 comme contrôleur principal pour traiter les données collectées par les capteurs. La carte ESP32 est choisie pour ses capacités de traitement élevées et ses fonctionnalités intégrées, telles que la connectivité Wi-Fi. Les fonctions principales du système de traitement incluent :

- **Collecte des données** : Les données provenant des différents capteurs sont recueillies et centralisées par la carte ESP32.

- **Analyse des données** : La carte ESP32 effectue des calculs et des analyses préliminaires sur les données brutes pour extraire des informations significatives.
- **Transmission des données** : Utilisation de la connectivité Wi-Fi intégrée pour transmettre les données analysées à une station centrale ou à des dispositifs externes en temps réel.

Ce système permet de gérer efficacement les données de surveillance et d'assurer une communication fluide avec les plateformes de stockage et d'affichage.

II.2.3 Système d'Affichage en Temps Réel

La troisième partie de l'architecture est le système d'affichage en temps réel, qui présente les données de qualité de l'eau sur divers dispositifs. Ce système garantit que les utilisateurs peuvent accéder facilement et rapidement aux informations critiques.

Les principales fonctionnalités du système d'affichage incluent :

- **Affichage sur écran LCD** : Présente les données en temps réel directement sur le dispositif de surveillance pour une visualisation immédiate.
- **Affichage sur PC** : Les données sont transmises et affichées sur des ordinateurs personnels, permettant une analyse détaillée et une gestion des historiques de données.
- **Affichage sur appareils mobiles** : Les données sont accessibles via des Smartphones et des tablettes, offrant une flexibilité et une mobilité accrue pour les utilisateurs.
- **Interfaces web et applications** : Les utilisateurs peuvent accéder aux données via des interfaces web ou des applications dédiées, facilitant la surveillance à distance et la prise de décision rapide.

La Figure II.1 illustre l'architecture générale du système de surveillance de la qualité de l'eau, montrant l'intégration des trois parties principales : acquisition, traitement et affichage. Cette architecture modulaire et scalable assure une surveillance efficace et fiable de la qualité de l'eau, adaptée à divers environnements et besoins spécifiques. Cette architecture permet une surveillance continue et en temps réel de la qualité de l'eau, offrant une solution complète et intégrée pour la gestion des ressources en eau et la protection de l'environnement.

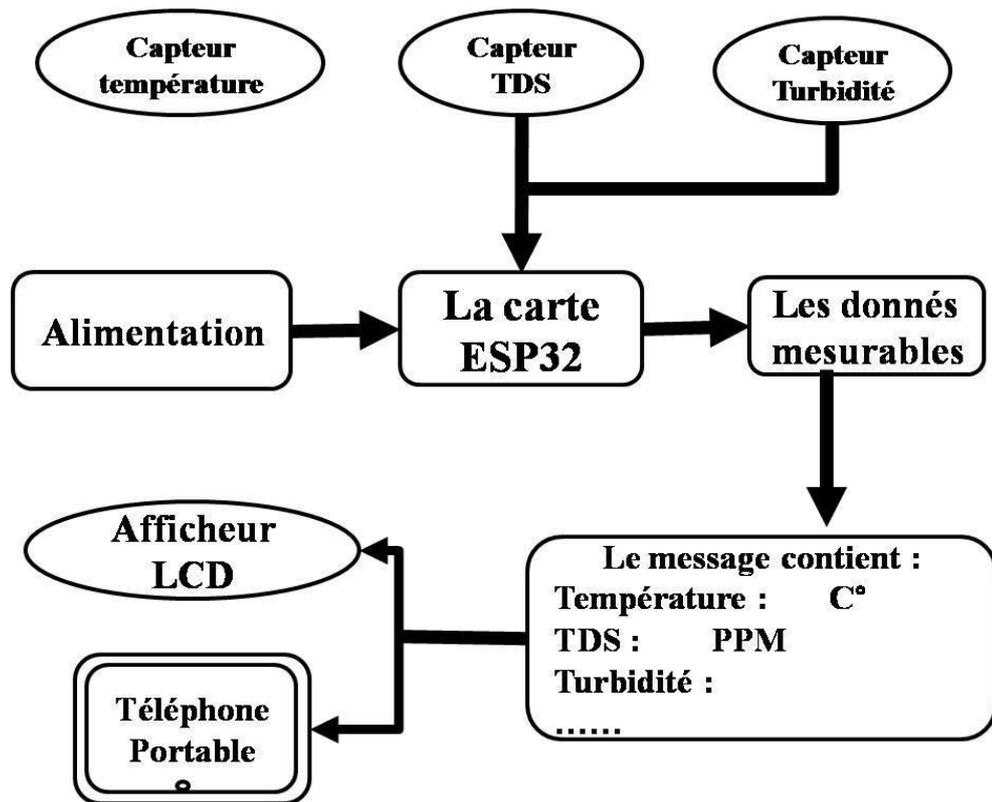


Figure II. 1: Architecture générale du système de la surveillance de qualité d'eau

II.3 Principe de fonctionnement du système

Notre système de surveillance de la qualité de l'eau basé sur l'ESP32 est un outil puissant pour la gestion et la protection des ressources en eau. Il permet une surveillance continue et précise, facilite la détection rapide des anomalies, et offre des solutions flexibles pour l'affichage et l'analyse des données, que ce soit localement ou à distance. Le principe de fonctionnement du système de surveillance de la qualité de l'eau repose sur des technologies de télésurveillance et de communication avancées, intégrant des capteurs intelligents et des modules de transmission de données en temps réel.

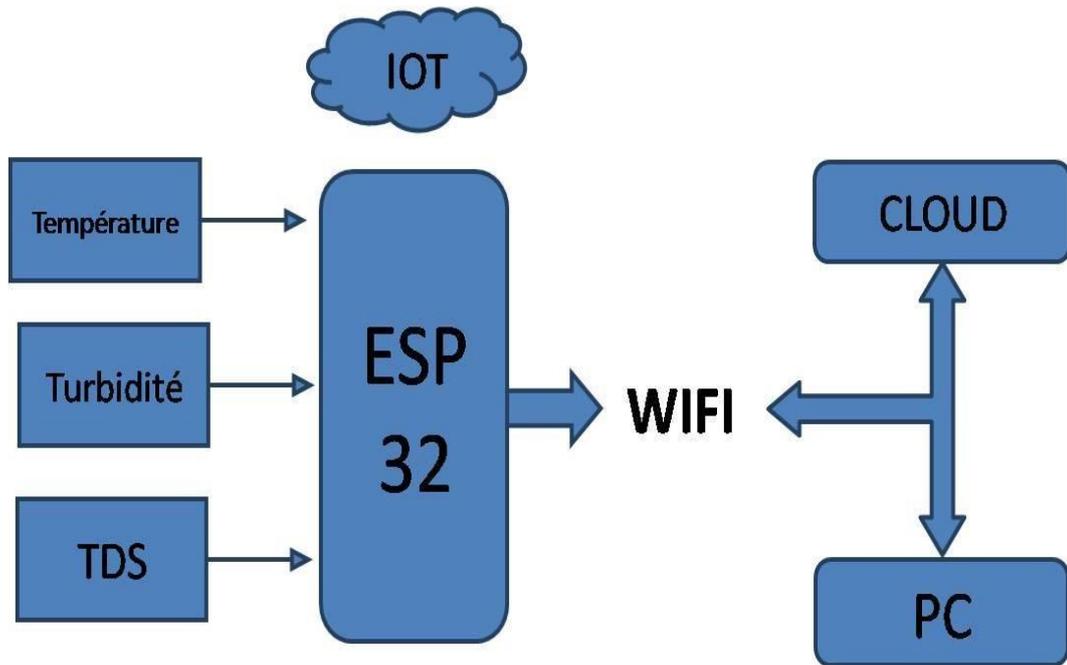


Figure II. 2: Mode de fonctionnement du système.

La figure II.2 schématise le mode de fonctionnement du système, montrant comment les données sont collectées par les capteurs, traitées par l'ESP32, transmises via Wi-Fi, et affichées en temps réel sur divers dispositifs. Voici une description détaillée de son fonctionnement.

II.3.1 Processus et composants

Le système proposé est équipé d'un réseau de capteurs spécialisés pour mesurer différents paramètres, offrant ainsi un processus de contrôle et surveillance précise et continue de la qualité de l'eau, tels que :

- La température mesurée par des capteurs thermiques pour surveiller les variations thermiques de l'eau.
- La concentration de Solides Dissous (TDS) mesurée pour déterminer la pureté de l'eau et détecter la présence de minéraux ou contaminants.
- La turbidité mesurée pour évaluer la clarté de l'eau et détecter les particules en suspension.

Ces capteurs transmettent les données collectées à un module ESP32, qui agit comme le cerveau du système. L'ESP32 stocke temporairement les données dans sa mémoire interne pour un traitement initial. Puis il effectue une analyse préliminaire pour

extraire des informations utiles telles que des moyennes, des variations et des anomalies. Ces données traitées par l'ESP32 transmises, via sa connectivité Wi-Fi intégrée, à un module interne ou à un serveur central, où elles peuvent être stockées à long terme et analysées en profondeur. Les données peuvent être consultées en temps réel sur un écran LCD installé sur place ou à distance via des applications mobiles et des interfaces web, offrant une flexibilité et une accessibilité accrues.

II.3.2 Application d'une surveillance dans une usine de production alimentaire

Prenons un exemple concret pour illustrer le fonctionnement du système de surveillance de la qualité de l'eau avec l'ESP32. Imaginons que nous voulions surveiller la qualité de l'eau dans une usine de production alimentaire. Un réseau de capteurs est installé dans les points critiques du réseau d'eau de l'usine pour mesurer la température, la concentration de solides dissous et la turbidité. Ces capteurs mesurent en continu et envoient ces mesures à l'ESP32. Le microcontrôleur collecte, traite et stocke temporairement les données avant de les transmettre via Wi-Fi à un serveur central. Ces données mesurées peuvent être consultées en temps réel sur un écran LCD installé sur place ou dans la salle de contrôle de l'usine, offrant une visualisation immédiate des conditions et sont également accessibles à distance via une application mobile, permettant aux responsables de production de surveiller la qualité de l'eau à tout moment.

II.3.3 Détection et Réaction aux Anomalies

Le système surveille en permanence les paramètres de qualité de l'eau. En cas d'anomalies, telles qu'une augmentation soudaine de la turbidité ou une variation anormale de la concentration de TDS, le système envoie immédiatement des alertes aux responsables via l'application mobile. Ces alertes permettent aux responsables de prendre des mesures correctives rapidement, comme l'arrêt de la production, le traitement de l'eau ou la réparation des équipements défectueux. Après la résolution de l'incident, les données collectées sont analysées pour comprendre la cause de l'anomalie et améliorer les procédures de prévention.

II.4 L'Internet des Objets (IoT) pour la surveillance automatique de la qualité de l'eau

II.4.1 Domaine d'utilisation de l'internet des objets

L'internet des objets est de plus en plus utilisé, notamment dans le cas des personnes à autonomie réduite. Dans le domaine médical, il peut faciliter la collecte d'informations en temps réel à l'aide de capteurs pour identifier l'état de santé du patient surveillé, telles que sa position, ses signes vitaux, et toutes autres informations pertinentes. L'IoT est en pleine croissance bénéficiant de la création du Cloud Computing et de son autonomie, ce qui lui permet d'être appliqué dans divers domaines tels que l'agriculture, la sécurité et la domotique, comme illustré dans la figure II.3.



Figure II. 3 : Divers domaines d'utilisation d'internet des objets(IoT)

II.4.2Intégration des capteurs dans l'Internet des objets pour la surveillance de la qualité de l'eau

L'internet des objets (IoT) est un concept qui regroupe tous les objets physiques dotés d'une intelligence et de la capacité de communiquer via le réseau Internet illustré dans Figure II.4. Ce paradigme informatique repose sur des objets quotidiens intégrant des capteurs et leur attribuant une personnalité et une identité propre. L'ensemble de ces

II.5 Logiciels et environnement de conception

Dans le cadre de la conception du prototype de surveillance de la qualité de l'eau, deux logiciels ont été utilisés, à savoir FRITZING et Arduino IDE. Ces outils permettent de schématiser et de programmer les différents composants du système, notamment les capteurs mesurant les grandeurs de la qualité de l'eau ainsi que la partie alimentation avec la carte ESP32. Leur utilisation a permis de concevoir un prototype efficace et fonctionnel. Cette partie de la mémoire présentera en détail les caractéristiques et les fonctionnalités de ces deux logiciels.

II.5.1 Logiciel ArduinoIDE

L'environnement de programmation ArduinoIDE est un outil qui permet de créer des programmes pour les cartes Arduino en utilisant un langage de programmation simple, constitué d'environ 50 commandes différentes. Grâce à l'IDE, il est possible d'écrire, de modifier et de compiler le programme pour le rendre exécutable par la carte[28]. L'interface du logiciel se compose de boutons de commande en haut, d'une page vierge pour écrire le code et d'une bande noire en bas, comme illustré sur la Figure II.5

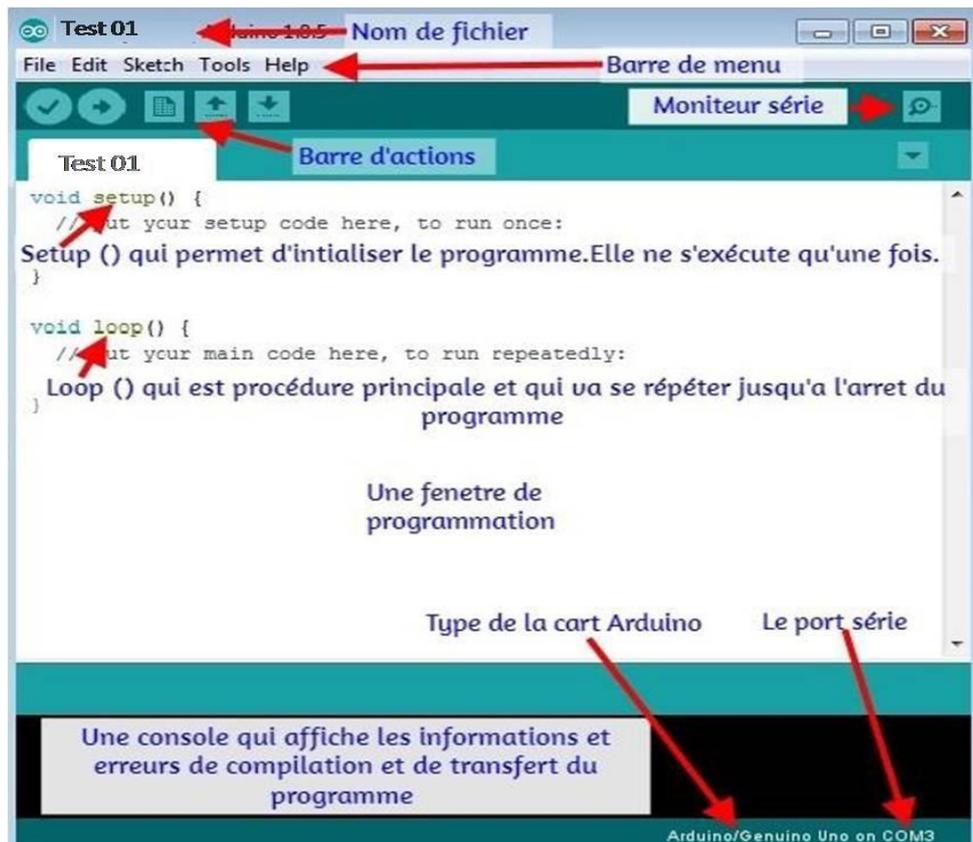


Figure II. 5 : Environnement logiciel ARDUINOIDE[30]

En combinant la programmation et l'électronique, le système Arduino offre la possibilité de concevoir des systèmes électroniques plus simples et moins coûteux que les schémas électroniques traditionnels, tout en réduisant la charge de travail nécessaire à la conception d'une carte électronique. Cet IDE dédié au langage Arduino comporte de nombreux outils et fonctionnalités, et permet de programmer des cartes Arduino pour réaliser diverses tâches en électronique [27]. Cet espace de développement intégré (IDE) dédié au langage Arduino et à la programmation des cartes Arduino comporte:

- Une BARRE DE MENUS comme pour tout logiciel ayant une interface graphique.
- Une BARRE DE BOUTONS qui donne un accès direct aux fonctions essentielles du logiciel et qui fait toutes à simplicité d'utilisation.
- Un EDITEUR pour écrire le code du programme, avec onglets de navigation.
- Une ZONE DE MESSAGES qui affiche et indique l'état des actions en cours.
- Une CONSOLE TEXTE qui affiche les messages concernant le résultat de la compilation du programme.

II.5.2 Logiciel «FRITZING»

Le logiciel FRITZING est un outil de création et d'édition de circuits électroniques. Il permet de concevoir des projets électroniques et de créer des circuits imprimés. Ce logiciel est disponible gratuitement en ligne et son but est de promouvoir l'échange de circuits électroniques libres et de faciliter l'apprentissage de la conception de circuits[28]. La Figure II.6 illustre l'interface utilisateur du logiciel, qui se compose de trois vues principales:

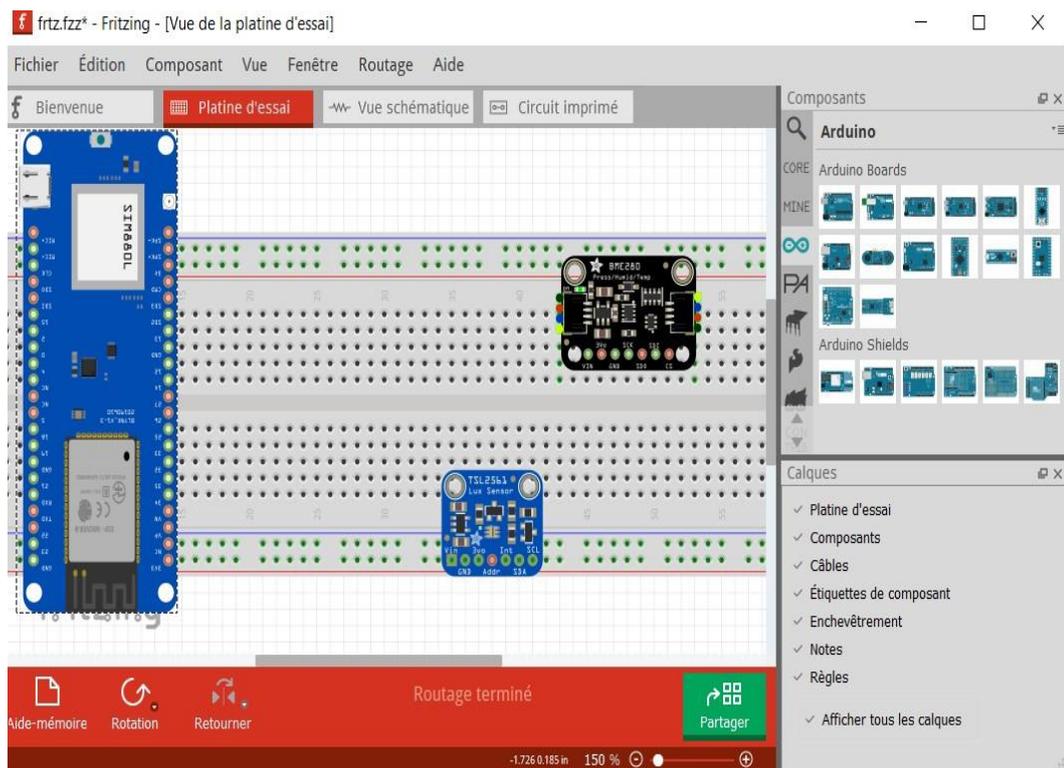


Figure II. 6 : Environnement logiciel FRITZING

- La Platine d'essai, où les composants sont affichés comme ils apparaissent dans la réalité et où le montage est construit;
- La Vue schématique, qui représente le schéma fonctionnel du circuit;
- Le Circuit imprimé, qui montre le circuit imprimé tel qu'il sera imprimé en PDF[29].

II.6. Choix et description des dispositifs électroniques du système

Dans le contexte de la conception d'un système de surveillance de la qualité de l'eau, il est crucial de choisir des composants électroniques fiables qui permettent une surveillance précise et en temps réel pour collecter les données nécessaires de la qualité de l'eau,

et offre ainsi une solution efficace pour prévenir la contamination de l'eau et préserver la santé publique. C'est pourquoi cette section décrit les différents composants électroniques choisis pour le projet.

II.6.1 Module ESP32

Le module NodeMCU ESP32 est carte de développement programmable basé sur l'ESP32, cadencé à 240 MHz et exécutant le firmware open source NodeMCU. Il est compatible avec les scripts LUA et peut être programmé via l'IDE Arduino. Ce module dispose d'interfaces WiFi et Bluetooth, ce qui le rend idéal comme une plate-forme IoT pour les objets connectés. Il est également équipé de connecteurs latéraux mâles et femelles, ce qui permet de l'enficher facilement sur une plaque de montage rapide. Grâce à l'interface sans fil Wifi, il est possible de créer un point d'accès sans fil, d'héberger un serveur, de se connecter à internet et de partager des données. Pour le programmer, il suffit de lancer l'IDE Arduino et d'installer une extension, puis de connecter le module à l'aide d'un cordon microUSB. Enfin, il est compatible avec les plaques de connexions rapides.



Figure II. 7 :Module NodeMCUESP32

Ce module NodeMCU ESP32 monter dans la Figure II.7 a été choisie pour sa flexibilité et sa compatibilité avec différents capteurs. En effet, elle peut être programmée pour interagir avec une grande variété de capteurs et permettre ainsi une mesure précise de différents paramètres de qualité de l'eau. De plus, la carte ESP32 dispose d'une connexion Wi-Fi intégrée, permettant la transmission des données collectées vers un serveur distant. Cette fonctionnalité est essentielle pour une surveillance en temps réel de la qualité de l'eau [30].

Les tableaux II.1, II.2 et II.3 donne respectivement les caractéristiques matérielles de la carte ESP32, les Spécifications de l'alimentation de la carte et les Spécifications du logiciel de la carte ESP32 [30].

Tableau.II. 1 : Caractéristiques de la carte NodeMCU ESP32.

Chipset	ESPRESSIF-ESP32240MHz Xtensa®MicroprocesseurLX632bits simple/double cœur.
Mémoire FLASH	Flash QSPI4Mo/PS RAM 8Mo.
Fiche USB	USB Type-c.
Tension de fonctionnement	2.7V-3.6V.
Courant de travail	Environ70mA
Courant de veille	Environ 300uA
Horloge embarquée	Oscillateur à cristal de 40MHz
Plage de température de Fonctionnement	-40°C~+85°C.
Interface modulaire	UART, SPI, SDIO,I2C, LEDPWM, TVPWM,I2S, IRGPIO, capteur tactile à condensateur, ADC, préamplificateur ACLNA.

Tableau.II. 2 : Les Spécifications de l'alimentation.

Alimentation	USB5V/1A.
Courant de charge	500mA.
Batterie	Batterie au lithium3,7V.

Tableau.II. 3 : Les Spécifications du logiciel de la carte NodeMCU ESP32

Mode Wi-Fi	station/SoftAP/SoftAP+Station/P2P
Mécanisme de sécurité	WPA/WPA2/WPA2-Enterprise/WPS
Type de cryptage	AES/RSA/ECC/SHA
Mise à niveau du micro-logiciel	Téléchargement UART/OTA (via réseau/hôte pour télécharger et écrire le micro-logiciel)

Développement du logiciels	Support de développement de serveur cloud/SDK pour le développement de micro-logiciels utilisateur.
Système d'exploitation	FreeRTOS

La figure III.6 donne la description du Module NodeMCU ESP32 ainsi que le brochage de différents pins. Les Pins ou GPIO (Les ports GPIO (anglais : General Purpose Input/Output, littéralement Entrée-sortie à usage général) sont des ports d'entrées-sorties très utilisés dans le monde des microcontrôleurs. On peut assigner plusieurs fonctions au même pin, grâce au circuit de multiplexage de la carte ESP32. On peut choisir le rôle d'un pin (UART, I2C, SPI) par programmation. [31]

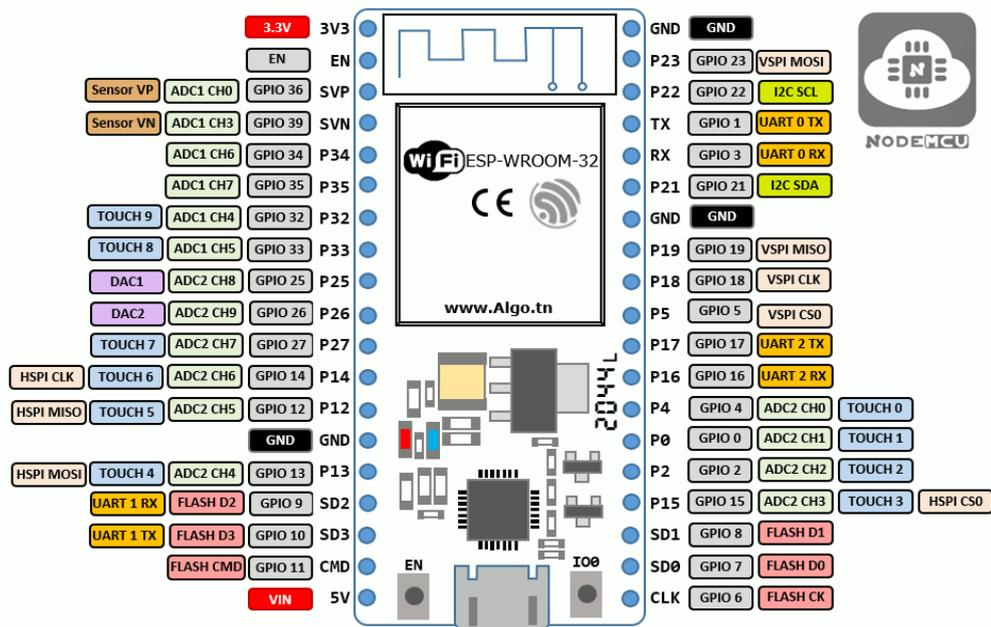


Figure II. 8 : Description du Module NodeMCU ESP32

II.6.2 Afficheurs « LCD »

Un écran à cristaux liquides utilise un mode d'affichage numérique sur un écran plat. On a tendance à confondre dans le sens commun LCD et TFT [32]. Cependant les écrans dits TFT ne sont qu'un des types d'écrans à technologie LCD existants. Les écrans LCD-TFT sont aujourd'hui les plus courants Initialement il s'agissait d'écrans à matrice passive peu performante (figure II.9). Les écrans à matrice active les ont peu à peu remplacés car elles offrent des images de bien meilleure qualité. Il est un module compact intelligent et nécessite peu de composants externes pour un bon fonctionnement. Il consomme relativement peu (de 1 à 5 mA).

Ces afficheurs LCD peuvent afficher des images arbitraires ou fixes avec un faible contenu d'informations, qui peuvent être affichées ou masquées, telles que des mots prédéfinis, des chiffres et des affichages à 7 segments. Ils sont constitués de deux lames de verre, distantes de 20 μm environ, sur lesquelles sont dessinées les mantisses formant les caractères. L'espace entre elles est rempli de cristal liquide normalement réfléchissant. L'application entre les deux faces d'une tension alternative basse fréquence de quelques volts (3 à 5 V) le rend absorbant. Les caractères apparaissent sombres sur fond clair. Sa lisibilité augmente avec l'éclairage.

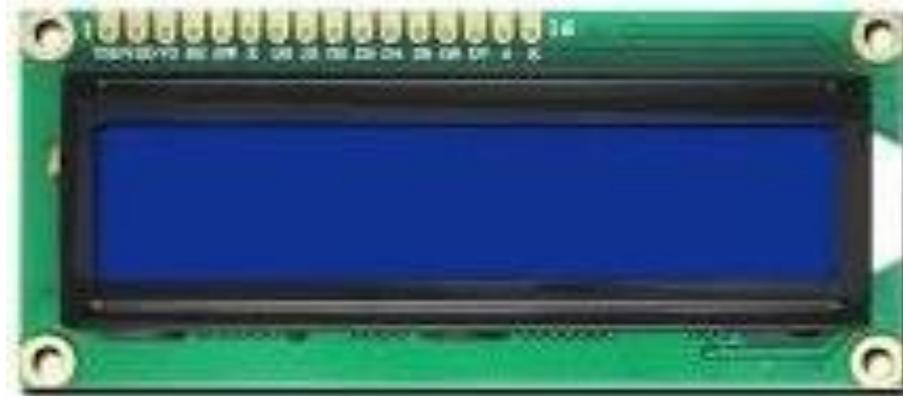


Figure II. 9:Afficheur LCD.

Plusieurs afficheurs sont disponibles sur le marché et diffèrent les uns des autres, non seulement par leurs dimensions, (de 1 à 4 lignes de 6 à 80 caractères), mais aussi par leurs caractéristiques techniques et leur tension de service. Certains sont dotés d'un rétro éclairage de l'affichage. Les écrans ou afficheurs LCD sont utilisés dans un large éventail d'applications telles que : écrans d'ordinateur, téléviseurs. Les tableaux de bord, les appareils photo numériques et les téléphones mobiles .Ils sont très utilisés dans les montages à microcontrôleur, et permettent une grande convivialité. Ils peuvent aussi être utilisés lors de la phase de développement d'un programme. La bibliothèque Arduino est développée pour les LCD, l'utilisateur n'a besoin que de quelques lignes de code pour réaliser des graphiques complexes et des fonctionnalités d'affichage de texte, vous pouvez obtenir des informations en cours d'exécution sans ordinateur.

- **Une brève note sur le module LCD I2C**

Le principal inconvénient de l'écran LCD 16 \times 2 est qu'il nécessite au moins 6 broches GPIO d'un microcontrôleur pour fonctionner correctement. Ce n'est même pas le mode 8 bits mais le mode 4 bits réduit (ajoutez 4 autres broches GPIO pour le mode 8 bits).Il

n'est pas souhaitable d'utiliser autant de broches d'un microcontrôleur pour un simple écran LCD de caractères, surtout si vous concevez un projet avec de nombreux capteurs et appareils connectés au microcontrôleur. La figure II.10 représente module LCD I2C est conçu pour surmonter cet inconvénient. Ce module LCD I2C est un module basé sur I2C conçu pour convertir des écrans LCD réguliers de 16×2 (ou 20×4) caractères en dispositifs basés sur I2C, c'est-à-dire au lieu d'utiliser 8 bits ou 4 interface parallèle de bits pour envoyer des données, nous pouvons utiliser le bus I2C pour envoyer des données à l'écran .

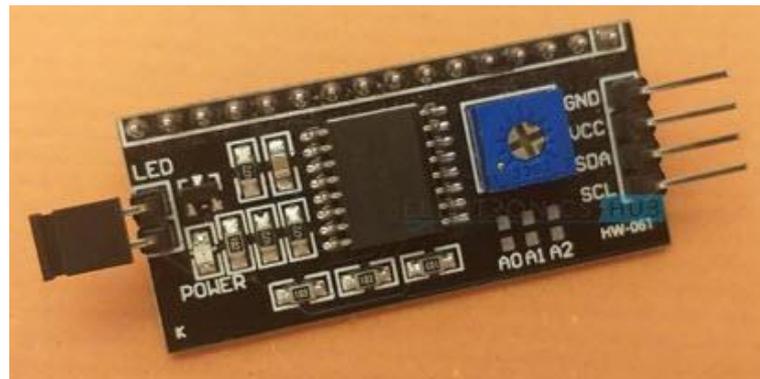


Figure II. 10 : Le module LCD I2C.

II.6.3 Capteur TDS

Le capteur TDS/EC a été sélectionné pour mesurer la conductivité électrique de l'eau, qui est un indicateur clé de la qualité de l'eau. La mesure de la conductivité électrique permet de déterminer la concentration de particules solides dissoutes dans l'eau, telles que les sels, les minéraux, ou encore les polluants chimiques. La précision et la rapidité de mesure de ce capteur en font un choix judicieux pour ce type d'application.

a. Définition de capteur TDS :

Un capteur TDS (Total Dissolved Solids) est utilisé pour mesurer la quantité totale de solides dissous dans une solution, généralement de l'eau. Cela peut inclure des minéraux, des sels, des produits chimiques, des métaux lourds, etc. Le rôle principal d'un capteur TDS est de mesurer la qualité de l'eau et de déterminer si elle est potable ou non. Les niveaux élevés de TDS peuvent indiquer une contamination de l'eau et peuvent causer des problèmes de santé si l'eau est consommée. La figure II.11 montre le modèle du capteur TDS utilisé dans notre projet.



Figure II. 11: Le capteur TDS.

De plus, les capteurs TDS sont également utilisés pour surveiller la qualité de l'eau dans les systèmes de traitement de l'eau, les piscines, les spas, les cultures aquatiques, etc. Ils peuvent aider à contrôler les niveaux de TDS pour garantir que l'eau est saine pour les poissons, les plantes et les êtres humains. En conclusion, le capteur TDS est un outil important pour la qualité de l'eau qui peut aider à protéger la santé publique, les écosystèmes aquatiques et les systèmes de traitement de l'eau.

b. Caractéristiques et spécifications :

Un capteur TDS (Total Dissolved Solids) mesure la quantité de solides dissous dans un liquide.

Les caractéristiques générales d'un capteur TDS incluent :

- Gamme de mesure : la plage de mesure dépend du modèle, mais en général, ils peuvent mesurer entre 0 et 9990 ppm (parties par million).
- Précision: La précision de mesure dépend également du modèle, mais en général, elle peut varier de $\pm 2\%$ à $\pm 5\%$ de la lecture.
- Réponse en temps : le temps de réponse dépend du modèle, mais en général, il peut varier de quelques secondes à une minute.
- Température de fonctionnement : la plage de températures de fonctionnement dépend du modèle, mais en général, ils peuvent fonctionner à des températures allant de 0 à 50 °C.
- Alimentation électrique : certains capteurs TDS sont alimentés par batterie, tandis que d'autres peuvent être alimentés par une source externe de courant continu.

- Sortie de signal : la sortie de signal dépend du modèle, mais en général, elle peut être sous forme de signal numérique (par exemple, USB) ou analogique (par exemple, voltmètre)

Ce détaille fait référence au TDS Meter V1.0 de key studio. Voici les paramètres Mètre TDS du capteur :

- Tension d'entrée : cc 3,3 ~ 5,5 V.
- Tension de sortie : 0 ~ 2,3 V
- Courant de fonctionnement : 3 ~ 6 mA
- Plage de mesure TDS : 0 ~ 1000 ppm
- Précision de mesure TDS : $\pm 10\%$ FS (25 °C)
- Interface de modules : XH2.54-3P
- Interface d'électrode : XH2.54-2P Aussi des paramètres Sonde TDS :
- Nombre d'aiguilles : 2
- Longueur totale : 60 cm
- Interface de connexion : XH2.54-2P
- Couleur blanche
- Sonde étanche

II.6.4 Capteur de turbidité

Le capteur de turbidité a été choisi pour mesurer la turbidité de l'eau, qui est un autre indicateur important de la qualité de l'eau. La turbidité mesure la quantité de particules en suspension dans l'eau, telles que les sédiments, les algues ou encore les bactéries. Ce capteur est précis et peut mesurer la turbidité même à faible niveau, ce qui est important pour détecter les variations dans la qualité de l'eau.

a- La définition de capteur de turbidité :

Capteur de turbidité TSS (Total Suspended Solid) compatible gravité de DF Robot permettant de déterminer la quantité de particules en suspension dans un liquide en mesurant la transmittance de la lumière et la vitesse de diffusion. Ce module permet par exemple de différencier une eau claire d'une eau trouble. Le capteur est livré avec une interface et communique avec un microcontrôleur type Arduino via un signal digital ou analogique (sélection via un inverseur). La figure II.12 montre le capteur de turbidité.

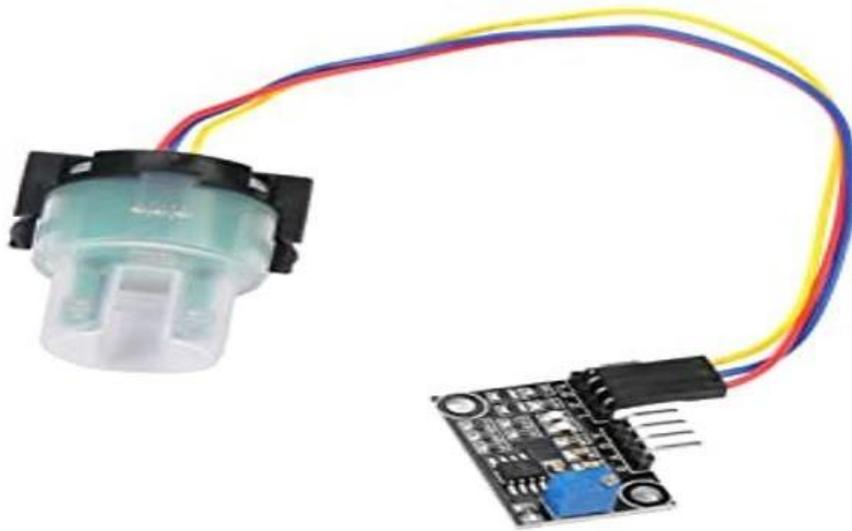


Figure II. 12 : Capteur de turbidité

b- Caractéristique de capteur

Le capteur de turbidité mesure la quantité de particules en suspension dans un liquide.

Les caractéristiques générales d'un capteur TSS incluent :

- Alimentation: 5 Vcc
- Consommation: 40 mA maxi
- Temps de réponse: < 500 ms
- Résistance d'isolation: 100 M Ω
- Sortie analogique: 0 à 4,5 Vcc
- Sortie digitale: niveau bas et haut à seuil ajustable via potentiomètre
- Température de service: 5 à 90 °C
- Dimensions: 38 x 28 x 10 mm
- Poids: 30 g

II.6.5 Capteur de température

Le capteur de température permet de mesurer la température de l'eau en temps réel. La température de l'eau est un paramètre important pour évaluer la qualité de l'eau, car elle peut affecter la croissance des organismes aquatiques et la teneur en oxygène dissous. Le choix d'un capteur de température précis et résistant à l'eau est donc essentiel pour une surveillance fiable de la qualité de l'eau. On associe généralement les capteurs de température à un thermocouple ayant comme principe deux matériaux thermoélectrique reliés entre eux : en approchant une source de chaleur au point de jonction on récupère aux bouts deux matériaux une différence de potentiel.

En industrie et pour la mesure de la température l'offre en capteurs est très large et le choix, a priori simple, s'avère souvent délicat vu l'effet de la température sur les caractéristiques des matériaux influant sur leurs propriétés se base ainsi sur les résultats obtenus lors la mesure. Cette analyse fait un point synthétique des différents paramètres à prendre en compte pour le choix de capteur approprié pour chaque domaine d'utilisation. Températures de dépassant les 450°C, il est composé d'un thermocouple chemise (protège) afin d'éviter toute usure pouvant engendrer son dysfonctionnement. On remarque aussi qu'une diode ou transistor alimenté par un courant constant donne une tension qui change avec la température. On utilise cette propriété pour fabriquer des capteurs de température en ajoutant généralement un circuit conditionneur. Il existe aussi des circuits intégrés permettant d'enregistrer la température sur une période longue. Cela est utilisé dans les systèmes de contrôle d'une chaîne de froid, par exemple en introduisant le capteur dans le produit au début d'une chaîne de production et en lisant les données à la fin. Il existe aussi des mesures de température basées sur la mesure de bruit, c'est le cas du quartz qui change de fréquence de résonance avec la température. La figure II.13 présente une sonde de mesure de température de l'eau.



Figure II. 13 :Sonde de température.

II.7 Utilisation de l'Impression 3D

L'impression 3D présente de nombreux avantages, notamment la possibilité de créer des formes complexes, des économies de temps et de coûts sur la production de

prototypes et de pièces personnalisées, ainsi que la fabrication sur demande. Elle est largement utilisée dans divers secteurs tels que l'industrie, la médecine, l'aérospatiale, l'automobile, l'art et le design.

II.7.1 Définition impression 3D

L'impression 3D, également connue sous le nom de fabrication additive, est un processus de fabrication de pièces tridimensionnelles à partir de modèles numériques. Contrairement aux méthodes traditionnelles de fabrication soustractive, où des pièces sont sculptées ou usinées à partir de blocs de matériau, l'impression 3D construit des objets couche par couche à partir de matériaux tels que le plastique, le métal, la céramique ou même le tissu. Cette technologie permet de créer des objets de formes complexes avec une grande précision et offre des avantages significatifs en termes de personnalisation, de rapidité et de coût par rapport aux méthodes traditionnelles de fabrication. L'impression 3D est utilisée dans de nombreux domaines, y compris l'industrie, la médecine, l'aérospatiale, l'automobile, l'art et le design. La Figure II.14 illustre un exemple d'une imprimante 3D.

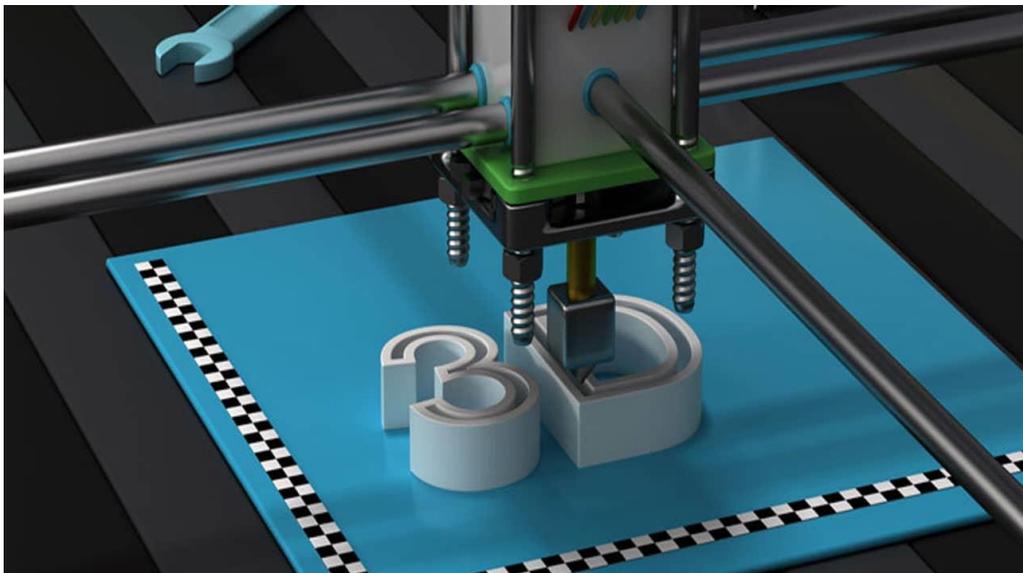


Figure II. 14 :Exemple de l'impression 3D

II.7.2 Processus de l'impression 3D

Ce processus permet de créer des objets en 3D de manière efficace et précise, offrant ainsi une grande flexibilité dans la conception et la fabrication de pièces pour une

variété d'applications industrielles, commerciales et personnelles. Ce processus de l'impression 3D est illustré et détaillé dans les étapes de la figure II.15 :

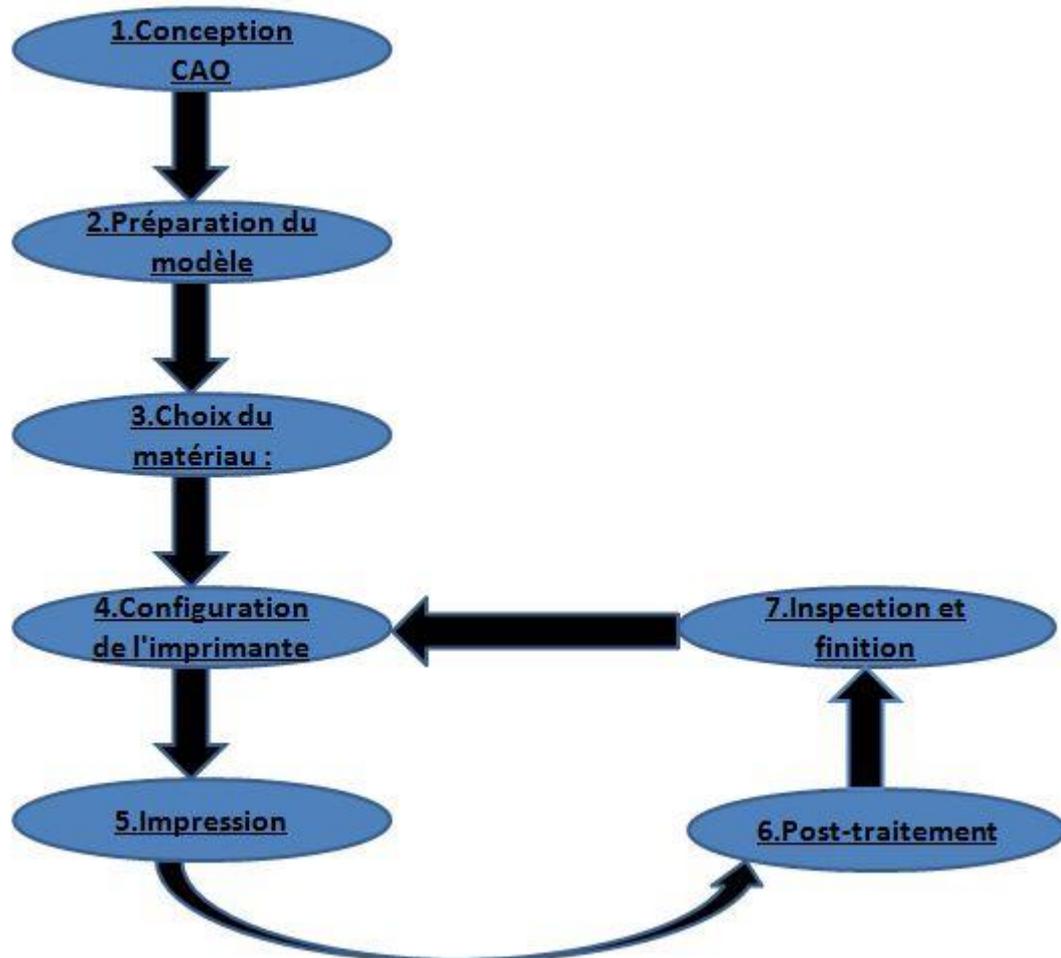


Figure II. 15 : Processus de fabrication du boîtier du système par impression 3D

1. **Conception** : Tout commence par la création d'un modèle numérique 3D de l'objet à imprimer. Ce modèle peut être créé à l'aide de logiciels de CAO (Conception Assistée par Ordinateur) ou de scanners 3D.
2. **Préparation du modèle** : Une fois le modèle créé, il doit être préparé pour l'impression. Cela implique généralement des étapes telles que l'optimisation de la géométrie, la découpe en tranches (slicing) et la génération des chemins d'impression.
3. **Choix du matériau** : Selon les exigences de l'application, différents types de matériaux peuvent être utilisés, tels que le PLA, l'ABS, le nylon, le métal, la résine, etc.
4. **Configuration de l'imprimante** : Les paramètres d'impression tels que la température de l'extrudeuse (pour les imprimantes FDM/FFF), la vitesse

d'impression, la densité de remplissage et la résolution doivent être configurés en fonction du matériau choisi et des caractéristiques de la pièce.

5. **Impression** : Une fois l'imprimante 3D configurée et le matériau chargé, le processus d'impression peut commencer. La machine dépose le matériau couche par couche, en suivant les instructions du modèle numérique.
6. **Post-traitement** : Après l'impression, la pièce peut nécessiter des étapes de post-traitement telles que le retrait de supports, le polissage, le sablage ou le durcissement (dans le cas des résines photosensibles).
7. **Inspection et finition** : Une fois le post-traitement terminé, la pièce est inspectée pour s'assurer de sa conformité aux spécifications. Des finitions supplémentaires peuvent être appliquées si nécessaire.

II.8 Conclusion

Ce chapitre a présenté en détail la conception et le matériel utilisé pour le système de surveillance de la qualité de l'eau. Nous avons exploré l'application de l'Internet des Objets (IoT) dans ce contexte, en intégrant divers capteurs et en utilisant des logiciels comme Arduino IDE et FRITZING pour la programmation et la schématisation. Le choix des composants électroniques tels que le module ESP32, les afficheurs LCD, et les capteurs TDS, de turbidité, et de température, a été justifié par leur précision et leur compatibilité avec notre système. L'impression 3D a permis de créer des boîtiers personnalisés, augmentant ainsi la robustesse et l'efficacité de notre prototype. Cette conception minutieuse et cette sélection rigoureuse des composants garantissent que notre système est à la fois fonctionnel et évolutif, prêt à être utilisé dans des applications réelles pour surveiller et assurer la qualité de l'eau.

Chapitre III : Réalisation et Discussion des Résultats du Système de Surveillance de la Qualité de l'Eau

Chapitre III : Réalisation et Discussion des Résultats du Système de Surveillance de la Qualité de l'Eau

III.1 Introduction

La surveillance de la qualité de l'eau est essentielle pour garantir la sécurité et la santé des êtres vivants qui utilisent cette ressource. Nous avons donc mis en place un système de mesure de la conductivité électrique et de la température de l'eau, qui permet de détecter les anomalies et les problèmes de qualité de l'eau en temps réel. Ce chapitre présente la mise en place d'un système de surveillance de la qualité de l'eau capable de mesurer la conductivité électrique et la température de l'eau. Nous détaillerons les étapes d'assemblage de la carte Arduino et du module ESP32, ainsi que les tests et la validation du système. Enfin, nous analyserons les résultats obtenus et discuterons des limites et des possibilités d'amélioration du système de surveillance.

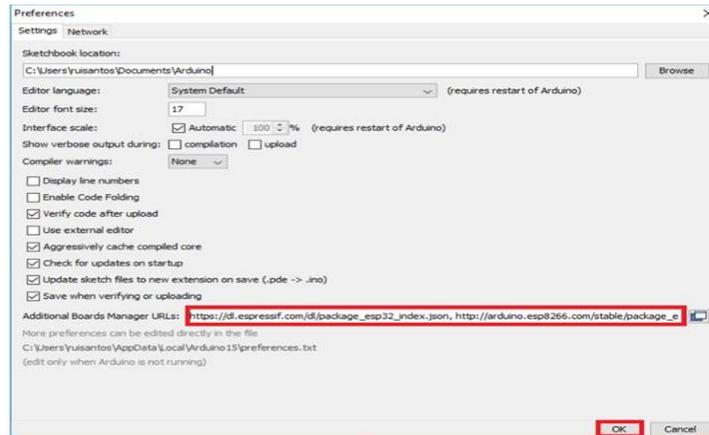
III.2 Différentes étapes de réalisation du projet

Pour réaliser le prototype du système de surveillance et contrôle de la qualité de l'eau, la partie de la programmation est très importante pour avoir une bonne conception à la réalisation du système. Ce système est composé de plusieurs outils de mesure connectés à des périphériques de traitement et de transmission de données. Tous ces dispositifs doivent être programmés et testés. Pour cela, nous devons suivre différentes étapes.

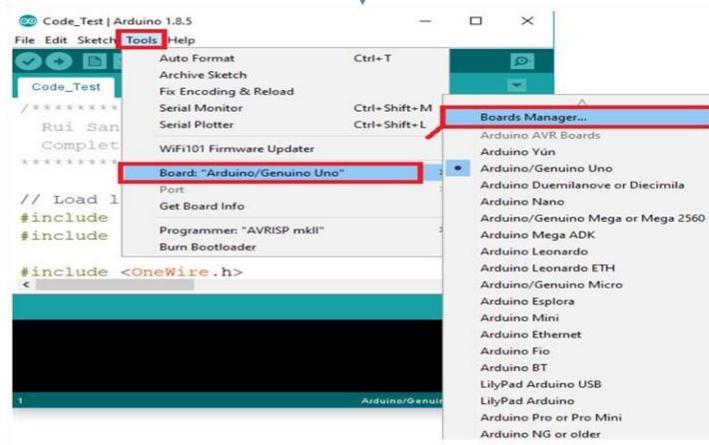
III.2.1 Etapes d'installation du module ESP32 pour l'ArduinoIDE

Il existe un module complémentaire pour l'IDE Arduino qui vous permet de programmer le module ESP32 à l'aide de l'IDE Arduino et de son langage de programmation. Nous allons vous montrer comment installer la carte ESP32 dans Arduino IDE. Pour installer la carte ESP32 sur ArduinoIDE, nous allons suivre les instructions suivantes sur la figure III.1:

Instruction 1



Instruction 2



Instruction 3

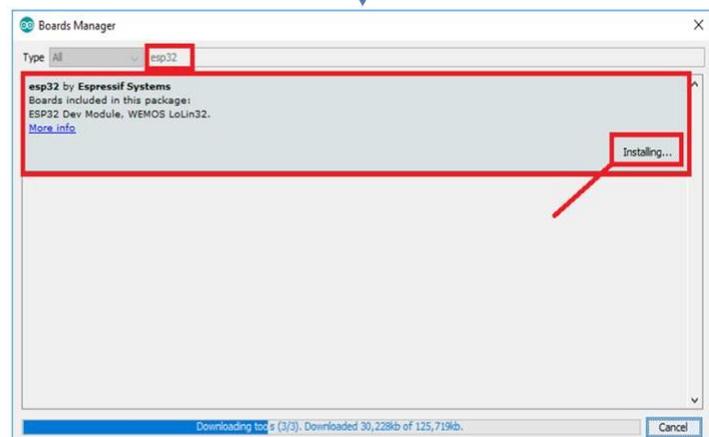


Figure III. 1: Les différentes instructions pour l'installation de la carte ESP32.

1. Cliquer sur Fichier> Préférences. Ensuite entrer le lien https://dl.espressif.com/dl/package_esp32_index.json dans le «Additional board manager URLs». Ensuite, cliquer «OK».
2. Ouvrir le gestionnaire du tableau. Appuyer sur Outils>Carte> Gestionnaire de cartes
3. Rechercher pour ESP32, appuyé sur le bouton d'installation pour le «ESP32 by Espressif Systems».

III.2.2 Etapes de chargement des bibliothèques nécessaires

a- Installation de la bibliothèque du capteur de température:

Pour obtenir des lectures du capteur de température DS18B20, nous devons utiliser cette bibliothèque. Nous allons procéder à l'installation de cette bibliothèque du capteur de température DS18B20 dans Arduino IDE, en suivant les étapes suivantes (Figure III.2) :

1. Ouvrez l'IDE Arduino et allez dans le menu "Sketch"(Croquis).
2. Sélectionnez "Include Library" (Inclure une bibliothèque) et cliquez sur "Manage Libraries" (Gérer les bibliothèques).
3. Dans la fenêtre "Library Manager" (Gestionnaire de bibliothèques), recherchez "One Wire" et cliquez sur "Install" (Installer) pour installer la bibliothèque.
4. Recherchez ensuite "Dallas Température" et cliquez également sur "Install" pour installer cette bibliothèque.

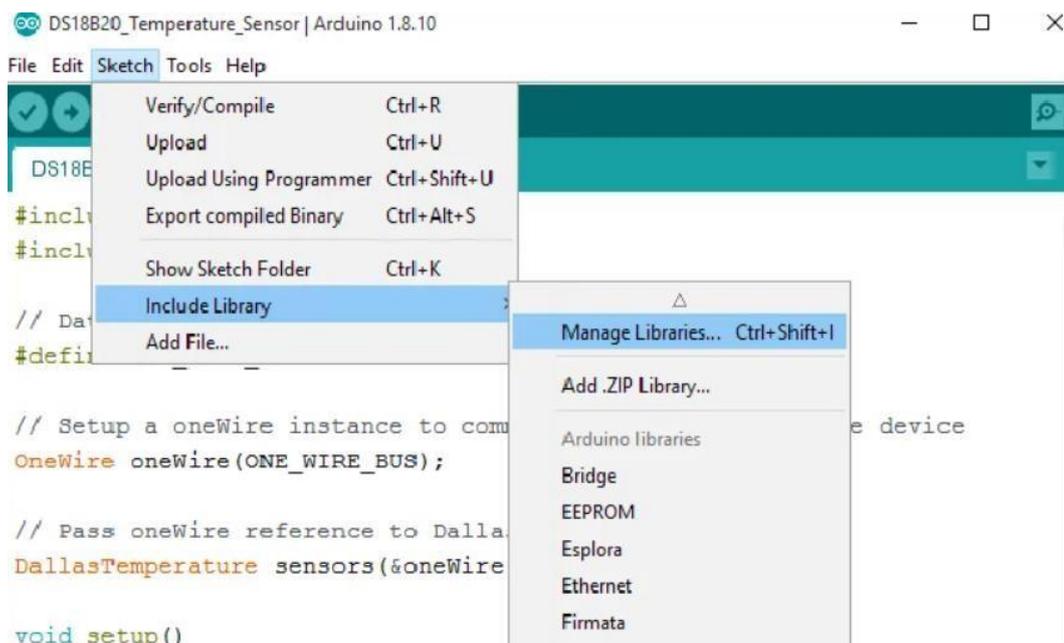


Figure III. 2:Etapes d'installation de la bibliothèque du capteur.

La figure III. 3 montre la dernière étape de l'installation des bibliothèques. Une fois l'installation de ces bibliothèques est terminée, la fenêtre "Library Manager" sera fermée. Nous allons utiliser la bibliothèque du capteur de température DS18B20 dans votre programme, incluez les bibliothèques en tapant les commandes suivantes en haut de votre code.

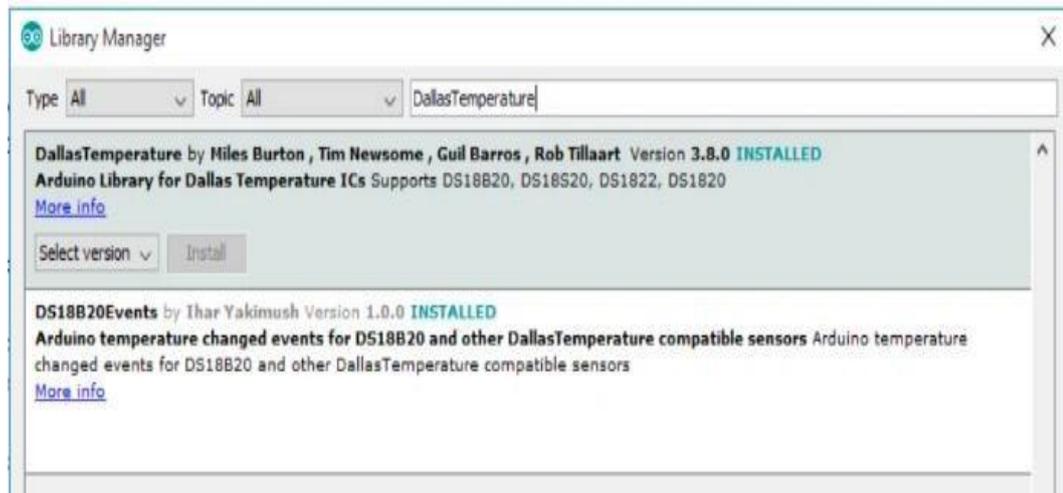


Figure III. 3: Installation la bibliothèque de capteur DS18B20

b- Installation de la bibliothèque du capteur TDS

Pour obtenir des lectures du module de capteur TDS, nous devons utiliser la bibliothèque TDS. Nous avons suivi les instructions suivantes pour installer la bibliothèque dans votre IDE Arduino : Ouvrez votre IDE Arduino et accédez à Outils > Gérer les bibliothèques. Le gestionnaire de bibliothèque devrait s'ouvrir, puis Recherchez «TDS» dans la zone de recherche et installez la bibliothèque (figure III.4).

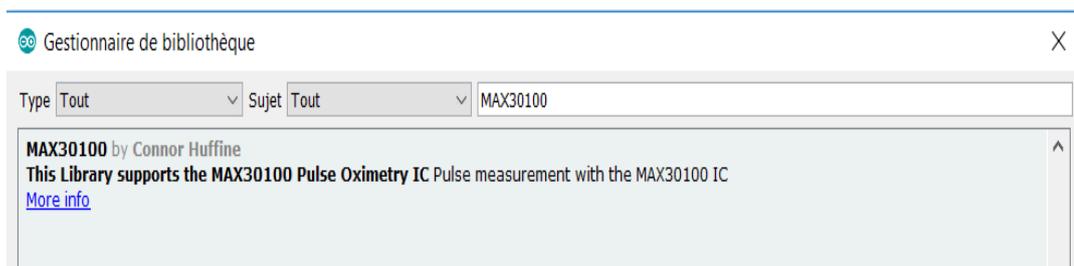


Figure III. 4: Installation la bibliothèque de capteur TDS

c- Installation de la bibliothèque du capteur Turbidité TSS

Pour obtenir des lectures du module de capteur TSS, nous devons utiliser la bibliothèque TSS. Nous avons suivi les instructions suivantes pour installer la bibliothèque dans votre IDE Arduino: Ouvrez votre IDE Arduino et accédez à Outils > Gérer les bibliothèques. Le gestionnaire de bibliothèque devrait s'ouvrir, puis Recherchez « TSS » dans la zone de recherche et installez la bibliothèque (figure III.5).

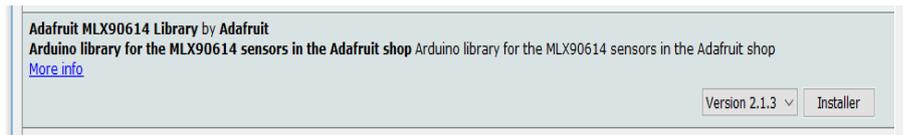


Figure III. 5: Installation la bibliothèque du capteur Turbidité

d- Installation de la bibliothèque LiquidCrystal_I2C

Il existe plusieurs bibliothèques qui fonctionnent avec l'écran LCD I2C. Suivez les étapes suivantes pour installer la bibliothèque: Ouvrez ArduinoIDE et ouvrez le gestionnaire de bibliothèque en sélectionnant Outils-> Gérer les bibliothèques. Par la suite recherchez et installez la bibliothèque «LiquidCrystalI2C» de Frank de Brabander(figureIII.6).



Figure III. 6 :Installation la bibliothèque de LSCI2C.

III.3 Test et validation des différents composants du système :

Pour réaliser ce système, nous avons procédé au test et validation des différents composants, à savoir les capteurs de conductivité électrique et de température et le module ESP32. Nous avons également procédé à la programmation du module ESP32, en utilisant le ArduinoIDE.

III.3.1 Implémentation et test du capteur de température DS18B20

a- Configuration de la carte ESP32 avec le capteur de température

La configuration du module ESP32 avec le capteur DS18B20 qui mesure la température de l'eau consiste à établir les connexions entre les différents éléments, à savoir le module ESP32, le capteur de température DS18B20, la résistance de pull-up de 4.7k ohms, et des fils de connexion suivant le schéma de câblage qui est réalisé avec le logiciel FRITZING et il est représenté dans la figureIII.7.

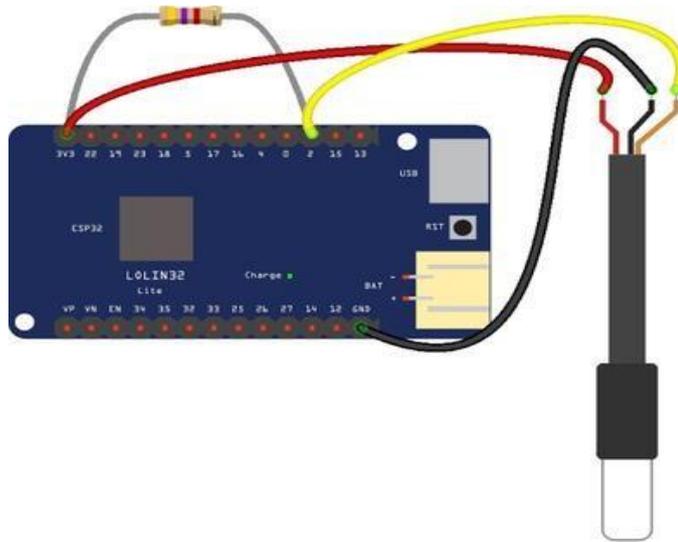


Figure III. 7: Schéma de connexion du module ESP32 avec le capteur DS18B20

b- Lecture de la mesure de température :

Après avoir terminé la configuration matérielle, nous avons procédé au test de l'efficacité du capteur de température DS18B20, connu pour sa précision et sa fiabilité. Nous avons programmé la carte ESP32 en utilisant l'IDE Arduino pour le développement du projet. Ensuite, nous avons installé les bibliothèques nécessaires dans l'IDE Arduino pour interfacer le capteur DS18B20 avec l'ESP32, utilisant les bibliothèques OneWire et Dallas Température, couramment employées pour ce type de capteurs. Nous avons écrit un code Arduino pour initialiser le capteur, lire les données de température et afficher les résultats. La figure III.8 illustre le code Arduino utilisé pour tester le capteur de température. Ce code inclut des fonctions pour configurer le capteur, lire les mesures et gérer les erreurs potentielles, permettant ainsi une surveillance en temps réel et précise de la température de l'eau.

On téléverse le code sur la carte ESP32 et on ouvre le moniteur série. A travers l'exécution du code. Nous allons voir les lectures affichées des résultats obtenues par le capteur de température. Ce test a confirmé l'efficacité et la précision du capteur DS18B20 pour surveiller la température de l'eau. Les données collectées peuvent ensuite être utilisées pour diverses applications, telles que le contrôle de processus industriels, la surveillance de l'environnement, ou la gestion des systèmes de refroidissement et de chauffage.

```

sketch_apr14a $
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#define ONE_WIRE_BUS 2

OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
// Pass the oneWire reference to DallasTemperature library:
DallasTemperature sensors(&oneWire);

void setup() {
  // Begin serial communication at a baud rate of 9600:
  Serial.begin(9600);
  sensors.begin();
}

void loop() {
  // Send the command for all devices on the bus to perform a temperature conversion:
  sensors.requestTemperatures();

  // Fetch the temperature in degrees Celsius for device index:
  float tempC = sensors.getTempCByIndex(0); // the index 0 refers to the first device
  :
  float tempF = sensors.getTempFByIndex(0);
  Serial.print("Temperature: ");
  Serial.print(tempC);
  Serial.print("\xC2\xB0"); // shows degree symbol
  Serial.print("C | ");

  Serial.print(tempF);
  Serial.print("\xC2\xB0"); // shows degree symbol
  Serial.println("F");

  // Wait 1 second:
  delay(1000);
}

```

Figure III. 8 :Le code sur ArduinoIDE de test du capteurDS18B20

On va rapprocher le front ou la main au capteur pour voir les valeurs changer. Ouvrez le terminal moniteur série comme le montre la figureIII.9 pour superviser pas à pas les résultats de la mesure de température d'eau.

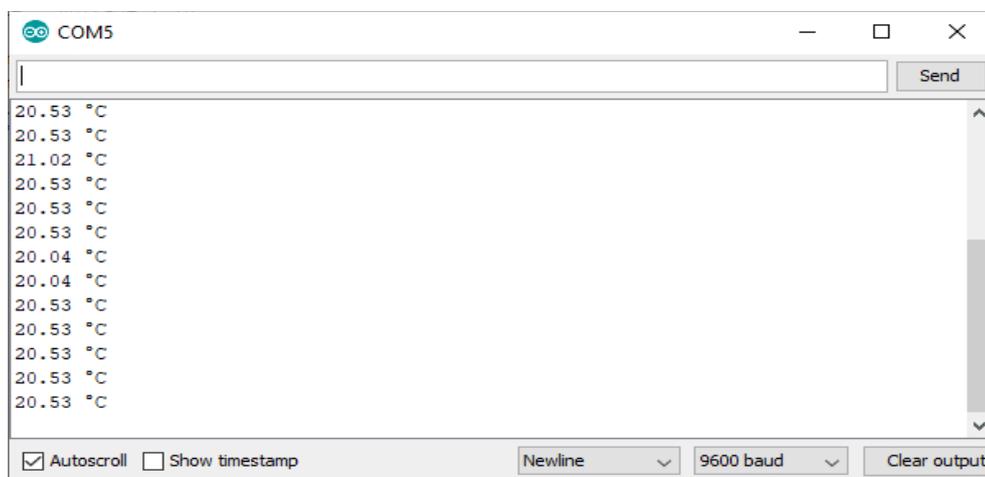


Figure III. 9 :RésultatsobtenuesparlecapteurDS18B20

III.3.2 Implémentation et test du capteurTDS

a- Configuration de la carte ESP32 avec le capteur la concentration totale des solides dissous et conductivité électrique

Le montage de la configuration du module ESP32 avec le capteur TDS, qui mesure la concentration totale des solides dissous et la conductivité électrique, consiste à établir les connexions entre le module ESP32, le capteur et les fils de connexion. Ce schéma de

câblage a été réalisé avec le logiciel FRITZING et est représenté dans la figure III.10. Il est important de noter que la configuration précise dépendra du type de capteur TDS utilisé et des broches spécifiques de l'ESP32. Il est donc essentiel de suivre les instructions spécifiques du fabricant pour la connexion et la configuration du capteur.

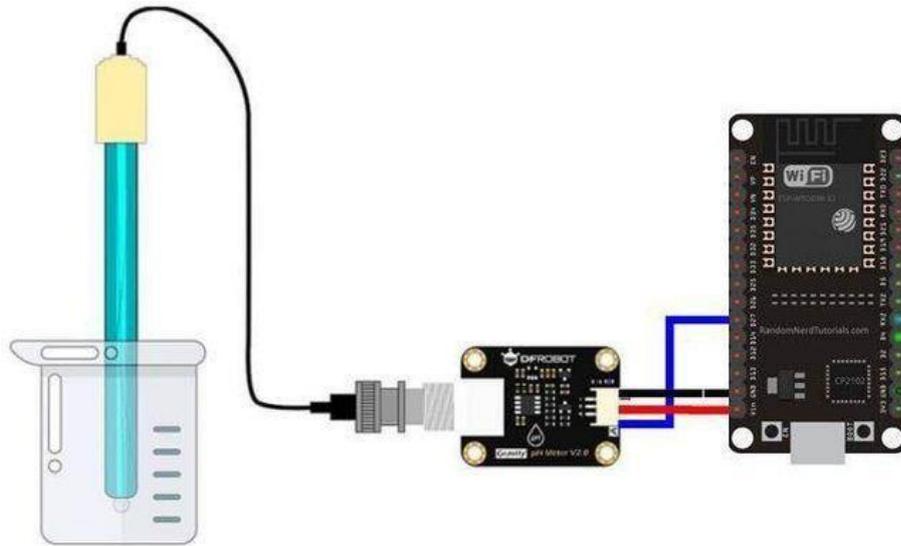


Figure III. 10:Schéma de connexion du module ESP32 avec le capteurTDS

b- Lecture de la mesure de capteur de la concentration totale des solides dissous et conductivité électrique :

Grâce à l'utilisation de la carte ESP32 et du capteur TDS, nous avons pu tester l'efficacité du capteur et programmer l'acquisition des mesures de la concentration totale des solides dissous dans l'eau. Le capteur TDS, en combinaison avec la carte ESP32, offre une solution robuste pour la surveillance continue et précise de la qualité de l'eau. Cette configuration permet de lire les valeurs de TDS et de conductivité électrique en temps réel, offrant ainsi des données cruciales pour diverses applications, telles que le contrôle de la qualité de l'eau potable, la gestion des systèmes d'irrigation, et le monitoring des processus industriels. La programmation de la carte ESP32 a été réalisée en utilisant l'IDE Arduino, une plateforme bien établie pour le développement de projets électroniques. D'abord, les bibliothèques nécessaires ont été installées dans l'IDE Arduino pour assurer une communication fluide entre le capteur et la carte ESP32. La figure III.11 présente ce code en détail, montrant les différentes étapes de la programmation, depuis l'inclusion des bibliothèques jusqu'à l'affichage des résultats.



```
sketch_apr14b $
#include <TDS.h>

TDS tdsSensor;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  tdsSensor.begin();
}

void loop() {
  float tdsValue = tdsSensor.getTDSValue();
  Serial.print("TDS Value: ");
  Serial.print(tdsValue);
  Serial.println(" ppm");
  delay(1000);
}
```

Figure III. 11: Le code sur ArduinoIDE de test du capteur TDS

Après avoir téléversé le code sur la carte ESP32, nous avons ouvert le moniteur série pour observer les lectures des résultats obtenus par le capteur TDS. Lors de l'exécution du code, les valeurs mesurées par le capteur sont affichées en temps réel. En approchant la main ou un autre objet au capteur, les valeurs changent, ce qui permet de vérifier la sensibilité et la précision du capteur. En ouvrant le terminal du moniteur série, comme illustré dans la figure III.12, nous pouvons superviser pas à pas les résultats de la mesure de la concentration totale des solides dissous et de la conductivité électrique dans l'eau. Cela permet de vérifier que les mesures sont correctes et d'ajuster les paramètres si nécessaire pour obtenir des lectures précises et fiables.

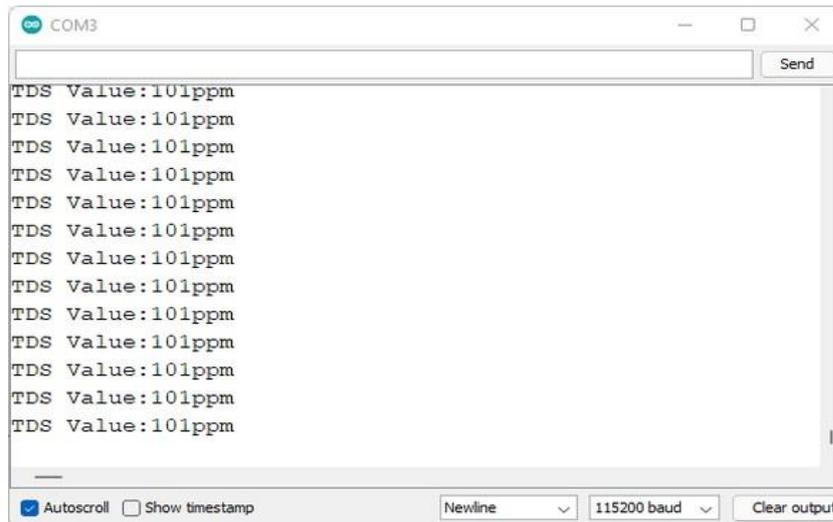


Figure III. 12: Résultats obtenues par le capteur TDS

III.3.3 Implémentation et test du capteur de turbidité SEN0189

a- Configuration de la carte ESP32 avec le capteur de turbidité SEN0189

Le schéma de connexion entre les deux parties, à savoir le module ESP32 et le capteur de turbidité analogique SEN0189, consiste à établir un montage suivant le schéma de câblage qui a été réalisé avec le logiciel FRITZING et il est représenté dans la figure III.13. Le capteur SEN0189 nécessite une connexion à trois broches: VCC, GND et OUT. La broche VCC doit être connectée à une source d'alimentation 5V, la broche GND doit être connectée à la masse et la broche OUT doit être connectée à une broche analogique de l'ESP32.

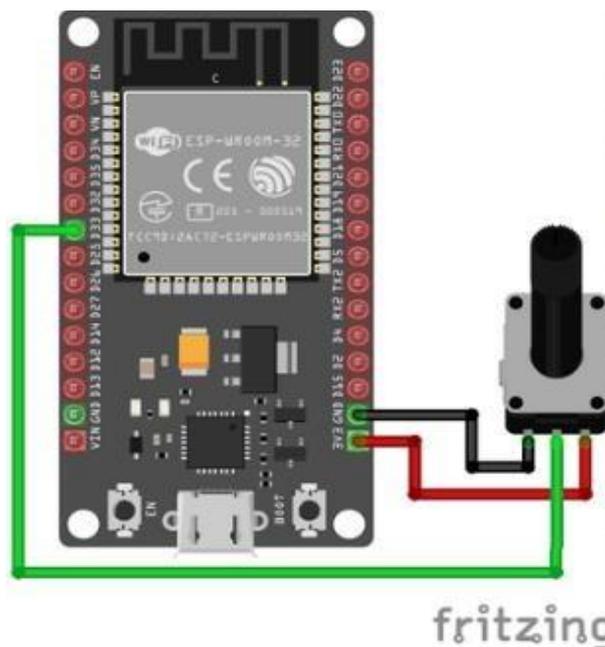
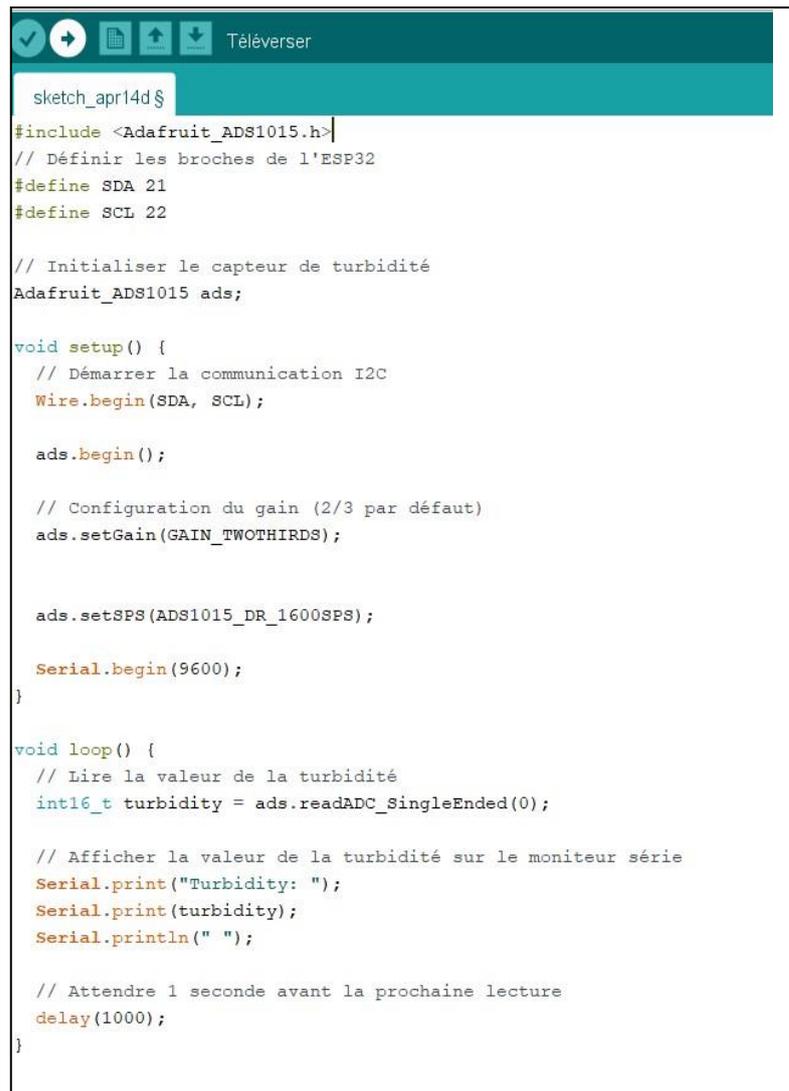


Figure III. 13: Schéma de connexion du module ESP32 avec le capteur TSS

b- Lecture de la mesure de capteur de turbidité

Pour tester l'efficacité du capteur de turbidité SEN0189, nous avons utilisé la carte ESP32, connue pour sa flexibilité et sa puissance de traitement. Le code Arduino, présenté dans la figure III.14, a été écrit pour lire les mesures de turbidité et afficher les résultats via le moniteur série de l'IDE Arduino. Après avoir téléversé le code sur la carte ESP32, nous avons ouvert le moniteur série de l'IDE Arduino pour observer les lectures de turbidité en temps réel. Le capteur SEN0189, lorsqu'il est exposé à différentes conditions de l'eau, affiche des valeurs de turbidité qui changent en fonction de la présence de particules en suspension dans l'eau. En approchant la main ou un objet du capteur, nous pouvons observer des variations dans les valeurs de turbidité affichées, ce qui démontre la sensibilité et la précision du capteur. Le moniteur série permet de superviser étape par étape les résultats de mesure de la turbidité, offrant une analyse précise des données collectées. Cette fonctionnalité est essentielle pour vérifier le bon fonctionnement du capteur et pour ajuster les paramètres si nécessaire pour obtenir des lectures fiables et précises.



```
sketch_apr14d $
#include <Adafruit_ADS1015.h>
// Définir les broches de l'ESP32
#define SDA 21
#define SCL 22

// Initialiser le capteur de turbidité
Adafruit_ADS1015 ads;

void setup() {
  // Démarrer la communication I2C
  Wire.begin(SDA, SCL);

  ads.begin();

  // Configuration du gain (2/3 par défaut)
  ads.setGain(GAIN_TWOTHIRDS);

  ads.setSPS(ADS1015_DR_1600SPS);

  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  // Lire la valeur de la turbidité
  int16_t turbidity = ads.readADC_SingleEnded(0);

  // Afficher la valeur de la turbidité sur le moniteur série
  Serial.print("Turbidity: ");
  Serial.print(turbidity);
  Serial.println(" ");

  // Attendre 1 seconde avant la prochaine lecture
  delay(1000);
}
```

Figure III. 14: Le code sur Arduino IDE de test du capteur TSS

III.3.4. Implémentation et affichage sur l'application Telegram

Afin d'envoyer les informations obtenues à partir des capteurs de la carte ESP32 vers une application Telegram en utilisant le WiFi, plusieurs étapes sont requises. Tout d'abord, il est nécessaire de configurer la connexion WiFi sur la carte ESP32 en utilisant les bibliothèques WiFi de l'ESP32 et en entrant les informations d'identification du réseau WiFi. Ensuite, il faut installer la bibliothèque TelegramBot sur la carte ESP32 via le gestionnaire de bibliothèques Arduino, comme illustré dans la figure IV.15. Une fois la bibliothèque TelegramBot installée, il est nécessaire de créer un bot Telegram et d'obtenir son jeton d'authentification. Il est également recommandé de créer un groupe ou un canal Telegram pour recevoir les informations des capteurs. Dans le code

ESP32, la bibliothèque TelegramBot est utilisée pour établir une connexion avec le bot Telegram en utilisant le jeton d'authentification.

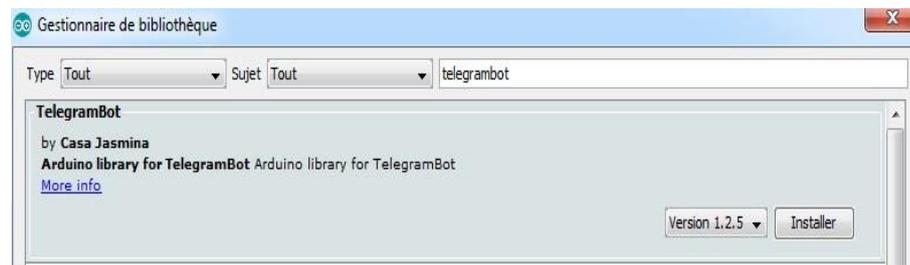


Figure III. 15: Installation la bibliothèque de TelegramBot

Les données des capteurs doivent être lues et stockées dans des variables. Ensuite, la méthode `sendMessage` de la bibliothèque TelegramBot est utilisée pour envoyer les données des capteurs au groupe ou au canal Telegram créé précédemment. En suivant ces étapes, il est possible d'envoyer facilement les informations des capteurs à une application Telegram en utilisant le WiFi. Cette configuration permet de surveiller à distance les conditions environnementales, telles que la température et la qualité de l'eau, et peut également être utilisée pour la surveillance à distance dans les applications industrielles.

III.4 Réalisation et test du systèmes proposé de surveillance et contrôle de qualité d'eau

III.4.1 Réalisation du prototype

Pour la réalisation du système de surveillance de la qualité de l'eau, nous avons regroupé nos dispositifs sur une plaque à pointes et les avons placés dans un boîtier fabriqué à l'aide d'une imprimante 3D. Cette structure en 3D a permis de concevoir un boîtier sur mesure pour les composants, offrant une protection adéquate et facilitant l'organisation interne du système. Il est conçu pour être robuste et durable, tout en permettant un accès facile pour la maintenance et les mises à jour. Ces éléments du système ont été choisis pour leur facilité d'utilisation, leur disponibilité sur le marché et leur coût abordable, ce qui rend l'ensemble du système à la fois pratique et économique. Ce prototype ainsi conçu se compose de trois parties principales, chacune jouant un rôle dans le fonctionnement global du système.

1. Partie Alimentation :

Pour assurer l'autonomie du système, nous avons utilisé une batterie externe (Powerbank). Ce choix permet de rendre le système portable et indépendant des sources d'alimentation fixes, augmentant ainsi sa flexibilité d'utilisation dans divers environnements.

2. Partie Mesure et Acquisition de Données :

- Capteur de Température : Ce capteur est utilisé pour mesurer la température de l'eau, un paramètre essentiel pour diverses analyses environnementales et biologiques.
- Capteur TDS : Utilisé pour mesurer la concentration totale des solides dissous dans l'eau, ce capteur est crucial pour évaluer la pureté et la salubrité de l'eau.
- Capteur de turbidité : Ce capteur mesure la turbidité de l'eau, indiquant la clarté et la présence de particules en suspension, ce qui est important pour déterminer la qualité visuelle et sanitaire de l'eau.

3. Partie Traitement et Transfert de Données :

- Module ESP32 : Le cœur du système, ce module combine les capacités de traitement des données et de communication sans fil via Wi-Fi. Il reçoit les données des capteurs, les traite, et les prépare pour la transmission.
- Application Telegram : Utilisée pour envoyer et afficher les données mesurées. Le module ESP32 envoie les informations collectées aux utilisateurs via un bot Telegram, permettant une surveillance en temps réel et à distance.
- Affichage : Les résultats des mesures sont affichés sur un écran LCD pour une visualisation directe sur site. De plus, les données sont consultables via le moniteur série et l'application Telegram, offrant plusieurs options pour l'accès aux informations.

La figure III.16 montre l'assemblage du système de mesure sur une plaque d'essai, mettant en évidence les différentes parties du prototype proposé. Ce système de télésurveillance de la qualité de l'eau est connecté à un ordinateur via Wi-Fi pour l'affichage des résultats, utilisant le moniteur série pour les tests, l'afficheur LCD pour l'affichage locale et l'application Telegram pour les notifications en temps réel. Ce montage permet une surveillance continue et efficace de la qualité de l'eau, offrant des solutions pratiques pour la gestion et la protection des ressources en eau.



Figure III. 16 : Réalisation du prototype proposé du système de contrôle de qualité d'eau

III.4.2 Test du prototype et résultats obtenue

Dans le but d'obtenir des mesures sur les différentes données d'eau avec notre système, des tests ont été effectués. A cet effet le système de mesure a été installé à l'air libre. Après le branchement des différents moniteurs d'acquisitions (capteur de turbidité et TDS et température) avec la carte ESP32 sur la plaque d'essai et après avoir inséré tous les détails nécessaires au code de programmation du microcontrôleur, des tests ont été lancés pour obtenir des mesures. Ouvrez le moniteur série à une vitesse de transmission de 115200bauds ainsi que le traceur série puis appuyez sur le bouton RST de la carte.

L'interfaçage entre notre système de mesure et l'ordinateur PC ou téléphone mobile consiste à établir un mode de communication WIFI pour le transfert à distance des données obtenues via le protocole MQTT messagerie au serveur Cloud. Cette carte de contrôle ESP32, à travers le système WI-FI intégré dans la carte microcontrôleur, permet le transfert des données vers une plateforme de Télégram. Concernant l'affichage des données sur téléphone portable par l'application Télégram est montré dans la figure III.17.

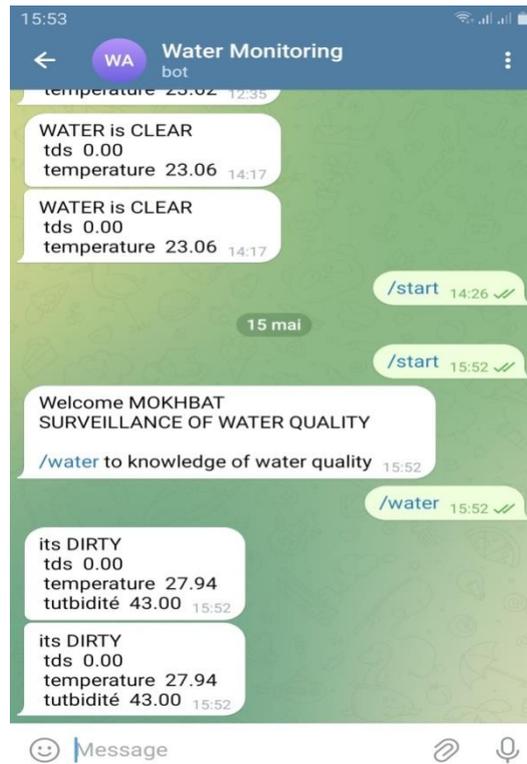


Figure III. 17: Affichage des résultats sur Télégram

Le fonctionnement du système de mesure est basé sur le programme développé qui est exécuté par le microcontrôleur de l'ESP32, qui affichera ensuite toutes les mesures de données de qualité d'eau sur un afficheur LCD comme le montre la figure III.18.



Figure III. 18: Affichage des résultats sur l'écran LCD

III.5 Test et Discussion des Résultats Obtenus

Cette partie est dédiée à la discussion des résultats obtenus lors de la surveillance de la qualité de l'eau, à l'analyse des mesures des différents paramètres de qualité de l'eau, ainsi qu'à l'interprétation de ces résultats. Cette analyse est cruciale pour comprendre l'efficacité de notre système et pour tirer des conclusions sur l'état de la qualité de l'eau surveillée.

III.5.1 Expérimentations et Résultats

La mise en œuvre d'un système de surveillance de la qualité de l'eau pour mesurer la température, la turbidité et le TDS représente une avancée significative dans la gestion des ressources hydriques. En combinant ces mesures, nous obtenons une image complète de la santé de l'eau, ce qui est essentiel pour protéger notre environnement et notre santé. La température nous renseigne sur les variations saisonnières et les impacts du changement climatique, tandis que la turbidité nous alerte sur la présence de particules en suspension qui peuvent affecter la vie aquatique et la qualité de l'eau potable. Quant au TDS, il nous informe sur la présence de diverses substances dissoutes, telles que les sels minéraux, les métaux lourds ou les composés organiques, jouant un rôle crucial dans la santé globale de l'écosystème aquatique. Grâce à ces mesures précises et continues, nous sommes mieux équipés pour prendre des décisions éclairées en matière de préservation et de gestion durable des ressources en eau.

Pour clarifier cela, nous avons mené quatre expériences distinctes au cours desquelles nous avons mesuré ces paramètres à l'aide d'un système de surveillance de la qualité de l'eau.

a) Expérience 1 : Eau Claire

Nous avons commencé avec l'évolution d'une eau claire. On a obtenu c'est résultat illustré dans la figure suivante :



Figure III. 19: Expérience 1 Eau Claire

La température enregistrée était de 25 degrés Celsius, la turbidité mesurée était de 409 NTU, et la concentration en total de solides dissous était de 10104 ppm.

C'est les caractéristiques d'une eau claire comme on peut voir le message est « its clear »

- **Température** : 25 degrés Celsius
- **Turbidité** : 409 NTU
- **TDS** : 10104 ppm
- **Message** : « Its clear »

b) Expérience 2 : Eau Trouble

Les systèmes de surveillance de la qualité de l'eau fournissent des données en temps réel, ce qui permet une analyse constante de son état. Cette approche permet une compréhension approfondie des tendances et des variations, comme illustré dans l'image suivant :



Figure III. 20: Expérience 2 Eau Trouble

La température de l'eau est de 24 degrés Celsius, tandis que la turbidité est mesurée à 216 NTU, indiquant une eau trouble. Le niveau de TDS (Total des solides dissous) affiche une valeur de 19041 ppm.

- **Température** : 24 degrés Celsius
- **Turbidité** : 216 NTU
- **TDS** : 19041 ppm
- **Message** : « its cloudy »

c) Expérience 3: Eau Sale

Cette fois on met une eau sale dans notre bécher pour évaluer les paramètres avec notre système de surveillance de la qualité d'eau

Comme le montre la figure ci-dessous



Figure III. 21: Expérience 3 Eau Sale

Comme indiqué par le message affiché "its dirty", cela signifie que l'eau est sale. La température est mesurée à 24 degrés Celsius, tandis que la turbidité est de 48 NTU et le TDS (Total des solides dissous) est de 8552 ppm.

- **Température** : 24 degrés Celsius
- **Turbidité** : 48 NTU
- **TDS** : 8552 ppm
- **Message** : « its dirty »

d) Expérience 4: Eau avec Sucre

Pour mieux évaluer le TDS (Total des solides dissous) et la température nous avons procédé en utilisant un bêcher contenant de l'eau claire dans lequel du sucre a été ajouté. Ensuite, nous avons chauffé la solution à l'aide d'une plaque chauffante,

Comme illustré dans l'image ci-dessous



Figure III. 22: Expérience 4 Eau avec Sucre

Comme en peut le voir les résultats afficher dans l'appareil de surveillance de la qualité de l'eau sont comme suit :

Une valeur de température de 51 degrés Celsius, ainsi qu'une valeur importante de TDS (Total des solides dissous) estimé de 14958 ppm a cause de sucre dissous dans cette eau. La valeur de turbidité est de 559 se qui signifie que l'eau est claire

- **Température** : 51 degrés Celsius

- **TDS** : 14958 ppm

- **Turbidité** : 559 NTU

III.5.2 Analyse des Mesures des Paramètres de Qualité de l'Eau

a- Température de l'Eau

Les mesures de température, obtenues via le capteur de température DS18B20, ont montré des variations en fonction des conditions environnementales. La température de l'eau est un indicateur essentiel de la qualité de l'eau, influençant la solubilité des gaz et la vitesse des réactions chimiques. Une température élevée peut indiquer une pollution thermique, souvent causée par des rejets industriels ou des eaux de refroidissement. Les résultats montrent des variations diurnes et saisonnières typiques, avec des températures plus élevées observées en après-midi et durant les mois d'été.

b- Concentration Totale des Solides Dissous (TDS)

Le capteur TDS a mesuré la concentration totale des solides dissous, fournissant des indications sur la salinité et la pureté de l'eau. Des valeurs élevées de TDS peuvent signaler la présence de minéraux, de sels, ou d'autres substances dissoutes, pouvant provenir de sources naturelles ou de pollutions anthropiques. Les résultats obtenus montrent des variations significatives après des épisodes de pluie, indiquant un apport de matières dissoutes par le ruissellement.

c- Turbidité

Les mesures de turbidité, captées par le capteur TSS, ont révélé la présence de particules en suspension dans l'eau. Une turbidité élevée est souvent associée à des eaux chargées en sédiments, en matières organiques, ou en microorganismes. Ces résultats sont cruciaux pour évaluer la qualité visuelle de l'eau et pour détecter d'éventuelles contaminations biologiques ou chimiques. Les mesures montrent une augmentation de la turbidité après des événements de pluie, ce qui correspond à une augmentation du ruissellement et de l'érosion des sols.

III.5.3 Interprétation des Résultats

Les résultats des mesures de température, de TDS et de turbidité fournissent une vue d'ensemble de la qualité de l'eau surveillée. Une analyse croisée de ces paramètres permet de tirer des conclusions plus précises :

- **Corrélations et Tendances** : En étudiant les corrélations entre les différentes mesures, il est possible de détecter des tendances significatives. Par exemple, une hausse simultanée de la température et du TDS pourrait indiquer une source de pollution commune, telle que des rejets industriels.
- **Identification des Sources de Pollution** : Les variations anormales de certains paramètres peuvent aider à identifier les sources potentielles de pollution. Par exemple, une augmentation soudaine de la turbidité après des précipitations pourrait signaler un ruissellement agricole ou urbain, apportant des sédiments et des contaminants dans le système de surveillance.
- **Conformité aux Normes** : En comparant les résultats obtenus aux normes de qualité de l'eau établies par les autorités sanitaires, il est possible de déterminer si l'eau est sûre pour la consommation ou si des mesures correctives sont nécessaires. Les valeurs de TDS et de turbidité ont été comparées aux standards de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) et montrent que certaines mesures dépassent les niveaux recommandés, indiquant des périodes de contamination.

III.5.4 Analyse et implications des résultats

La discussion des résultats obtenus révèle plusieurs points importants, mettant en lumière des aspects cruciaux de la performance du système de surveillance de la qualité de l'eau :

- **Efficacité du Système de Surveillance** : Les données montrent que le système de surveillance basé sur l'ESP32 et les capteurs utilisés est capable de fournir des mesures précises et fiables en temps réel. Cela démontre la viabilité de ce système pour une utilisation continue dans divers contextes de surveillance de la qualité de l'eau.
- **Variations Saisonnières et Environnementales** : Les résultats indiquent que les paramètres de qualité de l'eau varient en fonction des conditions environnementales et saisonnières. Par exemple, les températures plus élevées en été peuvent conduire à une augmentation des TDS en raison de l'évaporation accrue, et les pluies augmentent la turbidité et les TDS à cause du ruissellement.
- **Implications pour la Gestion de l'Eau** : Les informations obtenues peuvent aider à informer les décisions de gestion de l'eau, telles que le traitement de l'eau, la

gestion des ressources et la planification des interventions en cas de pollution. Par exemple, des mesures élevées de turbidité peuvent déclencher des actions de filtration supplémentaires avant la distribution de l'eau potable.

III.7 Conclusion

Ce chapitre a présenté le processus complet de réalisation du prototype de surveillance de la qualité de l'eau, de l'installation et de la configuration des capteurs à l'analyse des résultats obtenus. Les tests effectués ont démontré l'efficacité du système basé sur l'ESP32 pour fournir des mesures précises et fiables en temps réel. Les données de température, de TDS et de turbidité collectées permettent d'évaluer la qualité de l'eau et d'identifier les sources potentielles de pollution. L'analyse des résultats montre des variations saisonnières et environnementales significatives, soulignant l'importance d'une surveillance continue. En conclusion, ce système offre une solution viable pour la gestion et la protection des ressources en eau, avec des implications pratiques pour l'amélioration de la qualité de l'eau et la protection de l'environnement.

Conclusion générale

Conclusion Générale

La mise en place d'un système de surveillance en temps réel de la qualité de l'eau constitue une avancée cruciale pour garantir la sécurité et la santé des ressources en eau. Cette étude a réussi à développer un système complet utilisant le microcontrôleur ESP32 et divers capteurs pour mesurer des paramètres clés de la qualité de l'eau, notamment la température, les solides dissous totaux (TDS) et la turbidité. L'intégration de ces composants, couplée à la transmission de données sans fil via Wi-Fi vers des plateformes telles que Telegram, démontre le potentiel de la surveillance à distance et de l'accès immédiat aux données.

Ce mémoire a présenté la conception et la réalisation d'un système de surveillance de qualité d'eau à l'aide de capteurs électroniques et de technologies de communication modernes. La première partie a permis de définir les étapes de préparation, de conception, de réalisation, de test et de validation, de mise en service, de maintenance et d'amélioration nécessaires à la conception d'un tel système. La deuxième partie a présenté un état de l'art des systèmes existants, des capteurs de qualité d'eau utilisés et des technologies de communication disponibles. La troisième partie a exposé les choix de composants électroniques et l'architecture du système de surveillance de la qualité de l'eau. La quatrième partie a décrit l'assemblage du système, la programmation de la carte Arduino et du module ESP32, ainsi que les tests et validations réalisés. La cinquième partie a présenté l'analyse des résultats expérimentaux, l'évaluation des performances du système et la comparaison avec les normes et les réglementations environnementales en vigueur.

Le design de ce système met l'accent sur la facilité d'utilisation, l'efficacité des coûts et l'évolutivité, le rendant adapté à diverses applications, de la gestion industrielle de l'eau à la surveillance environnementale. La nature en temps réel de la collecte de données et la possibilité d'accéder à ces données à distance via des applications mobiles assurent une réponse rapide aux anomalies détectées.

Les résultats obtenus et discutés mettent en lumière l'efficacité du système pour capturer et analyser les paramètres de qualité de l'eau. Cependant, des améliorations continues et des tests supplémentaires dans diverses conditions environnementales sont recommandés pour renforcer la robustesse et la précision du système.

Bibliographie

Références bibliographie

[1]VILAGINES R., 2010 : Eau, Environnement et Santé publique. Introduction à l'hydrologie. 3^{ème} Edition TEC & DOC, Lavoisier, Paris, 218 p

[2]AISSAOUI A., 2013 : Evaluation du niveau de contamination des eaux de barrage « Hammam Gouzi » de la région d'Oued Athmania (willaya de Mila) par les activités agricoles. Mémoire de Magister : Département de biologie végétale et animale. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou ,133 p.

[3]MOULIN B., 2004 : L'eau de mer. Le Kayak et la mer, Edition le canotier, 183 p

[4]MEROUANI S. et BOUGUEDAH A., 2013 : Etude de la pollution chimique et la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines de la cuvette d'Ouargla. Mémoire master : Université Kasdi Merbah Ouargla, 59 p

[5]LAZHAR G., 2011 : Contrôle de la pollution de l'eau par méthode acousto-optique. Mémoire de magister : Université FERHAT ABBAS-SETIF, 106 p.

[6]MEROUANI S. et BOUGUEDAH A., 2013 : Etude de la pollution chimique et la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines de la cuvette d'Ouargla. Mémoire master : Université Kasdi Merbah Ouargla, 59 p.

[7]METAHRI S., 2012 : Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées par les procédés mixtes : cas de la STEP EST thèse de doctorat : département d'agronomie. Université Mouloud MAMMERI de Tizi-ouzou, Algérie, 148 p.

[8]TEKFI K., 2006 : Étude des performances épuratoires d'une station d'épuration des boues activées. Mémoire magister : Département hydraulique. Université Tlemcen, 134p.

- [9] OUBAGHA N., 2011 : Décontamination des eaux contenant les colorants textiles et les adjuvants par des matériaux naturels et synthétique. Mémoire magister : Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, 151 p
- [10] Revue Algérienne de Santé Publique Revue Scientifique Semestrielle publiée par l'Institut National de Santé Publique I.N.S.P.
- [11] THÈSE Doctorat ès Sciences EN Hygiène & Sécurité Industrielle Option : Gestion des Risques Présentée et soutenue par Mme. SAADI Saadia
- [12] Cet article est la réédition actualisée de l'article "Les grandes catégories d'usage de l'eau dans l'industrie" rédigé par Françoise PETITPAIN-PERRIN paru en 2006
- [13] Thèse En vue de l'obtention du diplôme de Doctorat LMD En Géologie Option : Eau et Environnement Par ABOUR Fella 2021.
- [14] THESE Présentée en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat LMD SPECIALITE : Hydrogéologie Thème Présenté par : BOUBGUIRA Selwa 2020
- [15] <https://fr.fmuser.net/content/?20262.html>
- [16] thèse présentée pour l'obtention du diplôme de doctorat en sciences en hydraulique étude de la fiabilité des systèmes de distribution d'eau potable en zones arides cas de la région de Biskra par rachid masmoudi
- [17] Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC) et Conseil régional de l'environnement des Laurentides (CRE Laurentides), 2017
- [18] <https://www.oieau-wiss.org/maru-br/fr/monitoring-satellitaire.html>
- [19] THÈSE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE DOCTORAT EN SCIENCE Filière : Génie Electrique Option : Télécommunications Présentée par MEKHANCHA Sarra Intitulée Contribution au développement et à l'optimisation de systèmes de transmissions multi-antennes pour des applications en diversité et MIMO
- [20] Daniel BATTU : Systèmes de communications par satellite - Architectures des liaisons 10 mai 2024

- [21]Bouziani M. (2000), L'eau de la pénurie aux maladies, Editions IBN-KHALDOUN, Algérie.
- [22]Bensaci T. (2006). Détermination De la Qualité Physico-chimique Et Bactériologiques Des Eaux De Surface : Cas du Barrage Timgad (W. d'Oum El Bouaghi). Mémoire de Magister, Centre Université Larbi Ben M'hidi, Oum ElBouaghi. 98 p
- [23] U E. (1998), Normes de l'Union Européenne sur l'eau potable. Directive du conseil 98/83/EC sur la qualité de l'eau attendue pour la consommation humaine
- [24]Desjardins R. (1997), Le traitement des eaux, 2ème édition, Revue et amélioré Edition de l'écolepoly technique, de Montréal, Canada.
- [25]E.NA.GEO. (1971). Entreprise Nationale De Géophysique. Etude Géophysique Dans La Région De Guelma. 52 p.
- [26]Bouchemal .M et hammoudi .A.C. (2016). Analyse de la qualité des eaux de la station de traitementde Hammam Debegeh. Mémoire de master 2, Université Larbi Ben M'hidi (Oum El Bouaghi). 52 p.
- [27]M. Margolis: „Arduino Cookbook“, O“REILLY Media Inc ., first Edition 2011
- [28]<https://learn.sparkfun.com/tutorials/make-your-own-fritzing-parts/what-is-fritzing>
- [29]<https://www.hwlibre.com/fr/fritzing/>
- [30]<https://arduino.blaisepascal.fr/presentation/logiciel>
- [31][Rahim Tafazolli, “TECHNOLOGIES FOR THE WIRELESS FUTURE”, John Wiley & Sons, 2006
- [32]<https://fr.que.wiki/wiki/liquid-crystal-display>